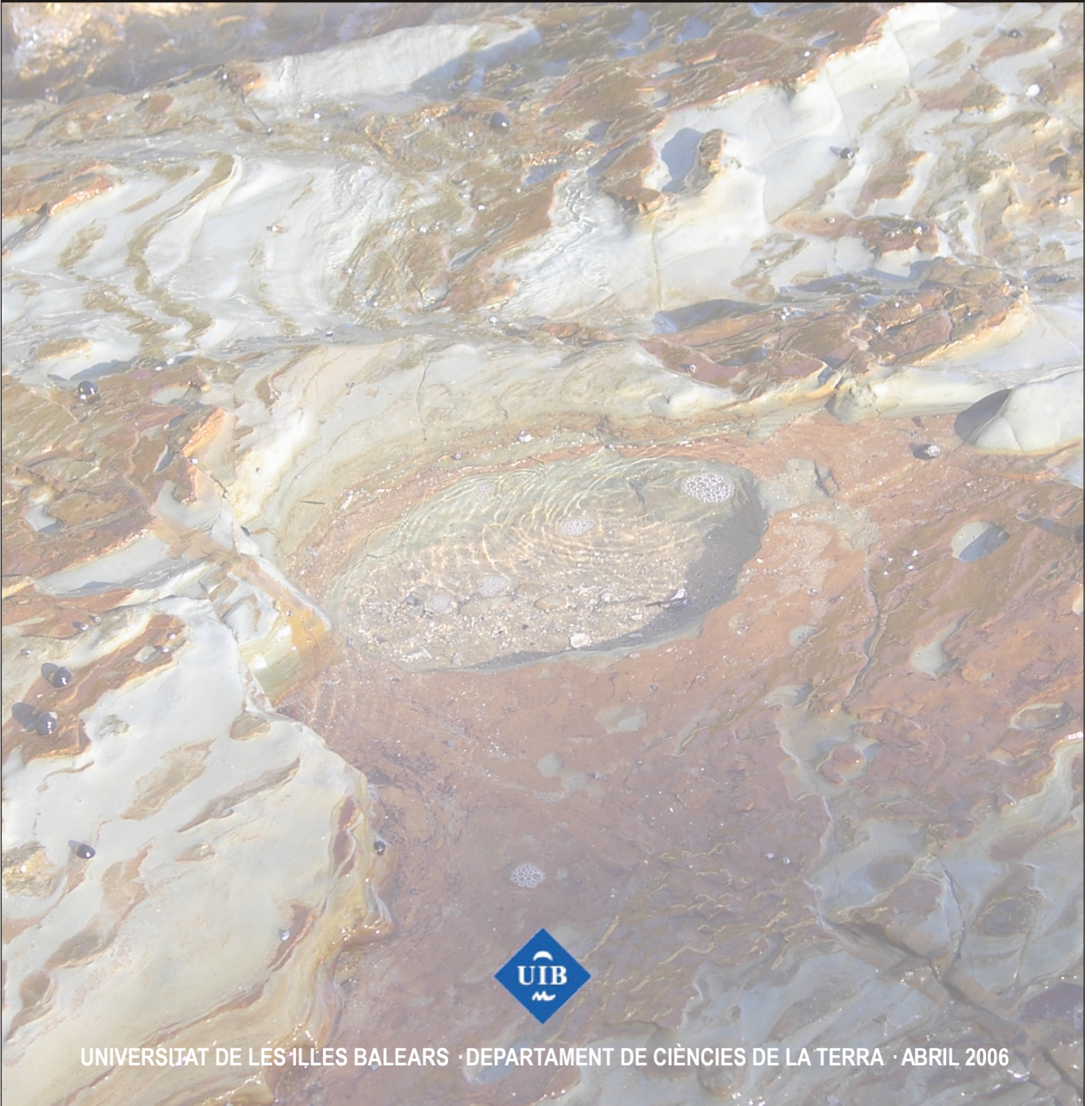


Lluís GÓMEZ-PUJOL

## Patrons, taxes i formes d'erosió a les costes rocoses carbonatades de Mallorca



UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS · DEPARTAMENT DE CIÈNCIES DE LA TERRA · ABRIL 2006



Departament de Ciències de la Terra  
Universitat de les Illes Balears

# **PATRONS, TAXES I FORMES D'EROSIÓ A LES COSTES ROCOSES CARBONATADES DE MALLORCA**

*Lluís Gómez-Pujol*

El doctorand:

Vist-i-plau del director :

Dr. Joan J. Fornós i Astó

Ciutat de Mallorca  
Abril 2006

## Presentació

- *Em sembla que sóc el primer –va dir tot saludant-lo amb una mica més de respecte que el que hom solia atorgar a aquell bon jan.*
- *És natural –va contestar el senyor De Bargeton.*
- Lucien va creure que aquesta frase era un epigrama de marit gelós i es posa vermell i es mirà al mirall per recuperar la serenitat.*
- *Viviu a Homeu –va dir el senyor De Bargeton– i les persones que viuen lluny sempre arriben més d'hora que les que viuen a prop.*
- *I què ho fa això? –va preguntar Lucien fent un posat agradable.*
- *No ho sé pas –va contestar el senyor De Bargeton, i va retornar a la seva immobilitat.*
- *És perquè ho heu esbrinat –va reprendre Lucien–. Un home capaç de fer l'observació pot torbar-ne la causa.*
- *Ah! –exclamà el senyor De Bargeton–. Les causes finals! Ai, ai...!*

*Honoré de Balzac  
(Les il·lusions perdudes, 1837)*

Com passa amb els personatges de la comèdia humana de Balzac, aquesta memòria pateix del mal de l'ambició, de més a més de la dèria de perseguir les causes finals. El marc, les costes rocoses i, pel determinisme geogràfic, el rocam carbonatat! La resta, les circumstàncies...

Els processos i les formes relacionades amb l'alteració del rocam carbonatat són una línia de recerca ben consolidada, amb contribucions ben significatives, al Departament de Ciències de la Terra de la Universitat de les Illes Balears. D'ençà d'uns anys enrere, en aquesta línia de treball s'hi afegeix la curolla pels processos costaners de les costes rocoses, tant des d'un vessant evolutiu com des d'un vessant dinàmic. És, doncs, a la cruïlla d'aquestes dues línies de recerca on s'ha d'ubicar la present memòria.

El tema del treball, els patrons, les taxes i les formes d'erosió de les costes rocoses carbonatades, neix de l'experiència adquirida en el decurs del projecte de recerca europeu *European Shore Platform Erosion Dynamics*, que a Mallorca dirigia el director de la tesi, Dr. Joan J. Fornós. Les costes rocoses, d'una banda per la dificultat que suposa accedir-hi i d'altra per la complexitat dels fenòmens que s'hi donen –que no són gens senzills de simplificar en termes físics–, no són un medi que, en el camp de la geomorfologia, gaudeixi d'una tradició dilatada. No obstant això, d'un temps ençà hi ha un interès renovat que es tradueix en un degotís de publicacions a nivell internacional. Tanmateix, la recerca sobre les formes i la morfodinàmica de la costa rocosa quasi bé sempre és parcial. Els treballs fan referència a la geometria dels penya-segats, a l'efecte de la meteorització per sals, als processos bioerosius o al paper de la història geològica o a les oscil·lacions del nivell marí durant el Quaternari. Només Trudgill (1976a) i trenta anys enrere, intenta aclarir la contribució dels diferents processos i agents de meteorització a les costes rocoses carbonatades de l'illa oceànica d'Aldabra. El repte, doncs, era adquirir un coneixement semblant pel que feia a Mallorca i, de més a més, intentar relacionar el paper de cada un dels processos en la formació i organització del microrelleu present a les costes rocoses de Mallorca. Els primers dubtes sorgiren a l'hora de dissenyar l'abast geogràfic de la tesi, les localitats per mostrejar i què mostrejar. Encara avui, existeix el corcò de si calia un mostratge intens a una sola localitat, o bé si convenia avaluar els processos a un espectre ampli de litologies i localitats. No cal dir que cada un dels criteris té els seus avantatges i els seus inconvenients. Finalment, decidírem adoptar el segon criteri, tot i que en el cas concret de s'Alavern, sense arribar a un mostratge exhaustiu, s'intentà d'obtenir el màxim d'informació. Net i clar, arribà a pesar més la possibilitat d'avaluar la capacitat de treballar diferents aspectes de la morfodinàmica de les costes rocoses, que no tancar l'operativa d'un procés o d'un agent en concret.

Així doncs i amb aquest rerefons, la tesi s'estructura en dos blocs. El primer està dedicat als patrons i a les taxes d'erosió i meteorització i el segon a les formes de relleu resultants. En el primer es persegueix aclarir quines són les magnituds de les taxes d'erosió a la costa rocosa, mitjançant diferents tècniques instrumentals. Així, per exemple, la denudació total es quantifica

amb micròmetres de dial mòbil i l'escàner làser, dues tècniques diferents per contrastar si els resultats són semblants o no ho són, si es pot confiar o no es pot confiar en la informació que se'n deriva. El mateix passa amb la confrontació dels resultats dels tests d'exposició de peces de roca i l'estudi de l'alveolització de les façanes del patrimoni arquitectònic històric. Per tant, aquest primer bloc no té una naturalesa descriptiva o regional. Es persegueix avaluar la capacitat de quantificar els processos i que la informació que se'n derivi sigui significativa. Per aquest motiu, en relació a cada experiment es descriuran les localitats d'estudi i els aspectes metodològics necessaris per a la comprensió dels resultats. El paper de la bioerosió a les costes rocoses de les Balears es fa evident fins i tot per a un observador inexpert, d'aquí l'extens capítol que es dedica a la distribució dels organismes i la quantificació de les taxes dels principals organismes brostejadors als perfils estudiats.

El segon bloc malda per caracteritzar les formes del microrelleu calcari i la seva distribució, així com relacionar la informació relativa als processos del bloc anterior, amb els agents i els processos dominants en el *karren litoral*. Si el primer bloc considerava els processos per ells mateixos, i no en funció de les localitats i del marc regional, el segon sí que gaudeix d'aquesta component que permet considerar factors com la història geològica o la fracturació, entre d'altres, en la formació del relleu litoral.

Pel que fa al marc geogràfic de la tesi, el títol fa referència explícita a Mallorca, però el lector crític hi trobarà experiments i descripcions relatives a altres localitats. Resultava impossible no contrastar les nostres troballes a d'altres indrets i sobre altres litologies. Així arran de les dues estades que realitzàrem a la *University of Melbourne*, a redós del mestratge del Dr. Wayne J. Stephenson, s'avaluà el fenomen de bombament de la superfície rocosa sobre substrats siliciclàstics. De la mateixa manera, la participació en les campanyes del projecte d'investigació, a propòsit de les interferències entre els sistemes fluvial, càrstic i litoral del Migjorn de Menorca, feia inevitable contrastar i aplicar el model del *karren litoral* desenvolupat a Mallorca, a les costes menorquines.

Era massa ambiciós voler respondre tantes preguntes, tantes causes finals. Tancam la present memòria conscients que hauria pogut ésser molt més d'allò que és, però les ramificacions són infinites. Aspectes sobre els quals hem treballat, ben interessants i que mereixen una tesi just per a ells sols, com és el cas de les plataformes litorals, la presència dels microsolcs o els conductes de subsòl s'han deixat fora de la tesi. S'havia d'escapçar per alguna banda. Així doncs, aquesta memòria és un document amb poques respostes i moltes preguntes, però la informació que presenta obri noves línies a partir de les quals treballar i millorar el nostre coneixement sobre la morfodinàmica de les costes rocoses, en especial de les carbonatades.

## Agraïments

Arriba el moment de cloure el treball, i és obligada la referència a les persones i institucions que n'han permès la materialització.

Aquesta memòria és el resultat de la col·laboració i treball intens de diferents persones. En aquest sentit, tots els anys d'investigació han estat ben enriquidors i allò meritori que pugui haver a la meua investigació, ben segur, que és gràcies a terceres persones que han contribuït amb la seva feina en els mostratges, a la tasca de laboratori, o bé amb les seves reflexions estadístiques, teòriques i terminològiques. La referència és, doncs, obligada a: Jaume Mateu, Pau Balaguer, Guillem X. Pons, Miquel Palmer, Emma Navarro, Marta Asensi, Maria Vidal, Mariana Baldo, Joan Miquel Carmona, Gemma Villanueva, Ferran Hierro, Lluís Fiol, Damià Ramis, Pere Bover, Francesc X. Roig, Joan Enric Capellà, Francesc Gràcia, Damià Vicens i Magdalena Ramon.

No és gens senzill definir el mestratge del director de la tesi, Joan J. Fornós, però la influència és òbvia. Sense estructures rígides, però obligant a trobar el bo i millor de cada un, per ell mateix. Feina constant i crítica. La gratitud cap al director de la tesi és infinita ja que per a mi poder haver dedicat vuit anys a la investigació ha estat un autèntic privilegi i la descoberta d'una vocació profunda. La discussió i els comentaris amb els germans Àngel i Joaquim Ginés, així com amb Guillem X. Pons, durant aquests anys, també han estat ben enriquidors i potser caldria parlar de directors de tesi *ad latere*.

La vida acadèmica no és només ciència –per bé i per mal– i, en aquest sentit, tots els anys de treball no haurien estat igual de planers sense la complicitat de Miquel Seguí, Antoni Rodríguez Perea, Bernadí Gelabert, Pere Brunet i els directors del Departament de Ciències de la Terra successius, Lluís Pomar i Joana M. Petrus.

Les estades a diferents centres estrangers són un capital essencial per a la meua recerca. En aquest sentit, des del primer contacte amb el món anglosaxó a la *University of Aberdeen* i les successives visites a la *University of Melbourne*, la meua concepció de la Geografia i de la Ciència ha canviat radicalment. Per tant, vull fer manifest el meu agraïment per les discussions, l'hospitalitat i els bons consells dels Drs. John Loder, Chalmers Clapperton, Eric Bird, Bryan Finlayson, Ian Rutherford, Eric Kirk, Larissa Naylor i, molt especialment, del Dr. Wayne J. Stephenson i la seva família.

No voldria deixar d'esmentar la satisfacció d'haver pogut conèixer biblioteques, de bon de veres, com les de la *University of Aberdeen*, la de la *University of Melbourne*, o de ben particulars com les de la *Victoria Royal Society*, o la de *Graduate House*, on per cert, hi havia un volum considerable de material de geomorfologia litoral cedit pel Dr. Eric Bird.

També ha estat cabdal per aquesta tesi, la correspondència, les converses i el debat que mantinguérem amb el Dr. Alain Trenhaile de la *University of Windsor* (Canadà) arran de les nostres visites a les costes de Gal·les i a les de Galícia, així com la franca camaraderia i recerca paral·lela dels companys de la *Universidad de Santiago de Compostela*, Drs. Augusto Pérez Alberti i Ramón Blanco Chao.

Finalment, avui puc enllestir aquestes línies gràcies al suport dels meus pares i l'afecte dels meus senyors avis que, amb resignació franciscana, acceptaren la meua dèria adolescent d'iniciar els estudis de Geografia i deixar enrere la trajectòria de la carrera d'enginyeria o els negocis de la família. A la vegada, tots aquests anys han estat còmplices de les meves iniciatives i m'han exonerat d'algunes de les meves obligacions. La referència de gratitud també és obligada a la meua companya, na Maria, que ha fet gala d'una paciència infinita, de més a més de patir les

inclemències de la feina de camp. La redacció de la tesi ha fet que m'adonàs de la meva profunda ignorància lingüística que, sense l'ajut de na Maria, no crec que hagués pogut resoldre.

Protocol obliga, i sense la beca FPI de la Conselleria d'Economia, Innovació i Energia del Govern de les Illes Balears la realització de la tesi no hauria estat possible. També durant aquest període hem gaudit del finançament associat als projectes de recerca: **PB98-0132**: *El karst y la morfogénesis litoral en las Islas Baleares y la costa valenciana: su relación con las oscilaciones del nivel marino a lo largo del Cuaternario*, **MAS3-CT98\_0173**: *ESPED, European Shore Platform Erosion Dynamics* i **BTE2002-04552-C03-02**: *El modelado Karstico y la evolución morfológica y sedimentaria del litoral en las Baleares, Valencia y Cerdeña como resultado de las oscilaciones del nivel marino*.

---

# Continguts

## 1 Les costes rocoses: marc teòric i estat de la qüestió

1.1	Problemàtica en la definició de la costa.....	1
1.2	La costa rocosa com a objecte d'estudi .....	2
1.3	Consideracions terminològiques .....	3
1.4	Agents i processos en el modelat de les costes rocoses .....	7
1.4.1	Els processos hidràulics .....	10
1.4.2	L'acció mecànica .....	11
1.4.3	Els processos físics i químics .....	11
1.4.4	L'acció biològica .....	12
1.4.5	Processos subaeris .....	13
1.5	El paper del rocam i el vector evolutiu .....	13
1.6	Processos marins vs. subaeris .....	13
1.7	Objectius de l'estudi i aproximació metodològica .....	14

## 2 Dinàmica erosiva de les costes rocoses

2.1	Introducció .....	17
2.2	Tècniques instrumentals per al càlcul de taxes d'erosió a les costes rocoses .....	17
2.2.1	Els micròmetres d'erosió (MEM i TMEM) .....	19
2.2.2	L'escàner làser (LS) .....	21
2.2.3	El tests d'exposició (WLRT) .....	22
2.3	Patrons i taxes d'erosió a costes rocoses calculades mitjançant TMEM: s'Alavern .....	22
2.3.1	Àrea d'estudi .....	22
2.3.2	Materials i disseny experimental .....	24
2.3.3	Taxes d'erosió anuals a la costa de s'Alavern .....	25
2.3.4	Variacions horàries de microtopografia a s'Alavern .....	29
2.4	Patrons i taxes d'erosió a costes rocoses calculades mitjançant TMEM: Marengo .....	37
2.4.1	Àrea d'estudi .....	37
2.4.2	Materials i disseny experimental .....	38
2.4.3	Taxes d'erosió anuals a la costa de Marengo .....	39
2.4.4	Variacions horàries de microtopografia a Marengo .....	42
2.5	Patrons i taxes d'erosió a la costa rocosa calculades mitjançant escàner làser (LS) ....	48
2.5.1	Localitats d'estudi .....	49
2.5.2	Materials i disseny experimental .....	51
2.5.3	Resultats i discussió .....	52
2.6	Patrons i taxes d'erosió a la costa rocosa calculades mitjançant tests d'exposició ( <i>weight-loss rock tablets</i> ) .....	54
2.6.1	Àrea d'estudi .....	55
2.6.2	Materials i disseny experimental .....	55
2.6.3	Resultats .....	55
2.6.4	Discussió .....	56
2.7	Patrons i taxes d'erosió a la costa rocosa calculades a partir de la degradació del patrimoni històric: la Torre d'en Beu (Santanyi) .....	57
2.7.1	Notes històriques i àrea d'estudi .....	58
2.7.2	Disseny experimental .....	59
2.7.3	Substrat i formes de meteorització .....	59
2.7.4	Resultats .....	59
2.7.5	Discussió .....	62
2.8	Naturalesa i significat de les taxes d'erosió .....	63

<b>3</b>	<b>La contribució biològica en l'erosió de la costa rocosa</b>	
3.1	Introducció .....	67
3.2	La zonació de les costes rocoses .....	67
3.3	L'acció bioerosiva a les costes rocoses carbonatades .....	70
3.3.1	Acció erosiva dels microorganismes epilítics i endolítics .....	70
3.3.2	Acció erosiva dels macroorganismes perforadors .....	72
3.3.3	Acció erosiva dels macroorganismes brostejadors .....	72
3.4	Patrons i taxes de bioerosió a les costes rocoses de Mallorca .....	73
3.4.1	Materials i mètode .....	73
3.4.2	Els macroorganismes bioerosius de les costes rocoses carbonatades de Mallorca .....	75
3.4.3	La zonació biològica de les costes rocoses de Mallorca .....	78
3.4.4	Densitats i biometries de les poblacions d'organismes bioerosius de les costes rocoses de Mallorca .....	80
3.4.5	Factors que determinen la variabilitat de les densitats dels organismes en la zonació de la costa rocosa de Mallorca .....	85
3.4.6	Taxes i capacitat bioerosiva: resultats i discussió .....	91
<b>4</b>	<b>Freqüència, magnitud i escala en la morfodinàmica de les costes rocoses: s'Alavern com a excusa</b>	
4.1	Introducció .....	95
4.2	Taxes de denudació .....	95
4.3	Taxes de bioerosió .....	96
4.4	Tests d'exposició de peces de roca .....	97
4.5	Taxes de desintegració granular de la façana dels penya-segats .....	97
4.6	Taxes relacionades amb l'acció mecànica de les onades .....	98
4.7	Moviments de masses .....	99
4.8	Discussió .....	99
<b>5</b>	<b>Formes de meteorització i erosió a les costes rocoses carbonatades</b>	
5.1	Introducció .....	103
5.2	Àrea d'estudi .....	104
5.3	Materials i mètode .....	105
5.4	Formes i criteris de classificació .....	106
5.4.1	Formes de planta arrodonida .....	106
5.4.2	Formes lineals controlades per fractures .....	111
5.4.3	Formes lineals controlades per hidrodinamisme .....	112
5.4.4	Formes poligenètiques .....	113
5.5	Distribució i organització del <i>karren litoral</i> a Mallorca i al Migjorn de Menorca .....	115
5.5.1	Cala d'en Guixar (CG) .....	115
5.5.2	Cala Blava (CB) .....	119
5.5.3	S'Alavern (SA) .....	120
5.5.4	Cap Salines (CSA) .....	121
5.5.5	Punta des Sivinar (PS) .....	122
5.5.6	Cala Murada (CM) .....	122
5.5.7	Punta de n'Amer (PA) .....	124
5.5.8	Punta des Faralló (PF) ....	126
5.5.9	Son Bauló (SB) .....	126
5.5.10	Punta de Tacàritx (PT) .....	127
5.5.11	Far de Ciutadella (FC) .....	128
5.5.12	Cap d'Artrutx (CA) .....	130
5.5.13	Cala Turqueta (CT) .....	131
5.5.14	Cap d'en Font (CF) .....	131
5.5.15	Binibèquer (BN) .....	132
5.5.16	Cala Sant Esteve (CSE) .....	132
5.6	L'organització de les formes .....	133
5.7	Observacions mitjançant microscopi electrònic de rastreig (SEM) .....	137



---

5.7.1	Materials i mètode .....	137
5.7.2	Resultats .....	138
5.7.3	Discussió .....	142
5.8	Controls en el desenvolupament de <i>karren litoral</i> .....	145
5.8.1	Controls a macroescala .....	145
5.8.2	Controls a mesoescala .....	146
5.8.3	Controls a microescala .....	147
5.9	Processos, zonació i evolució del <i>karren litoral</i> .....	147
<b>6</b>	<b>Conclusions</b>	
6.1	Dinàmica erosiva de les costes rocoses .....	153
6.2	La contribució biològica en l'erosió de la costa rocosa .....	156
6.3	Freqüència, magnitud i escala en la morfodinàmica de les costes rocoses .....	157
6.4	Formes de meteorització i erosió a les costes rocoses carbonatades .....	158
6.5	Conclusions generals .....	160
	<b>Bibliografia</b> .....	161
	<b>Annexos</b> .....	177

---

# 1 Les costes rocoses: marc teòric i estat de la qüestió

De tots els medis terrestres, la costa és un dels àmbits més atractius perquè constitueix el límit entre el domini pròpiament terrestre i l'estrictament marí, la frontera per antonomàsia. El fet que es tracti d'un medi de transició aboca a una complexitat que es tradueix en un elevat grau de dinamisme: les grans quantitats d'energia que arriben al sistema estableixen un ritme d'activitat, uns canvis en el medi, que difícilment poden ser comparables a d'altres àrees naturals de característiques semblants (Woodroffe, 2003). Les costes des d'una perspectiva socioeconòmica –també cultural– són un espai d'interès elevat. Prop d'un 80% de la població del globus viu no més enllà de 100 km de la costa (Carter, 1988), i és en aquestes zones on hi ha les concentracions urbanes amb major densitat de població. No cal dir, a casa nostra, gaire cosa sobre la importància dels conflictes i de la degradació de la costa, relacionada amb el seu important paper de recurs natural per a l'activitat turística.

## 1.1

### Problemàtica en la definició de la costa

La costa o el litoral, més enllà de l'àmbit de confluència marítimoterrestre (Komar, 1998), és el prisma d'interacció entre l'atmosfera, la hidrosfera, la litosfera i la biosfera (Pardo i Rosselló, 2001). Una zona d'interferència amb certa complexitat espacial i dimensional, atès que la costa no té un caràcter estrictament lineal, sinó que és una franja de terreny més o menys ampla, d'extensió variable i límits imprecisos en cada un dels vectors geogràfics, en el temporal i, també, en el temàtic (Sanjaume, 1985). La determinació sobre l'espai del concepte costa ve condicionat pel criteri amb què s'abordi el seu estudi o la gestió que se'n vulgui fer. Així, sovint es troben biaixos entre allò que la biologia, l'enginyeria, la física, la geologia o l'antropologia, entre d'altres, entenen per costa (Kay i Alder, 1999). En qualsevol cas, cal posar èmfasi en la dificultat d'establir uns límits fixos a la costa, a la interacció dels medis marins i terrestres. El contacte és gradual, equivalent o, de fet, es presenta com un exemple d'allò que l'ecologia defineix com a ecotò; al cap i a la fi, un gradient (Carter, 1988).

La geomorfologia litoral centra el seu interès en l'explicació de la formació i evolució del relleu costaner mitjançant l'estudi de les formes, els sediments i els processos que es donen a la línia de costa actual (Woodroffe, 2003). Aquesta abraça des

dels ambients marins poc profunds, influïts pels factors terrestres, fins a terra endins allà on la influència de la mar es fa palesa a l'actualitat o a una escala temporal més ampla. Tanmateix la costa és un epígraf massa ampli i cal acotar-ne el camp d'estudi. Són moltes les classificacions que s'apliquen als ambients costaners des de perspectives diverses; unes posen l'èmfasi en aspectes estructurals, altres en trets oceanogràfics, morfogenètics o, fins i tot, en l'escala de treball. No debades, l'ambigüitat és palesa i el resultat és una gran quantitat de classificacions i confusió terminològica (Fairbridge, 2004; Finkl, 2004; Gràcia *et al.*, 2001).

Existeix un acord general pel qual la geomorfologia litoral se separa en dos camps, a tot estirar, tres camps de treball que s'ocupen: (a) de la configuració i dinàmica associada a les costes arenoses, (b) dels processos i formes dels penya-segats i (c) de l'evolució temporal, en especial durant el Quaternari, d'ambdós medis. Aquestes divisions tenen el seu origen en la interpretació, des de la perspectiva de la teoria de sistemes, de la cèl·lula litoral i el seu corresponent balanç sedimentari (Stephenson i Brander, 2003). Les principals fonts de sediment del sistema litoral (Fig. 1.1) són la descàrrega del material transportat pels cursos fluvials, l'aportació de l'erosió dels penya-segats i, en un altre ordre, la contribució del material transportat per l'onatge tant per la deriva litoral com pel transport ortogonal a la costa, o bé l'aportació del material detrític o biodetrític marí.

Així doncs, en funció del balanç sedimentari, segons hi predomini l'erosió o l'acumulació de sediment, hom distingeix entre costes d'erosió i costes d'acreció (Davies, 1985; Komar, 1998; Woodroffe, 2003). Dins la categoria de costes d'erosió s'identifiquen les costes amb presència de penya-segats i plataformes litorals actives, mentre que les platges, dunes litorals, albuferes i deltes o estuaris constituïrien els exemples clàssics de costes d'acreció. Les múltiples combinacions entre un tipus d'ambient i un altre dificulten encara més la separació entre ambdues categories (Finkl, 2004).

No és gens senzill considerar les costes rocoses com a sistemes on sols hi predomina l'erosió. De fet són nombrosos els exemples on els moviments de masses generen grans volums de materials que, en forma d'esbaldregalls, queden estabilitzats enfront dels penya-segats (Balaguer *et al.*, 2002; Bird, 1993a; Lahousse i Pierre, 2003a; Nott, 1990). De la mateixa manera, en un context generalitzat d'ascens del nivell

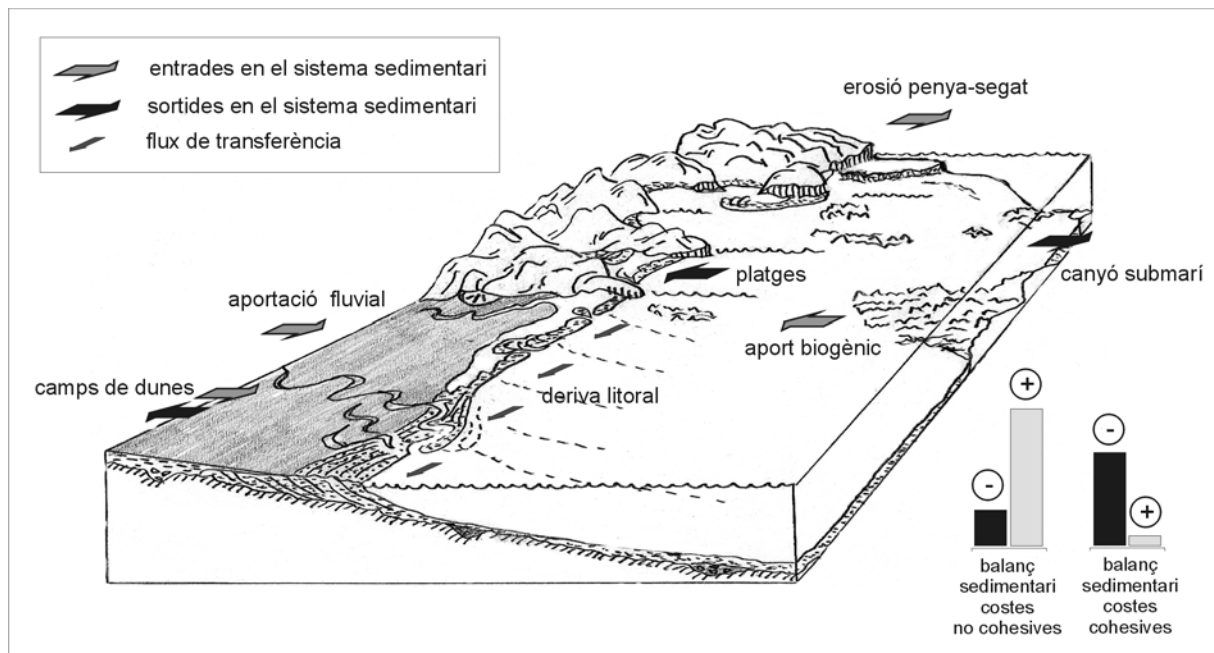


Fig. 1.1 El sistema de cèl·lula litoral en relació al balanç sedimentari i la classificació de les costes.

marí (Long, 2000; 2001), es poden entendre les platges o els deltes com a sistemes estrictament progradants, sense que existeixi una tendència lleugerament negativa en el seu balanç sedimentari?

La resposta no és senzilla, ni depèn d'una sola perspectiva. Per aquest motiu, hi ha qui prefereix separar els principals tipus de costes d'acord amb la naturalesa dels materials que les componen. Així, bàsicament es distingeix entre costes cohesives i no cohesives. Les platges, els deltes o els maresmes s'inclourien dins el grup de les costes no cohesives atès que els materials que les constitueixen no estan litificats i segons les condicions hidrodinàmiques que els afectin poden ser mobilitzats de forma individual. En canvi, les costes cohesives, per oposició, serien aquelles en què el material que les forma es caracteritza per la unió o atracció dels elements constitutius. En aquesta línia, Sunamura (1992) defineix les costes rocoses com la zona de confluència marítimoterrestre composta per materials consolidats amb independència de la seva duresa.

## 1.2

### La costa rocosa com a objecte d'estudi

Les costes rocoses, en les condicions actuals del nivell marí, constitueixen un 80% del perímetre del contacte entre mar i terra (Emery i Khun, 1982); ara bé, bona part de l'èmfasi de la recerca contemporània se centra en platges, maresmes i altres tipus d'ambients amb processos que actuen a unes escales temporals més breus i que són potencialment més vulnerables a un ascens del nivell marí (Trenhaile, 2002).

Pel que fa a la consideració de la costa rocosa com a objecte d'estudi, des d'una perspectiva històrica, podem distingir tres etapes, amb transicions d'una a l'altra més o menys clares, tot deixant de banda els tòpics de les intuïcions d'uns quants savis clàssics o renaixentistes com Herodot o Leonardo da Vinci.

La primera etapa correspondria als fonaments anteriors al segle XX, que bàsicament consideraria les observacions dels naturalistes i les expedicions que hi dugueren a terme. És obligada la referència a Charles Darwin (1846) i l'expedició a bord del *Beagle* arran de les detallades descripcions dels penya-segats de l'illa oceànica de Santa Helena i el paper que assigna a l'onatge en la seva evolució. James Dana (1849), membre de la *United States Exploring Expedition*, descriu i planteja el problema de l'erosió de l'onatge vs. la meteorització com agents dominants en el modelat dels penya-segats i plataformes litorals de Nova Zelanda, Nova Gal·les del Sud i Victòria. Són els anys de consolidació de l'uniformitarisme d'Hutton i de la gestació de l'escola fisiogràfica de Lyell, que emfatitzen la interconnexió entre processos causals i formes resultants (Woodroffe, 2003).

La segona etapa abraça la primera meitat del segle XX i encabeix aquelles recerques que deixen de banda l'àmplia temàtica de la Història Natural per centrar-se en aspectes purament fisiogràfics. És un període amb contribucions bàsicament descriptives que intenten ubicar les formes del relleu litoral en el cicle geogràfic de Davis (1899) o en les alternatives o modificacions que en resultarien. Els treballs arran dels penya-segats tallats a les calcàries cretenques (*chalky*) del Canal de la Mànega i la seva posició

---

entre els estadis de joventut i senilitat del francès de Martonne (1906 i 1909) o de Johnson (1919), en són un bon exemple. En aquest període, també cal fer esment de les primeres observacions sistematitzades sobre les fluctuacions del nivell marí durant el Quaternari (Daly, 1925; Sayles, 1931), així com la identificació d'antigues línies a costes rocoses (King, 1930) que es convertiren en una component predominant de la geomorfologia litoral.

La tercera etapa, que abraçaria de la segona meitat del segle XX cap endavant, suposa un canvi quant a les tècniques, les teories i el volum de producció científica, tant per allò que afecta els estudis de caràcter dinàmic com els de temàtica evolutiva. L'estudi de l'estratigrafia del nivell marí quaternari passà d'una primària correlació altimètrica a litorals estables i sense deformar, a l'aproximació faunística que en refinaria les interpretacions i el significat geomòrfic (Butzer, 1985). El gir substancial vendria a finals de la dècada dels seixanta, de la mà de la revolució cronomètrica, amb l'aplicació del còmput de les sèries d'urani a l'estratigrafia costera. Una de les primeres aplicacions de la datació amb Th/U es desenvolupà amb mostres procedents de Mallorca (Stearns i Thurber, 1965).

Finalment, l'estudi evolutiu de les costes rocoses es capgirà completament a partir de les anàlisis dels isòtops d'oxigen i de la informació climàtica i del nivell marí que se'n deriva (Shackleton, 1987). Val a dir que, tot i que bona part dels estudis evolutius del nivell marí es duen a terme a costes rocoses, pocs d'aquests estudis posen èmfasi en el paper que aquestes fluctuacions tenen en el modelat dels penya-segats i plataformes. En són una excepció els treballs de Blanco *et al.* (2003), Trenhaile *et al.* (1999), Yébenes *et al.* (2002) i Rosselló i Fumanal (1999). Pel que fa a la perspectiva dinàmica, d'ençà de la dècada dels setanta, comptam amb una sèrie de treballs que malden per quantificar la contribució de diferents agents i processos d'erosió –paper de l'onatge, acció de les sals, bioerosió, etc.– a les costes rocoses, això sí, amb un especial interès per les costes carbonatades (Mottershead, 1989; Robinson, 1977a; Schneider, 1976; Spencer, 1985; Stephenson i Kirk, 1998; Trudgill, 1976a i 1987). Aquestes investigacions suposen el pas de la quantificació, mitjançant tècniques analògiques a les digitals o la tecnologia làser (Gómez-Pujol *et al.*, 2002b), així com el desenvolupament de models matemàtics (Cinque *et al.*, 1995; Trenhaile, 2000 i 2001b), o experiments de laboratori a propòsit dels agents de meteorització/erosió mecànica (Sunamura, 1982), química (Trenhaile, 2001a) i biològica (McLean, 1967).

El viratge d'un enfocament purament descriptiu a una quantificació instrumental dels processos que operen a les costes rocoses, també es pot apreciar en els

capítols dedicats a aquest tipus de costa en una seqüència de manuals clàssics de geomorfologia litoral que arrenca amb Guilcher (1958) i Zenkovich (1967) i acaba amb Woodroffe (2003) i Davis i Fitzgerald (2003), tot passant per Davies (1972), King (1972), Tricart (1977), Pethick (1984), Carter (1988), Carter i Woodroffe (1994), Trenhaile (1997) i Komar (1998). En aquest període es publiquen dos dels manuals únicament i exclusivament dedicats a la geomorfologia de les costes rocoses. Ambdós manuals han estat redactats des d'una perspectiva dinàmica. Bona part del seu contingut se centra en els agents i processos que intervenen en el modelat del roquissar litoral i s'atorga un èmfasi menor a l'evolució quaternària de les costes rocoses. Els manuals en qüestió són el del gal·lès establert a la universitat canadenca de Windsor, Alan Trenhaile (1987), i el del professor de la universitat japonesa de Tsukuba, Tsuguo Sunamura (1992).

En el nostre marc geogràfic, principalment a Mallorca i Menorca, el coneixement científic de les costes rocoses és considerable i dilatat en el temps (Balaguer, 2002). Deixant de banda alguns precedents com els treballs de les comissions hidrogràfiques (Gómez, 1894), les memòries dels viatgers il·lustrats o naturalistes que ofereixen descripcions de passada (Grasset de Saint-Saveur, 1897; Vargas, 1787; Weyler, 1854), o d'altres que ofereixin descripcions prou detallades de la línia de costa (Hausburg-Lorena, 1884-91), l'inici del treball pròpiament de geomorfologia litoral de costes rocoses arrenquen amb les observacions a propòsit de les cales mallorquines del geòleg alemany Albrecht Penck (1894) en el seu tractat de geomorfologia. El conjunt de l'obra del geòleg francès Paul Fallot té certa transcendència per a la geomorfologia litoral, en especial els comentaris en què relaciona alguns trets de la costa amb les unitats morfoestructurals de les illes de Mallorca i Menorca (Fallot, 1923). Els treballs de Carandell (1927), on compara les costes del Migjorn i el Llevant mallorquí i les assigna a diferents estadis del cicle geogràfic, apuntant cap a conceptes de "protoneotectònica" i establint paral·lelismes amb la costa nord (si s'entenen les seves afirmacions en el context del seu temps), suposen el punt de partida de la geomorfologia litoral a casa nostra. Les notes de Denizot (1930), d'Hernández-Pacheco (1932) i Mengel (1934), amb qui es tanca la primera etapa de la coneixença de la geomorfologia de les costes rocoses, suposen els antecedents de l'escola quaternarista que dominaria la producció de geomorfologia litoral de la segona meitat del segle XX.

Aquesta escola té dos noms propis, la influència dels quals encara avui és abassegadora. Es tracta del naturalista Joan Cuerda i Barceló i del professor de la Universitat de Texas, Karl W. Butzer. El seu treball de caràcter evolutiu, desenvolupat a les costes rocoses

---

de Mallorca, que arrenca de les observacions de Muntaner (1957), esdevé un referent internacional fins a la consolidació dels estadis isotòpics de Shackleton i Opdyke (1973). Bona part dels treballs de Cuerda, on s'hi aborda l'estratigrafia del nivell marí quaternari a partir de l'estudi de la composició faunística de les platges penjades als penya-segats, principalment de Mallorca, es troben a la seva obra de síntesi *Los Tiempos Cuaternarios en Baleares* (Cuerda, 1975 i 1989). És especialment significatiu el treball en conjunt sobre l'estratigrafia pliocena del Migjorn de Mallorca (Butzer i Cuerda, 1962), així com la síntesi dels cicles sedimentaris litorals pliocens de Butzer (1975). També cal fer esment, dins la línia quaternarista, dels treballs de Solé Sabarís (1962). Dins aquesta segona etapa del coneixement científic de les costes rocoses, un grapat de treballs s'escapen de la temàtica quaternarista. Es tracta dels estudis del microrelleu calcari de Walter-Levy *et al.* (1958) o del treball descriptiu, encara que de referència avui per avui, de la costa de Mallorca de Butzer (1962), que anys després reprendria Rosselló (1975).

El tercer període de la coneixença científica de les costes rocoses l'obrí l'obra del professor mallorquí establert a València, Vicenç M. Rosselló Verger (1962). A la seva tesi, on hi estudia tant els aspectes físics com els humans del Migjorn i Xaloc de Mallorca, dedica un interès especial a les costes rocoses i, en concret, al fet geomòrfic de les cales. Si un tret caracteritza aquest període és el de l'increment de treballs i d'autors arran de la plataforma que suposa tant la Universitat de València, com la de les Illes Balears. No debades, de la filiació dels autors dels articles que s'esmentaran, en destaca la importància de les entitats ludicocientífiques i culturals com a plataformes alternatives a la Universitat. En concret, cal fer referència obligada a la Societat d'Història Natural de les Balears o a la Federació Balear d'Espeleologia. El binomi Quaternari-costes rocoses manté el pes relatiu que caracteritzava l'època anterior. Segueixen apareixent nous jaciments, així com també se'n revisen els antics (Vicens i Gràcia, 1988; Vicens i Gràcia, 1998; Vicens *et al.* 2001; Zazo *et al.* 2003). Significatius són els estudis del nivell marí a partir dels espeleotemes freàtics de coves litorals (Ginés, 2000; Pomar *et al.*, 1975; Tuccimei *et al.* 1998 i 2000) que han permès d'una banda la construcció d'una corba eustàtica força detallada per a la Mediterrània occidental dels darrers 300 ka (Vesica *et al.* 2000; Tuccimei *et al.*, 2006), així com la relació d'aquesta amb el macromodelat i la neotectònica que afecta la costa rocosa del Migjorn i Llevant de Mallorca (Fornós *et al.* 2002). La temàtica del macromodelat litoral a costes carbonatades s'ha relacionat amb aspectes eustàtics, càrstics i fluvials (Rosselló, 1995; Rosselló, 1998) i ha depassat les costes mallorquines per trobar moltes respostes, a la problemàtica que

aquests impliquen, a terres menorquines (Fornós *et al.* 1998; Fornós, 2003; Gelabert *et al.* 2005; Rosselló *et al.* 1997; Rosselló *et al.* 2002; Rosselló, 2003). L'estudi descriptiu de les formes de la costa rocosa, tant a ordre mètric com a escales menors, compta amb nombroses aportacions des de finals de la dècada dels noranta. Cal apuntar aquí les investigacions dels espeleobucejadors i quaternaristes vinculats a la Federació Balear d'Espeleologia i la Societat d'Història Natural de les Balears (Gràcia i Vicens, 1998; Gràcia *et al.*, 2001) així com els estudis detallats del *karren* litoral a Mallorca i a Menorca (Gómez-Pujol i Fornós, 2001; Gómez-Pujol i Fornós, 2004a i 2004b). D'ençà del 1998 i en el marc d'un projecte d'investigació a la Universitat de les Illes Balears, s'aborda l'estudi –des d'una perspectiva multidisciplinària– de la dinàmica erosiva de les costes rocoses (Fornós i Gómez-Pujol, 2002). Entre d'altres resultats, s'han identificat els diferents agents i processos implicats en l'erosió dels penya-segats i les seves taxes d'erosió ja en forma de bioerosió (Villanueva *et al.*, 2000; Gómez-Pujol *et al.*, 2002a; Palmer *et al.*, 2003), en moviments de masses als penya-segats (Balaguer *et al.* 2002) o erosió contínua per desintegració granular (Balaguer i Fornós, 2003), o les taxes corresponents a la meteorització química (Gómez-Pujol i Fornós, 2004c). Des d'un punt de vista aplicat, s'han extrapolat aquests resultats a la meteorització i erosió del patrimoni històric arquitectònic a ambients litorals (Gómez-Pujol *et al.*, 2002c), així com també s'ha assajat lligar les perspectives dinàmiques i evolutives, comparant la preponderància dels processos terrestres i marins en l'evolució dels penya-segats del Llevant mallorquí (Fornós *et al.*, 2005).

### 1.3 Consideracions terminològiques

Com a conseqüència del ritme accelerat amb què s'ha intensificat, els darrers decennis, el conreu de totes les ciències, amb més freqüència, als científics, se'ls plantegen problemes en relació a la terminologia o la nomenclatura. Des d'un punt de vista, són problemes que deriven de la necessitat d'inventar nous mots per als nous terrenys d'exploració i per a la descripció dels nous fenòmens. Des d'un altre punt de vista, són entrebancs derivats d'una comunitat científica cada vegada més gran i de la presència dominant i abassegador de la llengua anglesa, pel que fa a les relacions i publicacions, en detriment de les altres llengües. Aquesta no és una realitat aliena a la geomorfologia, i encara menys a la geomorfologia litoral (Pardo i Rosselló, 2001; Pedraza, 1996; Rosselló, 2004). Sovint es dona el cas que un equip de treball o una escola ha batejat amb un terme un fet específic, mentre que un altre l'ha batejat amb un altre nom; casos de duplicitat i, fins i tot, de multiplicitat terminològica hi són freqüents. El resultat és que els

diferents membres d'una mateixa comunitat lingüística han de recórrer a l'anglès per definir de forma precisa determinats conceptes. Val a dir que els darrers anys són rics en contribucions que malden per corregir aquesta tendència. Això és especialment cert per a la llengua catalana, ja que en l'àmbit de les Ciències de la Terra comptam amb el *Diccionari de Geologia* de l'Institut d'Estudis Catalans – Gran Enciclopèdia Catalana (Riba, 1997), amb les aportacions del *Diccionari de Geografia Física* del TERMCAT (Panareda i Rosselló, 2003) o amb el primer *Manual de Geografia Física* publicat en català (Rosselló *et al.*, 1998). Malauradament, la minsa tradició en l'estudi de les costes rocoses en comparació amb altres matèries, bé des d'una perspectiva fisiogràfica –descriptiva– com dinàmica, ens situa en un escenari, si més no, poc confortable.

Un dels entrebancs terminològics neix de l'ús indistint dels adjectius rocós i rocallós a l'hora d'adjectivar el concepte de costa. Alguns autors prefereixen el terme rocallós en lloc del de rocós per defugir de les semblances amb el terme castellà de *costa rocosa*. Però el binomi que ens ocupa és una constant també a les llengües consolidades com de referència a la ciència: *rock coast* vs. *rocky coast* a l'anglès i *côte rocheuse* vs. *côte rocailleuse* en el cas del francès. Un espigoleig dels diccionaris de referència de la llengua castellana aviat ens ofereix el terme de *rocalloso*, per bé que aquest no ha tengut fortuna en la bibliografia geomorfològica de litoral. L'etimologia dels termes rocós i rocallós es troba en el mot preromà *rôcca*, fet que explica la seva presència en bona part de les llengües romàniques i també germàniques. El seu homònim en llatí pot prendre tres formes: *saxum*, *rupes* (emprat especialment per als murs de pedra), o *scopulus* del qual es deriva el terme escull. L'adjectiu rocós deriva del substantiu roca; a la vegada, rocallós ho fa de rocall, que en el seu torn, té l'arrel en el terme roc (Coromines, 1986; DIEC, 1998). Per roca cal entendre una massa considerable de matèria mineral, en geologia, qualsevol matèria mineral que forma part de l'escorça terrestre. El mot roc designa un fragment o tros de pedra, mentre que el de rocall defineix el conjunt de rocs o fragments despresos de la roca. Així doncs, sota el terme de costa rocosa s'hi encabirien aquells sectors de la costa formats per un cos sòlid i homogeni de roca. L'exemple paradigmàtic el constituïrien aquells penya-segats de perfil recte que cauen a plom mar endins. En canvi, el terme costa rocallosa faria referència a aquells segments de la costa formats per acumulacions de fragments de pedra. Un exemple prou evident en seria un codolar. Ara bé, d'un extrem a un altre, hi ha infinites combinacions, codolars rere els quals s'hi aixeca un penya-segat, penya-segats amb cons d'esbaldregalls o flanquejats per dipòsits de moviments de masses, etc. La solució que es proposa és la d'emprar el terme costa rocosa com a genèric, atès que allò que la defineix en essència és la presència d'un cos de

materials cohesius. En canvi, l'adjectiu rocallós té un sentit més d'instabilitat que, tot i que és la situació dominant de moltes costes rocoses, no és un concepte, segons el nostre parer, prou general, perquè rere la rocalla sempre hi queda la façana de pedra.

En la parcel·la de la toponímia i la parla popular, no hi trobam cap genèric que reculli el conjunt de formes del relleu tallat sobre materials consolidats (Taula 1.1). Termes com espadat, precipici, penya-segat o tall serrat, no tenen cap tradició popular i, com passa amb el terme costa rocosa, són un artefacte acadèmic. No obstant això, és ben viva a la tradició marinenca i a la toponímia illenca, la distinció entre penyes (el vector erosiu del sistema sedimentari) i les platges o cales (ambients de balanç sedimentari positiu) (Aguiló, 1981; 1991 i 1996). Altres substantius habituals, com a apel·latius dels topònims, són: balç, espenyador, frontó, bancal, cingle, pedra, tirada, forapeu o cordó (Ordines, 2001 i 2004).

A la figura 1.2 i taula 1.2, s'hi presenta una proposta terminològica per a la descripció de les costes rocoses. També s'hi faciliten els equivalents en llengua castellana, francesa i anglesa. Els criteris considerats per a la tria dels termes segueixen les recomanacions del pròleg del *Diccionari de Geologia* de l'Institut d'Estudis Catalans i de l'Enciclopèdia Catalana (Riba, 1997). De més a més, s'han adoptat aquells termes de la llengua comuna que eren més acurats per a la descripció de les formes, o processos que es donen a les costes rocoses. Per exemple, per a la definició de les depressions d'ordre mètric a centimètric desenvolupades sobre superfícies subhoritzontals, és preferible el terme cocó i no cadolla, bassa o gnamma. El motiu rau en el fet que cadolla és un terme generalista aplicat a cubetes tancades, principalment sobre roques cristal·lines del medi continental. Aquest és l'equivalent del manlleu serbocroat gnamma. En canvi cocó, encara que no és un terme estès arreu del domini de la llengua catalana, és prou específic perquè, llevat de comptades ocasions i especialment a les Illes Balears, s'empra per designar les depressions de fons pla sobre la roca a vorera de mar i sobre substrats carbonatats. Un altre dels criteris emprats per a l'encuny dels termes és evitar tots aquells adjectius que impliquin un fet genètic quan les formes que descriuen poden ser convergents. És a dir, diferents processos operen sobre la roca i la seva importància relativa varia en funció de les condicions del medi. Un exemple prou clar per il·lustrar aquest criteri és el de les plataformes litorals. Entenem per plataformes litorals aquelles superfícies rocoses horitzontals o subhoritzontals localitzades a la línia de costa (Takahashi, 1975). Existeix un gran confusió terminològica arran de les nombroses descripcions i les diferents escoles que s'han ocupat d'aquest fenomen. Termes com plataformes d'abrasió, plataformes intermareals, plataformes rocoses o de meteorització, *trottoirs*

Terme	Definició i observacions	Topònims
Balç	Arcaisme (<llatí balteum, 'cinyell') que vol dir exactament 'tallserrat', 'penya-segat'.	Sa punta des Balç (Santanyí, Ma)
Banc, bancal	Escalonament en un penyalar vertical. Especialment abundant a les marines mallorquines i el Migjorn de Menorca.	Es Bancals (Llucmajor, Ma) Punta des Bancassos (Santanyí, Ma) Banquet des Coloms (Manacor, Ma) Bancal de na Sarda (Artà, Ma) Ses Bancades (Maó, Ma) El Bancalet (Pollença, Ma) Es Bancalets (Alcúdia, Ma)
Cingle	Espadat de roca que forma timba. A la toponímia d'interior s'empra amb un sentit oposat com a relleix o replà situat entre dues timbes superposades.	Racó des Cingle (Sóller, Ma) Cingle des Pi (Escorca, Ma) Cingle des Càrritx (Escorca, Ma) El Cingle Verd (Pollença, Ma) Es Cingle (Sa Dragonera)
Cordó	Penyals verticals que formen un front recte sense accidents topogràfics. Terme amb un abast geogràfic restringit a l'illa de Formentera.	
Espenyador	Paret vertical arran de mar. Terme amb un abast geogràfic restringit a l'illa d'Eivissa. És freqüent la seva variant castellanitzada, <i>espenyadero</i> .	
Frontó	Paret vertical amb una continuïtat espacial marcada i sense accidents topogràfics en planta.	Frontó des Molar (Manacor, Ma) Es Frontet (Santanyí, Ma)
Forapeu	Promontori espatat. Terme d'abast geogràfic restringit a l'illa d'Eivissa.	
Marès	Penya-segat on aflora la pedra arenisca emprada per a la construcció. És un terme localitzat bàsicament a Menorca i el NW de Mallorca. Habitualment es tracta de pedreres.	Es Marès (Mercadal, Me) Es Maresos (Alaior, Me) El Maresar (Pollença, Ma) Es Maresos des Coll Baix (Alcúdia, Ma) Es Maresos de Solana (Alcúdia, Ma) Es Maresos (Capdepera, Ma)
Pedra	Parets verticals de roca arran de mar, petit illot litoral amb parets abruptes.	La Pedra Alta (Pollença, Ma) Pedra Dura (Pollença, Ma) Sa Pedra de s'Ase (Banyalbufar, Ma) Pedra des Torrent (Capdepera, Ma) Sa Pedra Alta (Ciutadella, Me) Sa Pedra Blanca (Valldemossa, Ma) Sa Pedra Xapada (Son Servera, Ma)
Penya	Parets verticals on queda descoberta una gran massa de pedra.	Punta de ses Penyes Altes (Manacor, Ma) Es Penyalar (Felanitx, Ma) Penyal Roig (Felanitx, Ma) Ses Penyes Roges (Calvià, Santanyí, Ma) El Penyal Gran (Pollença, Ma) Es Penyal des Llamp (Sóller, Ma) ses Penyes Altes (Artà, Ma) Es Penyalar de sa Monja (Calvià, Ma) Penyes d'Alaior (Alaior, Me) Penyes d'Alparico (Ciutadella, Me) Penyals de Curniola (Ciutadella, Me) Ses Penyes Negres (St. Joan de Labritja, Ei) Es Penyalar (Illa dels Conills, Ca) Pedrafort (Llucmajor)
Roca	Parets verticals de roca arran de mar, petit illot litoral amb parets abruptes.	Sa Roca Alta (Son Servera, Ma) Sa Roca (Manacor, Ma) La Roca Llisa (Pollença, Ma) Roca de sa Sal (Ferrerries, Me) Roca de s'Àguila (Alaior, Me)
Tirada	Tram de costa rocosa més o menys recte i continu. Terme d'abast geogràfic mallorquí.	Sa Tirada (Felanitx, Ma)

**Taula. 1.1** Termes genèrics relatius a les costes rocoses (Ma: Mallorca, Me: Menorca, Ei: Eivissa, For: Formentera, Ca: Cabrera).

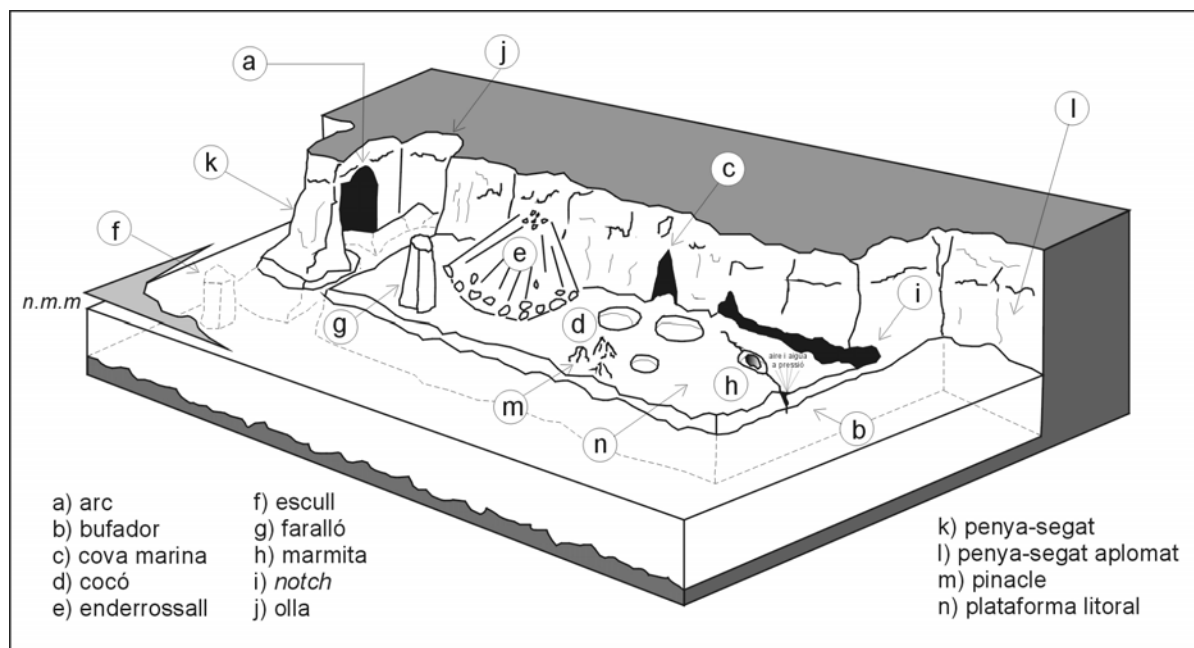


Fig. 1.2 Formes i elements fisiogràfics de les costes rocoses.

rocosos, etc. abunden en la bibliografia. Els estudis de la dinàmica erosiva d'aquests elements de la costa (Griggs i Trenhaile, 1998; Stephenson i Kirk, 2000a i 2000b; Trenhaile, 2002) posen de manifest el paper predominant dels agents de meteorització, biològics i també físics en l'evolució de les plataformes, de manera que no es poden assignar sols a l'acció de l'onatge sobre la roca. Així doncs, cal evitar el terme de plataforma d'abrasió o plataforma d'erosió litoral que proposen Riba (1997) o Panareda i Rosselló (2003), tot i que aquests darrers, al seu *Manual de Geografia Física*, adoptaven el terme més generalista de plataforma litoral o plataforma sotaiguada (Rosselló *et al.*, 1998).

Finalment, s'han adoptat aquells manlleus de llengües estrangeres que tenen un ús consolidat entre els especialistes. Aquest pot ser el cas del mot francès *trottoir* o bé de casos com el de *notch*, que, malgrat tenir alternatives en la llengua comuna –com és el cas de visera, balma, barbacana, barbada– aquestes o bé no són específiques del medi litoral, o bé només designen una part d'aquesta forma. Per exemple, el concepte anglès de *notch* fa referència a la totalitat de la forma, sostre – paret vertical – base horitzontal; en canvi barbacana, balma o barbada, fan referència a la part superior d'aquesta. A més a més, el *notch* és un terme emprat quasi exclusivament per a la geomorfologia litoral.

#### 1.4 Agents i processos en el modelat de les costes rocoses

L'estudi dinàmic de les costes rocoses consisteix a identificar els processos i agents de meteorització i

erosió, així com a aclarir-ne la seva contribució en la formació del relleu. Ara bé, la caracterització dels agents de meteorització i l'erosió sobre substrats rocosos topa amb entrebancs de tipus metodològic i instrumental. En primer lloc, existeix certa dificultat per tal de discernir, de forma intel·ligible, entre els elements del binomi meteorització-erosió en els processos geomòrfics que operen en les situacions reals, no teòriques (Goudie i Viles, 1999). Aquesta situació respon al fet que la meteorització consisteix en un gran nombre de mecanismes, sovint interrelacionats i encara poc compresos, que contribueixen a l'alteració de la roca. Molts, per no dir bona part dels processos de meteorització – meteorització per sals, per radiació tèrmica, canvis en la fase de l'aigua, etc.–, i en especial aquells en els quals juga un paper important la biologia, es coneixen en estructura de caixa negra. És a dir, partim de l'estadi inicial i n'intuïm la situació final que se'n deriva; però no sabem ben bé, o de forma instrumental, com s'ha produït l'alteració del substrat (Viles, 2004). S'hi ha d'afegir que molts processos s'han inferit a partir de les formes, i aquestes no són sempre un indicador prou sòlid dels processos i de la seva importància relativa en els ambients litorals (Trenhaile, 1987; Spencer, 1988 i Stephenson, 2000). Així mateix, també juguen el seu paper, en aquesta distorsió, les velocitats a les quals els mecanismes de meteorització actuen i la seva materialització com a retrocés o desmanegament de la costa. En efecte, la meteorització desenvolupa un doble paper en l'evolució del relleu: d'una banda hi ha mecanismes d'alteració l'efectivitat dels quals, en termes de disgregació del rocam, destaca a escales temporals curtes, mentre que d'altres només tenen transcendència en escales temporals i espacials



---

**arc** *m*

es arco costero  
fr arc côtier  
en sea arch

Obertura a una massa de roca o material cohesiu a la costa resultat de l'erosió diferencial com a resposta de la disposició estructural dels materials, la litologia i la fracturació. També poden estar relacionats amb el col·lapse de coves marines o de cavitats càrstiques.

*Sin. vulg.*: pont

**bufador** *m*

es bufadero, bufón, sopladero  
fr cheminée de jaillissement, soufflard  
en blowhole

Forat vertical a les roques properes a la mar per on surt aire o els esquitxos d'aigua impulsats per les ones a manera de guèisers.

**cova marina** *f*

es cueva marina, *furna* (gallec)  
fr grotte marine, grotte littoral  
en sea cave

Cavitat vora el mar o arran de l'aigua, oberta per l'acció de les onades aprofitant diaclàsis, fractures i diferències litològiques, o bé per un procés càrstic. Generalment són de dimensions modestes.

**cala** *f*

es cala  
fr calanque, crique  
en bight, cala

Entrada del mar en una costa rocosa i abrupta en paisatges calcaris, que respon a un accident tectònic, a un esfondrament o a l'envaïment d'un barranc.

**cocó** *m*

es cubetas, pozas, tinajas  
fr vasque, mares  
en solution pan, basin pool

Depressió de planta el·líptica, poc profunda i de fons pla, amb dimensions de decimètriques a mètriques, de vores aixecades i sovint en sobreplom excavada a la superfície de la roca a la costa, en la qual es reté l'aigua.

*Sin.*: gnamma, cadolla, kamenitza

**enderrossall** *m*

es cono de derrubios, desmoronamiento  
fr éboulement, éboulis  
en scree, talus scree, debris fall

Acumulació detrítica grollera formada per blocs i rocs caiguts i esllavissats per efecte de la gravetat a un vessant escarpat o un penya-segat, i que s'acumula a la part baixa o al peu d'aquest.

*Sin.*: esbaldregall, enderroc

**escull** *m*

es arrecife, escollo

fr écueil, récif  
en rock, reef

Roca a flor d'aigua o a molt poca distància de la superfície de l'aigua, sovint originada pel retrocés d'un penya-segat.

*Sin. vulg.*: altina, baix, barbada, llosa, prim, roca, seca, tenassa

**façana de penya-segat** *f*

es pared o frontal del acantilado  
fr face de falaise, façade de falaise  
en cliff face

Pla frontal del penya-segat.

**faralló** *m*

es aguja marina, farallón, estaca  
fr aiguille  
en stack

Cos de roca, més o menys aguda, que sobresurt del nivell de la mar, generalment pròxima a la costa. Testimoni de posicions anteriors de la façana del penya-segat o del desmantellament d'un arc.

**karren litoral** *m*

es lapiaz litoral, karst litoral  
fr karst littoral  
en coastal karren, phytokarst

Conjunt de formes de meteorització d'ordre centimètric a mètric, que es desenvolupen sobre el rocam carbonatat i en els quals la dissolució juga un paper important. Cocons, pinacles i alvèols de dimensions variades en són els elements més característics.

*Sin.*: rascler litoral, lapiaz litoral

*Sin. vulg.*: carnatge, morter, rellar, puat

*Nota*: és preferible l'ús del terme karren en lloc de karst en el sentit que just es tracta d'una expressió subaèria del fenomen de meteorització (Ginés, 2000). De la mateixa manera termes com rascler o rellar estan estretament lligats a la descripció genèrica d'indrets dominats per formes lineals, com el *rillenkarren* o el *runnenkarren*, mentre que als ambients litorals són dominants les formes de planta circular.

**marmita** *f*

es marmita de gigante  
fr marmite de géant  
en pothole

Depressió de planta arrodonida formades en el substrat rocós per l'acció física tant d'arenes, graves, còdols o blocs que són moguts o giravoltats per l'energia de l'aigua i que acostumen a romandre a l'interior.

**notch** *m*

es balma, muesca, ranura  
fr encorbellement, encoche, corniche  
en notch, groove, nip

Indentació horitzontal de pocs centímetres a bastants metres, tallada a la costa rocosa en el vessant que dona a la mar i relacionada amb el n.m.m.

*Sin.*: balma, visera, cornisa, mòssa  
*Sin. vulg.*: sobalma, barbacana

*Nota*: es proposa el préstec del terme anglès arran de la seva consolidació i especificitat per definir el conjunt de la forma a un ambient *litoral*. Balma, visera i els termes derivats sols fan referència a la meitat superior d'aquesta forma, o bé descriuen formes típiques del relleu continental.

#### **olla** *f*

*es* ensenada  
*fr* crique semi-circulaire, hémicycle d'érosion  
*en* coastal collapse doline

Raconada rodona i parets verticals a vorera de mar. A la seva gènesi s'hi combinen fenòmens estructurals i de col·lapse de cavitats càrstiques o captura de dolines.

*Sin.*: esfondrament, estructures de col·lapse, col·lapse

#### **penya-segat** *m*

*es* acantilado, cantil  
*fr* à-pic, falaise, precipice  
*en* bluff, cliff, sea-cliff

Escarpament rocallós o de material cohesiu de pendent bastant fort, tallat en la línia de contacte entre la terra i el mar o sobre una plataforma litoral.

*Sin.*: tallserrat, espadat

#### **penya-segat aplomat** *m*

*es* acantilado buzante, acantilado a plomo  
*fr* falaise plongeant  
*en* plunging cliff

Penya-segat que descendeix en vertical dins la mar fins a profunditats considerables, sense que es desenvolupin plataformes. Són típics d'una subsidència molt ràpida de la terra, o bé d'un control estructural acusat.

#### **penya-segat compost** *m*

*es* acantilado compuesto  
*fr* falaise composite  
*en* composite sea-cliff, slope over wall

Penya-segat que combina elements i segments de vessant de diferent signe. Pot tenir una aparença esglaonada, confegir vessants còncaus i/o convexos i parets verticals.

#### **pinacle** *m*

*es* aguja, pináculo  
*fr* spitzkarren, pinnacle  
*en* spitzkarren, pinnacle

Cossos de roca piramidal aïllats uns dels altres, d'ordre centimètric i mètric del karren litoral.

#### **plataforma litoral** *f*

*es* plataforma litoral, acera  
*fr* plate-forme littorale, trottoir rocheux  
*en* shore platform

Superfície rocosa horitzontal o subhoritzontal localitzada a la línia de costa arran del nivell de la mar o del nivell lacustre al peu d'un penya-segat.

*Nota*: és preferible evitar l'adjectivació d'aquesta forma (i.e. plataforma d'abrasió litoral, plataforma d'erosió litoral, plataforma de cadolles), atès que són múltiples i concurrents els processos que llavoren el rocam.

#### **trottoir** *m*

*es* acera, banqueteta, trottoir  
*fr* trottoir, trottoir construit, banquette  
*en* trottoir, surf bench, organic crust

Construcció biogènica, produïda principalment per algues calcàries i vermèdids, que es disposa a sobre o adossada a la costa rocosa des de pocs cm per sobre el nivell del mar fins a gairebé un metre per sota.

*Sin.*: tenassa, vorera, androna

#### **zona d'esquits** *f*

*es* zona de salpicadura  
*fr* zone rejaillissement  
*en* splash zone

Segment del perfil de costa on l'aigua de mar arriba habitualment en forma d'esquits.

#### **zona de ruixim** *f*

*es* zona de rociòn  
*fr* zone de embruns, zone de poudrin  
*en* zone of sea spray, spindrift domain

Segment del perfil de costa on l'aigua del mar arriba en forma de polsim aixecada pel vent en rompre una onada i que cau com si fos pluja.

*Sin.*: polvorització, esprai

#### **zona d'onatge** *f*

*es* zona de oleaje, de batida  
*fr* zone de vagues  
*en* swash zone

Segment del perfil de costa on l'aigua de mar arriba després de rompre l'onada.

**Taula. 1.2** Proposta terminològica per a la descripció de les costes rocoses amb especial referència al rocam carbonatat.

llargues (de Boer, 1992). Un exemple prou eloqüent són els treballs d'Spencer (1981) a la costa de l'illa de Grand Cayman. Les calcarenites que estudia es desmantellen per desintegració granular. Els agents de meteorització ataquen el ciment que uneix els grans fins que queden solts. Però, en termes de canvis en la microtopografia, aquests estan relacionats amb

esdeveniments climàtics com les tempestes o els forts vents. Per si no n'hi havia prou, s'hi afegeix la complexitat espacial en el sentit de les dificultats que cal considerar quan es pretén relacionar l'escala en la qual s'hi observa un mecanisme de meteorització, o un procés erosiu, i l'escala en la qual aquest opera i com afecta, tot plegat, a la formació de relleu (Viles,

---

2001). Hom agrupa els processos que actuen a les costes rocoses en cinc grans grups, tot i que a vegades no sigui senzill discernir on acaba l'acció d'un i on comença la de l'altre, o les sinergies que s'hi donen (Griggs i Trenhaile, 1994; Woodroffe, 2003). Els cinc grans grups són: l'acció hidràulica, l'acció mecànica, l'acció fisicoquímica, l'acció biològica i l'acció gravitatòria, a més a més d'altres processos propis dels vessants subaeris.

#### 1.4.1

##### *Els processos hidràulics*

Les forces hidràuliques produïdes per l'onatge inclouen la pressió hidrostàtica, relacionada amb la massa d'aigua, i les pressions dinàmiques relacionades amb el moviment de l'aigua.

La pressió hidrostàtica s'exerceix per la columna d'aigua que hi ha sobre una superfície de roca submergida i augmenta així com ho fa la profunditat. Així, a la costa, hi ha superfícies de roca que romanen tot el temps submergides, però d'altres que experimenten la pressió hidrostàtica de forma alterna, de manera que aquest joc de càrrega i descàrrega de la superfície rocosa pot contribuir al seu debilitament (Trenhaile, 1987).

La pressió dinàmica com a agent de la meteorització-erosió de les costes rocoses involucra les forces de tensió i fricció de l'aigua amb la roca i amb el material solt. L'acció d'impacte continuat sobre el penya-segat, amb onatges de tipus estacionari –clapoteig–, es coneix com a martelleig o impacte hidràulic (*water hammer*). Aquest procés també actua en situacions de rompent, tot i que en un segon terme, després del desfonament o l'arrencada hidràulica (*wave quarrying*) que es produeix arran de les forces de compressió, fricció i tensió que exerceix el moviment de l'aigua. Sunamura (1982), mitjançant simulacions de laboratori, posa de manifest que l'acció de l'onatge per ella mateixa és baixa i que la capacitat erosiva augmenta –com a mínim el doble– si implica transport de material. És a dir, facilita els processos d'erosió mecànica. Les dades empíriques de Blackmore i Hewson (1984) apunten cap a la mateixa línia, si bé destaquen que, com més turbulent sigui l'onatge, es redueix la pressió del seu impacte sobre la roca arran de la gran quantitat d'aire capturat dins la massa d'aigua. O bé, també, que la distribució de la pressió mitjana en la vertical de l'ona és, més o menys, constant.

A les accions estrictament hidràuliques, cal afegir-hi les pneumàtiques derivades de la interacció entre aigua i aire, especialment a esquerdes, canals i conductes amb grans efectes sobre les comunitats biològiques (Gaylord, 1999) i/o en el desmantellament de fragments de roca de mida

variable, afavorits pel diaclasmament i la presència de fractures (Noormets *et al.* 2004; Trenhaile i Layzell, 1981), o els efectes del desfeta de les bombolles d'aire a gran pressió, que es coneix com a cavitació, a la qual se li suposa una acció de desgast de la roca de caràcter físic i també químic (Kaye, 1957).

La figura 1.3 sintetitza les relacions entre el tipus d'ona i l'abast de la seva acció espacial en funció del tipus de penya-segat o plataforma. L'energia de l'ona depèn de la posició on trenca, o de la seva reflexió a la façana del penya-segat. Els penya-segats aplomats o immergits són molt reflectius. Bona part de l'energia associada a l'onatge incident retrocedeix interactuant amb el següent tren d'ones. Aquest fenomen genera una ona estacionària –clapoteig– de nul efecte erosiu (Sunamura, 1992). En aquestes condicions, s'ha suggerit la possibilitat de formació de *notch*, però estretament lligada a la concurrència de l'acció pneumàtica de l'aigua, a l'acció química i a les debilitats del rocam, associades a la fracturació del rocam i a les diferències litològiques (Matsukura, 1988; Sunamura, 1994). Quan la batimetria permet el trencament de l'ona, la pressió dinàmica augmenta respecte a les ones estacionàries i permet la càrrega de sediment a la columna d'aigua. Aquest fet es tradueix en l'acció mecànica sobre la façana del penya-segat. L'operació de les forces hidràuliques sobre les plataformes és força més complexa i presenta diferències de gradació respecte del perfil. Les ones que trenquen al peu de les plataformes subhorizontals (tipus B) es desplacen plataforma endins en forma de corró –*bore*–, tot perdent energia arran de la turbulència i la fricció amb la superfície de la plataforma i la disminució de l'alçària de l'ona. En el cas de les plataformes inclinades, atès que l'alçària d'ona disminueix constantment, l'ona perd energia. La tipologia de rompent d'onada depèn de la batimetria (Trenhaile, 1997): mentre a les plataformes subhorizontals hi dominen rompents per capbussament (*plunging*), a les plataformes amb pendent (tipus A) són més freqüents els rompents d'ona per escampament (*spilling*).

Stephenson i Kirk (2000a), a partir de la instal·lació de correntímetres i l'estudi de les boies en mar profunda i al peu de dues plataformes llavorades a calcàries blanques a la península de Kaikoura (Nova Zelanda), posen de manifest que les ones que rompen a les plataformes no juguen un paper transcendent en l'erosió de les plataformes. Bona part de l'energia de les ones es perd en tornar somes i per la refracció. Només entre un 0,3% i un 8,8% de l'energia de l'ona arriba a peu de plataforma. L'energia de l'ona encara disminueix més quan es desplaça sobre la superfície de la plataforma; sols entre un 4,9% i un 6,8% de l'energia que arriba al peu de plataforma es registra al peu del penya-segat. Si les unitats d'energia es transformen en esforç de cisalla, aquesta és menor que la resistència mecànica de la roca. Aquest fet

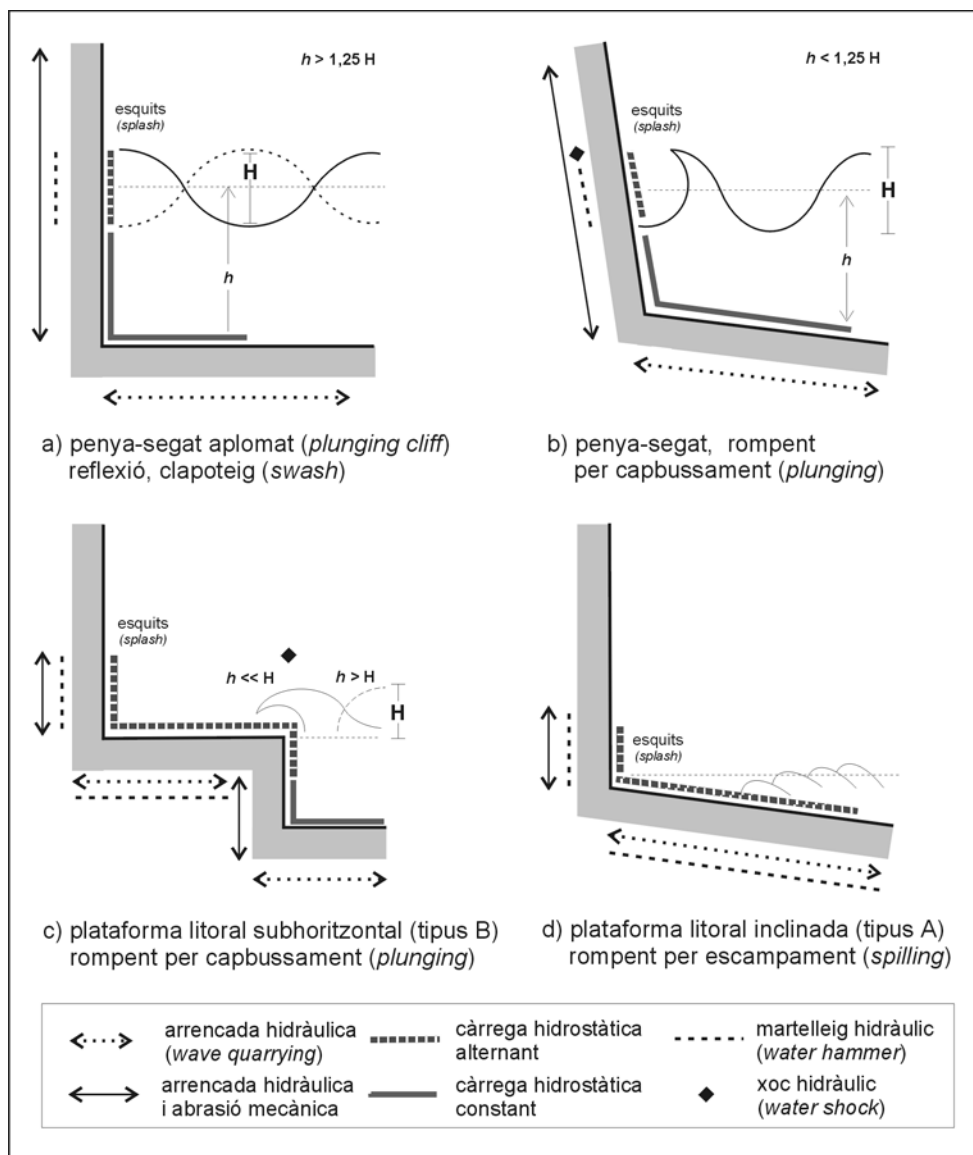


Fig. 1.3 Relació entre el tipus de rompent d'onada i la forma de penya-segats i plataformes (modificat de Trenhaile, 1997).

manifesta l'escassa potència de l'onatge, *per se*, com a agent erosiu.

#### 1.4.2 L'acció mecànica

L'acció mecànica la duu a terme l'onatge quan carrega o desplaça material sedimentari. Aquesta inclou els processos d'abrasió i d'atrició marines. L'abrasió marina és l'erosió de la roca causada pel frec i el xoc pels materials transportats per les ones (Jones i Williams, 1991). Mentre que l'atrició marina és el procés pel qual les partícules de sediment, colpejant la roca i arran de l'impacte, la fragmenten, especialment quan se'n desprenen materials de diferents característiques o propietats mecàniques, com és el cas dels còdols de sílex *-flint-* als penya-

segats llavorats en calcàries crenques *-chalky-* (Williams i Roberts, 1995). La comparació de les taxes d'erosió entre costes rocoses (penya-segats i plataformes litorals), amb presència de materials susceptibles d'actuar com a agents erosius, de metralla (e.g. arenes i graves de platja), posa de manifest la importància de l'acció mecànica. Així, a la costa oriental d'Anglaterra, Robinson (1977b i c) constata que les taxes d'erosió sobre un substrat de turbidites liàssiques és quinze vegades major a les localitats amb disponibilitat de material clàstic, que no allà on no apareixen platges.

En la mateixa línia apunten els resultats de Trudgill (1976a), tot i que amb ordres de magnitud menors, d'1/4 per a les costes rocoses de l'illa oceànica d'Aldabra desenvolupades sobre calcarenites força més dures (Fig. 1.4).

### 1.4.3

#### Els processos físics i químics

Els processos físics i químics relacionats amb l'aigua marina queden sota l'epígraf d'acció fisicoquímica. Són molts els processos de meteorització que actuen sobre el rocam a la costa, i no sempre en tenim un coneixement ni complet, ni prou sòlid. De més a més, sovint estan tan interrelacionats que costa destriar-los (Bland i Rolls, 1998).

La meteorització per l'acció de l'aigua a baixes temperatures és un clàssic a latituds on les temperatures fluctuen amb freqüència per sobre i per sota del punt de congelació. L'aigua pot augmentar un 9% el seu volum quan es congela i genera una acció de falca de la roca que pot arribar a donar taxes d'erosió de 0,3 a 2,5 mm·a<sup>-1</sup> per l'expansió de l'aigua en forma de gel (Hall, 1988).

La meteorització per sals és un dels processos més recurrents a les costes rocoses (Goudie i Viles, 1997) que té el seu origen en el creixement de cristalls de sals, a partir de les solucions que circulen per les esquerdes o saturen la porositat de la roca. Són molts els factors que hi intervenen: des dels canvis en els paràmetres ambientals com la temperatura (Goudie, 1994) o la humitat (Goudie, 2000), tot augmentant les dimensions dels cristalls i la pressió que exerceixen sobre la porositat de la roca. Mottershead (1989) dona taxes d'erosió relacionades amb l'aportació de sals pel ruixim marí de l'ordre de 0,6 mm·a<sup>-1</sup>.

Un altre procés de meteorització física fa referència a la humectació i dessecació de la superfície de les roques arran dels cicles mareals, curts períodes de pluja o temporals. És especialment significativa sobre minerals argilosos o roques amb una porositat baixa i està interrelacionada amb la meteorització per sals (Hall i Hall, 1996). La meteorització per humectació i dessecació s'empra tot sovint com a argument de la meteorització de les costes rocoses, tot i que no hi ha cap prova empírica de la seva efectivitat sobre substrats més o menys durs (Stephenson i Kirk, 2000b).

Entre els processos químics, hom en destaca la hidratació, la dissolució, la carbonatació, la hidròlisi, així com els processos d'oxidació i reducció. Pel que toca a les costes rocoses, hi trobam pocs treballs que analitzin o intentin caracteritzar instrumentalment els processos químics de meteorització. De la mateixa manera, com passa amb alguns processos físics, aquests també s'expliquen o s'interpreten des d'una estructura conceptual de caixa negra. Tal vegada la carbonatació és un dels processos que agrupa més estudis, especialment a partir de l'impuls dels estudis del micromodelat de les costes rocoses carbonatades (Lundberg, en premsa). La carstificació està relacionada amb els efectes del diòxid de carboni

(CO<sub>2</sub>) present en solucions aquoses, que interacciona amb el carbonat càlcic en un conjunt de reaccions reversibles en funció de la saturació respecte CO<sub>2</sub> o CaCO<sub>3</sub>. En principi, l'aigua de mar està sobresaturada de carbonat càlcic (Trudgill, 1985), per la qual cosa no té capacitat de dissoldre la roca. No obstant això, sí que té capacitat agressiva pel que toca al Mg (Trudgill, 1979).

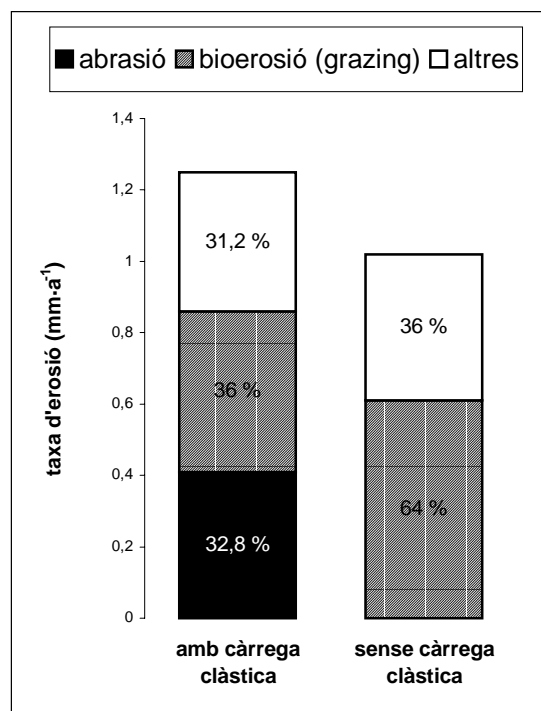


Fig. 1.4 El paper de l'acció mecànica en les taxes d'erosió a les costes carbonatades de l'illa d'Aldabra (Trudgill, 1976a). La presència de material clàstic incrementa en un 20% la taxa d'erosió en les mateixes condicions ambientals per a dos perfils, a la vegada que redueix la contribució del pes relatiu de l'acció biològica.

### 1.4.4

#### L'acció biològica

L'acció biològica fa referència a l'influx dels organismes en l'alteració, erosió i forma de la costa rocosa. Aquesta acció pot tenir diferents signes, per la qual cosa hom parla de bioerosió, bioprotecció i bioconstrucció (Naylor *et al.* 2002) tant per als processos de tipus bioquímics com per als biomecànics. Alguns organismes –rodofícies, crustacis filtradors, esculls de bivalves– poden entapissar la superfície de la costa i protegir-la de l'acció mecànica i de la hidràulica. D'altres, arran de la seva etologia, graten la roca per tal d'obtenir-ne el seu aliment, o bé n'ataquen la superfície amb àcids orgànics (Andrews i Williams, 2000; McLean, 1967). També hi ha organismes que tenen el seu nínxol ecològic a la roca i, per tal de protegir-se dels

depredadors, o a causa del seu creixement, alteren la roca. Entre d'altres, hi ha, especialment els cianòfits, certs mol·luscs del gènere *Lithophaga*, o les esponges del gènere *Cliona* (Pohl i Schneider, 2002; Viles, 1987b).

#### 1.4.5

##### *Processos subaeris*

Finalment, cal esmentar l'acció dels processos subaeris que desenvolupen la seva acció als penya-segats i plataformes litorals que abracen des de la caiguda de petits fragments de roca, o la reptació dels vessants, fins als grans moviments de masses. Els processos subaeris que operen a les costes estan relacionats amb l'aportació d'aigua de precipitació i d'escolament. De fet, bona part dels moviments de masses semblen ser la resposta a la càrrega hidràulica de la roca (Duperret *et al.*, 2002) mediatitzada per l'estructura i les diàclasis de la roca (Blanco, 2001; Dibb *et al.*, 1983; Jones i Williams, 1991). Cal posar de manifest que, tant l'aigua d'escolament com la de precipitació, juguen un paper important pel que fa als mecanismes de meteorització fisicoquímica.

### 1.5

#### El paper del rocam i el vector evolutiu

El ritme d'erosió de les costes rocoses i les formes que adopten estan relacionades, d'una banda, amb els processos que modelen el rocam (físics, químics, biològics i antròpics) i, d'altra banda, amb el tipus de roca, l'estratigrafia, l'estructura i el vector temps (Dibb *et al.*, 1983). Aquest darrer cal entendre'l des d'una doble perspectiva; en primer lloc, com el temps durant el qual els processos d'erosió-meteorització han actuat sobre la costa i, en segon lloc, com la història climàtica, geològica de la costa i els seus testimonis (Trenhaile, 2002).

El **tipus de roca** que aflora als penya-segats o plataformes és extremadament important a l'hora de determinar la taxa d'erosió. A grans trets, les roques ígnies i metamòrfiques, en condicions d'escassa alteració, són més resistents als processos d'erosió marins i subaeris, que no les roques sedimentàries. De la mateixa manera, és més ràpid el desmantellament en les roques sedimentàries no cohesives que en les cohesives. Dickson *et al.* (2004) avaluen el paper de la litologia com a control de la forma de la costa a l'illa de Lord Howe (Pacífic sud-oriental). La majoria de les plataformes litorals, en aquesta illa, es desenvolupen en roques relativament dèbils, com són calcarenites i bretxes calcàries. Mentre que quan afluïren els basalts o les seqüències de bretxes piroclàstiques, les plataformes són menys amples o directament es topa amb penya-segats.

El temps d'exposició del rocam als agents i processos de meteorització i erosió, també en varia les propietats geomecàniques, de manera que el vector temporal tampoc no es pot descartar, pel que fa al paper de resposta del rocam. Així, en base a la reducció de la resistència mecànica, mesurada mitjançant un escleròmetre (*Schmidt Hammer*), Dickson i Woodroffe (2005), Thorton i Stephenson (2006) i Trenhaile (2001) posen de manifest com una mateixa litologia respon de manera diferent als processos de meteorització i erosió segons els tipus de costa i els factors ambientals.

Les **debilitats estructurals internes** (junttes, fractures i diàclasis) també exerceixen un paper important com a controls primaris de la forma i de les taxes d'erosió de les costes rocoses. Els plans de debilitat afavoreixen i acceleren l'acció de l'onatge i accentuen les irregularitats del rocam (Fookes *et al.*, 1988). Sovint, molts penya-segats aplomats es corresponen amb penya-segats estructurals, on el pla de falla delimita la façana del penya-segat (Dickson *et al.*, 2004; Fornós *et al.*, 2005). En altres ocasions, la fracturació facilita el desmantellament del penya-segat o de la plataforma perquè d'una banda ofereix més superfície de roca a l'atac dels processos i, per l'altra, en redueix la resistència mecànica (Sunamura, 1978). Aquest és el cas d'un sector de penya-segats de Waitemata al nord de la ciutat d'Auckland (Nova Zelanda), on un mateix cos de turbidites presenta perfils de penya-segat i velocitat de retrocés amb proporció a la densitat i orientació de diàclasi i fractures (de Lange i Moon, 2005).

Un dels altres problemes a considerar en l'estudi de les costes rocoses és si les formes que ens ocupen són contemporànies o elements relictos, **formes heretades**. Atès que les velocitats de canvi són relativament lentes i que el nivell marí es correspon amb nivells d'altres estadis isotòpics, es poden generar distorsions a l'hora de lligar paràmetres morfològics, com l'alçària del penya-segat, el gradient de la plataforma, o bé l'amplària de la plataforma, amb els paràmetres ambientals contemporanis, com són el clima d'onades, l'amplitud mareal o la mateixa resistència mecànica de les roques (Trenhaile, 2002). Els treballs de Trenhaile *et al.* (1999) i Blanco *et al.* (2004) recomanen considerar el vector evolutiu de les costes rocoses en l'estudi morfodinàmic d'aquests tipus de relleus.

### 1.6

#### Processos marins vs. subaeris

Un dels debats encara vigents entre les diferents escoles que treballen sobre la morfodinàmica de les costes rocoses és el de la preponderància dels processos de meteorització subaeris i/o físics-químics-biològics sobre l'acció hidràulica i viceversa

(Trenhaile, 2002; Stephenson, 2000; Stephenson i Brander, 2003).

El col·lectiu d'investigadors formats a terres australianes i a Nova Zelanda, encapçalat pel Dr. Wayne Stephenson de la Universitat de Melbourne (Austràlia), desenvolupen una línia de treball on s'emfatitza el paper de la meteorització en la morfodinàmica de les costes rocoses, en especial de les plataformes litorals, tot atorgant a les forces hidràuliques just un paper de remoció dels materials alliberats (Stephenson i Kirk, 2000a). En canvi, l'escola que encapçala el Dr. Alan S. Trenhaile de la Universitat de Windsor (Canadà) posa l'èmfasi en el paper de l'onatge, l'amplitud de marea i el clima d'onades en la dinàmica de les costes rocoses. Així mateix, també en destaca el control litològic i l'estructural (Trenhaile, 2004b). Mentre, l'escola "austro-neozelandesa" parteix del seguiment instrumental de l'erosió i l'alteració del rocam a les costes rocoses, l'escola "atlàntica" posa l'èmfasi en les relacions entre variables morfològiques (com el pendent i l'amplada de les plataformes) i paràmetres ambientals, com l'amplitud de marea.

No obstant això, la necessitat de reduir la distorsió de factors com la meteorització per sals o les pròpies mareas ha dut ambdues escoles a treballar en la morfodinàmica de les costes rocoses a llacs (Allan *et al.*, 2002; Trenhaile, 2004a), posant de manifest que, en diluir-se el paper dels agents costaners habituals, guanyen importància d'altres relacionats amb el rocam, la neotectònica o el pes de les formes heretades.

Recentment, ambdues escoles tendeixen a convergir arran de les relacions entre l'amplitud de marea i l'abast dels processos de meteorització per humectació i dessecació (Trenhaile, 2005) i els resultats dels experiments de laboratori que en reproduïxen les condicions i cicles ambientals (Kanyaya i Trenhaile, 2005). De tota manera, l'escola, més tost marina, encara manté el discurs de la preponderància de l'onatge tot qüestionant l'eficiència del processos de meteorització en la configuració de les formes del relleu litoral.

## 1.7

### Objectius de l'estudi i aproximació metodològica

El coneixement científic de les costes rocoses des d'una perspectiva morfodinàmica, i especialment en el nostre marc geogràfic, ens obliga a plantejar el nostre treball des d'una perspectiva inductiva. D'aquí ve que no s'arrenqui d'una hipòtesi de treball, sinó d'uns objectius que permetin consolidar el coneixement que tenim sobre les costes rocoses carbonatades de Mallorca.

Així doncs els objectius de la present memòria són:

1. Identificar els principals agents i processos d'erosió-meteorització que intervenen en el modelat de les costes rocoses carbonatades de Mallorca.
2. Quantificar-ne la contribució en les taxes de denudació del rocam litoral.
3. Establir paral·lelismes amb els processos i agents que operen en altres tipus de costes rocoses.
4. Caracteritzar les principals expressions morfològiques associades als agents i processos d'erosió i meteorització que modelen les costes carbonatades de Mallorca.

L'estudi del modelat de les costes carbonatades de Mallorca és un projecte ambiciós, el marc general d'aproximació metodològica del qual s'esbossa a la Fig. 1.5. Fornós i Gómez-Pujol (2002) en presenten les principals fites, que són la combinació d'una perspectiva descriptiva i l'altra de dinàmica, a tres ordres de magnitud d'escala diferent (macro, meso i micro escala).

En una primera fase s'ha procedit a la cartografia de les formes del relleu de la costa a escales d'1:1000 i 1:250. El resultat és una base de dades entorn a la distribució de les formes del relleu, el control estructural i litològic i les variacions espacials de la línia de costa. Hi segueix un aixecament topogràfic de models digitals del terreny i de perfils de costa a partir dels quals es delimita la zonació biològica i morfològica, com també se'n quantifiquen les propietats de formes com les plataformes litorals o la façana dels penya-segats. Finalment, les observacions de microscopi electrònic de rastreig o l'estudi petrogràfic del rocam permet obtenir informació qualitativa dels processos i agents de meteorització.

A l'hora de quantificar les taxes de denudació, el seu abast temporal i espacial, sobre la base de la informació descriptiva anterior, s'avalua el retrocés dels penya-segats mitjançant l'anàlisi de fotografia aèria, entrevistes amb residents a la costa, trampes de sediment, tests d'exposició, seguiments temporals amb micròmetre (TMEM) i l'escàner làser i l'avaluació de les taxes de bioerosió.

La present memòria no recull tota la informació que es deriva del desenvolupament d'aquest marc de treball que, des de l'any 1998, es desenvolupa a les costes rocoses de Mallorca per un nodrit grup d'especialistes sota la coordinació del Dr. Joan Fornós.

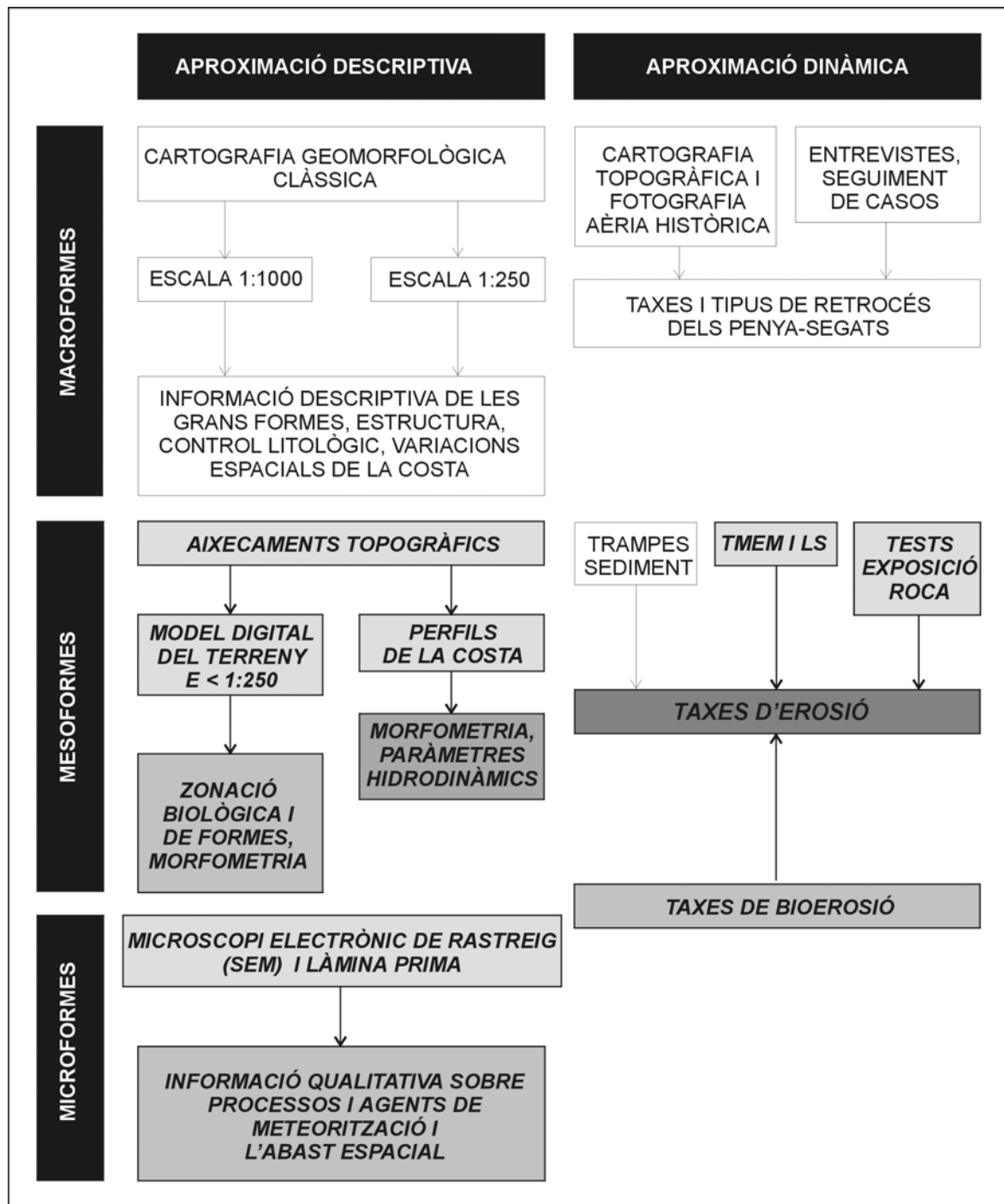


Fig. 1.5 Aproximació metodològica a l'estudi morfo dinàmic de les costes carbonatades de Mallorca (Fornós i Gómez-Pujol, 2002). Els quadres en cursiva i negreta corresponen als continguts de la present memòria. SEM: microscopi electrònic de rastreig.

De fet, i com s'indica a la Fig. 1.5, part d'aquest corpus documental correspon a la memòria de tesi que, en paral·lel, ha desenvolupat Pau Balaguer (Balaguer, 2006) i que abasta la component vertical dels penya-segats pel que fa a les seves velocitats i a la tipologia de retrocés.

Així doncs, un cop marcades les línies generals d'aproximació metodològica, a cada capítol de la present memòria, s'especificarà el mètode emprat arran de la casuística que es dona en els diferents escenaris d'estudi i les particularitats dels agents i processos de meteorització que s'hi han identificat.





---

## 2 Dinàmica erosiva de les costes rocoses

### 2.1

#### Introducció

D'ençà de trenta anys enrere fins a l'actualitat, la investigació sobre la morfodinàmica de les costes rocoses ha comptat amb nombroses contribucions que han maldat per quantificar les taxes de denudació del rocam litoral, especialment des de la introducció de la tècnica instrumental del micròmetre –MEM– dissenyat per High i Hanna (1970). Fins llavors, les taxes de denudació de les costes rocoses partien de fonts indirectes (Taula 2.1) com l'estudi de la meteorització de superfícies datades per inscripcions –memorials, tombes o indicadors– (Emery, 1941), l'anàlisi química de l'aigua retinguda als cocons (Revelle i Emery, 1957) o els canvis d'altura relativa registrats mitjançant agulles d'erosió (Hodgkin, 1964).

Les taxes de denudació, enteses com l'erosió vertical de les superfícies subhorizontals de la superfície de la roca, han estat calculades per un bon nombre d'investigadors (Trudgill, 1976a i b; Robinson, 1977a i b; Kirk, 1977; Spencer, 1981 i 1985; Gill i Lang, 1983; Viles i Trudgill, 1984; Mottershead, 1989; Stephenson i Kirk, 1996 i 1998; Neves *et al.*, 2001; Foote *et al.*, 2001; Andrade *et al.*, 2002; Swantesson *et al.*, en premsa), sobre diferents tipus de roques i arreu del globus (Taula 2.2).

Trudgill (1976a; 1976b) utilitzà el MEM i els tests d'exposició de roca (*weight-loss rock tablets*), per tal d'avaluar la contribució relativa de la bioerosió, l'abradió i la meteorització a les costes carbonatades d'Aldabra. Kirk (1977) desenvolupà el primer mostratge espacial al llarg de les plataformes litorals i posà de manifest que les taxes d'erosió són majors als extrems interiors (peu de penya-segat) i exteriors de la plataforma (*seaward drop*), que no en els espais intermedis. Robinson (1977a i 1977b), per la seva banda, proposà que l'erosió de les plataformes litorals responia a la meteorització (humectació i dessecació) i a l'abradió hidràulica, tot quantificant el paper de cada una d'elles. També demostrà la importància de la disposició de sediment pel que fa al paper de l'acció mecànica sobre les costes rocoses (Robinson, 1977c). Spencer (1981 i 1985) fou el primer d'emprar el micròmetre de dial mòbil, TMEM, (Trudgill *et al.*, 1981) a les costes rocoses que, respecte del MEM, suposa la possibilitat d'obtenir un major nombre de mesures d'erosió. Spencer en els seus treballs destaca la importància de l'onatge com a agent de remoció, ja que les majors taxes d'erosió a Grand Cayman es donen sempre després dels grans temporals. Ara bé,

no hi ha evidències visuals de l'acció mecànica dels processos hidràulics. Mottershead (1989) lliga les taxes d'erosió que registra a la costa gal·lesa a la meteorització per sals, atès que les taxes d'erosió més importants del perfil de costa estudiat es donen al domini supramareal. Stephenson i Kirk (1996; 1998) i Inkpen *et al.* (2004) són els primers a detectar variacions estacionals en l'erosió de les plataformes litorals de Kaikoura a Nova Zelanda. Durant l'estiu, les taxes d'erosió són força més grans que durant l'hivern, període en el qual es donen els temporals més energètics a la zona. Aquest fet s'utilitza com a argument de la importància dels processos de meteorització subaèria, en especial de la meteorització per sals i de la meteorització per humectació i dessecació (*wetting and drying*).

### 2.2

#### Tècniques instrumentals per al càlcul de taxes d'erosió a les costes rocoses

La realització de mesures acurades de les taxes de denudació de superfícies rocoses, o bé l'obtenció de mapes de detall de la microtopografia de les superfícies, és un dels objectius més importants dels estudis centrats en els processos erosius i de meteorització. No gaire temps enrere i, encara avui per avui, bona part de les estimacions de taxes de denudació s'obtenien mitjançant tècniques o evidències indirectes (Williams *et al.*, 2000). Exemples en són el càlcul dels soluts en suspensió als cursos fluvials (Goudie, 1990) i el desmanegament de superfícies susceptibles de ser datades, com és el cas de les tombes (Williams & Robinson, 2000) o dels monuments històrics (Lageat *et al.*, 1994; Takahashi *et al.*, 1994), o bé de les superfícies polides pel gel glacial (Swantesson, 1992). Tanmateix, l'escala i fiabilitat d'aquestes mesures és força relativa i els valors que s'hi aboquen fan referència a una escala temporal secular, de dècades o, en el millor dels casos, anual.

El desenvolupament de tècniques instrumentals, com el micròmetre (*micro-erosion meter*, MEM), ha transformat els estudis dels processos de meteorització i erosió de les superfícies rocoses ja que permet l'obtenció de taxes directes de denudació a escales anuals, estacionals i, en alguns casos, també diàries. Des de la seva invenció a la dècada dels seixanta (High & Hanna, 1970), el MEM ha esdevingut un dels aparells estàndard per a la quantificació dels processos de meteorització i d'erosió en un ample espectre d'ambients dinàmics.

Autor	Mètode	Taxa (mm·a <sup>-1</sup> )	Litologia	Localitat
Emery (1941)	Alteració d'inscripcions datades	0,3	Calcarenites	La Jolla, Califòrnia (EUA)
North (1954)	Pèl·lets fecals gastròpodes	0,6	Calcarenites	Califòrnia (EUA)
Revelle i Emery (1957)	Anàlisi química aigua cocons	0,3	Calcàries	Illes Marshall (EUA)
Hodgkins (1964)	Agulles d'erosió	0,6 a 1,0	Calcàries	Norkfolk, Austràlia

**Taula 2.1** Taxes d'erosió de la superfície de les costes rocoses a partir de fonts indirectes.

Tot i que hi ha autors que són partidaris del disseny original, altres prefereixen utilitzar la versió modificada del MEM, el micròmetre de dial mòbil (TMEM, *Traversing micro-erosion meter*) desenvolupat per Trudgill *et al.* (1981). Amb posterioritat, s'hi han afegit diferents innovacions tècniques, com són els rellotges comparadors digitals i el registre automàtic de les dades en ordinadors personals (Stephenson, 1997).

D'uns anys ençà, els avenços en la tecnologia làser han permès als geomorfòlegs gaudir d'un mètode alternatiu per a l'obtenció directa de taxes d'erosió a partir de la microtopografia d'una mateixa superfície de roca en diferents episodis temporals (Swantesson, 1994). En comparació amb els dos tipus de micròmetres (MEM i TMEM), en què les dades s'obtenen de forma manual i requereixen del contacte físic entre la superfície de la roca i el mecanisme de mesura, el rastreig de les superfícies, mitjançant làser, permet que l'operació sigui dirigida a través d'un ordinador i evita les distorsions derivades del contacte mecànic de l'instrument de mesura amb la roca. Gómez-Pujol *et al.* (2002b) avaluen els avantatges i els inconvenients de l'ús de les tres tècniques esmentades per a l'estudi de l'erosió i la meteorització a les costes rocoses. Entre d'altres variables (Taula 2.3), posen de manifest el grau de resolució, el volum

de dades obtingudes, la capacitat de mostratge espacial, etc. D'un instrument a un altre hi ha una gradació quant a les prestacions. Del MEM a l'escàner làser, tot passant pel TMEM, canvia substancialment el volum de dades amb què es treballa i, per tant, la fiabilitat de les mesures. De la mateixa manera, la capacitat de mostratge espacial, que és major i factible –en termes econòmics i temporals– per als micròmetres, es redueix dràsticament per a l'escàner làser.

Una de les darreres tècniques que s'ha desenvolupat, tot i que encara es troba en una fase experimental, és l'obtenció de microtopografies a partir de tècniques fotogramètriques (Inkpen *et al.*, 2000). El principi d'aquesta aproximació consisteix a obtenir fotografies paral·leles en el pla de la superfície, mitjançant una lent que no tenguí distorsions o bé a partir de la rectificació geomètrica del fotograma. A partir d'uns punts de control, s'assignen valors d'altura relativa i es converteix el fotograma en un model digital d'elevacions.

Tot i així es reproduïxen les fonts d'error de la fotogrametria tradicional derivats de la calibració de les lents, l'ajust dels aparells estereoscòpics, o les distorsions derivades de l'escala i l'orientació (Lane *et al.*, 1993).

Autors	Tècnica	Interval mostratge (anys)	Taxa (mm·a <sup>-1</sup> )	Litologia	Localitat
Andrade <i>et al.</i> , 2002	MEM	2	0,20 – 4,00	Turbidites	Portugal
Foote <i>et al.</i> , 2001	MEM	2	0,68 – 8,83	Calcàries cretenques	Normandia i Sussex
Neves <i>et al.</i> , 2001	TMEM	1	0,153	Turbidites	Tombadoiros, Portugal
Stephenson i Kirk, 1998	TMEM	2	1,130	Calcàries i lutites	Kaikoura, Nova Zelanda
Stephenson i Kirk, 1996	MEM	20	1,480	Calcàries i lutites	Kaikoura, Nova Zelanda
Mottershead, 1989	TMEM	7	0,625	Esquists	Start-Prawle, Devon, UK
Viles i Trudgill, 1984	MEM	11	1,970	Calcàries	Aldabra Atoll, Ocea Índic
Gill i Lang, 1983	MEM	2	0,370	Arenisques	Otway, Victòria, Austràlia
Spencer, 1985	TMEM	1.25	0,09 – 1,77	Calcàries	Grand Cayman, Carib
Spencer, 1981	TMEM	1.25	0,38	Calcàries	Grand Cayman, Carib
Kirk, 1977	MEM	2	1,53	Calcàries i lutites	Kaikoura, Nova Zelanda
Robinson, 1977b	MEM	1	0,0 – 0,9	Turbidites	Yorkshire, UK
Trudgill, 1976	MEM	2	1,01 – 1,25	Calcàries	Aldabra Atoll, Ocea Índic

**Taula 2.2** Taxes d'erosió de la superfície de les costes rocoses calculades mitjançant MEM i TMEM.

Propietats	MEM	TMEM	LS
Resolució (mm)	0.0025 a 0.001	0.0025 a 0.001	0.025
Volum màxim de dades	3	1.000	1.000.000
Cobertura espacial	Àmplia	Àmplia	Limitada
Temps mitjà de mostratge	5 minuts	15 minuts	2 hores
Submergible	Sí	Sí	No
Discriminació de processos	No	No	No
Fonts d'error	Importants	Baixes	Escasses
Transport	Senzill	Senzill	Complicat
Preu aproximat	450 €	1060 €	24000 €

**Taula 2.3** Avaluació dels avantatges i inconvenients de les diferents tècniques instrumentals per a l'estudi de l'erosió.

### 2.2.1

#### *Els micròmetres d'erosió (MEM i TMEM)*

El **micròmetre d'erosió** (*micro-erosion meter*, MEM) és un instrument que fou dissenyat a finals de la dècada dels seixanta pels geògrafs de la Universitat de Bristol, C. High i F.K. Hanna, amb la finalitat de mesurar taxes d'erosió, relativament baixes, sobre substrats durs.

L'estructura física del MEM consisteix en una base d'acer amb forma de triangle equilàter que descansa sobre tres potes cilíndriques ubicades a cada vèrtex (Figura 2.1). Aquesta base té subjecte en el centre un rellotge comparador (comercialitzat i d'ús comú a la indústria) que, mitjançant un forat a la base, pot recolzar el cursor o agulla indicadora sobre la roca (High i Hanna, 1970).

Les taxes d'erosió s'obtenen a partir de la lectura del dial calibrat que, ancorat a la base, descansa sobre tres grampons de cap esfèric fixats a la roca. La relocalització exacta del MEM sobre tres punts respon als principis cinemàtics de Kelvin-Clamp (Ford, 1971). Aquests consisteixen en l'execució de sis controls cinemàtics en les potes del MEM: tres sobre la component de translació i altres tres sobre la component de rotació. Aquests controls es materialitzen gràcies a la forma de cada una de les potes del MEM; una presenta una depressió cònica de 120°, una altra una entalladura en forma de "v" amb un angle intern també de 120° i, finalment, la tercera és completament plana. Aquest mètode de relocalització té com a principal avantatge que la precisió de l'instrument és independent de la cura amb què s'han elaborat cada un dels elements del dispositiu. El dial del rellotge comparador no està situat al centre de la base per la qual cosa, amb la rotació de l'instrument sobre els grampons de relocalització, es poden obtenir tres valors d'altura relativa.

La precisió de l'instrument varia en funció del dial, que pot tenir resolucions de 0,001 mm a 0,00001 mm

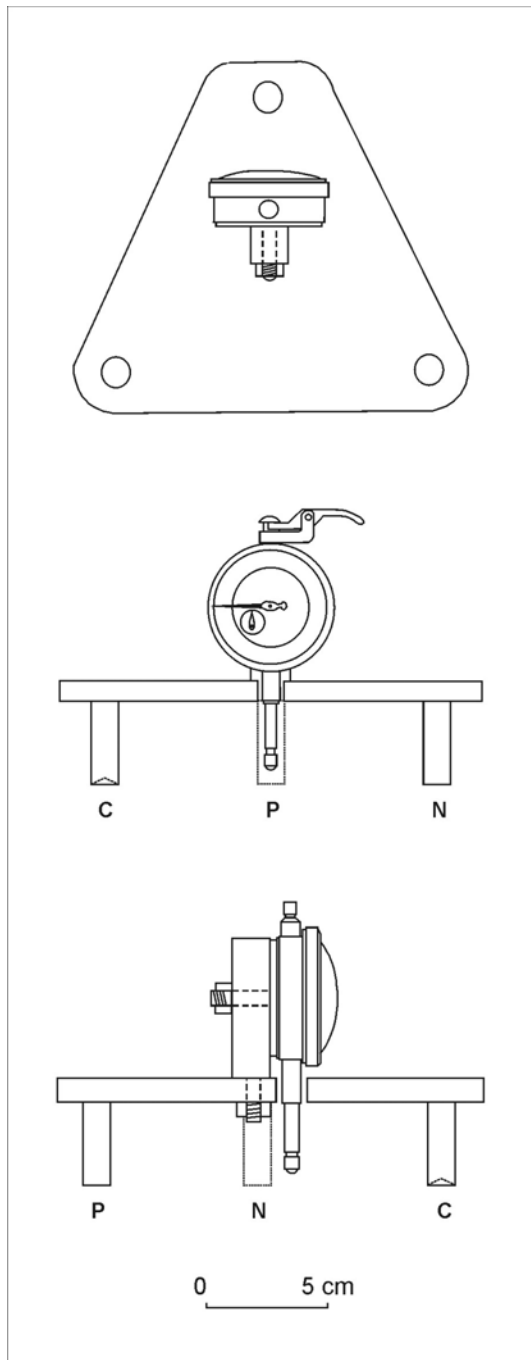
(Trudgill, 1977). High i Hanna (1970) posen de manifest que les principals fonts d'error del MEM són degudes a les variacions de temperatura o al propi impacte de l'agulla del MEM sobre la superfície, fet que fa augmentar la taxa d'erosió. Els mateixos autors reconeixen que, amb rangs de temperatura entre 10 °C i 20 °C, l'error causat per l'impacte de l'agulla sobre la superfície de la roca, a substrats blans, adquireix magnituds considerables. No obstant això, l'impacte de l'agulla del MEM no ha de considerar-se un problema greu, encara que disminueix la precisió tècnica de l'instrument, perquè pot reduir-se amb l'ús acurat (Mottershead, 1989; Stephenson i Kirk, 1996).

Un dels principals problemes del MEM és el reduït nombre de dades que poden obtenir-se'n per cada punt de mostratge. Per aquest motiu, Trudgill *et al.* (1981) modifiquen la versió original del MEM, independitzant el rellotge comparador de la base. El **micròmetre d'erosió de dial mòbil** (*traversing micro-erosion meter*, TMEM) descansa sobre tres braços separats entre ells per intervals de 120° (Fig. 2.2). El dial calibrat pot ubicar-se en diferents posicions, cada un dels braços del qual descansa entre les esferes fixades en el marc de la base. El centre de la base està retallat per tal de permetre el desplaçament del dial. Amb la ubicació dels braços en sentit perpendicular al costat de la base, queda definit el sistema de coordenades on es registraran els valors d'altura relativa. El nombre d'observacions depèn de les dimensions de la base del TMEM i del nombre d'esferes instal·lades a cada un dels tres laterals de la base triangular.

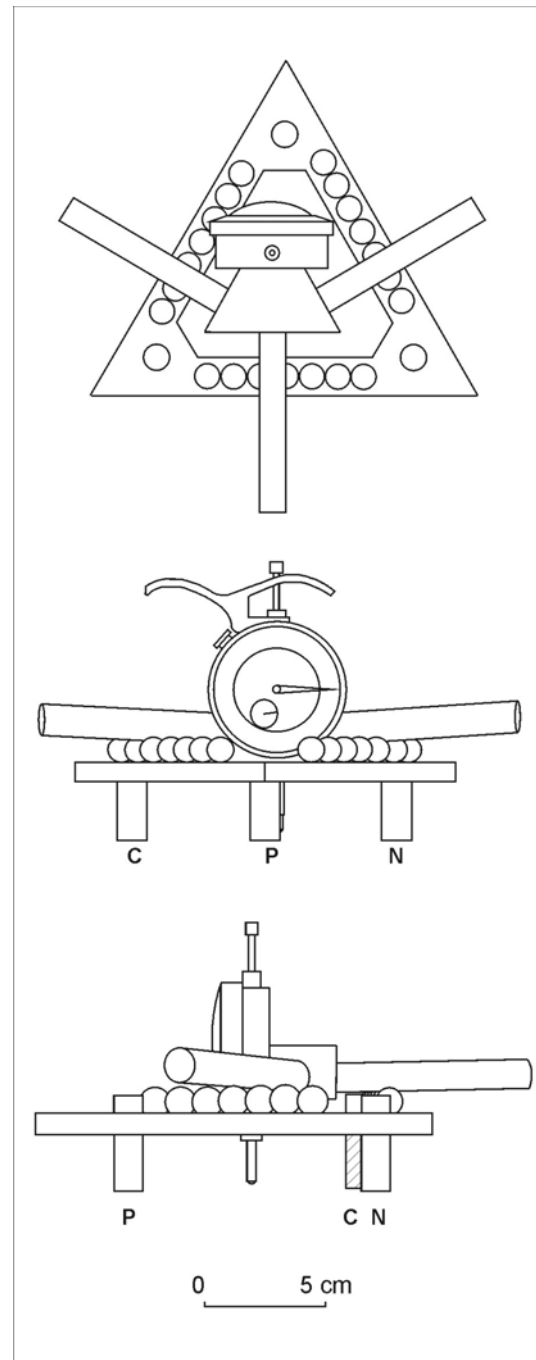
Stephenson (1977) millora el dispositiu incorporant un dial digital associat a un ordinador, per la qual cosa es dóna la possibilitat de registrar un major nombre d'altures relatives de forma automàtica.

Spate *et al.* (1985) avaluen les principals fonts del MEM i del TMEM i conclouen que:

- a) Atès que les mesures es fan sobre un punt fix, existeix la possibilitat que les dades



**Fig. 2.1** Micròmetre d'erosió de dial fix (MEM: *micro-erosion meter*). C: base de la pota amb forma cònica; P: en forma plana; N: en forma d'entalladura.



**Fig. 2.2** Micròmetre d'erosió de dial mòbil (TMEM: *traversing micro-erosion meter*). C: base de la pota amb forma cònica; P: en forma plana; N: en forma d'entalladura.

siguin selectives, en el sentit que les taxes d'erosió es poden correspondre a l'erosió diferencial de diferents minerals o grans de roca.

- b) La instal·lació dels pernys de relocalització sobre substrats blans, fràgils o molt porosos és complicada. De més a més, cal afegir que sobre aquests tipus de substrat augmenta

l'error, associat a l'impacte de l'agulla de l'instrument.

- c) És necessari un nombre considerable de lectures per unitat d'àrea perquè les dades obtingudes, mitjançant el MEM o el TMEM, en siguin representatives.
- d) Un dels problemes més comuns, i a considerar en intervals de lectura dilatats, és

l'alteració del material dels grampons i de les esferes sobre les quals descansa el dispositiu.

- e) Les taxes d'erosió poden patir variacions relacionades amb processos d'escala temporal, més petites que les del marc d'estudi (p.e. cicles de contracció i expansió de la roca).
- f) Cal evitar la tendència a instal·lar els punts del MEM o TMEM sobre superfícies planes, atès que no sempre són representatives del medi a estudiar i introdueixen biaixos en el mostratge.
- g) El creixement de líquens o altres tipus de pàtines orgàniques pot incidir en el seguiment del procés d'erosió.
- h) L'instrument es veu afectat pels canvis de temperatura. És convenient el seu calibratge periòdic.

És recomanable caracteritzar el grau de meteorització per a cada un dels punts del MEM i recollir mostres de roca per dur-hi a terme observacions mitjançant microscopi electrònic de rastreig (SEM), a fi i efecte d'identificar els agents i factors que operen sobre l'àrea de mostratge (Moses *et al.*, 1995).

### 2.2.2

#### L'escàner làser (LS)

L'escàner làser (LS) és un dispositiu que permet obtenir dades d'altura relativa de la superfície rocosa, superant els principals inconvenients que plantegen els micròmetres d'erosió: el contacte directe amb la superfície de la roca i el volum de dades.

El model d'escàner làser, dissenyat per Jan O.H. Swantesson de la universitat sueca de Karlstad (Fig. 2.3), consisteix en un emissor-sensor làser que es desplaça en les components  $x$  i  $y$  sobre un marc d'alumini, mitjançant dues corretges accionades per un motor electrònic de precisió (Swantesson, 1994). L'emissor-sensor làser emet un feix d'electrons de longitud d'ona de 20 mW. Aquest, en topar contra la superfície de la roca, rebota i és recollit pel sensor del qual es coneix l'angle. A partir d'aquí es determina el centre de gravetat del feix d'electrons, paràmetre que, a la vegada, serà utilitzat per la unitat de processament associada al dispositiu i es transformarà en un valor d'altura o elevació de la roca, tot prenent com a referència la posició de l'emissor làser. El marc de l'escàner làser descansa sobre quatre potes afaïçonades que permeten disposar l'aparell en un pla paral·lel a la superfície de la roca. L'escàner làser s'alimenta mitjançant dues bateries de 12 V. Durant el rastreig, els valors d'altura relativa ( $z$ ) i les seves

coordenades associades,  $x$  i  $y$ , es registren a la unitat operativa de l'ordinador que, a la vegada, actua de base de dades i conté el programari que regula el moviment dels motors elèctrics.

L'àrea màxima que l'escàner làser pot registrar és de 400 x 400 mm. L'interval mínim de malla és de 0,4 mm. La relocalització de l'aparell segueix els mateixos principis del MEM als quals s'afegeixen quatre punts de control sobre la superfície a escanejar. L'escàner pot mesurar rangs d'alçària màxima de 180 mm amb una resolució vertical de 0,025 mm i amb l'horitzontal de 0,1 mm. Williams *et al.* (2000) avaluen l'error associat a la relocalització. Així, determinen que es poden donar errors en les components  $x$  i  $y$  de  $\pm 0,0025$  mm i de 0,04 mm a la  $z$ . Canvis en la temperatura entorn a 10°C poden causar errors a  $x$  i  $y$  al voltant de 0,1 mm i a la  $z$  de 0,03 mm. En situacions particulars, com en superfícies exageradament anguloses, es pot perdre el registre de la component  $z$  pels efectes de reflexions secundàries (Swantesson, 1994).

L'escàner làser necessita noranta minuts per escanejar una superfície de 400 x 400 mm amb una resolució d'un valor de  $z$  per a cada mm. Aquesta densitat de malla suposa un volum de dades de 160.000 valors d'altura relativa. El dispositiu pesa aproximadament 15 kg, als quals s'han d'afegir el pes de les bateries, la caixa de control i l'ordinador (si fa no fa 17 kg més). Aquest fet dificulta el transport de l'instrument al camp.

Les principals aplicacions de l'escàner làser són la realització de models digitals del microrelleu, estudis de microrugositat (Gómez-Pujol, 2001) i el càlcul de taxes d'erosió mitjançant la superposició de sèries temporals de les microtopografies (Swantesson, 2005).



**Fig. 2.3** Dispositiu de l'escàner làser i el seus components. A l'esquerra de la imatge, el marc sobre el qual es desplaça l'emissor-sensor làser i el sistema de potes que n'assegura la relocalització. A la dreta de la imatge, l'ordinador, la caixa de motors i les bateries.

### 2.2.3

#### *Els tests d'exposició (WLRT)*

L'ús de peces de roca per detectar petits canvis en el seu pes (*weight-loss rock tablets*, WLRT) a causa de l'erosió de les superfícies rocoses és un mètode versàtil que permet l'avaluació de diferents processos, en diferents ambients i amb diferents litologies.

El principi bàsic dels tests d'exposició consisteix a sotmetre una petita peça circular de roca a un determinat ambient dinàmic (Trudgill, 1975). De la roca, se'n coneix el pes amb anterioritat i posterioritat al període d'exposició. El diferencial de pes entre ambdues fites temporals s'atribueix a l'acció dels agents de meteorització. Les taxes d'erosió poden donar-se en  $\text{mg}\cdot\text{a}^{-1}$  o en  $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , si se'n coneix la densitat, o bé les relacions de volum i pes de les peces de roca. Mitjançant l'ús de malles de niló, se'n pot separar la contribució de diferents agents de meteorització i erosió. Una malla amb una obertura inferior a  $63\ \mu\text{m}$  permet protegir les peces de roca de l'acció abrasiva dels calibres corresponents a les arenes (Fig. 2.4). Tanmateix, alguns autors prescindeixen de les malles de niló i exposen directament les peces de roca a les condicions ambientals (Moses, 1996).

Cal posar de manifest, a favor de la tècnica, que els factors d'error són reduïts i que petits canvis en el pes poden ser detectats en episodis temporals de curt abast si s'empra una balança amb prou precisió (Inkpen, 1995). Un dels principals problemes d'aquesta tècnica rau en l'estandardització de les dimensions i propietats litològiques. La preparació de les peces de roca (tallar, eixugar i empaquetar) representa un important consum de temps (Moses, 2000).

### 2.3

#### **Patrons i taxes d'erosió a costes rocoses calculades mitjançant TMEM: s'Alavern (Mallorca)**

S'han desenvolupat dos experiments per tal d'avaluar els patrons i les taxes d'erosió a les costes rocoses mitjançant l'ús del micròmetre de dial mòbil. El primer dels experiments consisteix a determinar la taxa d'erosió en un interval temporal llarg, d'un any. El segon experiment escurça el marc temporal a un seguiment horari durant un cicle de vint-i-quatre hores.

#### 2.3.1

##### *Àrea d'estudi*

La costa, a s'Alavern, destaca per la presència d'una línia contínua de penya-segats verticals de 15 a 20 m



Fig. 2.4 Dispositiu de peces de roca, protegides per una malla de niló, fixades a una superfície de roca supralitoral de la costa sud de Mallorca. L'escala de la imatge és de 20 cm.

d'alçària que descansen sobre una plataforma litoral de 3 a 10 m d'amplària. L'àrea d'estudi es troba a l'est del nucli de Cala Pi (Llucmajor), just a tocar del llindar que separa la possessió de Vallgornera de la urbanització del mateix nom (Fig.2.5).

El rocam que dona cos als penya-segats de s'Alavern correspon als materials carbonatats de la sèrie del Complex Terminal del Miocè Superior –Calcàries de Santanyí (Fornós, 1983)–, així com a les eolianites pleistocenes (Nielsen *et al.* 2004). La seqüència general es divideix en tres unitats deposicionals (Fornós i Pomar, 1983) que de base a sostre són: el Complex de Manglar, la Unitat Estromatolítica i la Unitat Oolítica.

El Complex de Manglar, a la zona d'estudi, s'alça prop de 8 m des del nivell marí. És un nivell poc uniforme i l'integren diferents nivells d'estructura tabular, bé de biocalcarenites amb bioturbació vertical, de fangs carbonatats bioturbats, de nivells calcarenítics bioclàstics o nivells d'argiles verdes amb còdols negres. Aquesta alternança de nivells, juntament amb la seva disposició tabular, és la responsable de la disposició subhoritzontal de la plataforma litoral de s'Alavern, atès que aquesta s'ha desenvolupat aprofitant la presència d'un nivell tou de fangs carbonatats. L'alternança de capes toves i més resistents es manifesta en petites balmes, tot i que sense trencar la component de marcada verticalitat (Fig. 2.6).

La franja que comprèn dels 8 als 11 m snm correspon als materials de la següent unitat, l'Estromatolítica Inferior, formada per laminites criptoalgals sobre la qual, amb una potència que oscil·la dels 13 als 16 m snm, tenim els materials de la Unitat Oolítica: biocalcarenites amb abundants estructures de corrent, d'aparença cohesiva, que accentuen la verticalitat dels penya-segats.

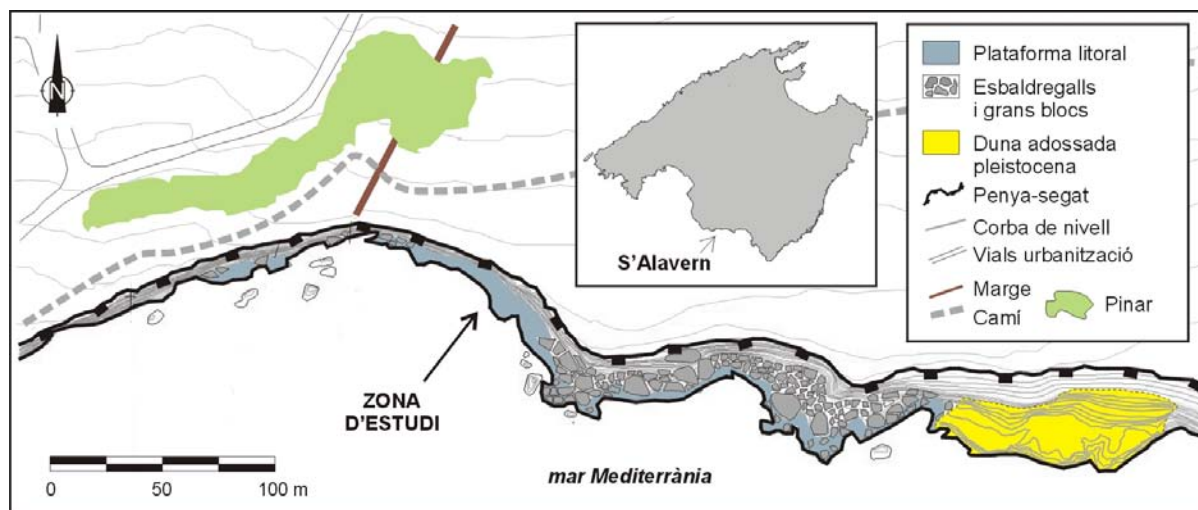


Fig. 2.5 Croquis geomorfològic de la zona d'estudi a s'Alavern (Llucmajor, Mallorca).

Sobre elles, i després d'un contacte erosiu, topam amb la seqüència alternant de paleosòls i nivells dunars del Pleistocè mitjà (Cuerda, 1975; Nielsen *et al.*, 2004). Cal fer menció que són abundants –encara que d'extensió reduïda– els exemples de dunes adossades als penya-segats, que fossilitzen antigues posicions d'aquests o de la pròpia plataforma litoral que apareix activa a d'altres indrets. Aquestes dunes corresponen,

probablement, al Pleistocè Superior, atenent a criteris de context estratigràfic (Clemmens *et al.* 2001). Aquest fet, juntament amb la presència a la plataforma de marmites, cocons i *notchs* fossilitzats per les dunes quaternàries, apunta cap a la conclusió que les plataformes litorals de s'Alavern són formes heretades que han estat reactivades per l'actual nivell marí.

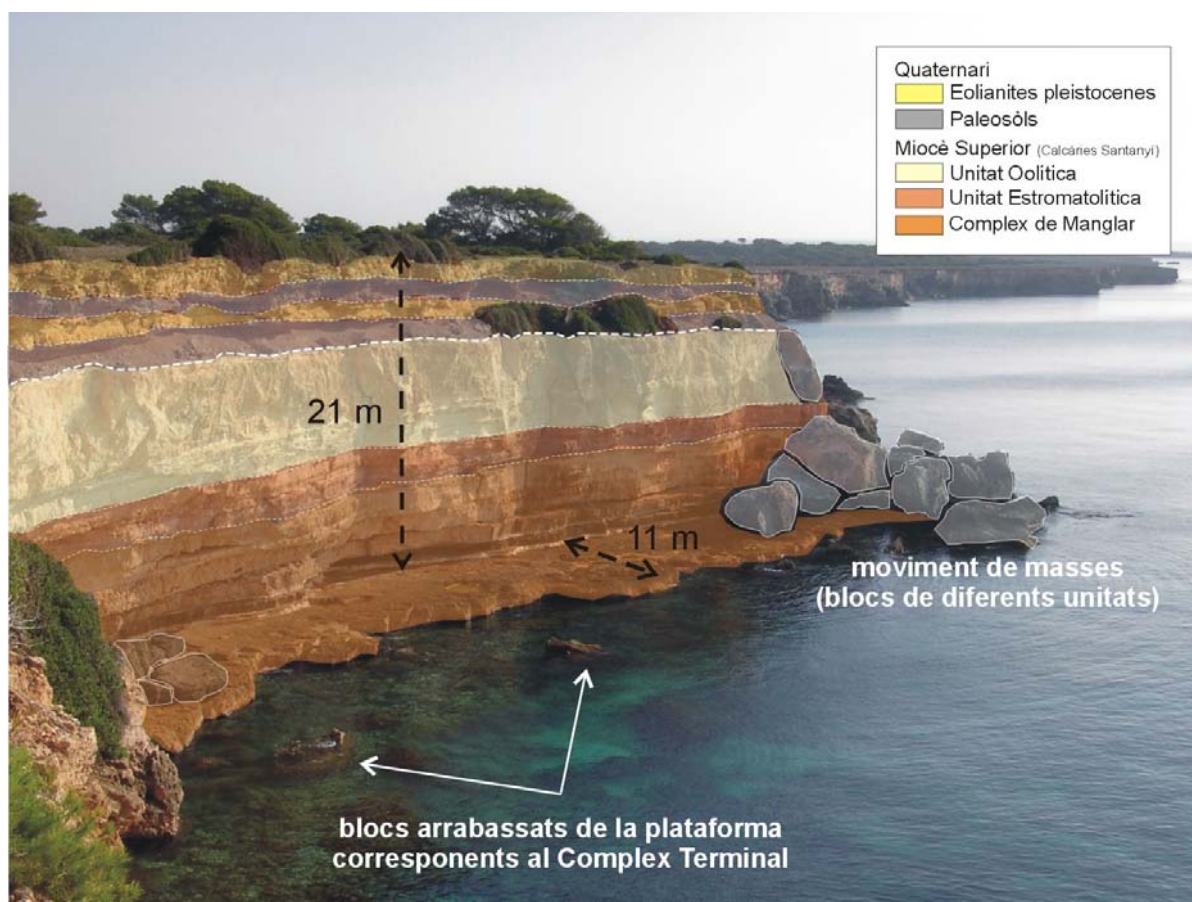


Fig. 2.6 Croquis geològic de la zona d'estudi a s'Alavern (Llucmajor, Mallorca).



La línia de costa de s'Alavern és força rectilínia, quasi bé controlada exclusivament per fractures de direcció 058°, que sols queden articulades per una segona família de fractures de menys importància amb 137° de direcció mitjana. L'alçària del penya-segat disminueix des de Vallgornera fins a s'Estalella, on es troben les dunes pleistocèniques a cotes properes als 15 m per sobre del nivell del mar i descendeixen de forma gradual fins a alçàries de pocs cm per sobre del nivell marí. Aquesta disposició de la costa respon al basculament neotectònic cap a ponent de la zona (Servera i Rodríguez, 1998) que es manifesta, entre d'altres, per la desconexió del sistema dunar de s'Estalella a s'Estanyol respecte de la línia de costa, en la marcada linealitat dels cursos fluvials, o bé per l'aixecament dels dipòsits quaternaris a les contrades de s'Estalella i Cala Pi (Zazo *et al.* 2003).

Pel que fa als agents climàtics, les temperatures mitjanes són de l'ordre de 17,5°C i les precipitacions anuals de 700 mm (Guijarro, 1986). Durant els mesos freds, les temperatures mitjanes no són inferiors als 7,4 °C, mentre que als mesos més calorosos s'arriben a mitjanes de 30,2 °C. Pel que fa a les condicions marines, es tracta d'un ambient relativament tranquil amb alçària d'onada significativa de l'ordre de 0,73 m, tot i que els paràmetres més freqüents són de 0 o 0,5 m. Això no obstant, durant els temporals, amb direccions de propagació habituals de SW i SE, l'alçària màxima d'ona pot arribar als 5,12 m a mar oberta.

### 2.3.2

#### *Materials i disseny experimental*

Les superfícies a caracteritzar es troben a 0,75 m sobre el nivell del mar, just a tocar del peu d'un penya-segat de 21 m d'alçària i sobre una plataforma horitzontal d'11 m d'amplària (Fig. 2.7). És una zona que habitualment roman emergida, encara que en situacions d'onatge no gaire energètic hi arriben els esquits i alguna onada. La superfície és completament agranada durant les tempestes. Hi són abundants els cocons i la roca no presenta una microrugositat gaire accentuada. Són abundants els individus del gastròpode *Melaraphe neritoides* i puntuals els de *Melaraphe punctata*. Pel que fa a la colonització de la roca per cianobacteris, fongs i líquens, sembla important, arran del color grisós de la roca, quan les fractures fresques són ben blanquinoses.

El nivell sobre el qual estan instal·lats els grampons del TMEM són unes calcarenites del Miocè Superior, amb una composició bioclàstica on destaca l'abundància de foraminífers. La roca presenta un elevat grau de micritització, amb una porositat intergranular parcialment ocupada per cristalls de calcita. Entre d'altres característiques geomecàniques,



Fig. 2.7 Perfil de costa del sector de penya-segats i plataformes de s'Alavern on s'ha desenvolupat el seguiment instrumental de l'erosió de la costa rocosa. Notau la intensa colonització biològica, que s'aprecia pel contrast de color entre la superfície de la roca i la fractura fresca en el límit marí de la plataforma o en la mateixa façana dels penya-segats.

en destaca un contingut en carbonats del 98,10%, una porositat del 28,47 %, una densitat d'1,568 g·cm<sup>-3</sup> i un valor de rebot d'escleròmetre, tipus L, (*Schmidt hammer*) de 41,37 que a l'escala de Selby (1982) es correspon amb una roca de resistència moderada (Day, 1980).

El TMEM utilitzat fou elaborat pel laboratori d'enginyeria industrial de la Universitat de Sussex (Anglaterra). Abasta una superfície de 135 cm<sup>2</sup> i permet el registre de 148 valors d'altura relativa. Tot plegat ens ofereix un mostratge espacial d'un valor d'altura relativa per cada cm<sup>2</sup>. Es tracta d'un TMEM modificat d'acord amb Stephenson (1997) mitjançant la incorporació d'un rellotge comparador digital (Mitutoyo® ID-C1025) i un programari de transmissió de dades (Winkey® v.1.45) que permet el registre automàtic de les lectures a un ordinador portàtil. S'han instal·lat els grampons de relocalització de l'aparell en una superfície supralitoral, al peu del penya-segat.

A fi i efecte d'avaluar l'error de registre de l'instrument i la possible distorsió atribuïble al contacte físic de l'agulla del TMEM amb la roca, s'han repetit un mínim de deu vegades les lectures d'altura relativa en 20 coordenades diferents, a 23 °C, sobre un bloc de calibratge de la mateixa litologia i característiques del rocam sobre el qual es desenvolupa l'experiment al camp. L'error de registre de l'instrument s'ha quantificat en ± 0,002, amb un error mínim de 0,001 i un màxim de 0,004 mm (Taula 2.4).

El seguiment de les superfícies rocoses mitjançant el TMEM a s'Alavern s'ha dut a terme en tres ocasions:

Coordenada	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	$\mu$	$\sigma$
A1 - B8 - C8	6,837	6,834	6,833	6,838	6,837	6,834	6,832	6,835	6,832	6,833	6,835	0,002
A3 - B5 - C9	6,850	6,84	6,841	6,844	6,844	6,843	6,842	6,841	6,842	6,843	6,843	0,003
A3 - B6 - C8	6,695	6,692	6,692	6,695	6,695	6,694	6,693	6,691	6,692	6,694	6,693	0,001
A4 - B8 - C5	6,387	6,381	6,382	6,385	6,384	6,384	6,382	6,38	6,382	6,384	6,383	0,002
A5 - B7 - C5	6,340	6,341	6,339	6,342	6,342	6,341	6,34	6,338	6,339	6,340	6,340	0,001
A5 - B10 - C2	6,165	6,163	6,163	6,167	6,166	6,165	6,164	6,163	6,163	6,165	6,164	0,001
A6 - B9 - C2	6,125	6,123	6,123	6,126	6,125	6,125	6,123	6,123	6,123	6,125	6,124	0,001
A7 - B3 - C7	6,603	6,598	6,600	6,603	6,601	6,601	6,600	6,597	6,599	6,599	6,600	0,002
A8 - B3 - C6	6,471	6,469	6,47	6,474	6,471	6,471	6,470	6,467	6,469	6,470	6,470	0,002
A9 - B4 - C4	6,299	6,297	6,298	6,301	6,300	6,300	6,299	6,296	6,298	6,299	6,299	0,001
A3 - B7 - C7	6,595	6,592	6,592	6,596	6,595	6,594	6,593	6,591	6,592	6,593	6,593	0,002
A3 - B8 - C6	6,521	6,518	6,519	6,521	6,522	6,521	6,52	6,518	6,519	6,521	6,520	0,001
A4 - B5 - C8	6,689	6,69	6,688	6,689	6,691	6,688	6,688	6,686	6,687	6,689	6,689	0,001
A4 - B9 - C4	6,326	6,324	6,324	6,327	6,324	6,324	6,323	6,322	6,322	6,324	6,324	0,002
A6 - B4 - C7	6,549	6,56	6,56	6,563	6,563	6,561	6,56	6,559	6,561	6,561	6,560	0,004
A6 - B5 - C6	6,436	6,433	6,434	6,438	6,437	6,436	6,435	6,433	6,434	6,436	6,435	0,002
A6 - B8 - C3	6,179	6,175	6,176	6,18	6,179	6,177	6,176	6,176	6,177	6,179	6,177	0,002
A7 - B7 - C3	6,179	6,176	6,178	6,176	6,176	6,175	6,175	6,172	6,173	6,175	6,176	0,002
A8 - B4 - C5	6,351	6,348	6,35	6,352	6,35	6,35	6,349	6,348	6,349	6,35	6,350	0,001
A9 - B3 - C5	6,383	6,382	6,384	6,386	6,386	6,384	6,384	6,382	6,384	6,383	6,384	0,001

*Error instrumental mitjà ± 0,002*

**Taula 2.4** Registre d'altures relatives (mm) de l'experiment per avaluar l'error instrumental en la repetició de mesures.

el 18 de maig de 2004, el 7 de juny de 2005 i el 24 d'agost de 2005. Les dues primeres dates es corresponen amb l'experiment d'abast anual i la tercera amb el seguiment horari.

Per al càlcul de les taxes d'erosió s'han utilitzat dos procediments. D'una banda, el càlcul de la diferència mitjana d'altura relativa a partir dels valors dels mostratges corresponents a l'any 2004 i 2005; i, d'altra banda, el càlcul de la diferència de volum entre les superfícies –microtopografies– que, mitjançant el programari Surfer<sup>®</sup> v.7, s'han construït a partir de les coordenades i els valors d'altura relativa per a cada un dels mostratges. Per convertir els valors de volum en valors lineals, amb la finalitat de comparar les taxes d'erosió entre ambdós procediments, s'ha dividit la diferència de volum entre superfícies per l'àrea de mostratge.

Paral·lelament a l'aixecament de microtopografies, s'han recollit mostres de roca properes a la superfície estudiada per al seu estudi mitjançant microscopi electrònic de rastreig (SEM), làmina prima i difracció de raigs X.

### 2.3.3

#### *Taxes d'erosió anuals a la costa de s'Alavern*

Les quatre superfícies de roca estudiades al sector suposen un conjunt de 1.184 registres d'altura relativa i 592 valors de taxes d'erosió (Annex 1). La diferència entre les cotes relatives obtingudes el 18 de maig de 2004 i les del 7 de juny de 2005 són discretes. Bona part de les observacions tenen valors propers a l'error instrumental o cauen dins els intervals que Gómez-Pujol *et al.* (en premsa)

	SA TMEM 1	SA TMEM 2	SA TMEM 3	SA TMEM 4
N	148	148	148	148
Taxa d'erosió mitjana (mm·a <sup>-1</sup> )	0,151	- 0,006	0,247	0,018
Desviació estàndard	0,331	0,224	0,188	0,255
Mínim (mm·a <sup>-1</sup> )	- 0,787	- 1,613	- 0,487	- 1,810
Màxim (mm·a <sup>-1</sup> )	1,006	1,183	0,782	1,195
Taxa d'erosió neta surfer (mm·a <sup>-1</sup> )	- 0,136	- 0,001	-0,187	- 0,009
Taxa d'erosió negativa surfer (mm·a <sup>-1</sup> )	0,058	0,022	0,019	0,042
Taxa d'erosió positiva (mm·a <sup>-1</sup> )	- 0,194	- 0,023	- 0,206	- 0,051

**Taula 2.5** Taxes d'erosió a s'Alavern calculades per la diferència dels valors d'altura relativa i per la diferència de volum entre microtopografies corresponents als mostratges del 18.05.04 i del 07.06.05.

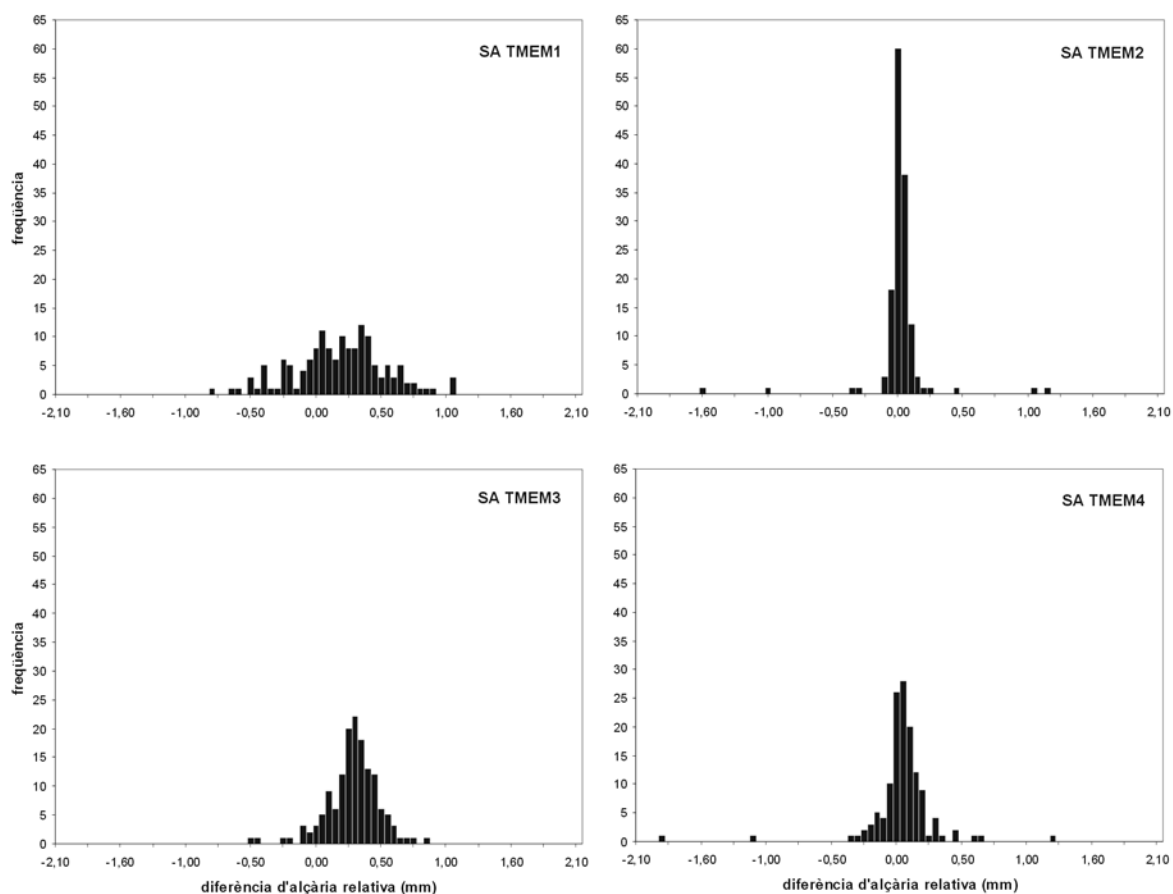


Fig. 2.8 Distribució de freqüències dels valors de diferència d'altura relativa (mm) entre el 18.05.04 i el 07.06.05 a S'Alavern.

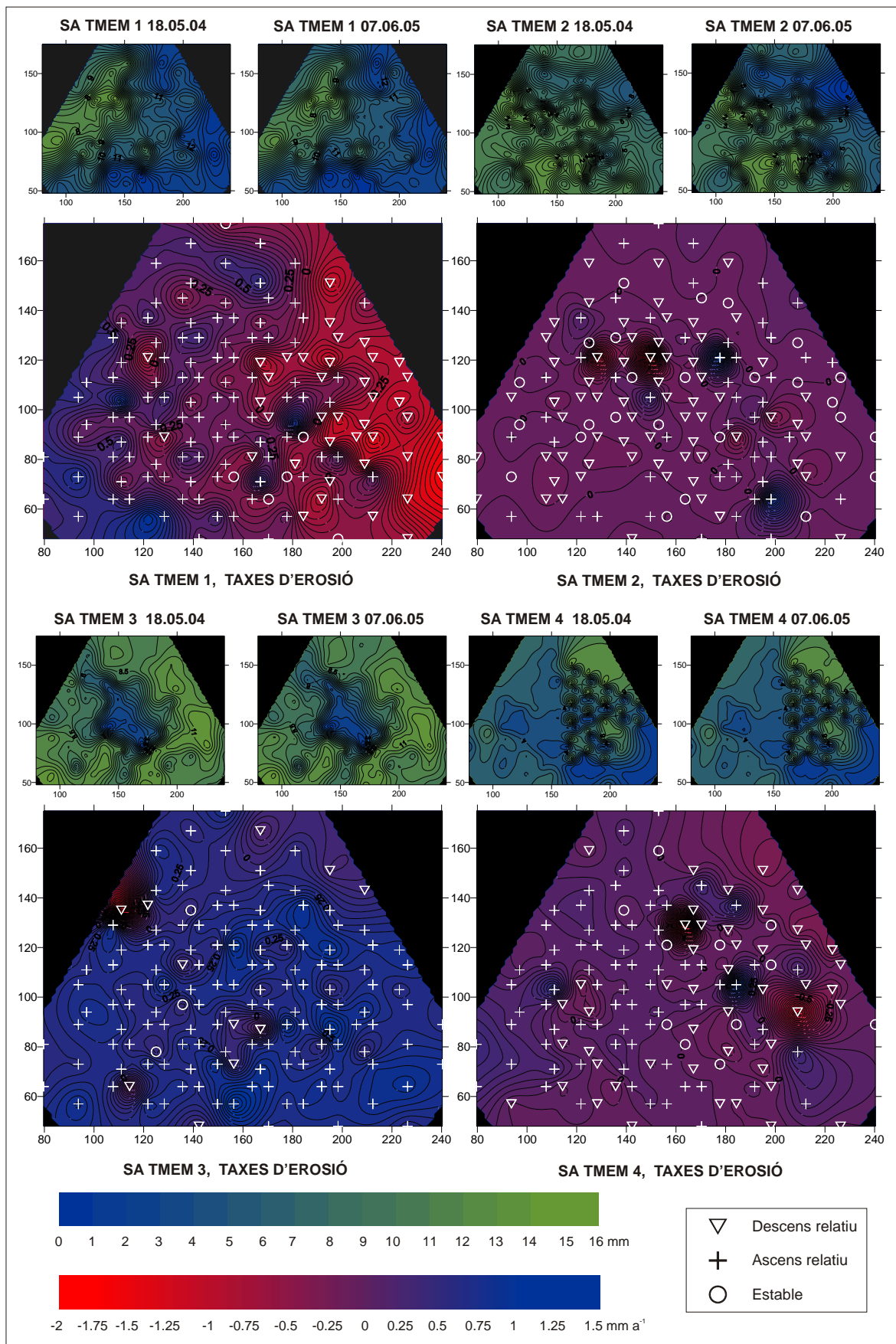
recomanen no considerar per tal d'evitar les distorsions derivades de la insolació, les característiques del clima o del mateix manipulador del TMEM. Així doncs, per un 19,59% dels punts de la superfície SA\_TMEM\_1 no podem parlar amb propietat de canvis en el valor d'altura relativa. La superfície supralitoral SA\_TMEM\_2 sembla no haver experimentat una degradació acusada. Un 81,18% dels registres cauen dins l'interval de precaució en la interpretació de les taxes d'erosió. Per la seva banda, les superfícies SA\_TMEM\_3 i SA\_TMEM\_4 tenen un 23% i un 47,76%, respectivament, dels seus valors en els límits de confiança per assignar un vector de canvi a la superfície de roca.

Aquesta primera aproximació que de forma gràfica es pot derivar dels histogrames de les diferències d'altura relativa (Fig. 2.8), ja posa de manifest tres fets: la minsa erosió de la superfície SA\_TMEM\_2, uns valors d'erosió baixos per a les altres superfícies en comparació amb altres litologies carbonatades semblants i l'existència de variacions d'altura relativa de la superfície de la roca en sentit positiu i en sentit negatiu.

Les taxes d'erosió de les superfícies aquí estudiades, calculades a partir de les diferències de registre per a

l'interval temporal definit, oscil·len de  $-1,810$  a  $-0,478$   $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$  (Taula 2.5), mentre que també es donen taxes d'acreció de la roca amb un rang de  $1,183$  a  $0,782$   $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ . Els valors mitjans per a les superfícies estudiades resulten positius excepte per a SA\_TMEM\_2 amb un descens de  $0,006$   $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ . Les superfícies SA\_TMEM\_1, SA\_TMEM\_3 i SA\_TMEM\_4 tenen una diferència d'altura relativa de  $0,151$ ,  $0,247$  i  $0,018$   $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$  respectivament. Pel que fa a la desviació estàndard respecte de la mitjana, el fet que aquesta sigui força major –de vegades dos ordres de magnitud– respecte de la taxa d'erosió mitjana, posa de manifest una important variabilitat espacial pel que pertoca a les diferències d'alçària relativa. A la figura 2.9 es fa palesa la variabilitat de la tendència dels registres entre les lectures de TMEM. Els canvis s'hi concentren de forma puntual, sense un domini sectorial clar dels moviments en positiu o negatiu.

Les taxes d'erosió, calculades per superposició de les microtopografies, són lleugerament diferents de les derivades de la diferència de registre entre les lectures del TMEM. La diferència entre ambdós procediments respon, en primer lloc, al fet que no comparem punts específics sinó superfícies i, en segon lloc, al mètode d'interpolació que s'hagi utilitzat per construir la



**Fig. 2.9** Superposició de les microtopografies corresponents als mostratges i variacions d'atura relativa. Els símbols representen la tendència en termes relatius de cada coordenada:  $> 0,001$  mm = ascens;  $0,010$  a  $-0,010$  mm = estable i  $< -0,010$  = descens.

	SA TMEM 1		SA TMEM 2			SA TMEM 3		SA TMEM 4	
	18.05.04	07.068.05	18.05.04	07.06.05	24.08.05	18.05.04	07.06.05	18.05.04	07.06.05
1r quartil	12,27	12,27	7,01	6,63	6,54	10,860	10,95	10,12	10,16
2n quartil	10,95	11,23	4,94	4,88	4,88	9,02	8,96	5,22	5,25
3r quartil	9,67	10,02	3,56	3,55	3,55	7,42	7,58	3,53	3,56
4t quartil	7,89	8,29	2,16	2,55	2,20	4,04	4,09	1,08	1,18

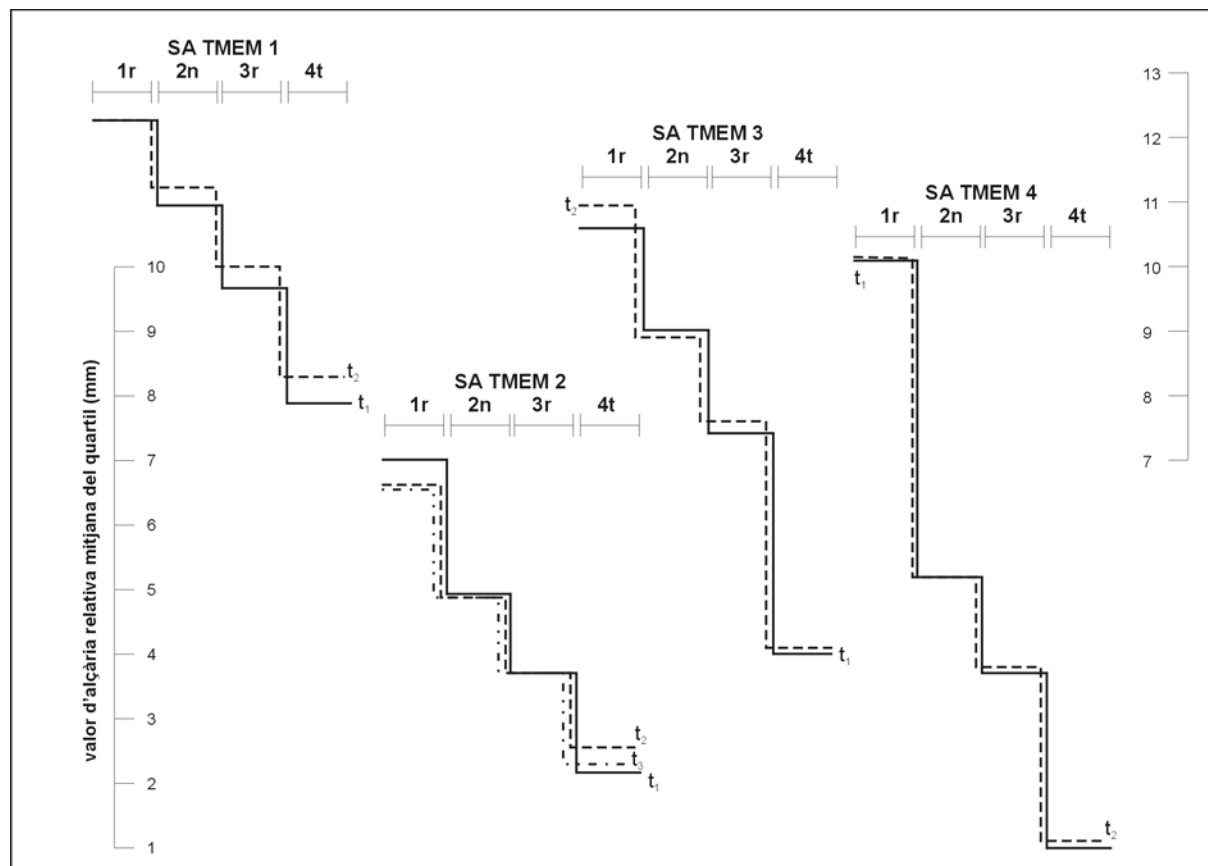
**Taula 2.6** Mitjanes aritmètiques dels valors d'altura relativa dels registres compresos a cada un dels quartils (25% de les dades).

microtopografia. Seguint Stephenson (1997) utilitzam el model *kriging* per a la interpolació de les cotes d'alçària relativa. Les taxes d'erosió o les diferències d'altura relativa, així calculades (Taula 2.5), oscil·len entre els valors d'erosió de  $-0,023$  a  $-0,206 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  de SA\_TMEM\_3 i SA\_TMEM\_2, respectivament, i els ascensos relatius de  $0,019$  a  $0,058 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  de SA\_TMEM\_3 i SA\_TMEM\_1. Pel que fa a les taxes netes, calculades mitjançant la superposició de microtopografies, per a SA\_TMEM\_2 i SA\_TMEM\_4 les taxes, tot i negatives, són tan baixes que no hi ha una erosió significativa; mentre que en els casos de SA\_TMEM\_1 i SA\_TMEM\_3 les taxes d'erosió, tot i que baixes, són de dos ordres majors amb taxes d'erosió netes de  $-0,136$  i  $-0,187 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ .

De l'anàlisi de la distribució en quartils dels valors d'altura relativa (Taula 2.6), es pot apreciar que la

mitjana aritmètica dels valors compresos en el 1r quartil a les superfícies SATMEM1 i SATMEM4 es manté estable, mentre que a SATMEM2 i SATMEM3 s'hi donen canvis més importants.

D'altra banda, totes les superfícies coincideixen a presentar un aixecament, respecte dels registres d'alçada relativa prèvia, a les cotes de menor altura (Fig. 2.10), la qual cosa es posa de manifest per un increment de la mitjana aritmètica del 4t quartil. En altres paraules, allò que la distribució dels quartils deixa entreveure és que tant els punts més alts, com els més baixos i els intermedis pateixen els desplaçaments positius. No hi ha un grup d'alçades on s'aglutini el retrocés o l'aixecament de la superfície. És més, tampoc no sembla haver-hi un comportament homogeni entre superfícies, malgrat estar tan properes les unes de les altres.



**Fig. 2.10** Distribució de la microtopografia a les superfícies estudiades en funció de la distribució en quartils dels valors d'altura relativa.  $t_1 = 18.05.04$ ,  $t_2 = 07.06.05$  i  $t_3 = 24.08.05$ .

Tendència dels punts	SA TMEM 1	SA TMEM 2	SA TMEM 3	SA TMEM 4
Ascens relatiu	69,50 %	34,96 %	90,47 %	55,23 %
Descens relatiu	26,35 %	45,27 %	07,48 %	35,82 %
Desplaçament no significatiu	04,15 %	19,77 %	02,05 %	08,95 %

**Taula 2.7** Freqüència relativa dels registres en funció de la tendència d'ascens, descens o estabilitat entre les dates de mostratge.

Així doncs, els canvis a la superfície de roca supralitoral a s'Alavern no tenen un patró clar en la seva alteració. Tanmateix, i com ja hem considerat en el comentari de les taxes d'erosió, en termes absoluts, aquests canvis són modestos.

De les observacions anteriors, un dels fets que en destaca és l'elevació de registres d'altura relativa respecte de lectures anteriors. Drysdale i Gillienson (1997) recullen taxes d'acreció de la roca amb el TMEM en un context de deposició travertínica i Trudgill *et al.* (2001) identifiquen ascensos, respecte dels registres inicials del TMEM, als carreus de la Seu de Londres i ho relacionen amb el creixement de líquens crustacis o amb la deposició de productes de la meteorització del rocam. Tot i que sobre substrats tous, l'ascens cíclic de la superfície és un fenomen conegut i mesurat (Pejon i Zuquette, 2002), en materials cohesius forts, la quantificació de l'ascens de la superfície de la roca, mitjançant el MEM o el TMEM, sols s'ha descrit per un reduït nombre d'autors (Kirk, 1977; Mottershead, 1989; Smith *et al.*, 1995; Stephenson, 1998). La causa d'aquests ascensos s'atribueix al creixement de pàtines d'algues, sals o al contingut d'aigua de la roca.

El primer treball monogràfic sobre el fenomen el desenvolupen Stephenson i Kirk (2001). En aquest sentit utilitzen el terme "bombament de la superfície rocosa" (*rock surface swelling*) per descriure l'elevació relativa d'un punt de la superfície rocosa respecte d'una mesura prèvia de la seva cota. Arran de l'intens dispositiu espacial de TMEM a la costa de Kaikoura, Stephenson i Kirk (2001) hi poden avaluar l'abast temporal i espacial del *rock surface swelling*. Un dels punts més impactants és que, en seguiments dilatats de la microtopografia de la superfície rocosa, s'hi poden registrar taxes d'erosió, de descens, de l'altura relativa respecte anteriors episodis d'aixecament, però per sobre de registres d'altura relativa inicial a cotes més baixes. És a dir, s'hi superposen dos cicles: un de *swelling* i l'altre d'erosió. Dels 24.055 registres d'altura que empen Stephenson i Kirk (2001) un 17% experimenta episodis d'ascens. Els valors màxims d'ascens són de 8,9 mm, tot i que són més freqüents aixecaments de 3 i 4 mm. Pel que fa a l'abast temporal, hi ha punts de la superfície que romanen més enllà d'un any respecte de la posició inicial, i d'altres que ho fan entre 3 i 4 mesos. Mitjançant l'anàlisi estadística, s'hi detecta l'existència d'una estacionalitat significativa pel que fa a la distribució temporal del *swelling*; els mesos d'estiu el fenomen és més freqüent que no pas durant

l'hivern. Aquest argument és el que empen els autors per associar el *rock surface swelling* a l'expansió dels cristalls de sals a l'interior de la roca i a l'expansió i contracció de la roca, arran dels processos d'humectació i dessecació. Així, que es consideri el principal mecanisme de la meteorització subaèria de les plataformes litorals de Kaikoura.

En successius treballs s'escurça l'escala temporal on es registren els fenòmens de *rock surface swelling* (Stephenson *et al.*, 2004). Aquest cop s'assaja d'estudiar el procés sobre substrats prou diferents: les calcàries de Kaikoura i les arenites arcòsiques de Marengo. Durant una setmana es realitzen a diari microtopografies de les superfícies rocoses i se'n detecten variacions, estadísticament significatives, a escala diària a ambdues localitats. Els desplaçaments arriben a superar els 2 mm i es dona el cas que hi ha punts que, després d'un descens de l'erosió, pugen per sobre de la posició del primer registre. Aquest seguit d'observacions posa de manifest que el fenomen de *rock surface swelling* s'ha de donar en un interval temporal més curt que el diari i que el procés d'humectació i dessecació segueix essent el candidat amb més probabilitats de ser el responsable del procés.

### 2.3.4

#### *Variacions horàries de microtopografia a s'Alavern*

Les taxes d'erosió anual evidencien l'existència d'una tendència d'ascens en moltes de les coordenades i en els valors d'altura relativa de les superfícies



**Fig. 2.11** Descamació del rocam supralitoral de s'Alavern.

estudiades. A s'Alavern, la superfície amb un menor percentatge de cotes que experimenten un ascens relatiu és SA\_TMEM\_2, amb un 35% dels registres. Per a SA\_TMEM\_3, en canvi, la magnitud dels ascensos és més important amb un 90% dels punts amb tendència positiva (Taula 2.7). D'altra banda, és freqüent trobar descamacions a la superfície de la costa de s'Alavern (Fig. 2.11), fragments despresos de roca de pocs mm de gruixa i de pocs cm<sup>2</sup> de superfície, que s'associen a l'acció de la meteorització per sals o a processos d'humectació i dessecació de la roca (Goudie i Viles, 1997, Stephenson i Kirk, 2001).

Així doncs, la costa de s'Alavern es presenta com un escenari adient per desenvolupar-hi el segon experiment, dissenyat per avaluar la dinàmica erosiva de les costes rocoses, que consisteix a realitzar un seguiment dels moviments relatius de la microtopografia en intervals horaris. Per aquest



**Fig. 2.12** Dispositiu de seguiment horari dels canvis de microtopografia i variables ambientals a s'Alavern. A la fotografia superior, s'hi pot observar el micròmetre de dial mòbil sobre la superfície estudiada i el protector d'insolació directa dels termòmetres i registre d'humitat relativa. La fotografia inferior és un detall del dispositiu de control de variables ambientals. D'esquerra a dreta el sensor per a la mesura de la temperatura a la superfície de la roca, a -1,5 cm i a -3,5 cm. El dispositiu sense sensor extern registra la temperatura i humitat ambiental i la insolació.

motiu, s'ha seleccionat la superfície SATMEM2 ja que és la que té una proporció semblant de coordenades amb tendències ascendents i descendents.

L'experiment es desenvolupà el 24.08.05 de les 07:00h a les 22:00h i s'hi aixecaren microtopografies cada dues hores d'acord amb l'instrument i les característiques tècniques explicades a l'apartat anterior. En paral·lel, i per primer cop en els estudis de canvi de microtopografia en escales temporals curtes, s'ha fet un seguiment de les variables d'humitat i temperatura ambiental i d'intensitat de llum (flux lluminós), mitjançant un sensor compacte amb registre automàtic de dades HOBO<sup>®</sup> 4235. L'interval de registre de les variables ambientals és d'un minut. El sensor s'ha ubicat a l'ombra per tal d'evitar l'escalfament de l'aparell a causa de la insolació directa (Fig. 2.12). La temperatura de la roca s'ha registrat mitjançant un altre sensor compacte amb registre automàtic de dades HOBO<sup>®</sup> 4235. Els sensors s'han ubicat a la superfície de la roca (protegits per un pegat de massilla) i a sengles forats, a 1,5 i 3 cm de profunditat, d'acord amb les experiències d'Smith i McGreevy (1983) i Kerr *et al.* (1984). Els forats, tot i ser d'un diàmetre semblant al del sensor, s'han emplenat amb una mescla de resina plàstica conductiva i pols de la mateixa roca, per tal d'evitar distorsions entre la temperatura de la roca i la temperatura ambiental (Warke, 2000). També s'han recollit fragments de roca per a la seva exploració amb microscopi electrònic de rastreig (SEM).

#### 2.3.4.1 Paràmetres ambientals

Durant l'experiment, les variables ambientals han registrat un cicle ben definit en el qual les corbes d'humitat relativa i les de temperatura i insolació segueixen tendències inverses (Fig. 2.13).

La temperatura ambiental ha oscil·lat de 21,33 °C a 34 °C, mentre que la humitat relativa ho ha fet del 29,4% al 72,7%. Per la seva banda, la insolació ha passat dels 21,52 lumen·m<sup>-2</sup> als 9.635,01 lumen·m<sup>-2</sup>. Els màxims d'insolació i de temperatura ambiental coincideixen entre les 17:58 h i les 18:08 h. Els valors mínims, en el cas de la temperatura ambiental, es donen a l'inici i al final de l'experiment i, per a la insolació, a la sortida del Sol a les 7:25 h i a partir de les 20:35 h quan els penya-segats de s'Alavern, per l'angle de la llum del sol, romanen en penombra. El màxim d'humitat relativa s'hi registra a les 8:27 h. Entre les 13:30 h i les 14:00 h és quan hi ha els canvis més bruscs de totes les variables ambientals. Temperatura i insolació pugen al voltant de 4 °C i 4270 lumen·m<sup>-2</sup> i la humitat relativa baixa de l'ordre de dotze unitats a l'escala relativa. Entre les 19:00 h i

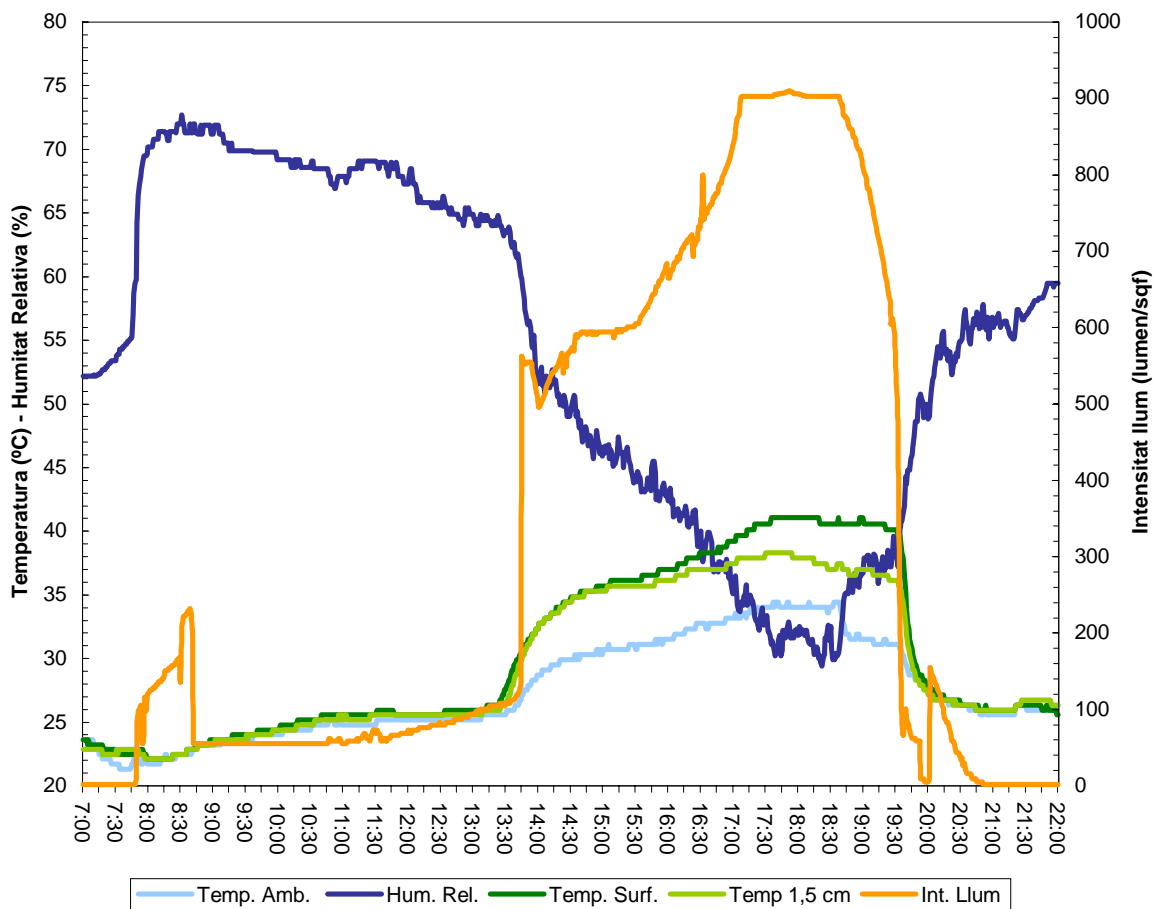


Fig. 2.13 Evolució dels paràmetres ambientals, de temperatura de la superfície de la roca i en profunditat durant l'experiment.

les 20:00 h, es tornen a donar els canvis bruscs de les variables ambientals, però aquesta vegada el sentit és invers. La temperatura baixa, de forma més gradual, dels 31 °C als 27 °C. La humitat també augmenta i, amb una pujada més intensa que no el descens del matí, passa del 37% al 49%. Tanmateix, el canvi més bruscat és el de la insolació. En poc menys d'una hora passa de 9603 lumen·m<sup>-2</sup> a 608 lumen·m<sup>-2</sup>. De forma gràfica, es pot apreciar com la incidència de la llum sobre la plataforma, amb la façana del penya-segat exposada a ponent, en fa augmentar la temperatura i reduir la humitat i a la inversa (Fig. 2.13).

Pel que fa a les temperatures de la superfície de la roca i de les diferents profunditats, el sensor a 3 cm de la superfície no registrà correctament les dades. Això no obstant, les sèries de temperatura en superfície i a 1,5 cm, donen seqüències ben interessants. Fins a les 08:59 h la temperatura ambiental i la del rocam es força semblant. A partir d'aquesta fita, la superfície de la roca i els valors a 1,5 cm són lleugerament majors que la temperatura ambiental fins a les 13:30 h quan, arran de la incidència directa de la llum del sol sobre la plataforma, les temperatures comencen a pujar i s'hi s'observa un efecte d'acumulació d'energia calòrica fins a les 19:30 h, quan comença a disminuir.

De les 15:30 h a les 19:30 h la temperatura en superfície és major que la temperatura a 1,5 cm. Així com deixa d'incidir la llum del sol sobre la plataforma i baixa la temperatura ambiental, també ho fa la temperatura de la superfície. Llavors, la sèrie de temperatures a 1,5 cm roman per sobre les altres atès que no està en fase amb l'alliberament d'energia de les anteriors. Tot plegat, posa de manifest l'existència d'un gradient tèrmic entre aire, superfície de la roca i la roca, amb canvis de signe durant el dia. Val a dir que les diferències arriben a ser considerables. A les 17:45 h tenim els màxims de temperatura a la superfície de la roca i a 1,5 cm d'aquesta, que són de 41 °C i 38 °C respectivament, gairebé 6 °C i 4 °C més que no la temperatura ambiental.

#### 2.3.4.2 Comportament de la superfície rocosa

El registre dels 148 valors d'altura relativa, cada dues hores, de les 08:00 h a les 22:00 h, suposa un total de 2.072 valors d'altura relativa. S'han calculat els principals paràmetres estadístics descriptius tant per als paràmetres d'altura relativa, com per a les diferències d'altura relativa entre lectures successives (Taula 2.8).



<b>Altures relatives</b>	<b>08:00 h</b>	<b>10:00 h</b>	<b>12:00 h</b>	<b>14:00 h</b>	<b>16:00 h</b>	<b>18:00 h</b>	<b>20:00 h</b>	<b>22:00 h</b>
N	148	148	148	148	148	148	148	148
Mitjana aritmètica	4.250	4.257	4.2813	4.288	4.284	4.283	4.313	4.307
Límit inferior 95	3.963	3.970	3.9970	4.002	3.998	3.997	4.028	4.022
Límit superior 95	4.537	4.543	4.5656	4.574	4.570	4.570	4.599	4.593
Mitjana retallada 5%	4.233	4.242	4.2655	4.275	4.270	4.270	4.300	4.294
Mitjana	4.108	4.138	4.1675	4.184	4.179	4.184	4.214	4.185
Variància	2.991	2.983	2.937	2.964	2.972	2.974	2.963	2.962
Desviació típica	1.729	1.727	1.7136	1.721	1.723	1.724	1.721	1.721
Mínim	0.874	0.764	0.810	0.807	0.808	0.802	0.813	0.80
Màxim	8.342	8.365	8.420	8.406	8.458	8.411	8.428	8.45
Rang	7.468	7.601	7.61	7.599	7.650	7.609	7.615	7.65
1r quartil								
3r quartil								
Amplària interquartils	2.456	2.465	2.420	2.437	2.445	2.456	2.432	2.444

<b>Dif. altures relatives</b>	<b>08:00 a 10:00 h</b>	<b>10:00 a 12:00 h</b>	<b>12:00 a 14:00 h</b>	<b>14:00 a 16:00 h</b>	<b>16:00 a 18:00 h</b>	<b>18:00 a 20:00 h</b>	<b>20:00 a 22:00 h</b>
N	148	148	148	148	148	148	148
Mitjana aritmètica	0.0064	0.0241	0.0075	-0.0041	-0.0004	0.0299	-0.0062
Límit inferior 95	-0.0356	-0.0186	-0.0354	-0.0086	-0.0047	0.0241	-0.0116
Límit superior 95	0.0485	0.0670	0.4999	0.0003	0.0038	0.0356	-0.0007
Mitjana retallada 5%	-0.0130	0.0450	-0.1288	-0.0062	0.0017	0.0310	-0.0037
Mitjana	-0.0120	0.0440	-0.0110	-0.0060	0.0010	0.0230	-0.0020
Variància	0.0650	0.0670	0.0660	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
Desviació típica	0.2539	0.2581	0.2573	0.0269	0.0258	0.0347	0.0032
Mínim	-0.3030	-2.9680	-0.1010	-0.0690	-0.2220	-0.2500	-0.1470
Màxim	2.9820	0.3350	3.0350	0.1950	0.0740	0.1590	0.0740
Rang	3.2850	3.3030	3.1360	0.2640	0.2960	0.4090	0.0140
1r quartil							
3r quartil							
Amplària interquartils	0.0200	0.0510	0.0370	0.0200	0.0110	0.0430	0.0140

**Taula 2.8** Resum estadístic per als valors d'altura relativa (superior) i de diferència d'altura relativa entre registres successius (inferior) de la superfície SA TMEM 2 de s'Alavern. Unitats en mm.

Per als dos conjunts de dades, les desviacions típiques són grans com també ho són els errors associats a les mitjanes. Així doncs, la nostra matriu de dades no té una distribució normal i és aconsellable emprar, per a la seva anàlisi, tècniques d'estadística no paramètrica.

És interessant comparar els resultats dels estadístics descriptius de les altures relatives amb el de les diferències entre altures relatives o, dit d'una altra manera, les taxes d'erosió-acreció horàries. Les diferències entre els límits o topalls superior i inferior de la mitjana aritmètica són, si més no, negligibles (Taula 2.8 superior). Hi ha variacions, però en el segon o en el tercer decimal. Els límits superior i inferior de la mitjana aritmètica delimiten el rang de valors per als quals existeix la probabilitat del 95% d'incloure el valor de mitjana aritmètica d'una població. En canvi, per a les dades de diferència d'altura relativa entre registres successius, la diferència entre els topalls superiors i els inferiors – fins i tot canviant de signe d'una lectura a una altra i a cada un dels membres – indica que, a primer cop d'ull i de forma exploratòria, hi ha variacions en la microtopografia entre registres (Taula 2.8 inferior).

De fet, les poblacions susceptibles d'acollir la mitjana aritmètica de les diferències d'altura relativa, com a mínim en tres ocasions, tenen els límits del topall per sobre o per sota zero. La resta de cops tenen un membre a cada signe.

El test d'anàlisi de la variància per classes i de dues cues de Friedman (Matthews, 1981) es pot utilitzar per avaluar si existeixen canvis significatius en la topografia durant el mostratge. Aquest test permet treballar amb observacions o parells d'observacions que no són independents. Certament, l'altura relativa d'una coordenada no és independent del valor del registre previ. Però, el problema potencial, en l'ús d'aquesta tècnica estadística, apareix quan es planteja el dubte de la independència entre les diferents coordenades, perquè podria existir-hi la possibilitat d'una autocorrelació espacial. Viles (2001) remarca que la consideració de l'escala és un factor clau en els estudis de meteorització, tot i que, de vegades, resulta problemàtic establir lligams entre formes a nanoescala i els processos que operen en altres escales més grans (Moses i Viles, 1996). Si la resolució vertical del TMEM és de 0,002 mm, i cada coordenada està

	08 a 10 h	10 a 12 h	12 a 14 h	14 a 16 h	16 a 18 h	18 a 20 h	20 a 22 h
08 a 10 h	/						
10 a 12 h	-8.677 <i>0.000</i>	/					
12 a 14 h	-0.142 <i>0.087</i>	-8.981 <i>0.000</i>	/				
14 a 16 h	-3.756 <i>0.000</i>	-8.678 <i>0.000</i>	-2.390 <i>0.017</i>	/			
16 a 18 h	-5.892 <i>0.000</i>	-8.222 <i>0.000</i>	-4.841 <i>0.000</i>	-3.819 <i>0.000</i>	/		
18 a 20 h	-8.919 <i>0.000</i>	-8.593 <i>0.000</i>	-8.274 <i>0.000</i>	-8.574 <i>0.000</i>	-8.229 <i>0.000</i>	/	
20 a 22 h	-3.300 <i>0.001</i>	-8.566 <i>0.000</i>	-2.352 <i>0.019</i>	-0.892 <i>0.372</i>	-2.261 <i>0.024</i>	-8.618 <i>0.000</i>	/

**Taula 2.9** Paràmetres del test estadístic de Wilcoxon. Valors crítics i de probabilitats (en cursiva) per a cada parell de diferències d'altura relativa entre registres.

separada com a mínim per segments lineals de 10 mm, llavors allò que comparem són micres respecte centímetres. Aquest fet implica que, la resolució vertical és, com a mínim, cinc vegades més gran que l'horitzontal. Per aquest motiu, ja que estam treballant en escala de micres, considerarem que els punts, en el pla horitzontal, són independents els uns dels altres.

La hipòtesi nul·la del test de Friedman és que no hi ha variacions significatives de microtopografia; és a dir, que les posicions ordinals de les observacions no difereixen entre registres. Els estadístics ( $\chi^2_r = 366,918$ ;  $gl = 7$ ;  $p = 0,000$ ) permeten concloure amb solidesa que a la superfície estudiada hi ha diferències significatives entre els registres de microtopografia.

El test no-paramètric de Wilcoxon (Matthews, 1982) permet avaluar si els canvis en la superfície de la roca són homogenis en tota la superfície o bé s'hi donen de forma puntual. Dit d'una altra manera, si és tota la superfície que es desplaça en un sentit, o bé si ho fa per pegats. La taula 2.9 recull els paràmetres i probabilitats resultants d'aquest test. Per a tots els parells podem rebutjar, amb solidesa, la hipòtesi nul·la del test que estableix que les diferències d'altura relativa entre registres és homogènia. Tot plegat, posa de manifest que la superfície de la roca estudiada no es mou com un cos homogeni, sinó que els canvis de cota són heterogenis arreu de la superfície.

#### 2.3.4.3 Tendències de la superfície rociosa

S'ha dissenyat un algoritme que classifica les diferències d'altura relativa en tres categories: ascens, descens i sense moviment (estable), respecte del registre previ. Atès que l'error instrumental i els assaigs per determinar la distorsió de l'erosió de l'agulla del TMEM, sumats oscil·len d'un mínim de 0,002 mm a un màxim de 0,007 mm, el paràmetre de tall de l'algoritme s'ha ubicat en  $\pm 0,010$  mm. Així, aquells valors de diferència d'altura relativa compresos entre 0,010 mm i  $-0,010$  mm es consideraran com estables. Aquells amb una taxa de

canvi superior a 0,010 mm seran punts ascendent i els superiors a  $-0,010$  mm seran descendents.

Els resultats de l'aplicació de l'algoritme es presenten a la Fig. 2.14. Així doncs, s'esbossa l'existència d'un cicle, pel que fa a la distribució dels punts i la seva tendència durant el mostratge. La majoria dels punts, entre un 26% i un 68%, romanen estables durant el dia, especialment entre les 12:00 h i les 18:00 h. Les primeres hores del mostratge, i en particular a partir de les 12:00 h, una bona part de les coordenades (entre un 37% i un 54%) experimenten un descens respecte dels registres previs. Finalment, tant a primera hora del matí, com a darrera de l'horabaixa, una part considerable de les coordenades (>50 %) descriuen tendències d'ascens respecte de les posicions d'altura relativa anteriors. Podem definir un escenari, doncs, en el qual la superfície es contreu durant el matí-migdia i s'espandeix durant l'horabaixa-vespre. Observi's que durant el migdia i les primeres hores de l'horabaixa, hi ha un augment del nombre de punts estables. Després de cada descens, augmenta la proporció de punts estables, com si es tractàs d'un efecte acumulatiu.

Per avaluar si la tendència observada és estadísticament significativa s'ha utilitzat el test de la  $\chi^2$ . L'operativa d'aquest estadístic consisteix a comparar una distribució on en cada interval hi hauria d'haver una part proporcional de punts de cada una de les classes descrites, respecte de la distribució real. Per tant, la hipòtesi nul·la del test és que, si les distribucions són proporcionals, llavors es pot afirmar que no hi ha diferències entre el nombre d'ascens, descens i estabilitat de punts durant el mostratge. Aquesta hipòtesi s'ha rebutjat amb una probabilitat major del 99 % ( $\chi^2 = 520,87$ ;  $gl = 12$ ;  $p = 0,000$ ). Aleshores, hi ha una diferència significativa entre els punts que pugen, baixen o romanen quietes entre els diferents registres. Aquestes diferències s'accentuen entre les primeres hores i les darreres del mostratge.

És interessant avaluar quin és el comportament del punt (coordenada) i els seus valors d'altura relativa d'un registre a un altre. La taula 2.10 recull quina

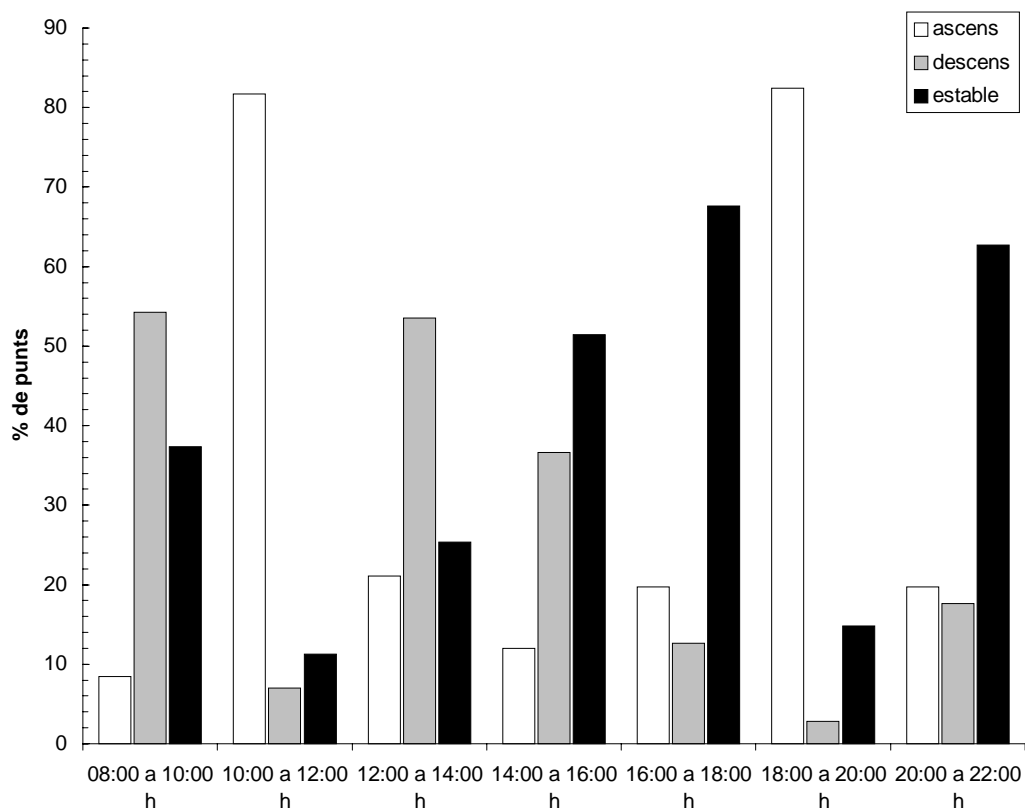


Fig. 2.14 Tendència de la superfície SA TMEM 2 entre registres de mesura d'altura relativa amb el TMEM.

n'és la tendència. Com a mínim 331 coordenades de la superfície mostrejada, un 38,85%, durant part del dia, han experimentat períodes d'estabilitat. Una part important de la superfície, 336 punts que suposen el 39,44% dels registres de tot el mostratge, han augmentat la seva posició respecte del registre previ i només un 21,71% dels casos, 185 punts, han seguit la tendència inversa. Val a dir que allò més freqüent és que després d'un període d'estabilitat el punt ascendeixi i viceversa (17,72% dels casos), i que

després d'un ascens el punt romanguí estable (15,85% dels casos). Amb ordres de magnitud semblants, propers al 14%, hi tenim les tendències de pas d'estable a estable, d'increment relatiu a baixada relativa i de descens a ascens.

Un dels altres interrogants que s'hi plantegen és si les tendències d'una categoria a l'altra es distribueixen de forma homogènia durant el dia o bé estan concentrades en determinats intervals horaris. Per

	08 a 10 10 a 12	10 a 12 12 a 14	12 a 14 14 a 16	14 a 16 16 a 18	16 a 18 18 a 20	18 a 20 20 a 22	N	%
Descens a descens	7	4	27	4	0	0	42	4,93
Descens a estable	9	1	40	27	0	3	80	9,39
Descens a ascens	61	5	9	21	18	1	115	13,50
Estable a descens	2	5	11	4	3	3	28	3,29
Estable a estable	5	5	20	62	10	14	116	13,62
Estable a ascens	46	6	5	7	83	4	151	17,72
Ascens a descens	1	67	14	10	1	22	115	13,50
Ascens a estable	2	30	13	7	11	72	135	15,85
Ascens a ascens	9	19	3	0	16	23	70	8,22
<b>Sumatoris</b>								
Vector estable	16	36	73	96	21	89	331	38,85
Vector ascendent	116	30	17	28	117	28	336	39,44
Vector descendent	10	76	52	18	4	25	185	21,71

Taula 2.10 Tipus de tendència, i nombre de coordenades que l'experimenten, en el desplaçament relatiu dels punts de la superfície rocosa SA TMEM 2.

	0 h	2 h	4 h	6 h	8 h	10 h	12 h	14 h
Ascens	0	14	74	35	14	5	0	0
Descens	16	34	58	24	10	0	0	0
Estable	5	22	37	40	25	10	3	0

Taula 2.11 Temps operatiu dels moviments relatius de la superfície rocosa a SA TMEM 2.

resoldre aquesta qüestió utilitzarem, de nou, el principi operatiu i la capacitat d'anàlisi del test  $\chi^2$ . Ara, la hipòtesi nul·la és que no hi ha diferències en la tendència de moviment dels punts entre els successius registres. Una vegada més, la hipòtesi nul·la és rebutjada a nivells superiors al 99 % de probabilitats ( $\chi^2 = 434,9$ ;  $gl = 10$ ;  $p = 0.000$ ). Aquest fet implica que les diferències són molt marcades durant el dia i que existeix cert biaix en la concentració dels canvis de tipus de moviment relatiu d'una categoria a l'altra.

Un altre dels punts a considerar és quant temps opera cada un dels moviments sobre la superfície i quina n'és la seva durada. La taula 2.11 recull els resultats de considerar l'operació de les tendències a la superfície. No hi ha cap punt que no experimenti un episodi d'ascens, així com també no hi ha cap punt que hagi romàs estable durant tot el mostrejat. De la mateixa manera, hi ha cinc punts que mai no han passat per un cicle d'estabilitat i setze sobre els quals no han actuat moviments descendents. No obstant això, almenys, hi ha entre trenta-cinc i quaranta punts que han tengut un període d'estabilitat, com a mínim, de vuit hores. Quasi bé la totalitat de punts han seguit tendències ascendents o descendents entre dues i quatre hores.

En la majoria dels casos, la durada dels moviments ascendents, descendents i l'absència d'aquests ha

durat consecutivament dues hores. Períodes de tendència més llargs són relativament anecdòtics, excepte per als punts amb cicles d'estabilitat que poden arribar a durar entre vuit i deu hores, tot i que el més habitual són episodis d'estabilitat de quatre i sis hores consecutives (Fig. 2.15).

#### 2.3.4.4 Discussió

De l'anàlisi estadística, en coneixem que durant el mostrejat, i com a mínim en intervals de dues hores, la microtopografia experimenta variacions significatives d'altura relativa. Aquestes variacions no tenen una distribució espacial homogènia a la superfície rocosa.

Les fluctuacions d'altura relativa permeten dividir els desplaçaments en ascensos i descensos respecte de la posició prèvia. De la mateixa manera, l'estabilitat dels punts, el fet que no canviïn d'altura relativa durant l'interval, es considera com una variable categòrica més.

Durant el dia, tot coincidint amb l'increment de temperatura ambiental i amb el descens d'humitat relativa, la superfície de la roca experimenta variacions en la seva microtopografia. Però, és precisament d'ençà de les 13:00 h, amb la incidència de la llum del sol sobre la plataforma, quan

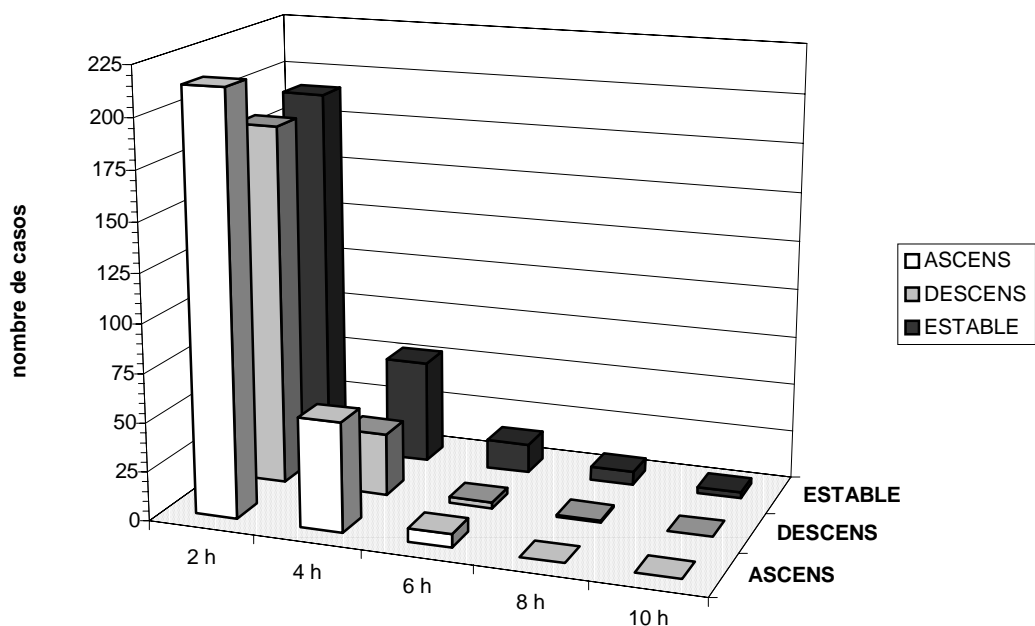


Fig. 2.15 Durada dels moviments relatius entre els intervals de registre de la superfície SA TMEM 2.

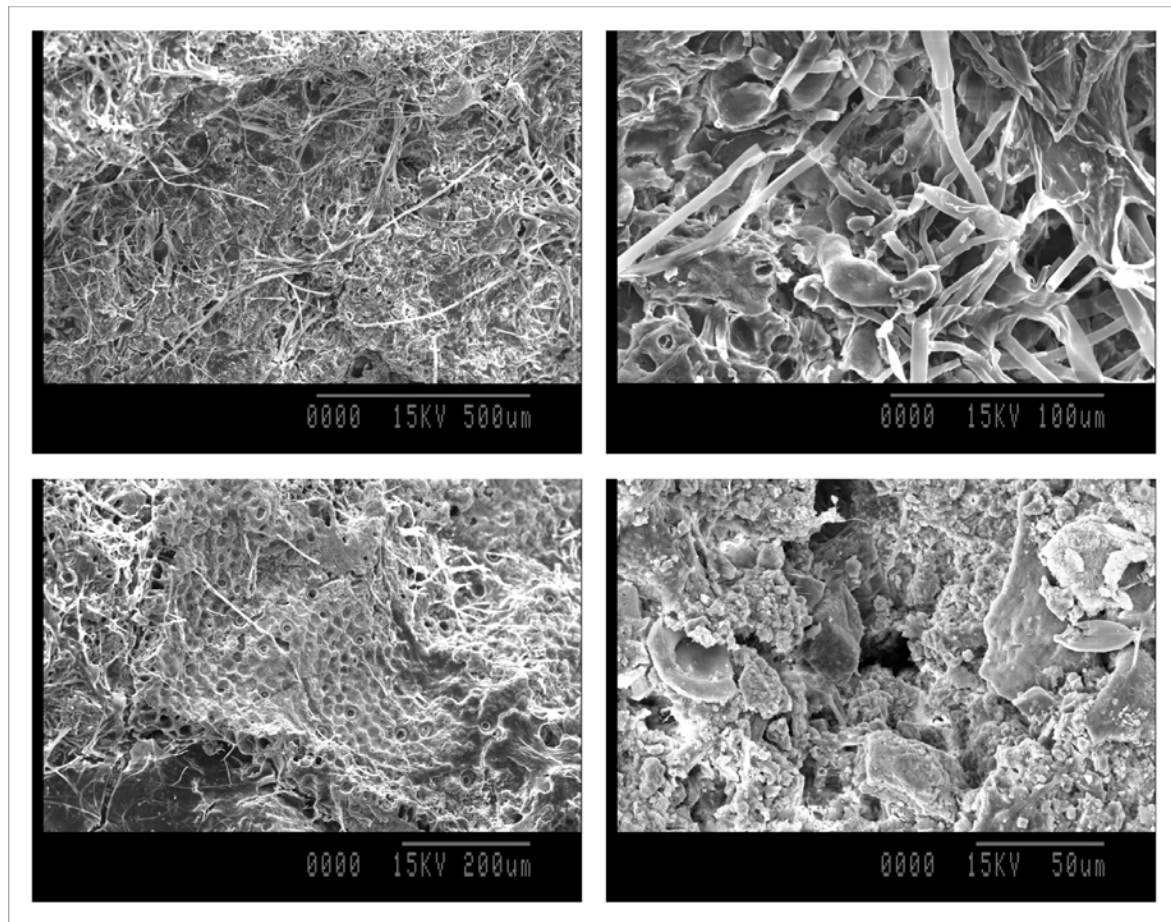


Fig. 2.16 Imatges de microscopi electrònic de rastreig (SEM) de la superfície rocosa SA TMEM 2 on s'hi pot apreciar la important presència de la pàtina biològica i com les hifes i el tal-lus líquènic entapissen la superfície, s'entrellacen amb els grans de la roca i en penetren els buits.

augmenten els punts que experimenten un descens i augmenta el pes de les coordenades que s'estabilitzen així com avança el dia. L'horabaixa, quan deixa d'incidir la llum del sol sobre el rocam, disminueix la temperatura ambiental i augmenta la humitat relativa. Llavors, s'hi incrementa el nombre de punts que pateixen episodis d'ascens.

Aquests patrons de canvi de la superfície rocosa estudiada són força interessants en relació als estudis previs de meteorització del rocam litoral. El patró que s'ha caracteritzat, en aquest experiment de resolució temporal horària, és contrari al comportament que s'espera de la superfície de la roca sota la influència de l'expansió i contracció tèrmiques. Sota el guiatge d'aquest procés, la superfície de la roca s'hauria d'expandir durant les hores de màxima insolació (Bland i Rolls, 1998; Hall i Hall, 1991; Winkler, 1997). Altres processos que segueixen una tendència similar a la contracció i expansió tèrmica, són el creixement dels cristalls de sals (Goudie i Viles, 1997) o la disminució o desplaçament del contingut d'aigua de la roca (Cooke, 1994). Així doncs, no ens trobam davant un cicle que pugui ser explicat pels processos anteriors. Per aquest motiu, s'han analitzat

diverses mostres de fragments de roca propers a la superfície caracteritzada, mitjançant lupa binocular, SEM i làmina prima.

Les observacions amb lupa binocular i microscopi electrònic posen de manifest que la superfície de la roca té una important cobertura biològica (Fig. 2.16). Amb la lupa binocular, s'hi ha identificat la presència del líquen *Arthopyrenia halodytes* (Lluís Fiol, *com. pers.*), així com cianobacteris i hifes de fongs indeterminats. Les hifes apareixen arreu de la superfície, ocupant els buits i les microfractures, fins a pocs mil·límetres per sota de la superfície.

Els líquens són capaços d'alterar el substrat rocós per processos físics i bioquímics. Les rizines penetren en els porus de la roca, pressionant i fragmentant la superfície de la roca per l'expansió i la contracció del seu tal-lus (Fry, 1927; Cooks i Otto, 1980). L'atac bioquímic pot estar relacionat bé amb la producció de diòxid de carboni arran de la respiració, o bé amb la secreció d'àcids orgànics que reaccionen amb el substrat rocós (Chen *et al.*, 2000; Gehrman *et al.*, 1992; Jones i Khale, 1985; Pomar *et al.*, 1975; Stretch i Viles, 2002). Molts estudis que aborden aquesta

matèria es desenvolupen des d'una perspectiva descriptiva, o bé inferint les relacions entre el líquen i l'evolució de les microformes. Són pocs els treballs que, com el de Moses i Smith (1993), relacionen l'erosió del rocam amb l'activitat biofísica del líquen.

Els experiments a propòsit de la fisiologia del líquen constaten que aquests organismes poden patir cicles d'humectació i dessecació amb freqüència (Barreno, 1997; Llimona, 1991). Durant el dia el tal·lus líquènic s'asseca i pot arribar a perdre el 80% del seu pes sec, tot romanent inactiu fins a l'horabaixa quan tornen a hidratar-se amb l'increment d'humitat ambiental (Lange, 1992). Just després de la sortida del Sol, els líquens reben el màxim d'hidratació arran de la condensació de la rosada. És, també, a primera hora del matí quan l'acció fotosintètica del líquen arriba al seu màxim i disminueix dràsticament, així com augmenta la temperatura i la intensitat de la llum. La combinació dels cicles d'humitat i de llum s'han identificat com els factors causants dels canvis importants de l'anatomia del tal·lus i les dimensions de les hifes, perquè el seu contingut en aigua, sols en un dia, pot canviar al voltant d'un 50% o 60% (Souza-Egipsy *et al.*, 2000; Larson, 1987).

Mitjançant les imatges de microscopi electrònic de rastreig (SEM), s'ha mesurat el diàmetre de les hifes que apareixen en els primers mil·límetres de la superfície de la roca i la seva amplària varia de 7,14 a 10,71  $\mu\text{m}$ . Per tant, canvis en el contingut d'aigua poden fer-les augmentar o disminuir entre 4,28 o 6,4  $\mu\text{m}$ . Aquest ordre de magnitud ens ubica en un escenari on l'amplària de les hifes pot oscil·lar de 0,005 a 0,010 mm o de 0,008 a 0,014 mm. Aquests valors són del mateix ordre de magnitud que els valors de mitjana aritmètica de diferència d'altura relativa que s'han registrat instrumentalment a l'experiment (Taula 2.8 inferior). Per tant, el patró de canvis en la microtopografia de la superfície rocosa a s'Alavern sembla seguir l'expansió i la contracció del biofilm que entapissa la roca.

Així doncs, canvis en la temperatura al voltant de 5 °C, del 40% de la humitat relativa i propers a les 1000 unitats de flux lluminós, són suficients per justificar fluctuacions de la superfície rocosa i desplaçaments extrems de -0,303 mm a 0,335 mm, un cop descartats aquells punts que es corresponen amb l'error associat a l'impacte de l'agulla del TMEM.

La repetició d'aquests cicles diaris explica el perquè de la posició variant de punts respecte dels registres previs i indueix a considerar la superfície de la roca, no com un cos inert, sinó com quelcom força dinàmic. Com a mecanisme d'alteració, les variacions de microtopografia debiliten la roca lentament i en condicionen el desmanegament granular, fet que casaria amb les baixes taxes que s'han obtingut a l'experiment d'abast temporal llarg.

## 2.4

### Patrons i taxes d'erosió a costes rocoses calculades mitjançant TMEM: Marengo (Victòria, Austràlia)

S'han desenvolupat dos experiments per tal d'avaluar els patrons i les taxes d'erosió a les costes rocoses mitjançant l'ús del micròmetre de dial mòbil. El primer dels experiments consisteix a determinar la taxa d'erosió en un interval temporal llarg, d'un any. El segon experiment escurça el marc temporal a un seguiment horari durant un cicle de vint-i-quatre hores.

#### 2.4.1

##### Àrea d'estudi

La badia de Marengo es localitza a la costa sud occidental de Victòria (Austràlia), a 185 km al SE de Melbourne (Fig. 2.17), tot coincidint amb el contacte de les serralades d'Otway amb la mar. El relleu es caracteritza per una topografia accidentada desenvolupada sobre arenisques i argil·lites del Cretaci Inferior (Tickell *et al.*, 1992).

La morfologia de la costa respon a un marcat control estructural, caps i badies se succeeixen d'acord amb el capbussament dels estrats i de la fracturació. De fet, la linealitat dominant en aquest sector de costa està relacionada amb la presència d'una falla mar endins (Jenkin, 1991). Les plataformes litorals són formes amb una presència abassegadora que sols veuen trencada la seva continuïtat per les platges i pels caps de les badies. La litologia és d'una importància fonamental per explicar les formes del relleu d'aquest sector costaner (Gill, 1973): allà on afloren les argil·lites ens trobam amb les planes litorals, els sistemes albuferencs i els sistemes dunars associats; mentre que, quan afloren les arenisques, penya-segats i plataformes en són els elements característics.

No es disposa de valors d'altura d'ona per a l'àrea, però es tracta d'una costa sotmesa a un mar de fons molt energètic, amb un clima marítim amb nombroses situacions de tempesta procedents de l'Oceà Índic (Gill i Lang, 1983). La badia de Marengo està subjecta a un règim micro i mesomareal, amb una amplitud de marea de 1,05 m. Les plataformes litorals romanen bona part del temps emergides, i sols durant les pleamars màximes són batudes per les ones (Bird, 1993b).

La precipitació anual és de 1.000 mm i les temperatures mitjanes màximes oscil·len entre els 21,9 °C el mes de gener i els 12,1 °C el mes de juliol. Pel que fa a les mínimes, són de 14,6 °C el mes de febrer i de 7,3 °C el mes de juliol. No obstant això, durant l'estiu es poden arribar a registrar temperatures diürnes superiors als 40 °C.

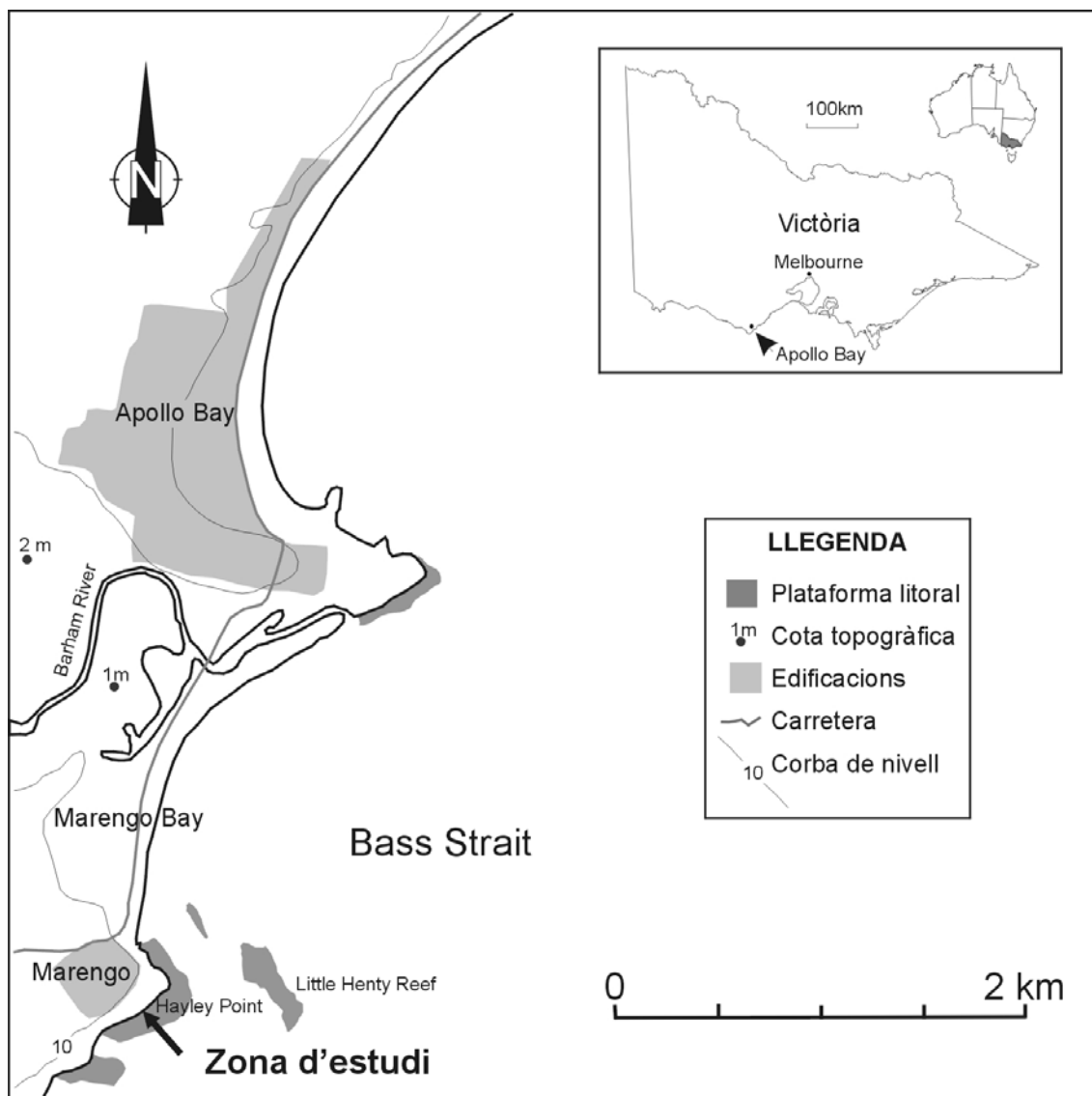


Fig. 2.16 Localització de la zona d'estudi a Hayley Point, badia de Marengo (Victòria, Austràlia).

L'àrea d'estudi es localitza a 100 m en direcció oest de Hayley Point (Marengo). Es caracteritza per la presència d'una plataforma subhoritzontal –tipus B– de 30 m d'amplària modelada sobre arenisques arcòsiques de color verd-grisós (Fig. 2.18). El límit marí de la plataforma acaba amb un salt bruscat, de poc més d'1,5 m d'alçària, a partir del qual es perllonga una plataforma permanentment sotaiguada –sols visible a les baixamars màximes– altres 30 m mar enllà. Els sectors més propers al límit marí de la plataforma destaquen per la intensitat de la colonització biològica. Entre d'altres organismes, en destaquen pegellides (*Patelloida latistrigata*, *Patellodia alticostata*, *Cellana tramoserica*), bivalves (*Mytilus planulatus*, *Donax deltooides*) i gastròpodes (*Bembicium namum*, *Noddilittorina unifasciata*, *Austrocochlea constricta*, *Tabo undulatus*), així com també macroalgues del grup de les fucals. El límit terrestre de la plataforma el marca un penya-segat de 3,5 m d'alçària de perfil esglaonat. Taffoni, nius

d'abella i concrecions són elements molt característics de l'aparença geomòrfica de la façana del penya-segat.

#### 2.4.2 Materials i disseny experimental

La superfície rocosa estudiada es troba a 1,83 m sobre el nivell mitjà del mar, a 30 m del límit marí de la plataforma litoral (Fig. 2.18). El rocam que hi aflora el formen arenisques d'origen volcànic (arenites arcòsiques de color gris i verdós) de la formació Eumeralla. Aquesta formació es correspon al membre superior del Grup Mesozoic d'Otway i la componen seqüències monòtones de sediment corresponents a un ambient fluvial força energètic (Struckmeyer i Felton, 1990), amb tota probabilitat un curs trenat (*braided*) amb una font abundant d'arenes i fragments volcànics (Drossos, 1989). La composició dels detritus

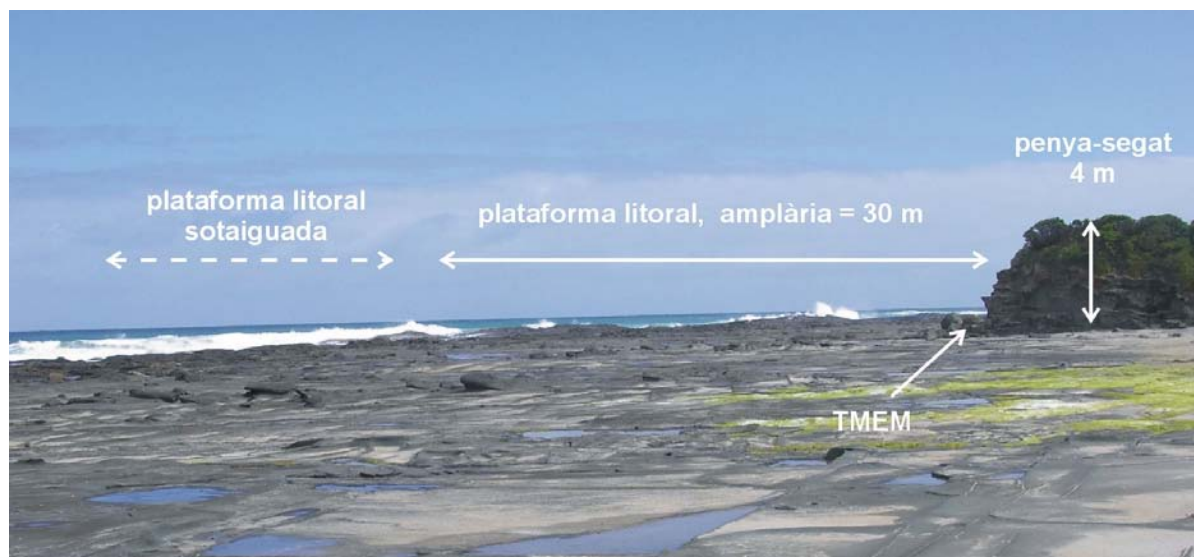


Fig. 2.18 Penya-segat i plataforma litoral llavorada en arenites arcòsiques a Marengo (Victòria, Austràlia)

volcànics és principalment feldspàtica, tot i que modificada per un metamorfisme de baixa intensitat i pel ciment diagenètic de clorita.

L'estudi de les làmines primes mostra com el substrat està format per arenisques de gra fi, ben classificades (calibre de 4 a 2 phi). La forma dels grans és subangular i subarrodonida, el grau de cimentació és important i la porositat molt baixa ( $10,59 \pm 1,17\%$ ). El principals components de la roca són fragments volcànics (originalment plagiòclasi –anortita– de formes subarrodonides) i fragments de quars de forma subangular. En una menor proporció, hi són presents amfibols, piroxens, moscovita, goethita, així com clorita i altres minerals del grup de les argiles. La major part de les plagiòclasis presenten diferents graus de meteorització degudes, probablement, a la seva variació composicional que es tradueix en una alteració diversa. Les mostres més alterades presenten un increment de més del 50% dels grans d'anortita (plagiòclasi càlcica).

Per a la quantificació de les taxes d'erosió de la costa rocosa s'ha utilitzat el TMEM del Grup de Geomorfologia Litoral de la Universitat de Melbourne. Es tracta d'un TMEM modificat d'acord amb Stephenson (1997), mitjançant la incorporació d'un rellotge comparador digital, Mitutoyo® ID-C1025, i un programari de transmissió de dades que permet el registre automàtic de les lectures a un ordinador portàtil. S'han instal·lat els claus de relocalització de l'aparell en una superfície supralitoral, al peu del penya-segat. El TMEM abasta una superfície de  $40 \text{ cm}^2$  i permet el registre de 188 valors d'altura relativa. A fi i efect d'avaluar l'error de registre de l'instrument, i la possible component d'erosió atribuïble al contacte físic de l'agulla del TMEM, s'han repetit un mínim de deu vegades les

lectures d'altura relativa en diferents coordenades sobre un bloc de calibratge de la mateixa litologia i característiques del rocam sobre el qual es desenvolupa l'experiment al camp. L'error de registre de l'instrument s'ha quantificat en  $\pm 0,003 \text{ mm}$  (Taula 2.12).

El seguiment de les superfícies rocoses, mitjançant el TMEM a Marengo, s'ha dut a terme en dues ocasions: el 31 d'octubre de 2002 i el 13 de novembre de 2003. La darrera data també es correspon amb la realització de l'experiment de seguiment horari.

Per al càlcul de les taxes d'erosió s'han utilitzat dos procediments. D'una banda, el còmput de la diferència mitjana d'alçària relativa a partir dels valors dels mostratges corresponents a l'any 2002 i 2003; i, d'altra banda, el càlcul de la diferència de volum entre les superfícies –microtopografies– que, mitjançant el programari Surfer® v.7, s'han construït a partir de les coordenades i els valors d'alçària relativa per a cada un dels mostratges. Per convertir els valors de volum en valors lineals, amb la finalitat de comparar les taxes d'erosió entre ambdós procediments, s'ha dividit la diferència de volum entre superfícies per l'àrea de mostratge.

S'han recollit mostres de roca properes a la superfície estudiada per a la seva exploració mitjançant microscopi electrònic de rastreig, làmina prima i difracció de raigs X.

#### 2.4.3

##### *Taxes d'erosió anuals a la costa de Marengo*

La superfície estudiada a Hayley Point, Marengo, suposa un conjunt de 376 registres d'alçària relativa i



Coordenada	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	$\mu$	$\sigma$
A6 - B8 - C11	11,697	11,695	11,690	11,696	11,696	11,694	11,694	11,695	0,002
A7 - B8 - C10	11,654	11,658	11,653	11,660	11,658	11,658	11,656	11,657	0,002
A8 - B8 - C9	11,693	11,695	11,691	11,697	11,696	11,694	11,693	11,694	0,002
A9 - B8 - C8	11,777	11,779	11,774	11,780	11,781	11,778	11,779	11,778	0,002
A10 - B8 - C7	11,848	11,843	11,839	11,845	11,846	11,843	11,844	11,844	0,003
A11 - B8 - C6	11,933	11,939	11,935	11,941	11,941	11,940	11,942	11,939	0,003
A6 - B7 - C11	11,692	11,694	11,690	11,696	11,695	11,693	11,693	11,693	0,002
A7 - B7 - C10	11,661	11,663	11,660	11,665	11,664	11,662	11,663	11,663	0,003
A8 - B7 - C9	11,687	11,690	11,687	11,692	11,691	11,689	11,689	11,689	0,002
A9 - B7 - C8	11,770	11,774	11,770	11,776	11,773	11,773	11,774	11,773	0,002
A10 - B7 - C7	11,839	11,840	11,837	11,843	11,843	11,840	11,839	11,840	0,002
A11 - B7 - C6	11,936	11,939	11,933	11,940	11,941	11,939	11,940	11,938	0,003
A6 - B9 - C9	11,698	11,705	11,696	11,707	11,706	11,704	11,705	11,703	0,004
A7 - B9 - C8	11,719	11,723	11,718	11,725	11,725	11,721	11,722	11,722	0,003
A8 - B9 - C7	11,800	11,804	11,800	11,800	11,804	11,802	11,802	11,802	0,002
A9 - B9 - C6	11,857	11,861	11,856	11,862	11,861	11,860	11,859	11,859	0,002
<b>Error instrumental mitjà</b>									<b><math>\pm 0,003</math></b>

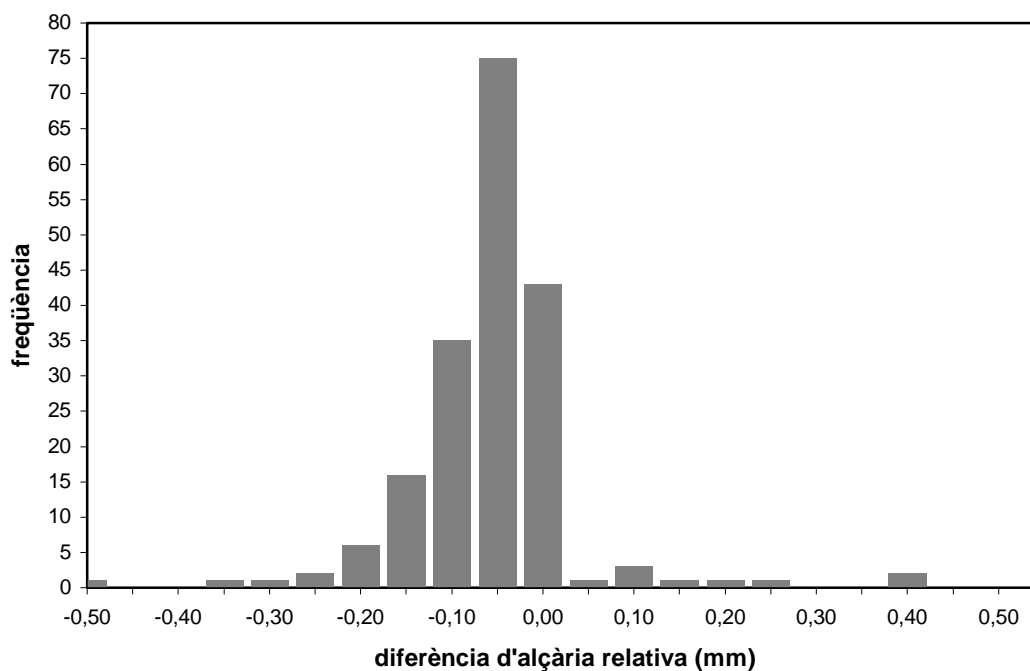
**Taula 2.12** Registre d'altures relatives (mm) de l'experiment per avaluar l'error intrumental en la repetició de mesures del TMEM de la Universitat de Melbourne.

388 valors de taxes d'erosió (Annex 1). La diferència entre les microtopografies dels mostratges del 31.10.02 i el 13.11.03 aboca un domini clar de les coordenades amb tendències negatives. El 67% de les coordenades registren taxes d'erosió entre  $-0,050$  mm i  $-0,150$  mm per a l'interval de mesura. Sols un 5% de les coordenades presenten desplaçaments ascendents (Fig. 2.19).

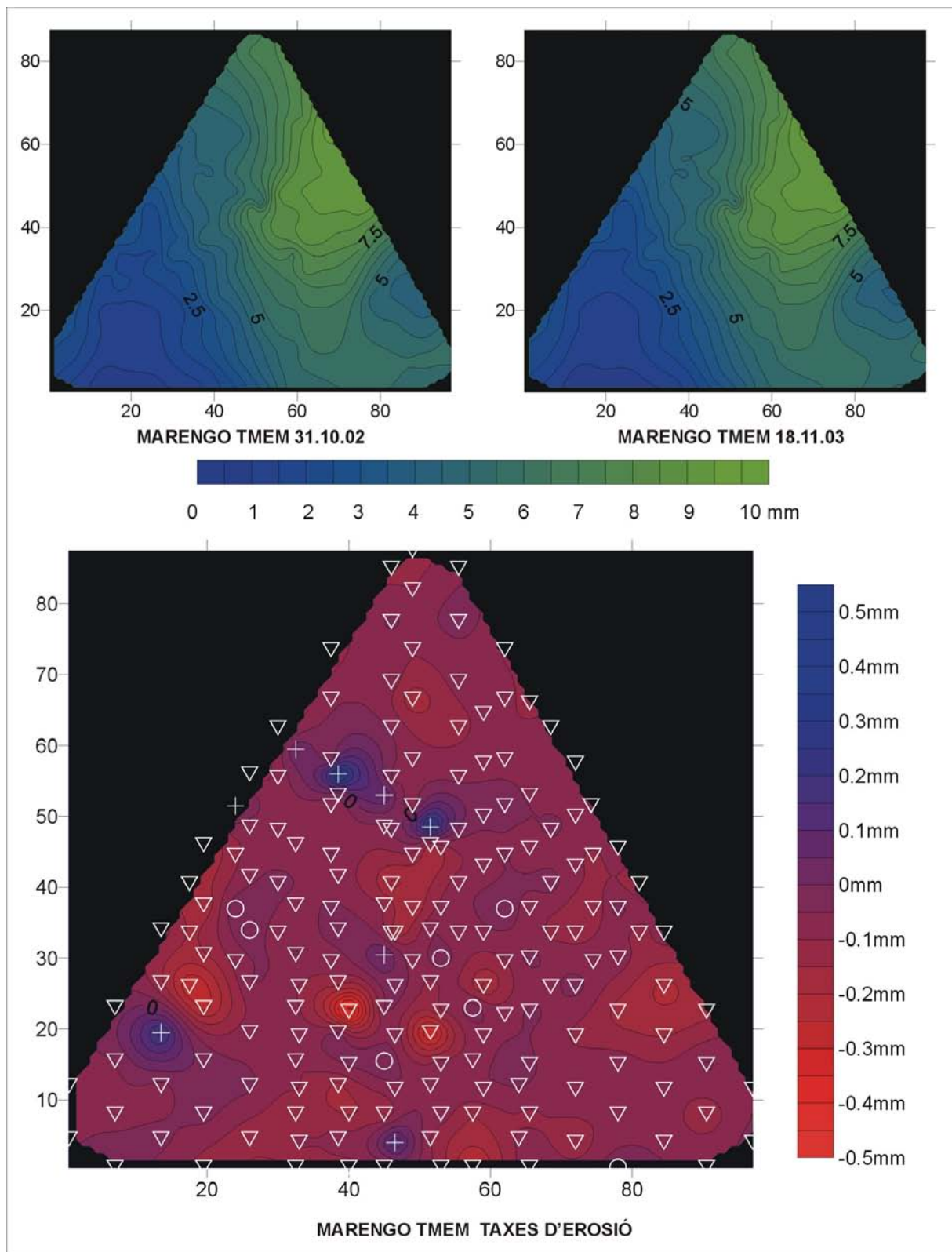
La taxa d'erosió mitjana de la superfície estudiada, calculada a partir de les diferències de registre per a l'interval definit (Taula 2.13), és de  $-0,077$  mm·a<sup>-1</sup>.

La desviació típica de la sèrie de valors de diferència de cota entre registres és més gran que la pròpia mitjana, la qual cosa, una vegada més, alerta de l'heterogeneïtat de respostes de la superfície rocosa.

De fet, per a la superfície supralitoral de la plataforma de Hayley Point, el rang de les taxes d'erosió oscil·la de  $-0,510$  mm·a<sup>-1</sup> a  $0,378$  mm·a<sup>-1</sup>. A la figura 2.20 es fa palesa la tendència erosiva de la superfície rocosa, però també s'hi observa que no hi ha una tendència clara en la distribució de les coordenades amb taxes de signe positiu o de signe negatiu.



**Fig. 2.19** Distribució de freqüències dels valors de diferència d'altura relativa (mm) entre el 31.10.02 i el 13.11.03 a Marengo.



**Fig. 2.21** Superposició de les microtopografies corresponents als mostratges i variacions d'alçària relativa a Marengo. Els símbols representen la tendència en termes relatius de cada coordenada: creus (> 0,001 mm = ascens), cercles (0,010 a - 0,010 mm = estable) i triangles (< -0,010 = descens).

	Marengo TMEM
N	188
Taxa d'erosió mitjana (mm·a <sup>-1</sup> )	-0.077
Desviació estàndard	0.086
Mínim (mm·a <sup>-1</sup> )	-0,510
Màxim (mm·a <sup>-1</sup> )	0,378
Taxa d'erosió neta surfer (mm·a <sup>-1</sup> )	- 0,042
Taxa d'erosió negativa surfer (mm·a <sup>-1</sup> )	-0,044
Taxa d'erosió positiva (mm·a <sup>-1</sup> )	0,002

**Taula 2.13** Taxes d'erosió a Marengo calculades per la diferència dels valors d'altura relativa i per la diferència de volum entre microtopografies corresponents als mostratges del 31.10.02 i el 13.11.03.

Les taxes d'erosió, calculades per superposició de les microtopografies, són lleugerament diferents de les derivades de la diferència de registre entre lectures successives, tot i que del mateix ordre de magnitud. La taxa d'erosió neta és de -0,042 mm·a<sup>-1</sup>, la mitjana per a les coordenades descendents és de -0,044 mm·a<sup>-1</sup> i la mitjana per a les coordenades ascendents de 0,002 mm·a<sup>-1</sup>.

La consideració dels quartils permet entreveure que són les altures extremes aquelles que experimenten unes tendències més accentuades de bombament o ascens. El 2002 les mitjanes del primer i quart quartil són menors que el 2003, 2,030 a 1,846 mm i 8,077 a 8,055 mm. No obstant això, els quartils intermedis presenten la tendència inversa. Així la mitjana del segon quartil és de 4,300 mm el 2002 i de 4,216 mm el 2003. Per al tercer quartil la mitjana d'altura relativa oscil·la de 5,785 a 5,769 mm. Per tant les coordenades extremes, tant en positiu com en negatiu, experimenten tendències ascendents, mentre que és més probable que les coordenades intermèdies, pel que fa a l'altura, siguin més estables.

#### 2.4.4

##### *Variacions horàries de microtopografia a Marengo*

Stephenson *et al.* (2004) ja havien assajat de caracteritzar el fenomen del bombament de la superfície rocosa (*rock surface swelling*) a la contrada de Marengo (Apollo Bay). N'obtenen valors de variació d'alçària relativa amb un rang que oscil·la de -1,970 a 1,681 mm. Els resultats de l'experiment d'abast temporal llarg a Hayley Point també deixa entreveure la superposició de cicles de bombament respecte de cicles de denudació, més llargs, de la superfície rocosa. Per aquest motiu, s'ha desenvolupat sobre la mateixa superfície l'experiment de seguiment horari.

El mostratge es realitzà el 13.11.03 de les 06:00 h a les 22:00 h i s'hi aixecaren microtopografies cada dues hores d'acord amb l'instrument i les característiques tècniques explicades a l'apartat

anterior (Fig. 2.21). En paral·lel s'hi ha fet un seguiment de les variables de temperatura, humitat ambiental i temperatura de la roca en superfície i a 1,5 cm i 3 cm de profunditat, mitjançant un sensor compacte amb registre automàtic de dades HOBO® 4235. L'interval de registre de les variables ambientals és d'un minut. El sensor s'ha ubicat a l'ombra per tal d'evitar l'escalfament de l'aparell a causa de la insolació directa. La temperatura de la roca s'ha registrat mitjançant un altre sensor compacte amb registre automàtic de dades HOBO® 4235. Els sensors s'han ubicat a la superfície de la roca (protegits per un pegat de massilla) i a sengles forats, a 1,5 cm i 3 cm de profunditat, d'acord amb les experiències d'Smith i McGreevy (1983) i Kerr *et al.* (1984). Els forats, tot i ser d'un diàmetre semblant al



**Fig. 2.21** Dispositiu instrumental del seguiment de les variacions de microtopografia horàries a Hayley Point, Marengo.

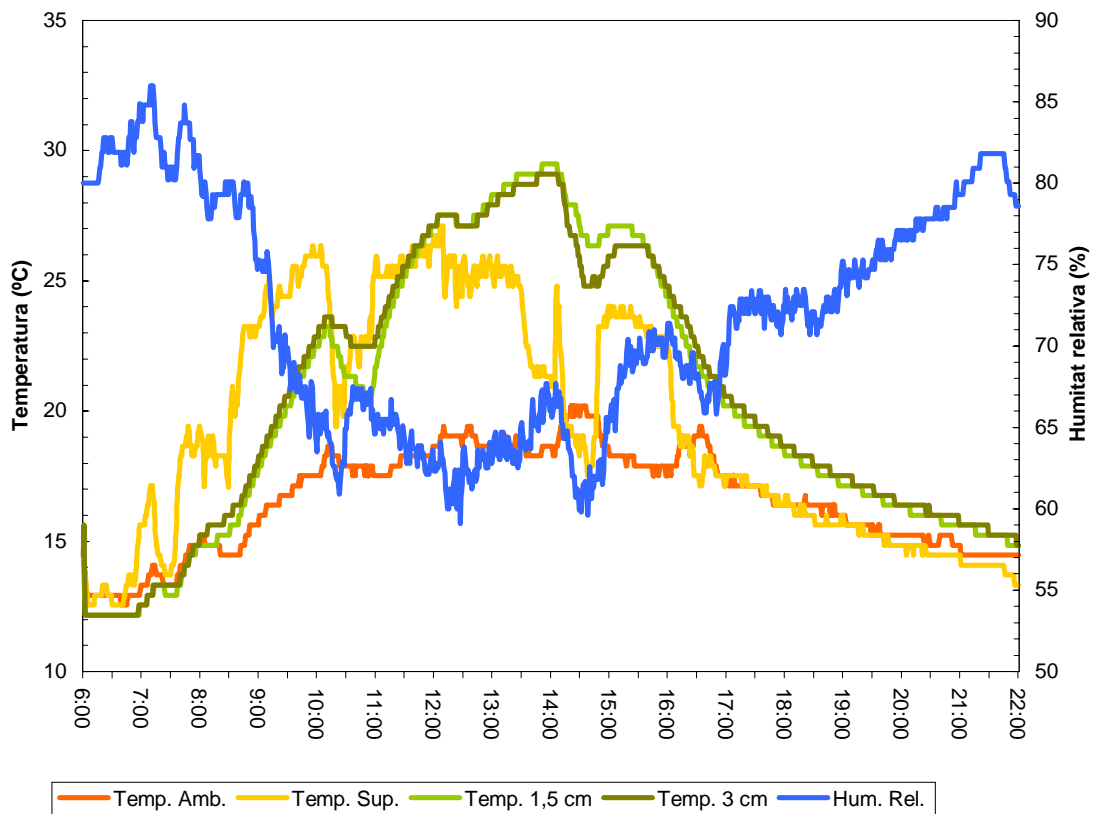


Fig. 2.22 Evolució dels paràmetres ambientals, de temperatura de la superfície de la roca i en profunditat durant l'experiment a Marengo.

del sensor, s'han emplenat amb una mescla de resina plàstica conductiva i pols de la mateixa roca, per tal d'evitar distorsions entre la temperatura de la roca i la temperatura ambiental (Warke, 2000). També s'han recollit fragments de roca per a la seva exploració amb microscopi electrònic de rastreig (SEM).

#### 2.4.4.1 Paràmetres ambientals

Durant el mostratge les temperatures ambientals han fluctuat entre 12,9 °C i 21°C, mentre que els valors d'humitat relativa han variat del 57% al 86%, tot seguint un cicle invers una respecte de l'altra (Fig. 2.22).

Els valors màxims de temperatura ambiental s'hi donen el migdia devers les 14:30 h, mentre que els màxims d'humitat relativa hi apareixen a primera hora del matí i a darrera del vespre, 7:12 h i 21:36 h respectivament. Els canvis més acusats de les dues variables ambientals coincideixen entre les 9:00 h i les 10:30 h amb un descens de la humitat relativa del 80% al 61% i un ascens de la temperatura de 14,43 °C a 18,02 °C. Entre les 15:00 h i les 17:00 h es torna a registrar un canvi bruscat d'ambdues variables, però en sentit invers a l'anterior. En aquest cas, la temperatura disminueix de 20,07 °C a 17,22 °C i la humitat relativa puja del 60% al 72,4%.

Les sèries de temperatura de la superfície de la roca i en profunditat varien al llarg del dia. A primera hora, la roca està freda respecte de la temperatura ambiental. Després de les 8:00 h, quan la llum del sol comença a incidir a la localitat d'estudi, la temperatura de la roca i l'ambiental són, si més no, iguals.

Amb el decurs del dia, i l'efecte acumulatiu d'hores d'insolació, la temperatura de la superfície de la roca arriba a les 11:30 h als 25 °C, mentre que l'ambiental és de 17 °C. A partir d'aquest moment, la temperatura en superfície comença a disminuir així com ho fa l'ambiental, però els registres de temperatura a -1,5 cm i -3 cm de profunditat de la roca segueixen augmentant la seva temperatura. Per exemple, a les 14:00 h la temperatura ambiental és de 18 °C, de 22 °C en superfície, de 30 °C a -1,5 cm i de 29 °C a -3 cm. Les diferències de temperatura entre els sensors en diferents profunditats no són gaire accentuades i sols a partir de les 18:00 h la temperatura a -3 cm és lleugerament superior als registres a -1,5 cm de profunditat.

Tot plegat, una vegada més, dibuixa un escenari amb gradients de temperatura ambiental i humitat relativa durant el dia, així com perfils de resposta diferenciada pel que fa a la temperatura entre superfície i profunditat de la roca (Fig. 2.22).

<b>Altures relatives</b>	<b>06:00 h</b>	<b>08:00 h</b>	<b>10:00 h</b>	<b>12:00 h</b>	<b>14:00 h</b>	<b>16:00 h</b>	<b>18:00 h</b>	<b>20:00 h</b>	<b>22:00 h</b>
N	188	188	188	188	188	188	188	188	188
Mitjana aritmètica	4,994	4,999	4,991	4,991	4,991	4,990	4,995	4,995	4,999
Límit inferior 95	4,656	4,661	4,652	4,653	4,653	4,652	4,658	4,657	4,661
Límit superior 95	5,332	5,337	5,329	5,329	5,329	5,328	5,333	5,333	5,337
Mitjana retallada 5%	4,977	4,982	4,973	4,974	4,974	4,972	4,978	4,977	4,982
Mitjana	5,124	5,132	5,121	5,122	5,126	5,130	5,122	5,105	5,133
Variància	5,492	5,490	5,494	5,496	5,494	5,495	5,480	5,494	5,490
Desviació típica	2,344	2,343	2,344	2,344	2,344	2,344	2,341	2,344	2,343
Mínim	0,455	0,459	0,452	0,452	0,454	0,454	0,465	0,472	0,469
Màxim	9,793	9,800	9,787	9,787	9,787	9,788	9,785	9,799	9,794
Rang	9,338	9,341	9,335	9,335	9,333	9,334	9,320	9,327	9,325
1r quartil	3,658	3,656	3,663	3,661	3,662	3,657	3,673	3,662	3,657
3r quartil	2,988	2,996	2,984	2,984	2,986	2,986	2,984	2,992	2,997
Amplària interquartils	6,646	6,652	6,647	6,645	6,648	6,643	6,657	6,654	6,654

<b>Dif. altures relatives</b>	<b>06 a 08 h</b>	<b>08 a 10 h</b>	<b>10 a 12 h</b>	<b>12 a 14 h</b>	<b>14 a 16 h</b>	<b>16 a 18 h</b>	<b>18 a 20 h</b>	<b>20 a 22 h</b>
N	188	188	188	188	188	188	188	188
Mitjana aritmètica	0,0046	-0,0084	0,0006	-0,0004	-0,0010	0,0057	-0,0003	0,0040
Límit inferior 95	0,0033	-0,0097	-0,0007	-0,0015	-0,0018	0,0038	-0,0040	0,0010
Límit superior 95	0,0059	-0,0071	0,0018	0,0008	-0,0002	0,0076	0,0033	0,0070
Mitjana retallada 5%	0,0047	-0,0085	0,0003	0,0005	-0,0011	0,0055	-0,0006	0,0014
Mitjana	0,0060	-0,0090	0,0000	0,0010	-0,0010	0,0090	-0,0010	0,0000
Variància	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0002	0,0006	0,0004
Desviació típica	0,0089	0,0089	0,0090	0,0079	0,0054	0,0132	0,0253	0,0209
Mínim	-0,0580	-0,0410	-0,0460	-0,0420	-0,0250	-0,0540	-0,1260	-0,0380
Màxim	0,055	0,055	0,073	0,033	0,037	0,123	0,261	0,181
Rang	0,113	0,096	0,119	0,075	0,062	0,177	0,387	0,219
1r quartil	0,006	0,008	0,003	0,003	0,004	0,017	0,013	0,007
3r quartil	0,002	-0,012	-0,001	-0,001	-0,003	-0,004	-0,007	-0,002
Amplària interquartils	0,008	-0,004	0,002	0,002	0,001	0,013	0,006	0,005

**Taula 2.14** Resum estadístic per als valors d'altura relativa (superior) i de diferència d'altura relativa entre registres successius (inferior) de la superfície de Marengo. Unitats en mm.

#### 2.4.4.2 Comportament de la superfície rocosa

El registre dels 188 valors d'altura relativa en intervals de dues hores, de les 6:00 h a les 22:00 h, aboca una matriu de 1.607 cotes microtopogràfiques. Se n'han calculat els principals paràmetres estadístics, bé com a valor d'alçària, bé com a diferència d'alçària entre registres (Taula 2.14). Per als dos conjunts de dades, les desviacions típiques i els errors de les mitjanes aritmètiques són grans. Per tant, és aconsellable, novament, contrastar el comportament de la superfície rocosa mitjançant tècniques d'estadística no paramètrica.

En comparar els estadístics descriptius per a les altures relatives i els de les diferències entre aquestes, el límit dels valors que amb una probabilitat del 95%, són susceptibles d'acollir la mitjana aritmètica no presenten variacions, excepte al tercer decimal per als valors absoluts d'alçària. Sí que són significatius, però, per a les diferències entre hores de mostratge.

Els topalls, inferior i superior, de la mitjana aritmètica suggereixen l'existència de diferències en la

microtopografia de la superfície estudiada, ja que en tres intervals de mostratge la mitjana de la població canvia, en sentit positiu per sobre de zero i, altres dos cops, en sentit negatiu per sota de zero. La resta de les observacions temporals tenen un dels límits per sota zero i l'altre sobre zero (Taula 2.14 inferior). Observi's la diferència màxima entre altures relatives: el rang és de 0,387 mm i la mínima de 0,062 mm. Els màxims desplaçaments respecte del registre previ són de 0,261 mm per al vector positiu i de 0,126 mm per al negatiu.

Per tal d'avaluar si aquestes diferències són significatives o no ho són i quin n'és el seu patró, desenvoluparem la mateixa aproximació estadística i les consideracions teòriques que s'han discutit a l'apartat dedicat als experiments d'abast horari a Mallorca (apartat 2.3.4). El test de Friedman (Matthews, 1981) permetrà afirmar si ens trobam davant d'un conjunt de variacions significatives de la microtopografia. Així doncs, la hipòtesi nul·la, que nega l'existència de les variacions d'altura entre registres, pot ser rebutjada amb un marge prou ample de confiança ( $\chi^2_r = 465,35; p = 0,000$ ).

	06 a 08 h	08 a 10 h	10 a 12 h	12 a 14 h	14 a 16 h	16 a 18 h	18 a 20 h
08 a 10 h	-10.7635 <i>0.0000</i>						
10 a 12 h	-7.0682 <i>0.0000</i>	-9.8193 <i>0.0000</i>					
12 a 14 h	-7.7404 <i>0.0000</i>	-9.4862 <i>0.0000</i>	-1.8837 <i>0.0596</i>				
14 a 16 h	-9.0871 <i>0.0000</i>	-9.6761 <i>0.0000</i>	-4.2541 <i>0.0000</i>	-4.5767 <i>0.0000</i>			
16 a 18 h	-0.4731 <b>0.6361</b>	-10.6009 <i>0.0000</i>	-5.9122 <i>0.0000</i>	-6.2199 <i>0.0000</i>	-7.0273 <i>0.0000</i>		
18 a 20 h	-5.7948 <i>0.0000</i>	-6.8510 <i>0.0000</i>	-1.3391 <i>0.1805</i>	-1.1175 <i>0.2638</i>	-0.7632 <b>0.4454</b>	-4.5907 <i>0.0000</i>	
20 a 22 h	-4.2270 <i>0.0000</i>	-10.2304 <i>0.0000</i>	-1.5082 <i>0.1315</i>	-2.0941 <i>0.0363</i>	-4.3931 <i>0.0000</i>	-4.2587 <i>0.0000</i>	-1.7774 <i>0.0755</i>

**Taula 2.15** Paràmetres del test estadístic de Wilcoxon. Valors crítics i de probabilitats (en cursiva) per a cada parell de diferències d'altura relativa entre registres a Marengo.

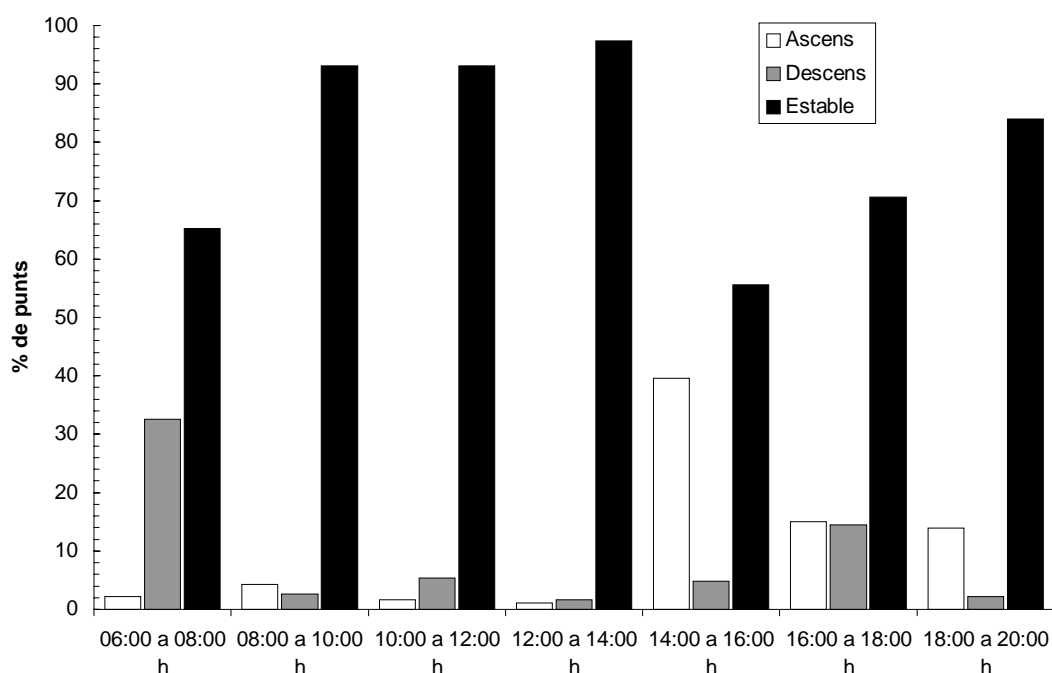
El test no paramètric de Wilcoxon (Matthews, 1981) l'utilitzarem per contrastar si els canvis de microtopografia són homogènis en tota la superfície, o si bé es donen a mode de pegats.

La taula 2.15 en presenta els resultats. Excepte en dues observacions (en negreta a la taula 2.15), podem rebutjar la hipòtesi nul·la per la qual les diferències d'altura relativa es distribueixen de forma homogènia arreu de la superfície estudiada. Cal remarcar que no hi ha diferències significatives entre els registres de les 06:00 h a les 8:00 h i els de les 16:00 h a les 18:00h. Ambdós intervals es corresponen amb els episodis d'escalfament i refredament màxims de la superfície rocosa.

#### 2.4.4.3 Tendències de la superfície rocosa

La figura 2.23 resumeix la tendència de la superfície rocosa d'acord amb l'algorisme que s'ha descrit prèviament a l'apartat 2.3.4 de la present memòria. Aquest algorisme classifica la superfície en tres categories (ascens, descens i estable) d'acord amb el signe dels valors i la posició d'altura respecte a un filtre de  $\pm 0,010$  mm.

La majoria dels punts romanen estables durant tot el dia. A primera hora del matí n'hi ha un nombre important que descendeixen respecte la posició prèvia. El contrari succeeix l'horabaixa-vespre quan, bona part dels punts, comencen a ascendir.



**Fig. 2.23** Tendència de la superfície rocosa entre registres de mesura d'altura relativa amb el TMEM a Marengo.

	06 a 08 08 a 10	08 a 10 10 a 12	10 a 12 12 a 14	12 a 14 14 a 16	14 a 16 16 a 18	16 a 18 18 a 20	18 a 20 20 a 22	N	%
Descens a descens	0	1	0	0	1	1	1	4	0,31
Descens a estable	2	55	4	8	2	4	14	89	6,80
Descens a ascens	2	5	1	2	0	4	12	26	1,99
Estable a descens	50	2	6	1	8	15	2	84	6,42
Estable a estable	115	117	166	173	100	65	117	853	65,16
Estable a ascens	1	3	2	0	74	24	13	117	8,94
Ascens a descens	11	2	4	2	0	11	1	31	2,37
Ascens a estable	5	2	4	1	2	63	26	103	7,87
Ascens a ascens	1	0	0	0	0	0	1	2	0,15
Vector estable	122	174	174	182	104	132	157	1045	79,83
Vector ascendent	4	8	3	2	74	28	26	145	11,08
Vector descendent	61	5	10	3	9	27	4	119	9,09

**Taula 2.16** Tipus de tendència i nombre de coordenades que l'experimenten en el desplaçament relatiu dels punts de la superfície rocosa a Marengo.

És important fer èmfasi en el fet de l'estabilitat de la superfície durant el dia. De les 10:00h a les 16:00 h, quan la llum del sol incideix de ple a la superfície, el nombre de punts que no experimenten cap desplaçament augmenta, llavors roman constant i la superfície sembla estabilitzar-se. Observi's que així com passa el dia s'incrementa el nombre de punts estables; després d'un ascens els punts romanen estables i es dona una mena d'efecte d'acumulació, com si la superfície arribés a la seva capacitat màxima de contracció (Fig. 2.23).

Per avaluar si la tendència observada és estadísticament significativa utilitzarem el test de la  $\chi^2$ . La hipòtesi nul·la del test és que no hi ha diferències en el nombre d'ascensos, descensos i punts estables durant el mostratge. És a dir, es compara una matriu amb el mateix nombre de casos per interval horari i categoria amb les observacions reals. Aquesta hipòtesi es pot rebutjar amb una probabilitat major del 99% ( $\chi^2 = 419,46$ ;  $p = 0,000$ ). Així, doncs, hi ha una diferència significativa en el nombre de desplaçaments durant el dia. Bona part d'aquesta variació es troba a les primeres hores i a les darreres hores del dia.

De la superfície rocosa estudiada, se'n pot analitzar la tendència dels seus canvis d'altura relativa d'una categoria a una altra. La taula 2.16 en recull les distribucions de freqüències. Així, com a mínim, 1.045 punts romanen estables tot el dia, 145 coordenades experimenten ascensos i 119 descensos.

El patró més habitual entre desplaçaments successius és mantenir-se estable després d'un període del mateix signe (853), seguit del pas d'una tendència estable a una d'ascens (117). Com a mínim, hi ha 103 punts que, després d'ascendir, passen a un període d'estabilitat i, pel que fa a les components negatives, és igual de probable que els descensos siguin antecedents pels episodis estables o viceversa. També, es pot avaluar mitjançant el test  $\chi^2$  si existeix un biaix temporal en la distribució de les tendències. La hipòtesi nul·la torna a ser rebutjada amb comoditat ( $\chi^2 = 387,16$ ;  $p = 0,000$ ). Novament, es posa de manifest l'existència d'una diferència significativa entre el comportament i la tendència del tipus de desplaçament relatiu entre una categoria i una altra durant el mostratge.

Pel que fa a les hores que la superfície experimenta cada un dels diferents tipus de desplaçament, almenys hi ha 47 coordenades que mai no pateixen un cicle d'ascens i 85 que mai no descendeixen, fet que contrasta amb altres punts que no han deixat de moure's durant l'experiment.

Els episodis d'ascens i descens afecten bona part dels punts, com a mínim dues hores (119 i 83 respectivament), tot i que els períodes estables acostumen a operar sobre les coordenades entre 10 i 16 hores (Taula 2.17). En molts casos els ascensos i els descensos no depassen les dues hores de durada com ho posen de manifest 116 i 159 casos per a cada una de les tendències. Durades més llargues són

	2 h	4 h	6 h	8 h	10 h	12 h	14 h	16 h
Ascens	116	2	1	0	0	0	0	0
Descens	159	2	0	0	0	0	0	0
Estable	104	71	32	19	64	29	6	32

**Taula 2.17** Temps operatiu dels moviments relatius de la superfície rocosa a Marengo.

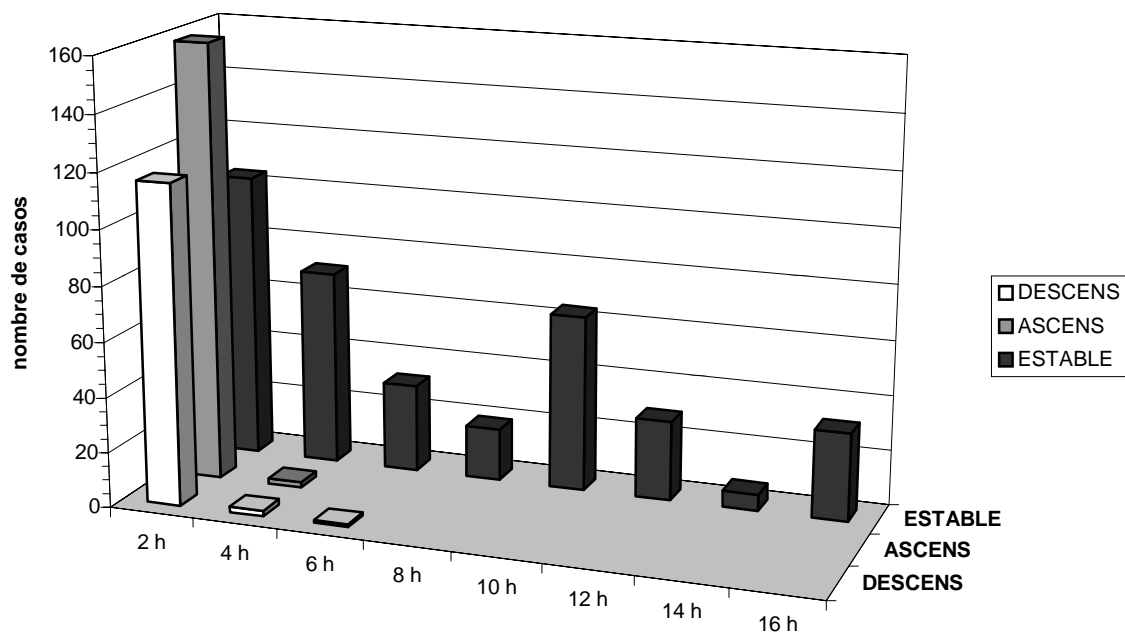


Fig. 2.24 Durada dels moviments relatius entre intervals de registre de la superfície de Marengo.

anecdòtiques (Fig. 2.24). En canvi, els episodis d'estabilitat tenen un espectre de continuïtat més ample, tot i que aquells intervals més freqüents són de 2, 4 i 10 hores.

#### 2.4.4.4 Discussió

De l'anàlisi estadística en coneixem, com també passa amb la superfície estudiada a Mallorca, que, durant el mostratge, i com a mínim en intervals de dues hores, la microtopografia de la superfície rocosa estudiada a Marengo experimenta variacions significatives d'altura relativa. Aquestes fluctuacions no tenen un patró espacial ni temporal homogeni sobre la superfície de la roca.

Per al mostratge de Marengo, el patró general és d'un descens de les cotes microtopogràfiques respecte de les posicions prèvies al matí, de l'estabilitat de la superfície amb petites oscil·lacions durant les hores de màxima insolació i, finalment, d'un ascens generalitzat de la superfície en reduir-se la temperatura i augmentar la humitat relativa quan el sol deixa d'incidir sobre la plataforma litoral.

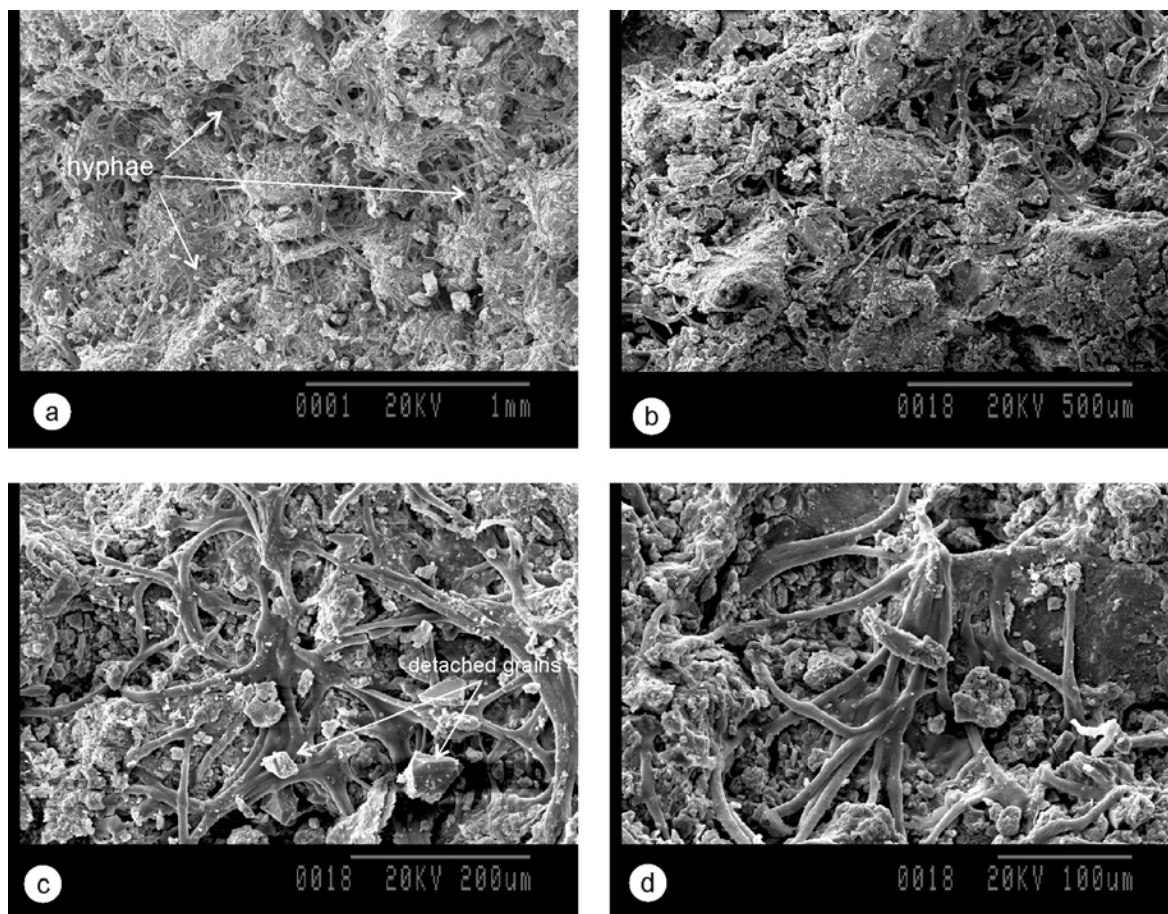
La seqüència descrita és contrària als efectes que es podrien esperar de la incidència de factors físics com l'expansió i contracció tèrmica, els canvis de tensió superficial i capil·lar relacionats amb el contingut en aigua de la roca (Mitchell i Hasley, 2000), o la meteorització per sals.

Les observacions de lupa binocular i les imatges del microscopi electrònic de rastreig constaten la presència d'una colonització líquènica de la superfície de la roca important, tot i que l'absència de cossos reproductius no n'ha permès la identificació. Les hifes apareixen arreu de la superfície rocosa, entre els grans, ocupant els buits i les microfractures des de la superfície de la mostra fins a pocs mil·límetres de profunditat (Fig. 2.25.)

El cicle fisiològic dels líquens ja ha estat descrit en detall a l'apartat de continguts en paral·lel, dedicat a la costa rocosa de Mallorca. En poques paraules es podria resumir com una seqüència d'expansió i contracció de les hifes, fins a un 80% del seu volum, d'acord amb la incidència de la llum solar sobre la roca i el descens de la humitat relativa, la qual cosa coincideix, a grans trets, amb el patró de la superfície de la roca observat instrumentalment.

Es pot plantejar el dubte de si allò que s'ha mesurat és precisament només un ascens i un descens biològic i no un ascens i descens de la superfície del rocám. Però, de fet, les pròpies imatges de microscopi electrònic de rastreig i les làmines primes (Fig. 2.26) permeten entreveure la complexa colonització biològica de la roca. Ens trobam amb una pàtina amb característiques de nínxol ecològic endo i epilítica (Golubic *et al.*, 1981), de manera que superfície i organisme esdevenen u. Tot i que no prou contundent, una altra evidència que posaria de manifest el paper actiu de l'alteració dels líquens serien els abundants





**Fig. 2.25** Imatges de microscopi electrònic de rastreig (SEM) de la superfície rocosa de Marengo on s'hi pot apreciar la important presència de la pàtina biològica i com les hifes entapissen la superfície, s'entrellacen amb els grans de la roca i en penetren en els buits. A les imatges a i b s'observa com el líquen ocupa la porositat de la roca. A c i d, el contrast entre la superfície colonitzada que subjecta grans a punt de desprendre's i d'altres que ja ho estan (indicats amb fletxes).

exemples de descamacions presents arreu dels penya-segats i plataformes de Marengo. El gruix de les escates coincideix amb la màxima profunditat de penetració de les hifes dels líquens (Fig. 2.27).

El diàmetre de les hifes, a les mostres estudiades, és de 16  $\mu\text{m}$ . Per tant, canvis en el 80% del seu volum poden incrementar o reduir, al voltant de 12  $\mu\text{m}$ , el diàmetre de les hifes. Aquestes oscil·lacions poden abraçar des de gruixes de les hifes de 0,022 mm a 0,099 mm. El rang dels valors de canvi de les hifes coincideix amb els ordres de magnitud de canvis en la superfície rocosa que s'ha quantificat a Marengo (Taula 2.14).

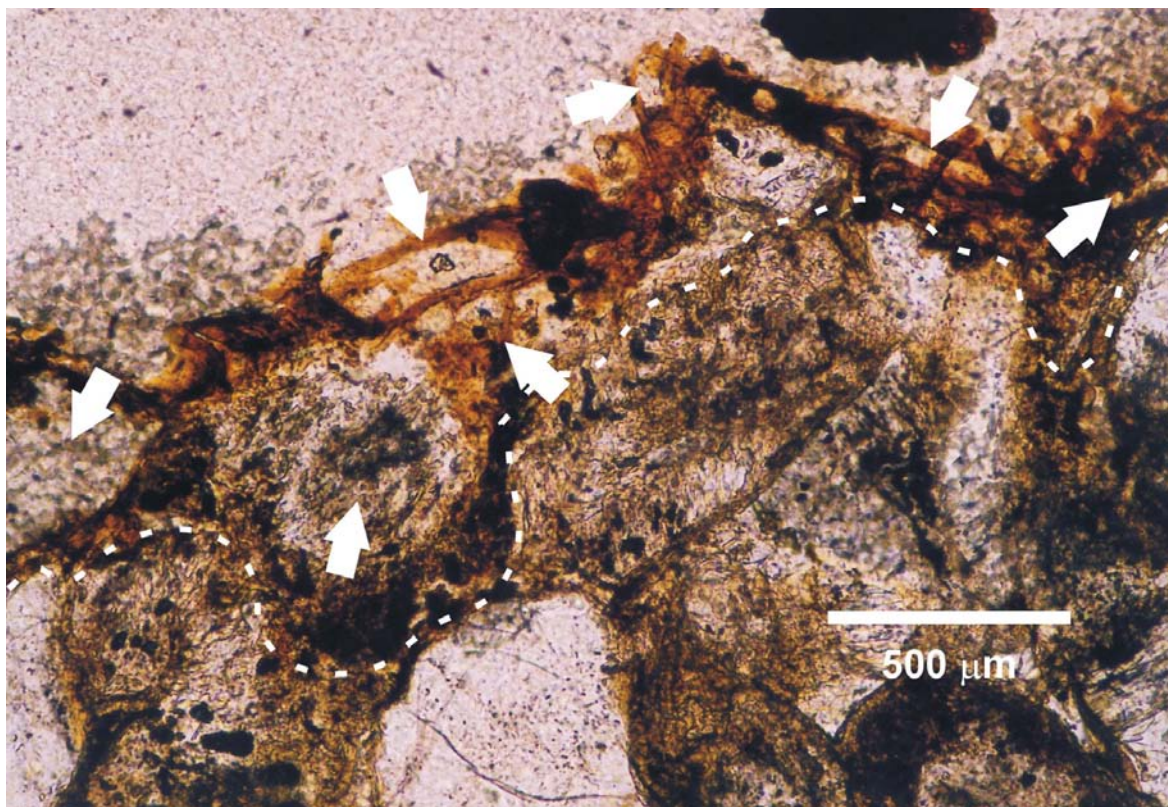
Així doncs, tot sembla indicar que l'expansió i la contracció de la superfície rocosa caracteritzada a Marengo segueix el cicle fisiològic dels líquens. Des de les 08:00 h la superfície rocosa es contreu i roman estable fins a la posta de Sol, quan torna a registrar moviments ascendants. L'estabilitat de la superfície durant el dia augmenta i, en especial, després de cada episodi de descens de les coordenades. La màxima contracció es dona durant l'escalfament màxim de la

superfície rocosa, coincidint amb el mínim d'humitat relativa. A partir del refredament i l'augment de temperatura de les 16:00 h, la superfície torna, de nou, a expandir-se. La quantificació instrumental posa de manifest que diferències de 5  $^{\circ}\text{C}$  o de 25 punts en la humitat relativa són suficients per produir moviments relatius de la superfície rocosa de  $-0,126$  mm a  $0,261$  mm. Mecanisme que, dia rere dia, actua com a procés en la fatiga de la roca i n'afavoreix la disgregació granular.

## 2.5

### Patrons i taxes d'erosió a la costa rocosa calculades mitjançant escàner làser (LS)

S'han caracteritzat les taxes de denudació de la costa rocosa en cinc localitats de l'illa de Mallorca i, en cada una d'elles, en dues superfícies localitzades en el domini supralitoral del perfil. L'abast temporal dels mostrats és d'un any. Donades les característiques de tècniques i de transport de l'escàner làser, d'entrada, cal fer èmfasi en el fet que, de totes les superfícies rocoses de la zona d'estudi, les àrees



**Fig. 2.26** Làmina prima de la superfície rocosa de Marengo colonitzada per líquens. El biofilm apareix fins a una profunditat de 0,16 mm de la superfície, amb hifes que arriben a penetrar fins a 0,8 mm (línia de punts). Les fletxes indiquen exemples de grans de roca envoltats i subjectats per les hifes.

escanejades en són les més horitzontals i menys rugoses, per la qual cosa ja, d'un bon principi, introduïm un biaix important en el mostratge. Això no obstant, val a dir que l'estudi de les taxes de denudació amb l'escàner làser no persegueix tant quantificar l'erosió en la component vertical de la costa, com avaluar si els ordres de magnitud entre les taxes calculades amb el micròmetre de dial mòbil i les calculades amb l'escàner làser són comparables.



**Fig. 2.27** Exemples de descamacions al voltant de la superfície rocosa mostrejada a Marengo. Observi's l'escàs gruix de les escates de roca despreses, entre 1 i 2 mm, tot coincidint amb la màxima profunditat de penetració de les hifes.

### 2.5.1

#### Localitats d'estudi

Les costes rocoses són l'element més característic del litoral de Mallorca. El tipus de penya-segat i el seu perfil estan relacionats amb les característiques i distribució de les grans unitats morfoestructurals de l'illa (Fig. 2.28). A la Serra de Tramuntana i a la de Llevant, els penya-segats es desenvolupen sobre calcàries plegades del Mesozoic fins al Miocè Inferior i Mitjà, amb façanes de penya-segat de 3 a 50 m d'alçària i, en alguns casos, entrant a plom 5 o 10 m mar endins. En aquesta unitat morfoestructural, les plataformes litorals hi apareixen de forma puntual, amb un fort control estructural (Gelabert *et al.*, 1992). Així doncs, en el rocam carbonatat del Juràssic Inferior és difícil trobar plataformes litorals arran de la intensa fracturació i control tectònic que fa caure els perfils de costa, abruptament, dins la mar. Això no obstant, a les turbidites neògenes o a les dolomies del Retià, sí que hi apareixen plataformes, tot i que amb un desenvolupament discret.

Les calcarenites postorogèniques del Miocè Superior afloren a les unitats morfoestructurals de les Marines de Llevant i de Migjorn. El perfil típic d'aquest sector de costa és el d'una costa esglaonada relacionada amb els nivells marins del Plistocè (Butzer, 1962). Aquest seguit de relleixos tenen, també, el seu origen en la

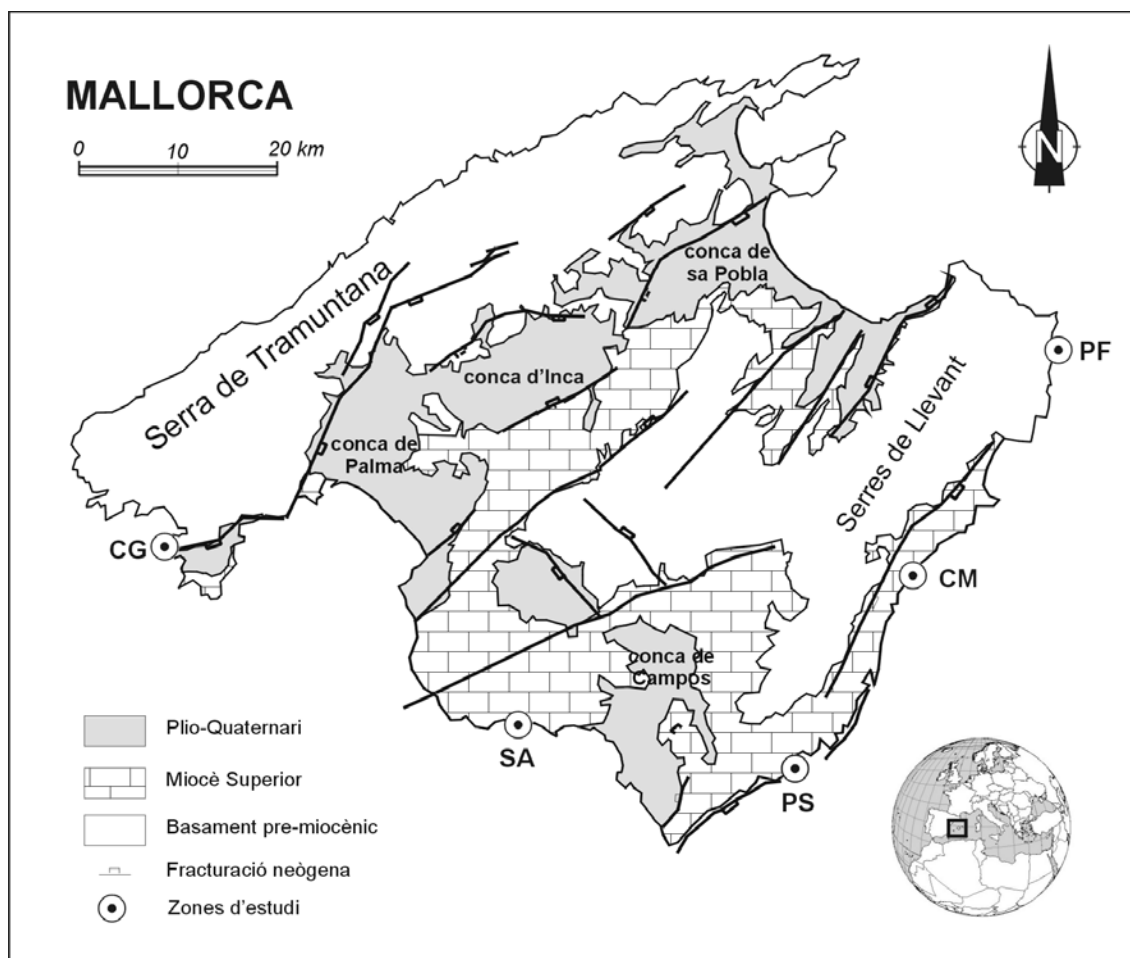


Fig. 2.28 Localitats d'estudi per al càlcul de la taxa d'erosió de la costa rocosa mitjançant la tècnica instrumental de l'escàner làser.

geometria i diferències geomecàniques i les fàcies dels materials tabulars del Miocè Superior (Fornós i Pomar, 1984; Pomar i Ward, 1999). Els penya-segats tallats als rocams del Miocè varien de 3 a 20 m d'alçària. Les plataformes, tot i que apareixen a pegats, són més contínues a la línia de costa que no a la unitat morfoestructural de la Serra de Tramuntana.

Les localitats d'estudi abasten cada una de les grans unitats geomòrfiques de l'illa de Mallorca i permeten avaluar-ne les taxes d'erosió sobre diferents litologies i exposicions (Fig. 2.28):

La **Cala d'en Guixar** (CG) es troba situada al vessant oest de la península de Santa Ponça, entre Punta Negra i la badia de ses Penyes Roges, al peu de l'extrem meridional de la Serra de Tramuntana. El relleu d'aquest sector de costa s'ha d'interpretar com el resultat d'una evolució complexa amb interferències dels dominis terrestre i marí. Cossos sedimentaris de ventalls al·luvials, platges, dunes i dipòsits marins d'ambients restringits d'edat plio-quaternària apareixen escampats arreu d'aquest sector de costa. El basament està format per dolomies juràsiques plegades. La línia de costa és força

articulada i els penya-segats tenen una alçària d'1m a 10 m en funció dels accidents de l'antic paleorelleu.

La zona d'estudi de **s'Alavern** (SA) es troba a l'est de Cala Pi. Es tracta d'una plataforma litoral de 10 m d'amplària desenvolupada sobre biocalcarenites, més o menys cimentades, de la Unitat Escullosa del Miocè Superior. Hi segueix un relleix a 1,5 m fossilitzat per cossos dunars del Würm (Cuerda i Sacarès, 1992), sobre el qual descansa un penya-segat de 15 m tallat sobre les calcàries del Complex Terminal (Fornós i Pomar, 1983) que resta coronat pels cossos dunars i interdunars del Plistocè.

La **Punta des Sivinar** (PS), entre Cala Figuera i s'Amarador, és un sector litoral típic de la marina de Llevant. El rocam és força semblant al de s'Alavern i el penya-segat s'aixeca uns 15 m per sobre d'una rasa a 2 m del nivell marí mitjà. En són abundants les formes de rascler litoral.

**Cala Murada** (CM) es troba a 10 km al nord del Port de Felanitx. A diferència de les anteriors, aquí els penya-segats només els construeixen els materials durs de la Unitat Escullosa del Miocè superior

	CG	SA	PS	CM	PF
Litologia	Bretxa dolomítica	Calcarenita	Calcarenita	Calcarenita	Calcària
Edat	Retià	Miocè Superior	Miocè Superior	Miocè Superior	Cretaci
Geologia	Plegada	Tabular	Tabular	Tabular	Plegada
Composició	86,44% dolomia 11,07% calcita	61,40% dolomia 38,96% calcita	86,5% dolomia 13,37% calcita	96,57% calcita	91,40 % calcita
Rebot escleròmetre	59,9 – 58,8 dura	56,2 – 41,37 moderadament dura	60,48 – 61,67 dura	51,6 - 49,7 moderadament dura	59,8 – 63,7 dura
Densitat	2,60 g·cm <sup>-3</sup>	2,40 g·cm <sup>-3</sup>	2,45 g·cm <sup>-3</sup>	2,12 g·cm <sup>-3</sup>	2,35 g·cm <sup>-3</sup>
Porositat	10,66 %	28,47%	24,25 %	7,68 %	6,61 %

**Taula 2.18** Característiques litològiques del rocam de les costes amb seguiment d'escàner làser a Mallorca.

(Pomar,1991). A grans trets, aquest sector, destaca per una paret força vertical arran de mar, amb algun relleix i un perfil esglaonat terra endins.

La **Punta des Faralló** (PF), a les Serres de Llevant, és un sector de costa retallat sobre calcàries mesozoiques fortament plegades i amb una important esquistositat horitzontal. Els penya-segats tenen alçades, més aviat modestes, d'1,5 m a 4 m. En aquells sectors, on l'estructura i les discontinuïtats ho permeten, s'hi desenvolupen plataformes litorals de poc més d'1 m o 2 m d'amplària.

### 2.5.2

#### *Materials i disseny experimental*

Les superfícies s'han escanejat dos cops. La primera campanya es desenvolupà els mesos de maig a juliol de 2000 i la segona de maig a juny de 2001. L'àrea escanejada és de 200 x 200 mm amb una resolució de registre espacial per a cada mil·límetre. Aquest fet implica que les microtopografies de cada localitat suposen un volum de 40.000 valors d'alçària relativa.

Sempre que l'aflorament ho ha permès, s'ha escanejat una superfície a la zona d'acció dels esquits, de vegades agranada per l'onatge, mentre que l'altra superfície s'ubicava en el domini del ruixim. Atès que les mesures d'alçària relativa queden registrades

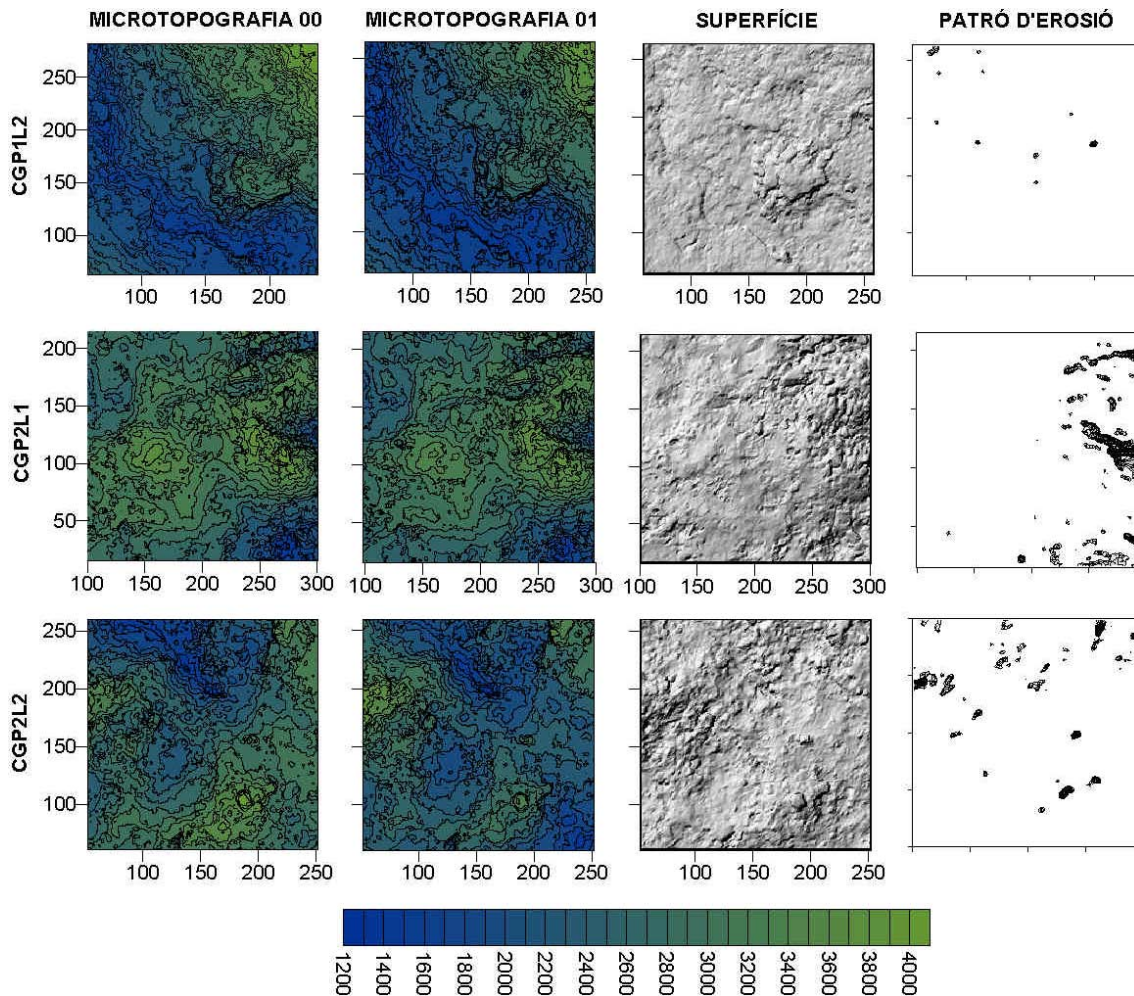
automàticament a l'ordinador, poden ser tractades per un programari que permeti treballar amb models digitals del terreny. Mitjançant el programari Surfer<sup>®</sup> es pot avaluar si hi ha alguna mena d'incidència o error en l'aixecament de la microtopografia.

El mateix programari permet el càlcul de les taxes d'erosió per a les superfícies, a partir de la resta, en termes de volum (mm<sup>3</sup>) de les microtopografies successives. A fi i efecte d'estandarditzar la taxa d'erosió, es divideix per la superfície escanejada (mm<sup>2</sup>). En aquells casos en els quals la diferència de volum queda sota l'error instrumental ( $\pm 0,025$ ), ja no es calcula la taxa d'erosió.

La taula 2.18 resumeix les característiques litològiques del rocam de les superfícies estudiades, la seva posició i els paràmetres geomecànics. A grans trets, tenim dos conjunts de substrat. D'una banda, aquells que, tot i que força durs a l'escala de Selby (1980), estan intensament fracturats i tenen una mida de gra heterogènia, com és el cas de les bretxes juràsiques de Cala d'en Guixar i les calcàries de Punta des Faralló. D'altra banda, tenim aquell conjunt de roques del Miocè Superior que, tot i que texturalment semblants arran de la seva diagènesi, tenen una duresa o resistència mecànica diferents. Aquest és el cas de Cala Murada i s'Alavern, de duresa moderada a l'escala de Selby (1980), i la Punta des Sivinar amb una duresa forta.

Superfície	Domini hidrodinàmic	Període de mostratge	Taxa d'erosió (mm·a <sup>-1</sup> )	Error instrumental
CGP1L1	Zona d'esquits	2000 – 2001	1,377	$\pm 0,025$
CGP1L2	Zona de ruixim	2000 – 2001	0,343	$\pm 0,025$
CGP2L1	Zona d'esquits	2000 – 2001	1,097	$\pm 0,025$
CGP2L2	Zona de ruixim	2000 – 2001	1,234	$\pm 0,025$
CMP1L1	Zona d'esquits	2000 – 2001	0,754	$\pm 0,025$
PFP1L1	Zona d'esquits	2000 – 2001	0,411	$\pm 0,025$
PSP1L1	Zona d'esquits	2000 – 2001	0,514	$\pm 0,025$
PSP1L2	Zona de ruixim	2000 – 2001	0,960	$\pm 0,025$
SAP1L1	Zona d'esquits	2000 – 2001	0,103	$\pm 0,025$
SAP1L2	Zona de ruixim	2000 – 2001	0,411	$\pm 0,025$

**Taula 2.19** Taxes d'erosió de la costa rocosa calculades mitjançant l'escàner làser.



**Fig. 2.29** Patrons i taxes d'erosió, per superposició de microtopografies obtingudes amb l'escàner làser, sobre bretxes juràsiques. A l'escala gràfica els valors de microtopografia es donen com l'angle de retorn del làser (1200 LS = 30 mm i 4000 LS = 100 mm).

### 2.5.3

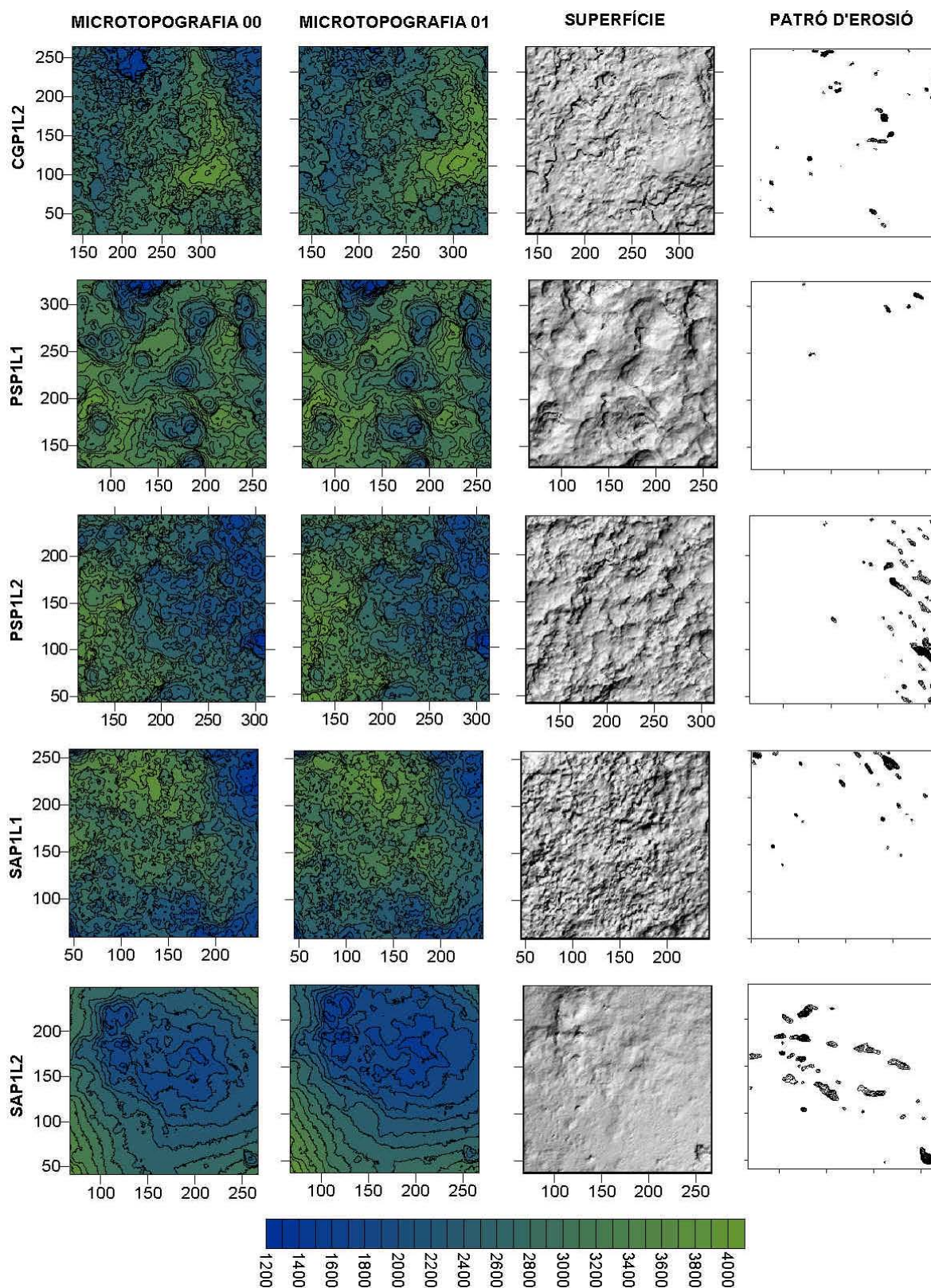
#### Resultats i discussió

Els resultats de les taxes d'erosió calculades a partir de la superposició de les microtopografies obtingudes amb l'escàner làser es presenta a la taula 2.19. Les taxes d'erosió oscil·len entre el valor mínim de  $0,343 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  de la superfície CG\_P1\_L2, ubicada al domini d'acció del ruixim, i el màxim, també a la mateixa localitat i en posició semblant, de la superfície CG\_P2\_L2, amb  $1,234 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ . No hi ha una relació directa entre la duresa i les taxes d'erosió, ja que aquestes són més altes a les bretxes plegades de Cala d'en Guixar, que no a les biocalcarenites blanques de s'Alavern.

La classificació de la mida de gra en podria ser la causa. A la Fig. 2.29 i 2.30 es pot apreciar l'efecte dels còdols de la bretxa juràsica sobre la textura i l'aparença de la superfície rocosa. De la mateixa manera, crida l'atenció que les taxes calculades a les superfícies ubicades a la zona de ruixim acostumen a ser més altes que no les velocitats de denudació de les

superfícies de la zona d'esquits. En aquesta línia, d'un domini hidrodinàmic a l'altre, hi ha al voltant de 3 dècimes de mil·límetre de diferència. A s'Alavern, la zona d'esquits registra un descens per a l'àrea escanejada de  $0,103 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  i a la de ruixim de  $0,411 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ . A la Punta des Sivinar la proporció és semblant, de  $0,514 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  a  $0,960 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ . Tot i això, per a cada localitat, llevat del cas esmentat de Cala d'en Guixar, es manté el mateix ordre de magnitud entre les taxes d'erosió de les superfícies.

Un altre aspecte a concretar dels resultats de la superposició de les microtopografies de l'escàner làser, són els patrons espacials de meteorització. A la Fig. 2.30, els gràfics corresponents a la interpolació de les taxes d'erosió presenten la diferència entre les superfícies concentrades en uns pocs punts. Hi ha superfícies estudiades, on el descens de la superfície queda emmascarat per l'arrabassament d'un còdol de la bretxa, com és el cas de CG\_P1\_L2. En canvi, a d'altres, la distribució del procés, tot i no ser anisòtropa, afecta la major part de la superfície escanejada, com a CG\_P2\_L2 o SA\_P1\_L2.



**Fig. 2.30** Patrons i taxes d'erosió, per superposició de microtopografies obtingudes amb l'escàner làser, sobre calcarenites miocenes. A l'escala gràfica els valors de microtopografia es donen com a l'angle de retorn del làser (1200 LS = 30 mm i 4000 LS = 100 mm).

## 2.6

### Patrons i taxes d'erosió a la costa rocosa calculades mitjançant tests d'exposició (*weight-loss rock tablets*)

Els tests d'exposició, els principis operatius dels quals ja s'han descrit a l'apartat 2.2.3, són una aproximació clàssica al càlcul de l'erosió i de la meteorització subedàfica (Matsukura i Hirose, 1999) de la denudació dels paisatges kàrstics (Crabtree i Trudgill, 1985; Jennings, 1981) i de la meteorització del

patrimoni arquitectònic (Moses, 1996; Trudgill *et al.*, 1990). Pel que fa les costes rocoses, els tests d'exposició s'han utilitzat per separar la contribució dels processos de meteorització química, respecte dels d'acció mecànica de l'onatge i la component biològica (Trudgill, 1976), o bé per quantificar el balanç erosió-protecció que la microflora i la microfauna desenvolupen sobre el rocam costaner (Naylor i Viles, 2002; Sartoretto, 1998; Viles *et al.*, 2000).

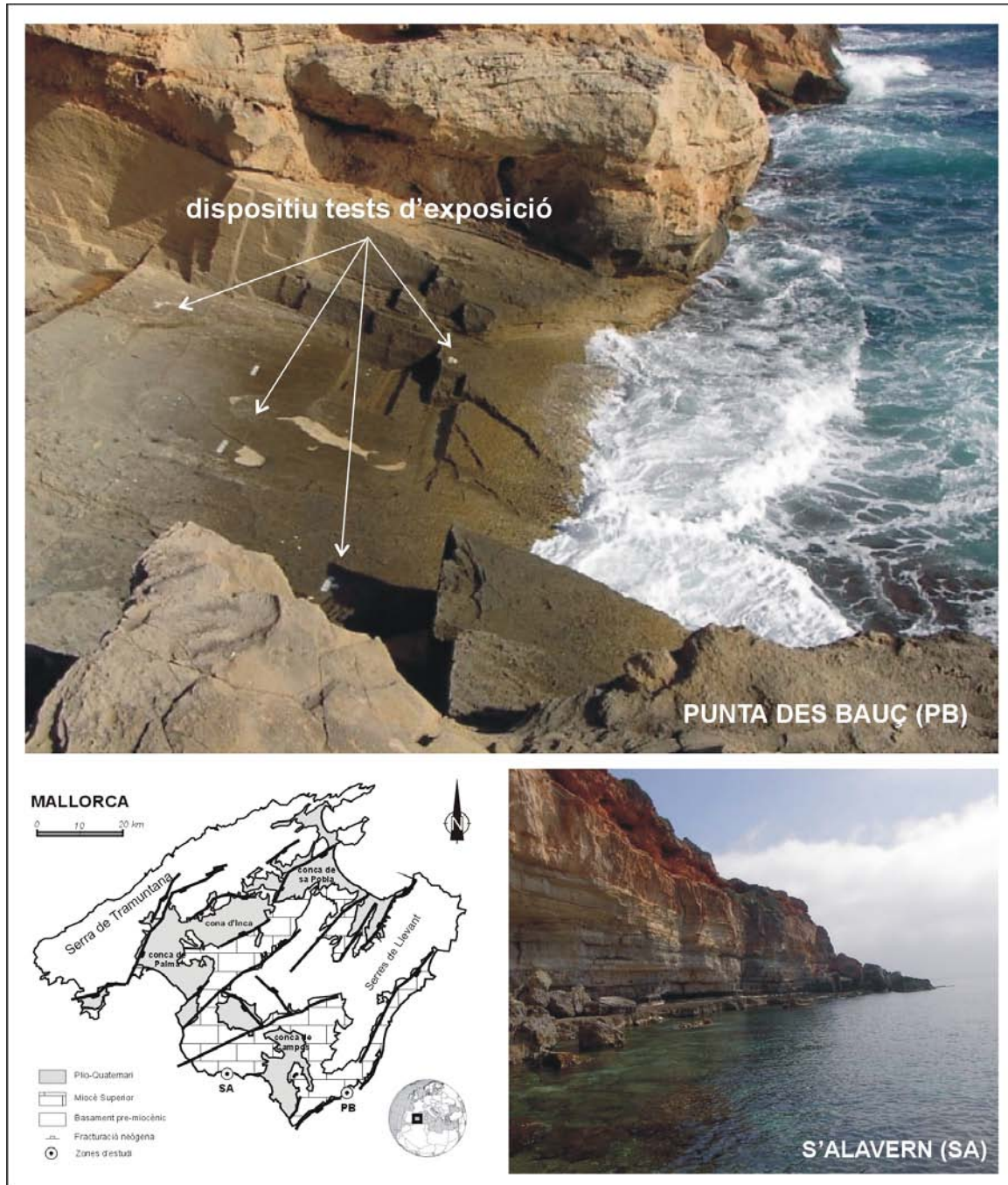


Fig. 2.31 Localitats d'estudi on s'han desenvolupat els experiments de tests d'exposició de peces de roca (*weight-loss rock tablets*).

	Punta des Bauç (PB)	S'Alavern (SA)
Descripció	Eolianites carbonatades del Quaternari	Biocalcarenites del Miocè superior
Composició	Arenes bioclàstiques amb una composició superior al 50% de rodofícies, seguides de fragments de mol·luscs, d'equinoideus, foraminífers i briozous. En destaca una laminació acusada, formada per l'alternança de làmines d'arenas mitjanes amb làmines d'arenas fines de 2 a 5 mm de gruixa. Bona classificació	Calcarenita bioclàstica amb abundants foraminífers. Presenta un elevat grau de micritització amb una porositat intergranular parcialment ocupada per cristalls de calcita.
Carbonats	98,50%	98,10%
Porositat	24,25%	28,47%
Densitat	1,53 g·cm <sup>-3</sup>	1,57 g·cm <sup>-3</sup>

**Taula 2.20** Característiques de les litologies de les peces de roca utilitzades als tests d'exposició.

### 2.6.1

#### Àrea d'estudi

L'experiment s'ha desenvolupat a dues localitats de la costa meridional de Mallorca (Fig. 2.31). La primera, s'Alavern (SA), ja descrita a l'apartat 2.3.1 en referència a les experiències amb el TMEM, es troba al sud de l'illa i la caracteritzen uns penya-segats de timbes verticals d'entre 15 m i 20 m d'amplària que tallen els materials del Miocè superior i una seqüència de dunes i paleosòls quaternaris. Quan els enderrossalls ho permeten, es topa amb una plataforma de poc més de 10 m d'amplària sobre la qual s'ha instal·lat el dispositiu del test d'exposició.

La segona localitat d'estudi, sa Punta des Bauç (PB), es localitza a la costa SE de l'illa. El rocam es correspon amb les eolianites carbonatades del Quaternari (Clemmensen *et al.*, 2001) que fossilitzen el penya-segat modelat sobre els materials del Miocè Superior i que, fins no fa gaire temps enrere, tot i la mala qualitat d'aquest aflorament (Rosselló, 1962), s'explotà com a pedrera de marès. El perfil de la zona d'estudi es caracteritza per una superfície lleugerament inclinada, que segueix l'estratificació de la duna fins que trenca al mar amb una plataforma litoral colonitzada per macròfits (*Cystoceira sp.*). La superfície és quasi bé llisa, a excepció feta d'algun trencament relacionat amb l'explotació de la pedrera, o bé amb cicatrius de processos de descamació (*flaking*).

### 2.6.2

#### Materials i disseny experimental

Per al present experiment s'han utilitzat un total de 225 peces circulars de roca de 20 mm de diàmetre i 5 mm de gruixa. La roca, per a la confecció de les peces, s'ha recollit a les mateixes localitats d'estudi, tot procurant que fos com més semblant millor al rocam sobre el qual haurien d'instal·lar-se. Cent cinc peces de roca s'han elaborat a partir de les biocalcarenites del Miocè Superior i altres cent vint a partir de les eolianites carbonatades quaternàries. La

descripció litològica, de composició, contingut en carbonats, porositat i densitat es resumeix a la taula 2.20. La massa mitjana de les peces d'eolianita és de 2,92 g i la de les peces de biocalcarenites de 2,98 g.

Les peces de roca, prèviament rentades, assecades i pesades s'empaquetaren en grups de tres –a fi i efecte de tenir rèpliques de cada un dels valors– dins una bossa de niló amb un ordit i una trama de 63 µm per protegir-les dels efectes de l'abració i dels organismes brostejadors.

Les bosses s'instal·laren a les localitats d'estudi mitjançant un dispositiu que consisteix en una placa de plàstic amb una perforació cilíndrica en què el centre, a la vegada que se subjecta a la roca mitjançant uns grampons d'acer, permet l'exposició de les peces als agents ambientals. Els dispositius es fixaren al llarg d'un perfil perpendicular a costa en intervals de 2 a 3 m, amb un mínim de cinc dispositius (quinze peces de roca, per interval). Així queden caracteritzades cada una de les zones hidrodinàmiques de la costa i de les zones biològiques.

### 2.6.3

#### Resultats

De les 225 peces de roca exposades inicialment entre les dues localitats, se n'han recuperades un total de 195, fet que suposa un èxit del mostratge del 86,6%. Les peces de roca perdudes es corresponen amb aquells dispositius que han estat arrabassats per l'onatge, o bé per l'esqueixament de les bosses de niló. Quant a la distribució espacial dels dispositius perduts, són més nombrosos els més propers a la mar.

Ambdues localitats registren un patró similar pel que fa al comportament de les taxes d'erosió de les peces de roca, ja que els valors de diferència de pes inicial i final disminueixen de mar cap a terra. Així doncs, la diferència mitjana de pes de les peces de roca, a la Punta des Bauç (Taula 2.21), és de 0,95 mm·a<sup>-1</sup>, amb un rang que abraça de les taxes mitjanes mínimes amb



S'Alavern	0 a 2 m	2 a 4 m	4 a 6 m	6 a 8 m	8 a 10 m
Taxa d'erosió mitjana (mm·a <sup>-1</sup> )	0,4957	0,1753	0,2470	0,2143	0,1808
Taxa d'erosió mínima (mm·a <sup>-1</sup> )	0,2892	0,0380	0,0188	0,0731	0,0827
Taxa d'erosió màxima (mm·a <sup>-1</sup> )	0,7658	0,7156	0,3813	0,4796	0,2482

Punta des Bauç	0 a 2 m	2 a 4 m	4 a 6 m	6 a 8 m	8 a 10 m
Taxa d'erosió mitjana (mm·a <sup>-1</sup> )	2,8341	1,1944	0,6821	0,4628	0,3543
Taxa d'erosió mínima (mm·a <sup>-1</sup> )	1,4482	0,2392	0,2621	0,2149	0,0529
Taxa d'erosió màxima (mm·a <sup>-1</sup> )	5,7397	3,2630	1,4141	1,1592	0,8317

**Taula 2.21** Taxes d'erosió derivades de les diferències de pes de les peces de roca durant el test d'exposició en funció de la posició del dispositiu respecte el mar.

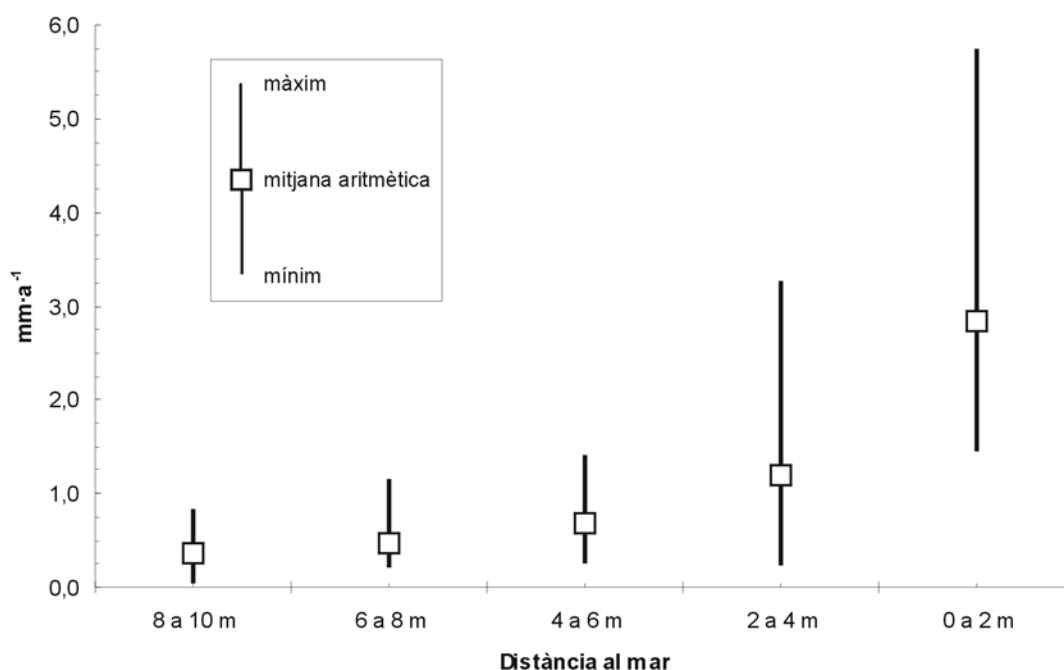
0,38 mm·a<sup>-1</sup> als 2,10 mm·a<sup>-1</sup> de les taxes mitjanes màximes. De mar cap a terra, s'hi pot apreciar un descens de les taxes d'erosió. Els diferencials mitjans de pes per a la zona d'onatge són de 3,00 mm·a<sup>-1</sup>, per a la zona d'esquits de 0,68 mm·a<sup>-1</sup> i, finalment, a la zona de ruixim les taxes es redueixen de 0,30 mm·a<sup>-1</sup> a 0,40 mm·a<sup>-1</sup> (Fig. 2.32).

A la localitat de s'Alavern (Taula 2.21) les taxes d'erosió mitjanes per a les peces de biocalcarenites del Miocè Superior són força menors, al voltant de 0,250 mm·a<sup>-1</sup>, tot i que el rang abraça taxes mínimes de 0,004 mm·a<sup>-1</sup> i màximes de 0,766 mm·a<sup>-1</sup>. Pel que fa al gradient d'erosió de mar cap a terra, les peces instal·lades a la zona més propera al n.m.m registren taxes de 0,450 mm·a<sup>-1</sup>. Les ubicades al domini hidrodinàmic dels esquits ho fan al voltant de 0,240 mm·a<sup>-1</sup> i, finalment, aquelles peces on el més freqüent és que l'aigua del mar sols arribi en forma de ruixim, amb diferencials de pes de 0,181 mm·a<sup>-1</sup> (Fig 2.33).

#### 2.6.4 Discussió

Les taxes obtingudes, així com els patrons que aquestes presenten en funció de la seva distància al mar, ens permeten reflexionar sobre quin és el paper dels processos que concorren en la seva evolució.

A ull nu es pot constatar, a ambdues localitats, la ràpida colonització de les peces de roca per algues epilítiques, criptoendolítiques i endolítiques. Tal vegada, de forma més intensa en aquelles peces més properes a la mar. La pròpia acció biològica d'aquests organismes ja és per ella mateixa un important agent de meteorització química (Spencer, 1988; Trudgill, 1985) a la qual s'hauria d'afegir l'acció de les sals i la dissolució inorgànica (Dibb *et al.*, 1983). I tot això, acceptant el reduccionisme que implica acceptar la protecció de la malla de niló respecte de l'abrasió o l'acció física de l'onatge.



**Fig. 2.32** Gradient de les taxes d'erosió a la Punta des Bauç calculades mitjançant tests d'exposició de peces de roca.

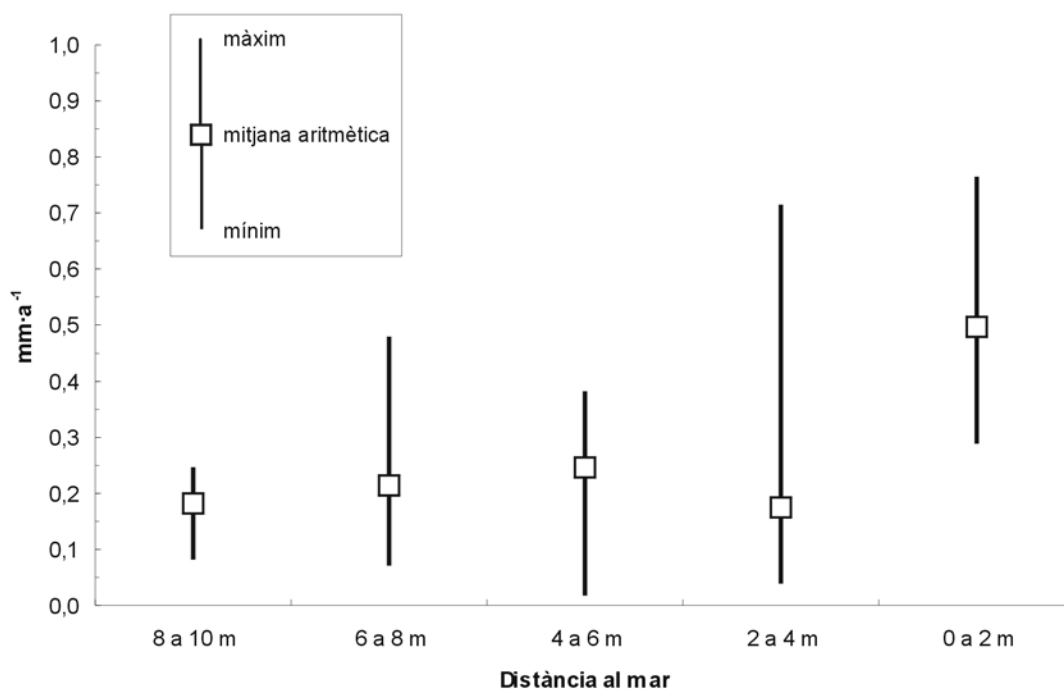


Fig. 2.33 Gradient de les taxes d'erosió a s'Alavern calculades mitjançant tests d'exposició de peces de roca.

La dissimetria dels diferencials de pes, al llarg del perfil i les taxes d'erosió mesurades, podrien explicar-se per la concurrència de la meteorització per sals i la colonització per cianobacteris de la roca. De fet, tot i que les peces de roca de les dues localitats tenen densitats semblants, el grau de cimentació i la mida de gra varia una respecte de l'altra, de manera que les eolianites són menys resistents i tenen un calibre de gra més gran. Aquest fet podria explicar la diferència entre les taxes d'erosió, especialment per l'efecte de les sals, atès que hi ha més superfície d'atac per les dimensions i buits entre els grans de la roca. La meteorització per sals i la colonització biològica depenen del gradient hidrodinàmic de la costa. Aquesta darrera perquè el grau d'humectació en determina les possibilitats fisiològiques i el grau de colonització i la meteorització per sals, perquè l'acció d'aquestes depèn de la freqüència i tipus d'aportació d'aigua marina, bé en forma de ruixim o d'esquits. Així, com més propera sigui la superfície rocosa a la mar experimentarà amb major intensitat l'acció d'aquests processos, perquè més propera és la font que els condiciona.

Pel que fa al paper de la dissolució inorgànica, Trudgill (1987) i Schneider (1976) defineixen els mecanismes pels quals es donen els processos de dissolució en aigües sobresaturades, en un principi, de carbonat càlcic. Aquest procés està estretament lligat a l'activitat fisiològica dels organismes endolítics i epilítics (Moses, 2003). Això no obstant, cal considerar un factor més que pot ajudar a explicar el patró i les diferents taxes d'erosió observades amb les

peces de roca al llarg dels perfils. Es tracta de l'oxigenació de l'aigua arran de la turbulència i el clapoteig que es genera a la zona d'onatge, així com de la força amb què surt projectada sobre la roca en forma d'esquits o solca les parets d'una esquerra, fet que augmenta la capacitat agressiva de l'aigua. Feim referència a l'*effect of solvent motion* (Kaye, 1957; Millero *et al.*, 2002) que sobre la roca es tradueix en una dissolució, principalment del ciment, així com dels elements al·lòctons que aquesta conté. El resultat és un augment de la porositat secundària.

## 2.7

### Patrons i taxes d'erosió a la costa rocosa calculades a partir de la degradació del patrimoni arquitectònic històric: la Torre d'en Beu (Santanyi)

Per tal de contrastar els valors i els ordres de magnitud dels tests d'exposició de peces de roca, s'ha plantejat la possibilitat d'estudiar la degradació del patrimoni arquitectònic històric costaner. En aquest sentit, les torres d'aguait i de senyes que apareixen arreu de la costa mallorquina es construïren amb els materials de pedreres molt properes i, en bona part dels casos, a peu del penya-segat on aquestes s'alcen. Aquest fet, d'una banda ofereix la possibilitat de treballar amb peces de roca tallades, de forma geomètrica i amb arestes llises, de les quals es coneixen documentalment l'any de construcció. També possibilita treballar amb les mateixes litologies que trobam a la línia de costa. De més a més, les característiques de les construccions



**Fig. 2.34** La Torre d'en Beu (Santanyí). Imatges posterior (González de Chaves, 1986) i anterior a la intervenció que patí a la dècada dels setanta. Observi's com les carreuades de marès estaven ben conservades.

permeten avaluar les variacions espacials i la intensitat dels processos de meteorització.

### 2.7.1

#### *Notes històriques i àrea d'estudi*

A mitjans del segle XV la Mediterrània es converteix en un espai bipolar amb fronteres mòbils on les rutes comercials del cristianisme es veuen assolades per la pirateria i el corsarisme turc i el dels seus aliats. Després de la caiguda de Constantinoble per Mohamed II (1453) i de l'illa de Rodos (1522) per Solimà, les Illes Balears es troben en una vulnerable primera línia front als atacs de les forces navals d'Istanbul i del nord d'Àfrica (Deyà i Oliver, 2000). Les incursions i els saquejos de pirates i corsaris seran importants i freqüents durant els segles XVI i XVII, i no es redueixen fins a la batalla de Lepant el 1571. Sols durant el regnat de Felip I de Catalunya i II de Castella es registraren a l'illa de Mallorca quinze atacs turcs (Alzina *et al.* 1982).

Per combatre aquesta amenaça s'articula un sistema defensiu dissenyat pel metge, matemàtic, historiador i cronista del Regne, Joan Binimelis. El sistema consistí en la construcció d'un enfilall de torres i aguaites al llarg del perímetre litoral de Mallorca. Aquestes es comunicaven mitjançant senyals acústiques o de fum, que advertien els nuclis de població del perill d'un atac pirata activant el mecanisme *-viafora-* de defensa i auxili per a qualsevol punt de l'illa (González de Chaves, 1986).

Una d'aquestes torres és la d'en Beu localitzada al flanc septentrional de l'entrada de Cala Figuera, a Santanyí, que corona un penya-segat de 25 m d'alçària (Fig. 2.34).

La Torre d'en Beu és un edifici circular de paredat ciclopi amb quatre nervis de marès (a Mallorca eolianita carbonatada quaternària). La seva construcció s'inicià el 1565 i finalitzà el 1569. Després del seu abandó, l'estructura s'anà deteriorant, en especial les parets de reble, mentre les carreuades de marès quasi bé no patiren desperfectes. A finals de la dècada dels setanta la torre fou restaurada. Es poden identificar, avui per avui, quines foren les actuacions d'aquesta intervenció. Els carreus dels nervis són d'eolianita carbonatada i procedeixen de la pedrera propera de s'Estret des Temps (González de Chaves, 1986). En sentit antihorari, els nervis de marès estan orientats cap al SE, el NE, el NW i el SW.

Les temperatures mitjanes a la zona són de 17,7 °C i la precipitació és de 338 mm (Guijarro, 1986). El règim de vents es caracteritza pel predomini de les components de SW (35,9%) seguida de les d'E i SE amb un pes relatiu de 16,6% i de 13,7%. L'altura

Grau de meteorització	Descriptor
0	Superfície sense formes de meteorització
1	Superfície amb formes alveolars aïllades
2	Formes alveolars a més d'un 50% de la superfície
3	Presència de nius d'abella
4	Nius d'abella a més d'un 50% de la superfície
5	Nius d'abella amb alguna paret trencada
6	Nius d'abella parcialment desmantellats
7	Nius d'abella parcialment desmantellats a més d'un 50% de la superfície
8	Restes de parets de nius d'abella desmantellades
9	Superfície desmanegada

Taula 2.22 Escala nominal d'intensitat de meteorització (Mottershead, 2000a).

significant mitjana de l'onatge, a mar oberta, és per a un 70% dels registres de 0,5 a 1 m.

### 2.7.2

#### *Disseny experimental*

S'ha realitzat una cartografia detallada de cada contrafort, individualitzant-ne els carreus, i s'ha assignat a partir d'una escala nominal d'intensitat de meteorització (Taula 2.22) el grau d'alteració de cada carreu (Mottershead, 2000a). El resultat ofereix una base de dades de caràcter semiquantitatiu que permet la seva anàlisi mitjançant tècniques d'estadística no paramètrica.

Seguidament, s'han quantificat les taxes d'erosió en cada un dels carreus, des de la base de la torre fins a 3 metres d'altura. La taxa d'erosió es calcula a partir de la màxima profunditat de les formes de meteorització alveolar, tot prenent la superfície de tall del carreu com a zero relatiu (Williams i Robinson, 2000). En aquells carreus on el grau de meteorització és més acusat, s'ha pres com a referència de la superfície inicial la projecció de les superfícies de tall dels carreus superior i inferior (Lageat *et al.* 1994; Takahashi *et al.*, 1994). La quantificació de la profunditat màxima s'ha realitzat mitjançant un peu de rei. Paral·lelament, s'han recollit fragments dels carreus per al seu estudi mitjançant microscopi electrònic de rastreig, així com el material desagregat a l'interior dels alvèols dels carreus per a la seva anàlisi mitjançant difracció de raigs X.

### 2.7.3

#### *Substrat i formes de meteorització*

Des d'un punt de vista petrogràfic, els carreus de la Torre d'en Beu s'han elaborat amb arenisques carbonatades dipositades en un ambient dunar litoral durant el Plistocè. El diàmetre de gra és de 0,63 mm i està ben cimentat. Els grans en la seva majoria són bioclasts, tot i que també apareix algun gra de quars que es tradueix en una composició de la roca del

71,61% de calcita, seguida d'un 20,74% de dolomita, un 6,788% d'aragonita i al voltant d'un 1% de quars. La laminació, ben marcada, manté distàncies mitjanes entre làmines de 3 a 5 mm.

Les formes de meteorització hi són abundants. Formes alveolars, aïllades o que comparteixen parets a mode de mosaic o niu d'abelles (*honeycomb*) destaquen per la seva abundància als contraforts o nervis meridionals. Les dimensions de les formes alveolars presenten un espectre ampli, tot i que controlat per l'estratificació de l'eolianita. Les dimensions de l'eix major oscil·len de 8 a 524 mm, les de l'eix menor de 4 a 110 mm i, finalment, la profunditat de 6 a 147 mm. No obstant això, es constata la presència d'altres formes de meteorització, com la descamació, especialment en aquells carreus, pocs del conjunt, que en lloc d'estar col·locats donant la secció de l'estratificació al perfil de la torre, en donen el fil (la planta), de la laminació.

Cal destacar que els dos contraforts orientats a nord pateixen una important colonització biològica i que en molts casos, la superfície de marès està completament entapissada per líquens crustacis que sols permeten entreveure algunes ondulacions suaus que, de ben segur, tenen la seva gènesi en el binomi dissolució-bioerosió. Tanmateix, en comptades ocasions, superen el mil·límetre de profunditat.

### 2.7.4

#### *Resultats*

Un conjunt de 512 carreus, repartits en tres contraforts, han estat cartografiats i se'ls ha assignat un grau de meteorització en funció de l'escala nominal descrita a la taula 2.22. La cartografia no posa de manifest (Fig. 2.35) una diferència notable entre carreus veïnats, tot i que sí ho fa en un gradient d'altura i respecte a cada un dels contraforts. A la vegada, d'un total de 64 carreus repartits entre els quatre contraforts i de la base de la torre fins a una altura de 3 m s'ha mesurat la profunditat i els paràmetres de formes dels alvèols.

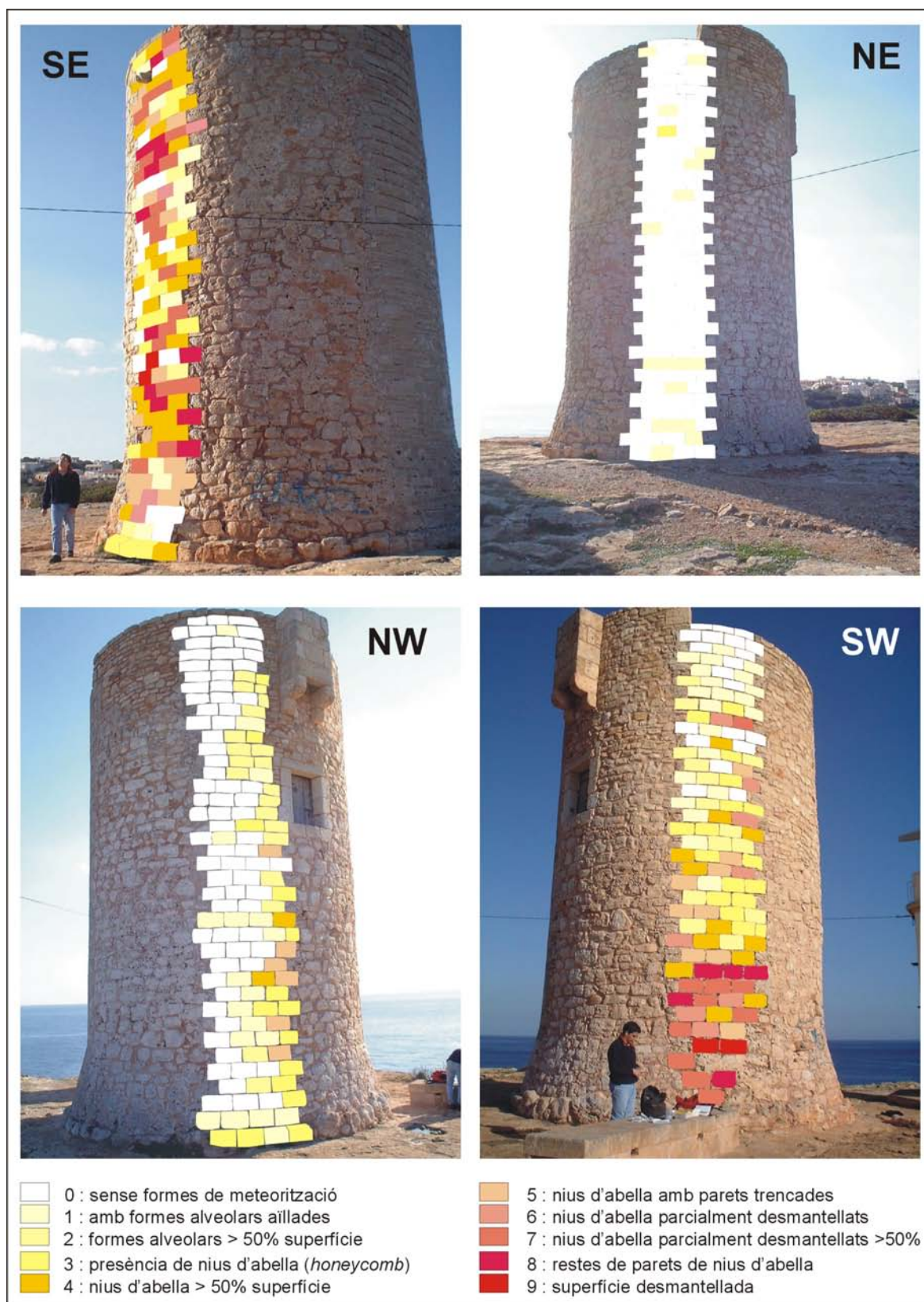


Fig. 2.35 Cartografia de les carreuades i dels carreus de la Torre d'en Beu en funció de l'escala d'intensitat de meteorització.

	NE	NW	SE	SW
$\chi^2$	63,05	19,40	12,89	12,14
Graus de llibertat	5	17	25	21
$p$	0,00	0,30	0,97	0,93

**Taula 2.23** Paràmetres de contrast del test de la  $\chi^2$  en l'avaluació del gradient en el grau de meteorització respecte de l'altura de la torre.

#### 2.7.4.1 Variacions del grau de meteorització respecte de l'altura

La cartografia de detall dels carreus meridionals, SE i SW, destaca per un gradient invers del grau de meteorització respecte de l'altura, tot i que, com passa amb els altres contraforts, s'hi pot observar la presència de valors d'intensitat de meteorització baixos de forma contínua des de la base fins al sostre de la torre (Fig. 2.35).

L'efecte de l'elevació respecte a la mar i la base de la torre amb el gradient vertical de meteorització pot avaluar-se comparant dues distribucions, on una parteixi de les dades registrades i l'altra distribueixi en alçada proporcionalment els graus de meteorització. Aquest plantejament es correspon al del test estadístic de la  $\chi^2$ . Per al seu càlcul, s'han eliminat aquells carreus que oferien a la paret de la torre el fil, i no la secció de l'estratificació. Atès que, de la Fig. 2.35, se'n deriva que, tot i que discretes, hi ha variacions entre carreus veïnats, amb la finalitat de minimitzar la variabilitat s'ha realitzat una mitjana aritmètica de la intensitat de meteorització de cada filera de carreus. Així doncs, la hipòtesi nul·la estableix que si els diferents graus de meteorització apareguessin de forma proporcional, així com n'augmenta la cota, no podríem afirmar l'existència d'una variació significativa del grau de meteorització en funció de l'altura de la torre.

Els resultats del test per a cada contrafort (Taula 2.23) conclouen que per als contraforts septentrionals no es pot rebutjar la hipòtesi nul·la, però sí que queda descartada per als contraforts meridionals amb probabilitats del 98% i 94%. Per la qual cosa podem afirmar que per a aquestes exposicions hi ha un gradient en vertical del grau de meteorització.

#### 2.7.4.2 Variacions del grau de meteorització respecte de l'orientació

Les mateixes probabilitats i valors crítics de la  $\chi^2$  de

l'anàlisi anterior ja posen en evidència un comportament particular de les orientacions dels contraforts a mode de jerarquia. Sense considerar aquells carreus que exposen als agents de meteorització el fil de l'estratificació, podria avaluar-se si hi existeix una diferència del grau de meteorització en funció de l'exposició.

Així doncs, allò que interessa és més la variabilitat que presenta cada contrafort entre els valors de meteorització dels seus carreus, que no la tendència central. O, dit d'una altra manera, allò que es vol avaluar és si hi ha més diferències entre els carreus d'un contrafort que entre les carreuades. Llavors s'hi ha d'aplicar el test no-paramètric de Mann-Whitney. Aquesta prova estadística permet contrastar si dues mostres diferents provenen de la mateixa població. Els resultats (Taula 2.24) que consideren totes les possibles relacions entre contraforts posen de manifest que sols les carreuades orientades a SE i SW poden pertànyer a una mateixa població, amb una probabilitat del 78,8%. Per a la resta de combinacions, els valors són inferiors a l'1%. De la qual cosa, se'n dedueix que mentre que els contraforts orientats a NE i NW presenten patrons de meteorització distints entre ells i respecte dels contraforts meridionals, les exposicions SE i SW presenten intensitats de meteorització similars o, el que és el mateix, estan sota l'acció dels mateixos agents de meteorització.

#### 2.7.4.3 Taxes d'erosió

La manufactura dels carreus permet establir una superfície inicial, la qual cosa, juntament amb el coneixement de la data de finalització de la construcció de la Torre d'en Beu, ens ofereix la possibilitat de conèixer-ne les taxes d'erosió. A partir de les profunditats dels alvèols s'ha calculat una taxa d'erosió per al conjunt de  $0,10 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , tot i que hi ha variacions entre contraforts. Així doncs, les exposicions al SE i SW presenten valors de retrocés al voltant de  $0,115 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  i de  $0,153 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ,

	SE vs NE	SE vs NW	SE vs SW	NE vs NW	NE vs SW	NW vs SW
U	292,50	72,00	623,50	187	124,00	1,00
Z	- 4,33	- 6,70	- 0,27	- 5,90	- 6,28	- 7,56
$p$	> 0,001	> 0,001	0,78	> 0,001	> 0,001	> 0,001

**Taula 2.24** Paràmetres del test de Mann-Whitney per a l'avaluació del gradient en el grau de meteorització respecte de l'orientació de les carreuades. U = Paràmetre de Mann-Whitney, Z = valor crític,  $p$  = probabilitat.

Orientació de la carreuada	Mitjana aritmètica ± error (mm·a <sup>-1</sup> )	Mínim (mm·a <sup>-1</sup> )	Màxim (mm·a <sup>-1</sup> )
SE	0,115 ± 0,066	0,022	0,328
NE	0,062 ± 0,044	0,011	0,152
NW	0,075 ± 0,036	0,019	0,131
SW	0,153 ± 0,069	0,034	0,339

**Taula 2.25** Taxes d'erosió calculades a partir de les profunditats màximes dels alvèols dels carreus de la Torre d'en Beu.

respectivament. Per als mateixos contraforts, els mínims són de 0,022 mm·a<sup>-1</sup> i 0,011 mm·a<sup>-1</sup> i els màxims de 0,328 mm·a<sup>-1</sup> a 0,152 mm·a<sup>-1</sup>. D'altra banda, els contraforts orientats a nord presenten taxes d'erosió amb valors dues vegades inferiors als de les meridionals (Taula 2.25).

### 2.7.5

#### Discussió

S'ha constatat l'existència de dos gradients de meteorització en funció de l'altura i l'orientació dels carreus i dels contraforts de la Torre d'en Beu. La resposta diferencial d'aquests ve marcada per un comportament independent dels contraforts exposats a NE i NW i una resposta semblant dels contraforts orientats a SE i SW.

Moses i Smith (1994) avaluen la importància i el paper de les sals aportades per l'onatge i el ruixim marí en la meteorització i zonació geomòrfica del litoral SE de Mallorca. De la caracterització amb difracció de raigs X del material desagregat de l'interior dels alvèols i de les parets d'aquests, en destaca la presència de cristalls d'halita i guix als buits de la roca (Taula 2.26). Tant un com l'altre són minerals al·lòctons, fet que evidencia la font marina. La seva presència en les mostres estudiades varia de 10,45% a 1,08% en el cas de l'halita, i de 1,08 a 0,45% en el del guix. La seva presència disminueix en el contrafort NE i és nul·la en el NW. Tot i que no es pot establir, a partir dels resultats, una relació causa-efecte categòrica, s'ha de considerar la influència tant del vent com del transport de sals, com a factors explicatius del comportament diferencial dels contraforts meridionals.

De fet, la seva orientació coincideix amb el ventall de direccions dominants de l'onatge a la zona. La component SW aglutina el 20% de l'onatge amb una

alçària d'ona significant entre 0,5 i 1 m i, si hi tenim en compte els registres fins a 2 m, l'espectre que abraça és del 40%. La component SE també és important ja que suposa el 13% de l'onatge entre 0,5 i 1 m, molt per sobre de la resta de components que amb feines arriben a un 6%. Les fluctuacions estivals de temperatura i humitat de la zona entren dins dels paràmetres descrits per Goudie i Viles (1997), per tal que l'halita i els seus derivats puguin actuar com a agents de meteorització física, i també química. Força autors donen un pes preponderant a la meteorització per sals en la gènesi de formes alveolars com són els *honeycomb* i els *taffone* (McGreevy, 1985; Chabas i Jeanette, 2001).

Un altre aspecte a destacar, derivat de les observacions dels fragments dels carreus amb el microscopi electrònic de rastreig, és la resposta diferencial de les mostres dels contraforts meridionals i els septentrionals. Tanmateix, cal adoptar certes precaucions pel paper que pugui derivar-se d'un grau de cimentació distint dels carreus d'una exposició i els de l'altra. No obstant això, pot comprovar-se (Fig. 2.36) com la superfície de les mostres del contrafort SE ha perdut bona part del ciment i els grans en queden alliberats, mentre que les mostres del contrafort NW mantenen un important grau de cimentació, tot i que les formes suavitzades apunten cap a un paper destacat dels processos de dissolució (Moses i Viles, 1996).

Pel que fa al gradient en altura podria assignar-se'n una part als agents i processos anteriors, ja que els tres primers metres de la torre es corresponen amb el cap o la corona del penya-segat i és justament on la influència de l'onatge i el ruixim és més notable. D'altra banda, no es pot menystenir un altre factor molt habitual a les construccions amb carreuades de Mallorca, com és l'efecte de la capil·laritat (Carbonell, 1999) i que accentuaria l'alteració dels carreus inferiors respecte dels superiors.

Carreuada	Calcita	Aragonita	Dolomita	Quars	Halita	Guix
SE	75,06%	6,22%	11,51%	1,12%	5,50%	0,59%
SW	68,24%	8,00%	16,27%	0,55%	3,57%	0,38%
NE	49,67%	5,67%	39,57%	0,57%	4,52%	0,00%

**Taula 2.26** Composició mineralògica dels materials desagregats presents a l'interior dels alvèols de la Torre d'en Beu.

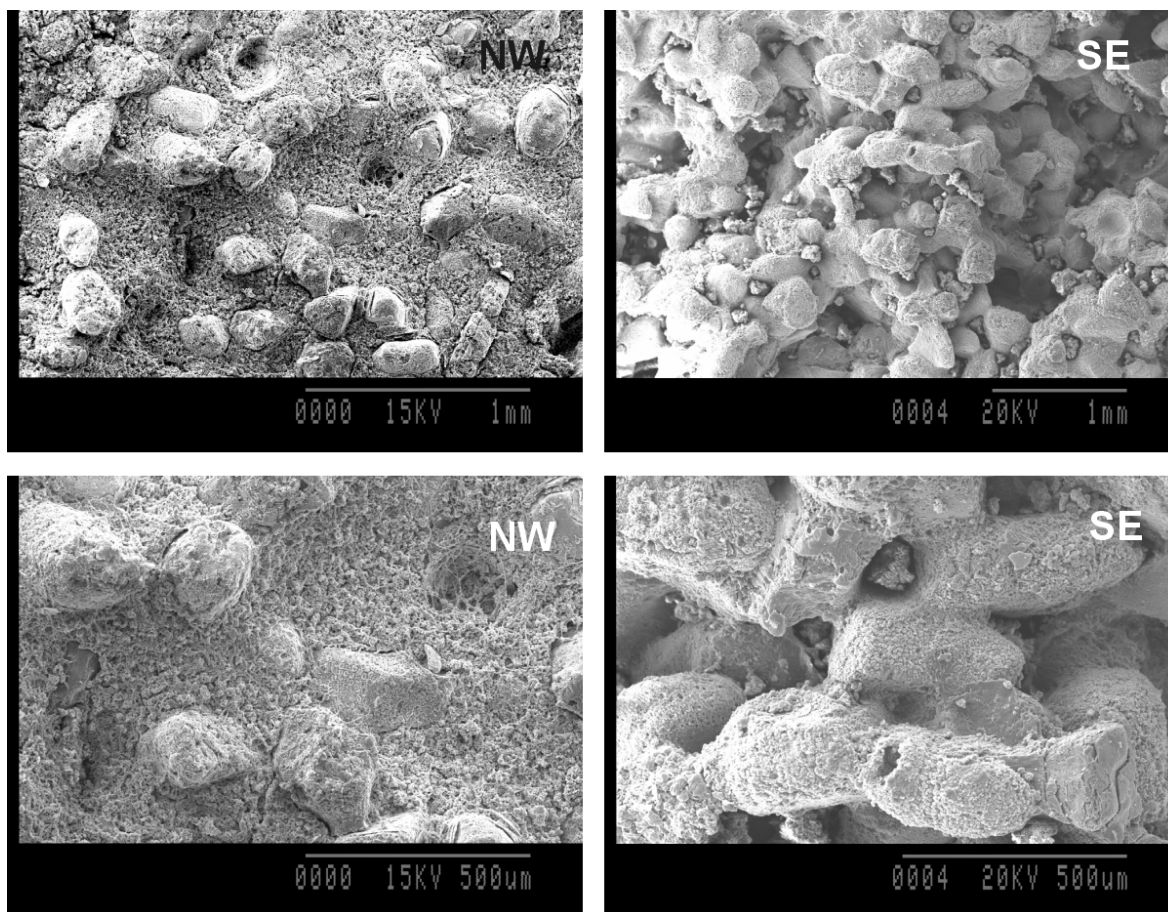


Fig. 2.36 Patrons de meteorització dels carreus de la Torre d'en Beu. Les mostres de la carreuada del NW presenten un grau de cimentació més alt que no pas les de la carreuada del SE que ha perdut bona part del ciment i els grans queden aïllats.

## 2.8 Naturalesa i significat de les taxes d'erosió

S'han caracteritzat instrumentalment les velocitats de denudació del rocam litoral en el període d'un any, mitjançant el micròmetre de dial mòbil (TMEM) i l'escàner làser en diferents superfícies de la costa rocosa de Mallorca. En paral·lel, s'hi han desenvolupat tests d'exposició de peces de roca i també s'han avaluat les velocitats d'alteració de les carreuades d'una edificació històrica. També s'hi ha avaluat, mitjançant el micròmetre de dial mòbil (TMEM), quin és el comportament de les superfícies rocoses a escala horària a les costes rocoses de Mallorca i al sud d' Austràlia.

L'ús de diferents tècniques instrumentals i aproximacions a l'erosió de les costes rocoses, mitjançant tests d'exposició o altres mètodes indirectes, aboca un conjunt de valors heterogenis, el significat dels quals, de vegades, és incert. Darrere aquesta situació s'amaga el problema de la naturalesa d'allò que es mesura, com es mesura, a quina escala es mesura i on es mesura.

El primer que els experiments descrits posen de

manifest és que el concepte d'erosió, o l'objectiu de quantificar-la, parteix d'un concepte reduccionista de la morfodinàmica de les costes rocoses. Especialment, quan introduïm a l'estudi una component d'escala, d'una magnitud considerable, com són les resolucions de les tècniques instrumentals que utilitzam. Conduir l'anàlisi de la denudació a l'interval de les micres suposa augmentar la informació sobre el desmanegament de la costa i quan augmenten les dades, també ho fa l'entropia.

Altrament, no és aconsellable parlar de taxes d'erosió, en sentit estricte, atès que mitjançant els valors d'altura relativa que s'obtenen amb els micròmetres es registren ascensos i descensos de la superfície de la roca. A s'Alavern, les taxes del sector supralitoral caracteritzat ballen d'un rebaixament màxim de  $-1,810 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  a un bombament màxim de  $1,183 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  en el període d'un any. Parlar de taxa d'erosió, doncs, és arbitrari en el marc temporal i de resolució instrumental de l'experiment. Stephenson i Kirk (1996) han desenvolupat el seguiment instrumental més llarg amb TMEM, fins a hores d'ara, a les costes rocoses de les plataformes litorals de Kaikoura. Es tracta d'una sèrie de 20 anys que, recentment i amb els resultats encara pendents de publicar, s'ha ampliat



a 30 anys (Wayne Stephenson *com. pers.*). De la comparació de les velocitats de denudació amb trenta anys de diferència, respecte d'altres de menor abast temporal, conclouen que un interval mínim de dos anys de mostratge és el període aconsellable per tenir uns valors de predicció fiables de l'erosió. Aquest fet és transcendental, perquè una seqüència de mostratge més dilatada ens permetria avaluar la significació específica de la component erosiva, de descens de la roca i la del bombament de la superfície de la roca.

Tanmateix, si es redueix la resolució de les observacions, com és el cas de les possibilitats de l'escàner làser, llavors els balanços són negatius i oscil·len, en el cas de la localitat de s'Alavern, de  $0,103 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  a  $0,411 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ . Arribats en aquest punt, i coneixedors de la feblesa que suposa l'abast temporal curt del nostre experiment, sí que cal posar èmfasi en la coincidència dels ordres de magnitud de les taxes calculades amb els dos mètodes. Tot i que hi ha algun valor amb coincidències importants d'una tècnica a l'altra, és més prudent abordar les semblances dels ordres de magnitud. Entre d'altres motius perquè l'altra circumstància cabdal és la de la posició del mostratge, bé en relació al gradient hidrodinàmic, bé en relació a la important variabilitat espacial de formes, agents i colonització biològica de les superfícies rocoses. Els rangs de les taxes calculades amb el micròmetre, amb les superfícies interpolades dels valors d'altura relativa i de les diferències entre escanejos successius, són semblants (Fig. 2.37), especialment per al TMEM i l'escàner làser. Així, els valors de descens de les superfícies estudiades amb micròmetre abraça dels  $0,487 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  als  $1,810 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  i els de l'escàner làser de  $0,103 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  a  $1,377 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ . De més a més de coincidir amb l'ordre de magnitud d'altres estudis desenvolupats sobre rocam sedimentaris (Taula 2.2) i amb les taxes de la localitat de Marengo, sembla que el desmanegament i, fins i tot, els ascensos relatius de la superfície de la roca tenen transcendència a escala de dècima de mil·límetre.

Pel que fa al segon dels experiments relatiu als canvis

de microtopografia de la superfície a s'Alavern, cal fer-ne algunes consideracions. La primera és l'efectivitat de l'instrument per registrar canvis en els valors d'altura relativa en un interval temporal curt. Els valors mitjans dels canvis d'altura relativa a escala horària són, en els dos vectors, al voltant de la centèsima de mil·límetre (l'amplària entre quartils és de  $0,0140$  a  $0,0510 \text{ mm}$ ), amb màxims i mínims que la depassen fins arribar a l'ordre mil·limètric. El patró de comportament de la superfície rocosa, juntament amb les variacions dels paràmetres ambientals i de temperatura de la roca, apunten a un control biològic de les variacions de microtopografia. Les observacions fetes amb el microscopi electrònic de rastreig posen de manifest la interrelació entre el cos inert de la roca i la penetració de les hifes líquuèniques. En aquest sentit, les capacitats fisiològiques d'hidratació i dessecació dels teixits líquuènics, de  $0,005 \text{ mm}$  a  $0,014 \text{ mm}$ , coincidiria amb els ordres de magnitud dels intervals dels quartils, i els desplaçaments majors i els menors estarien en funció de la biomassa present intrapàrticules. Aquest fenomen també s'ha identificat amb ordres de magnitud semblants a la localitat de Marengo. Així doncs, tenim que canvis de  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ , de 40 punts d'humitat relativa o de  $1000 \text{ lumen}\cdot\text{m}^{-2}$ , poden implicar variacions d'altura relativa de  $-0,303 \text{ mm}$  a  $0,355 \text{ mm}$ , en el cas de s'Alavern; i canvis de  $5^\circ\text{C}$  i de 30 punts d'humitat relativa, poden implicar canvis en la microtopografia de  $-0,126 \text{ mm}$  a  $0,261 \text{ mm}$  a Marengo.

Altra volta cal destacar l'ordre de magnitud del procés, així com també dos aspectes de certa importància. El primer és que aquest fenomen, fins ara conegut com a bombament de la superfície rocosa (*rock surface swelling*), no implica ascensos de la superfície sinó també descensos relatius i, fins i tot, episodis d'estabilització de la superfície. Per tant, és més aconsellable utilitzar un terme, més neutre i acurat, com variacions horàries de microtopografia (*rock surface change*). El segon dels punts a considerar és la importància de la component biològica que ens obliga a entendre la superfície del

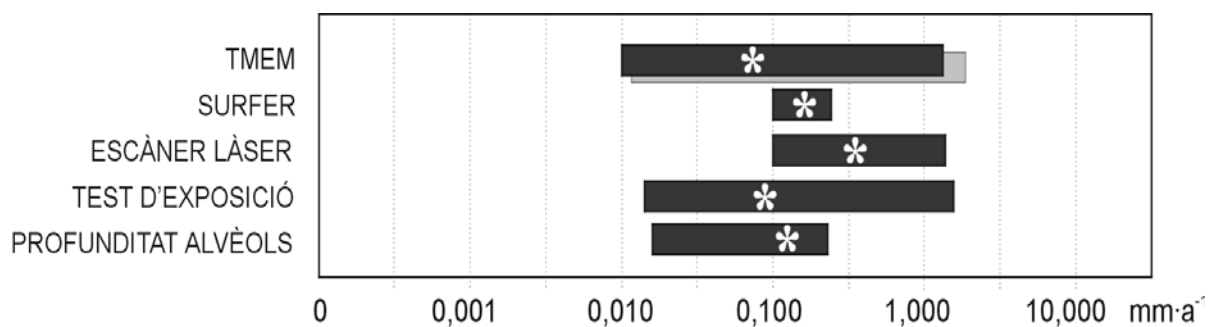


Fig. 2.37 Ordre de magnitud de les taxes de denudació calculades amb les tècniques instrumentals descrites. Les barres abraquen des del valor mínim al màxim registrat i l'estel indica el valor mitjà de la taxa d'erosió. La barres de color negre són valors d'erosió i les grises valors ascendent.

---

rocam litoral a escales temporals curtes, no com estàtic i inert que només pateix els processos i agents de meteorització-erosió, sinó com quelcom dinàmic. D'aquí que la component de la morfodinàmica de les costes rocoses no sigui sempre negativa. Finalment, una derivada procedimental, de cara al seguiment instrumental, és la conveniència, amb l'objectiu de comparar els registres d'altura relativa, de mostrejar les superfícies de roca amb el TMEM durant les hores de màxima insolació. En aquest període és quan es pot minimitzar al màxim l'abast de l'acció del biofilm que colonitza la roca i, per tant, ens permet tenir una idea de l'abast de la dinàmica de les superfícies rocoses més sòlida.

Els resultats del test d'exposició de peces de roca tornen a abocar taxes d'erosió d'un ordre de magnitud semblant al dels resultats de les altres tècniques. Així, per a les eolianites quaternàries tenim valors de  $0,950 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  i per a les calcarenites de s'Alavern de  $0,250 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ . Els dispositius del test d'exposició, ubicats vora les superfícies mostrejades amb TMEM a s'Alavern, aboquen valors mitjans d'erosió de  $0,180 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  amb mínims de  $0,080 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  i màxims de  $0,240 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , valors que coincideixen amb l'ordre de magnitud i, fins i tot, amb el valor d'alguna de les superfícies. En la mateixa línia apunten els paral·lelismes entre els resultats dels tests d'exposició amb eolianites i els de les velocitats d'alteració dels carreus de la Torre d'en Beu amb taxes mitjanes de

$0,153 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , mínimes de  $0,034 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  i màximes de  $0,328 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ . Tot i així, els valors dels tests d'exposició són lleugerament superiors als de la resta de tècniques. En part, aquest fet està relacionat amb la naturalesa de la tècnica. I és que, al contrari del que passa amb els mostratges de la superfície del rocam, aquí el que se sotmet a l'acció del medi és una peça de roca fresca, sense alterar ni colonitzar.

Habitualment, s'atribueix el diferencial de pes de les peces de roca a la meteorització química i, malgrat el reduccionisme de pensar que la malla de niló protegeix de l'acció abrasiva i de les forces pneumàtiques de l'aigua, resulta estrany que els valors siguin tan semblants als de la denudació calculada amb TMEM i escàner làser, quan aquests no estan "protegits" dels agents esmentats. Així doncs, hi apareixen dos entrebancs: un ja es constata instrumentalment, era la important variació espacial en el comportament dinàmic de la roca; l'altre és la dificultat d'integrar l'acció del medi sobre un substrat fresc, respecte de valors procedents d'un substrat colonitzat, amb un microrelleu o rugositat ben desenvolupat.

Tanmateix, els tests d'exposició i els patrons d'alteració dels monuments històrics, sí que ens ofereixen una informació valuosa respecte de l'abast espacial i la intensitat d'acció de la meteorització química i, en especial, de la meteorització per sals.



---

## 3 La contribució biològica en l'erosió de la costa rocosa

### 3.1

#### Introducció

En la morfodinàmica de les costes rocoses carbonatades, de més a més dels efectes de les forces hidràuliques, de l'acció mecànica i dels processos fisicoquímics, els processos d'erosió depenen d'un complex sistema d'interrelacions entre les components abiòtiques i les biològiques (Spencer i Viles, 2002; Kelletat, 1997; Trudgill, 1976a).

Són dues les vies per les quals els organismes són capaços d'alterar i desmanegar el rocam. La comunitat composta per microalgues epilítiques i endolítiques, fongs i altres components de les pàtines biològiques –*biofilms*– que es desenvolupen sobre el substrat rocós, corroeixen la roca mitjançant processos bioquímics (Duane *et al.*, 2003; Jones, 1989; Viles, 1987a; Pomar, 1976; Pohl i Schneider, 2002) i/o processos mecànics (Moses i Smith, 1993; Naylor i Viles, 2002). D'altra banda, les èspecies de macroinvertebrats, que brostegen en aquesta pàtina biològica, constitueixen un altre grup rellevant en l'erosió de les costes rocoses carbonatades (Andrews i Williams, 2000; Donn i Boardman, 1988; Peyrot-clausade i Brunel, 1990; Trudgill *et al.*, 1987).

L'espectre d'organismes brostejadors a Mallorca és ample (gèneres *Patella*, *Monodonta*, *Melaraphe*, *Lepidochitona*, *Chiton*, *Paracentrotus*, etc.). Tots tenen en comú la disposició d'una ràdula abrasiva. Aquest fet implica que, de la seva activitat brostejadora, atès que les microalgues tenen el seu nínxol i s'arreceren a la porositat de la roca, se'n derivarà un trencament i erosió de la superfície rocosa. Així doncs, l'acció dels organismes brostejadors es considera com un procés bioerosiu força important (Torunski, 1979). Els agents biològics juguen un paper important en els processos de meteorització, bé com a responsables de formes de corrosió específiques, o, simplement, amplificant les taxes de denudació de formes llavorades per altres processos (Schneider, 1976; Spencer, 1988).

No obstant això, la contribució biològica dels organismes en la morfodinàmica de les costes rocoses no és sempre negativa. Hi ha organismes que ja sigui per processos químics, per l'estructura o per les seves característiques anatòmiques, desenvolupen una acció protectora del rocam respecte de la component erosiva, bé perquè atenuen l'acció de l'onatge (Jones i Hunter, 1995; Kelletat, 1997; Naylor i Viles, 2000), bé perquè protegeixen la superfície de la roca dels agents de meteorització fisicoquímica (Carter i Viles,

2003). Es pot arribar a donar la situació que un mateix organisme desenvolupi ambdues accions i, en funció del balanç, tenguin un comportament de protecció, o bé d'erosió–meteorització (Dalongeville *et al.*, 1994). En aquest sentit és important destacar el paper dels *trottoirs*: construccions d'algues rodofícies i vermètids que es disposen sobre la costa o adossades a la costa des de pocs cm per sobre del nivell del mar fins a gairebé un metre per sota (Dalongeville, 1995; Kershaw, 2000 i Nunn, 1993).

El principal problema en l'estudi del paper dels organismes en la morfodinàmica de les costes rocoses i el seu paper erosiu és el factor d'escala. El rang d'acció dels organismes abraça des de nanoescala a escales mètriques o decamètriques i, per tant, les aproximacions instrumentals i/o metodològiques poden anar dels estudis mitjançant microscopi electrònic de rastreig (SEM), fins a aixecaments topogràfics (Viles, 2001). A més a més, un altre problema arrenca dels diferents papers que juguen els microorganismes, animals i plantes, i les complexes relacions tròfiques i etològiques que hi mantenen. En algunes ocasions, actuen clarament com a agents bioerosius, però altres vegades poden exercir una acció de protecció o, fins i tot, de construcció (Kelletat, 1985; Dalongeville *et al.*, 1994). També es pot donar el cas, com passa en bona part amb els esculls d'organismes filtradors de cirrípedes (*Chthamalus* sp.) i bivalves (*Mytilus* sp.), que actuen en els dos sentits. D'una banda protegeixen el rocam, però en el cas que siguin arrabassats, llavors poden endur-se'n part de la superfície rocosa adherida a la seva base. El mateix pot extrapolar-se per a les algues i altres organismes que entapissen la roca (Smith i Bayliss-Smith, 1998). A la vegada contribueixen a la fatiga de la roca a la qual, en principi, protegeixen via meteorització química o física (Naylor i Viles, 2002). Una altra dificultat apareix arran del seguiment i la quantificació del paper de la bioerosió o de la bioprotecció. Aquest entrebanc té la seva raó de ser en la varietat de factors ecològics i ambientals que exerceixen el seu control en la distribució, els canvis en les densitats i en els paràmetres biomètrics de les poblacions i que tenen la seva màxima expressió en la zonació dels perfils de costa i en l'estacionalitat (Naylor *et al.* 2002).

### 3.2

#### La zonació de les costes rocoses

La zonació és una característica de tots els gradients ambientals, des dels marins fins als terrestres, com bé

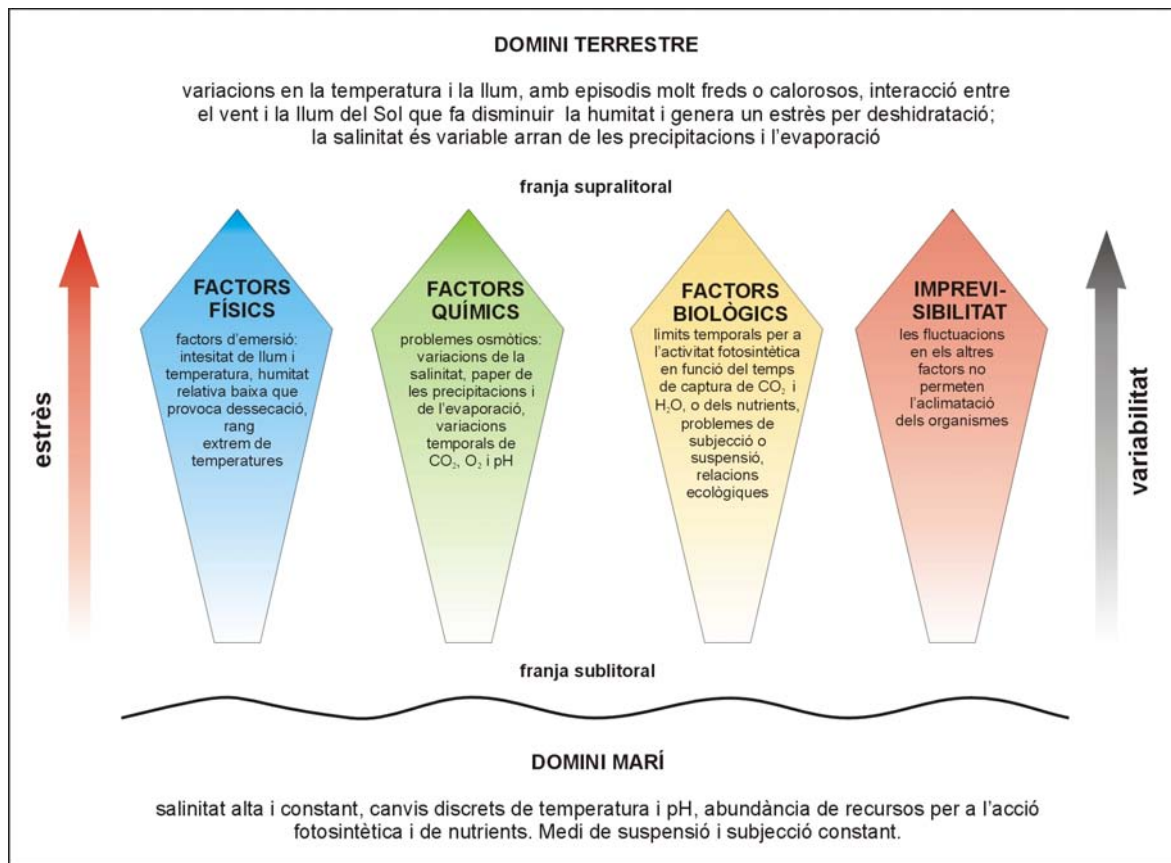


Fig. 3.1 Factors d'estrès del gradient vertical de les costes rocoses que en condicionen la zonaci6.

es fa palès als vessants de les muntanyes o a les costes rocoses (Raffaelli i Hawkins, 1996; Spencer, 1988).

A les costes, aquest gradient s'articula entre les condicions més estables de la mar i les més variables de la superfície emergida (Fig. 3.1). El medi marí, amb una salinitat alta i constant, amb canvis discrets de temperatura i pH, amb una relativa abundància de matèria per a l'acci6 fotosintètica (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) i nutrients (N, P, S), s'oposa a les condicions més fluctuants del medi terrestre. A les terres emergides, hi ha variacions de temperatura i d'il·luminaci6, el vent interactua amb la llum del Sol de manera que la humitat ambiental descendeix i, per tant, s'hi dona un estrès per dessecaci6. La salinitat és variable perquè depèn de l'onatge, el vent, les precipitacions i l'evaporaci6.

Així doncs, d'un extrem a l'altre són molts els factors d'estrès per a les comunitats biol6giques de les costes rocoses. D'una banda, tenim els **factores físics** o vector d'emersi6. Aquest consisteix en els efectes que les diferències en intensitat de llum, temperatures, fluctuacions d'humitat i accidents topogràfics, tenen sobre els organismes.

Un segon conjunt de factors són els **químics**, bé entesos com els problemes osm6tics que es deriven de

les variacions de salinitat d'un extrem a l'altre del gradient, bé com els canvis en la distribuci6 d'O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> i pH. Els condicionants biol6gics són relativament diferents per a la fauna i la flora.

Així, els **factores biol6gics**, per a la flora, giren al voltant de la possibilitat de desenvolupar l'acci6 fotosintètica. De mar cap a terra, disminueixen les possibilitats d'adquirir CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O i altres nutrients per a la síntesi de proteïnes. Pel que fa a la fauna, el gradient litoral controla la possibilitat de respirar i d'alimentar-se, així com la pr6pia suspensi6 o subjecci6 al rocam en relaci6 a les mareas i l'onatge.

Finalment, existeix un **factor d'imprevisibilitat o imprevisibilitat**, en el sentit que les fluctuacions constants en el medi no permeten una acimataci6 dels organismes. L'estrès és sistemàtic i canviant.

Bona part dels organismes que viuen a la costa rocosa, per no dir-ne la majoria, són marins d'antuvi. Per tant, la zona intermareal es caracteritza per la presència d'organismes aquàtics que requereixen algun grau d'humectaci6 a partir del qual desenvolupen diferents estratègies fisiol6giques (Little i Kitching, 1998). No és estrany, doncs, que es doni una correlaci6 entre les condicions de tolerància i la posici6 física sobre el gradient litoral. Els

organismes sèssils que viuen als nivells alts de les costes rocoses, així com alguns de les zones intermèdies, semblen condicionats per factors físics. En canvi, en els nivells inferiors estan controlats per factors biològics, com són la competència i la depredació, tot i que els uns i els altres interactuen. En unes altres paraules, el medi físic afecta la intensitat i la importància de les interaccions biològiques (Lewis, 1976).

El model de zonació universal de les costes rocoses fou proposat per Alan i Anne Stephenson a partir dels treballs que realitzaren durant la dècada dels anys trenta del segle passat a la costa sudafricana i en els seus posteriors viatges (Stephenson i Stephenson, 1949). Aquesta és una classificació tripartita que emfatitza la divisió del gradient litoral des d'una perspectiva corològica. El seu principi descansa en la posició relativa dels principals tipus de comunitat que s'observen en el gradient vertical. Així doncs, les tres zones en què es divideix la zona litoral, el perfil de costa, són:

- a) Domini supralitoral: es caracteritza per líquens crustacis, cianobacteris, litorínids i altres petits caragols.
- b) Domini interlitoral: en destaca l'abundància

de cirrípedes, bivalves filtradors i de vegades ostreïds.

- c) Domini infralitoral: presència d'algues calcàries, formes incrustants i laminàries.

Tot i que aquesta classificació destil·la la influència del control mareal, Stephenson i Stephenson (1972) posen de manifest que la determinació dels límits de cada una de les zones, a partir del temps i freqüència d'immersió, no és un criteri adequat, ja que, per bé que les mareas en són un element important, només matisen un gradient que ja existeix entre dues zones ben definides, la terrestre i la marina. Lewis (1964) planteja una classificació semblant, tot i que proposa la divisió del gradient en funció de les condicions mitjanes d'humectació del litoral rocós. D'altra banda, també hi introdueix elements, com el grau d'exposició o el pendent de la costa. Així, l'amplitud de la franja litoral, en iguals condicions de pendent, és major en les costes exposades que no en les arrecerades. Tot plegat afavoreix la universalitat de la classificació.

Finalment, a la classificació de base ecològica de la costa, Schneider (1976) hi afegeix una descripció fenomenològica que relaciona les coloracions de la

	Stephenson i Stephenson (1952)	Lewis (1964)	Peres i Picard (1964)	Schneider (1976)	a la present memòria	terminologia anglesa	terminologia francesa	terminologia alemanya
marees màximes	domini supralitoral	p.e. domini supralitoral p.a.	domini adlitoral	FL zona de líquens HA zona d'halòfites GR zona grisa BS zona negra-blavosa DB zona marró	p.e. p.a. zona halòfites	supralitoral zone (supratidal)	étage adlitoral	supralitoral sprühwasser - sprüwasser
pleamar mitjanes	zona midlitoral	lim sup. L. littorea - Verucaria sp.	superior	FL zona groguenca WE zona blanca	zona C			
± 0	domini interlitoral	lim sup. Cirrpeda sp.	domini midlitoral		zona B	littoral zone, midlittoral zone (intertidal)	étage médiolittoral	eulitoral (gezeitenzone)
baixamars mitjanes	franja infralitoral	lim sup. Laminaria	inferior	notch notch biogènic	zona A			
marees mínimes	domini infralitoral	p.e = perfil exposat p.a = perfil arrecerat	domini infralitoral	plataforma litoral	plataforma litoral, trottoir (Cystocleira sp.) p.e = perfil exposat p.a = perfil arrecerat	sublitoral zone (subtidal)	étage infralitoral	sublitoral (unterwasser-bereich)

Fig. 3.2 Correlació gràfica de les diferents zonacions del gradient litoral en funció dels factors hidrodinàmics, ecològics i de forma.

costa, els dominis biològics i les principals microformes. Sovint les diferents classificacions i terminologia no coincideixen en els seus límits o en els termes. La Fig. 3.2 recull i intenta correlacionar tant els termes com les classificacions de diferents autors, així com la proposta per a la zonació biològica de la costa de Mallorca.

### 3.3

#### L'acció bioerosiva a les costes rocoses carbonatades

Dels litobionts, hom en distingeix, segons la mida, entre microorganismes i macroorganismes. Així com també, en funció del nínxol, entre els epilítics, que són aquells que desenvolupen la seva activitat a la superfície de la roca, i els endolítics, aquells que ho fan a l'interior de la roca (Gobulic *et al.*, 1982). Segons la seva posició relativa respecte de la superfície de la roca, els endolítics se subdivideixen en casmoendolítics, quan colonitzen esquerdes i fractures de la roca; criptoendolítics, si colonitzen la porositat de l'interior de la roca i, finalment, els euendolítics o vertaders endolítics, que penetren activament des de la superfície fins a l'interior de la pedra formant galeries i cavitats d'acord amb la forma dels seus cossos.

La bioerosió és un procés que combina la corrosió del rocam, especialment en roques carbonatades, dels macroorganismes i microorganismes (endolítics i epilítics) i l'abradió biològica dels macroorganismes que brostegen i graten la superfície de la roca. Mentre que, de la corrosió biològica, se n'allibera carbonat en forma d'ions en dissolució ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ), el producte de l'abradió biològica són fragments de roca carbonatada entre 6,3 i 63,0  $\mu\text{m}$  (Schneider i Torunski, 1983).

La microflora epilítica i endolítica –fotoautòfica i heterotròfica– manté una relació tròfica amb els organismes brostejadors (depredadors). L'acció de rebaixament de la superfície de les roques carbonatades depèn de la profunditat de compensació lluminosa. En absència de depredadors, els microorganismes endolítics han de trobar una posició d'equilibri entre les necessitats d'humectació i les d'insolació, de manera que puguin desenvolupar la fotosíntesi sense deshidratar-se. Quan s'incorporen els organismes brostejadors al sistema, el nivell de compensació lluminosa respecte de la superfície de la roca varia, bé perquè se'n redueix la cota i els microorganismes han de cercar una nova posició d'equilibri entre les necessitats fisiològiques i les condicions del medi, bé perquè els microorganismes eviten ser capturats pels seus depredadors (Boaventura *et al.*, 2002; Dye, 1998; Le Champion-Alsumard *et al.*, 1993; i Ruitton *et al.*, 2000).

Així, aquest cicle d'erosió–abradió biològica, amb un

equilibri ecològicament regulat, és el principal motor dels processos de bioerosió dels dominis supralitorals i interlitorals de les costes rocoses carbonatades (Schneider, 1976; Viles, 1984).

#### 3.3.1

##### Acció erosiva dels microorganismes epilítics i endolítics

Les comunitats típiques de microorganismes epilítics i endolítics amb una acció directa sobre el rocam carbonatat, les integren cianobacteris, fongs i líquens (Viles, 1984). Sovint, aquests, tenen una estructura tan complexa que és difícil separar-los i considerar-ne de forma aïllada els mecanismes fisiològics i els d'alteració de la roca. Tot plegat justifica que força autors utilitzin el terme patina biològica o *biofilm* per tal de descriure'ls (Stolz, 2000).

Els **cianòfits** perforen la roca, i produeixen una densa xarxa de galeries i microcavitats, fins a una profunditat màxima de 900  $\mu\text{m}$  de la superfície de la roca. Aquest límit el defineix la profunditat de compensació lluminosa (Pohl i Schneider, 2002). Les galeries dels cianòfits, habitualment perpendiculars a la superfície, poden arribar a 10  $\mu\text{m}$  de diàmetre i a més de 200  $\mu\text{m}$  de profunditat en substrats durs, com puguin ser unes dolomies ben cimentades; o al voltant de 6 a 10  $\mu\text{m}$  de diàmetre i més de 350  $\mu\text{m}$  de profunditat en calcarenites poc cimentades i de major porositat (Jones, 1989; Jones i Kahle, 1985). El patró de perforació acostuma a seguir estructures lineals que s'entrecreuen a mode de xarxa. El resultat és una elevada densitat de perforacions a mode de textura esponjosa (Naylor i Viles, 2002). A la costa, la població de cianòfits pot superar densitats de 800.000 individus per  $\text{cm}^2$  i un sol tipus de cianòfit pot ocupar d'un 10% a un 33% de la superfície (Le Champion-Alsumard, 1979; Viles, 1988a; Viles *et al.*, 2000). Pel que fa a la distribució en el gradient litoral, els cianòfits disminueixen la seva presència en els sectors més humits i profunds de la costa perquè augmenta la densitat dels depredadors. Són molt abundants en la transició del domini interlitoral al supralitoral i tornen a disminuir en el supralitoral, quan els organismes epilítics entapissen la superfície de la roca (Torunski, 1979).

El mecanisme pel qual els cianòfits perforen la roca no és entès completament en contraposició al coneixement dels seus efectes (Pomar *et al.*, 1975; Schneider i Le Champion-Alsumard, 1999). Se suposa que els cianòfits endolítics segreguen àcids o altres productes metabòlics que ataquen la roca. De fet, l'espai que existeix entre les beines gruixades de polisacàrids dels filaments perforants dels cianòfits i les parets de les perforacions està farcit d'una xarxa de microfibrilles que sobresurten de les beines. Aquestes microfibrilles serien les responsables de la dissolució del substrat carbonatat, ja que els ions de

carbonat en dissolució ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ) poden ser utilitzats pels cianòfits fotoautòtrofs. El  $\text{CO}_3^{2-}$  es fa servir per reduir el pH mitjançant la seva combinació amb els ions  $\text{HCO}_3^-$  o el  $\text{CO}_2$ , que són la font de carboni del cicle fotosintètic dels cianòfits (Schneider, 1976). Le Champion-Alsumard (1979), a les observacions efectuades a la costa francesa mediterrània, a Marsella, a partir de l'exploració amb microscopi electrònic, posa de manifest que els filaments endolítics dels cianòfits, en comparació amb els epilítics, són més rics en contingut de calci. Aquest fet implica que, almenys temporalment, els cianòfits incorporen i acumulen ions de Ca en els seus teixits cel·lulars o en les seves beines després de la dissolució del rocam (Tudhope i Risk, 1985).

Els efectes sobre el rocam són diversos. D'una banda, els cianòfits ataquen els grans de la roca i generen tot un seguit de nanofomes –depressions circulars i galeries– ben característiques (Moses i Viles, 1996) i, d'altra banda, també n'ataquen el ciment i en resulten un conjunt de processos de micritització i microesparització (Pomar *et al.*, 1975). Tanmateix, no hi ha un acord pel que fa a l'acció preferencial dels cianòfits. Jones (1989) i Viles (1987b) no identifiquen diferències quant a la densitat de perforacions entre grans i ciment, mentre que Moses (2003) observa com galeries i microcavitats es concentren en el ciment del rocam. Fiol *et al.* (1992 i 1996) posen de manifest com l'acció dels cianobacteris, encara que debilitant l'estructura cristal·lina de la roca, afavoreix la remoció de petites partícules de calcària arran de l'impacte de les gotes d'aigua de la pluja, de més a més dels processos de dissolució propis de l'activitat metabòlica i etològica.

Del total de l'erosió de la roca, al voltant d'un 33% correspon a l'acció dels cianobacteris (Peyrot-Clausade *et al.*, 1995). Les taxes d'erosió són variables en funció de les condicions ambientals i factors com la textura de la roca i el nombre i intensitat dels depredadors. Tot i així, s'ha quantificat l'acció erosiva dels cianòfits de  $0,001 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  a  $0,015 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  a les costes de les illes Bahames (Perkins i Tsentas, 1976), en  $0,005 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  als monuments històrics de Jerusalem (Danin, 1983) i al *Forum Traianum* de Roma en  $0,025 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  (Danin, 1990).

La bioerosió i biodeterioració de les roques carbonatades per líquens i fongs endolítics varia en funció de la naturalesa de la roca. Es caracteritza per la formació de microcavitats i galeries a la superfície de la roca i per l'acció mecànica de les hifes sobre els cristalls o els grans i la porositat (Gehrmann *et al.*, 1992). La profunditat màxima, pel que fa a la presència d'aquestes textures d'alteració, pot arribar a superar els 15 mm respecte de la superfície de la roca, tot i que habitualment no depassen els 3 mm (Pomar *et al.*, 1975). És difícil separar l'acció dels cianobacteris de la dels líquens, atesa la naturalesa de

la simbiosi. La superfície de la roca està intensament perforada pels peritecis o els apotecis –organismes reproductors– que, quan desapareixen, deixen microcavitats de forma discoïdal de dimensions al voltant de la dècima de mil·límetre o del mil·límetre. Sobre la roca, tot sovint, també s'hi poden apreciar solcs ben marcats que es corresponen amb el límit de contacte entre els tal·lus líquènics (Ascaso *et al.*, 1982).

En secció, s'hi observa que els líquens ocupen una zona alterada d'aproximadament 1 mm o 3 mm de gruixa i que la intensitat de la seva acció disminueix de forma progressiva en profunditat (Ascaso i Wierzchos, 1994). La component algal, a l'interior de la roca i molt propera a la superfície, genera petites cavitats de forma esfèrica de 30 a 70  $\mu\text{m}$ , tot sovint trenades o alineades (Pomar, 1976). La component fúngica ofereix una variació de formes menor. Les hifes penetren la roca fins a profunditats d'1 cm, tot i que l'habitual és una profunditat mitjana d'1 mm. La penetració es duu a terme de forma indistinta a l'interior dels grans i entre els cristalls, tot i que en els primers és més dificultosa. Les hifes s'endinsen en la roca seguint direccions cristal·logràfiques ben marcades, direccions de mínima resistència que es fan ben patents entre els cristalls de calcita i els bioclasts (Pomar *et al.*, 1975). Val a dir que la disposició estructural d'aquesta penetració fúngica no disminueix gradualment amb la profunditat respecte de la superfície, sinó que existeixen dues zones ben diferenciades i delimitades, aproximadament de la mateixa gruixa. La primera zona, immediatament per sota de la superfície, està fortament colonitzada i manifesta la major intensitat de fenòmens de degradació de la roca. La zona inferior presenta una penetració dèbil de les hifes segons els plans intercrystal·lins o sense ordenació aparent a la micrita (Viles, 1987a).

Els mecanismes pels quals els líquens alteren la roca poden ser de caràcter físic o mecànic i químic. Els mecànics consisteixen en la pressió que exerceixen les hifes entre els grans i els cristalls, tant en sentit vertical com en horitzontal, fins arribar a fragmentar-la, o bé a trencar els propis grans o els cristalls un cop iniciada la seva perforació química (Fry, 1924; Jones i Kahle, 1985). En aquest sentit, també cal considerar l'efecte de contracció i expansió del tal·lus líquènic arran dels cicles d'humectació i de dessecació ambientals (Gómez-Pujol *et al.*, en premsa; Moses i Smith, 1993), o bé, a mode d'efecte secundari, l'acció mecànica pel creixement de cristalls de sals secundàries –especialment oxalats– que, precipitats per influència del líquen, ocupen els buits i les microesquerdes de la roca (Chen *et al.*, 2000). De caràcter físic, tot i que no estrictament erosiu, és el mecanisme pel qual els líquens incorporen matèria mineral al seu tal·lus, embolicant fragments de roca despresos entre les seves hifes, especialment a la



superfície de la roca (Ascaso i Wierzychos, 1994).

Els efectes de l'atac químic dels líquens sobre la roca són difícils de separar d'aquells descrits per als cianòfits. Aquest atac consisteix en la perforació, per part de les hifes, dels grans i cristalls de la roca i de la formació de productes secundaris just per sota del tal·lus líquènic, arran de la seva acció metabòlica i la secreció d'àcids orgànics (Wilson i Jones, 1982). Ascaso *et al.* (1982) troben evidències que les secrecions d'oxalat càlcic de la component fúngica del líquen són les responsables de l'atac químic de la calcita a la interfase entre el líquen i la roca.

Així doncs, els líquens, a les roques carbonatades, produeixen canvis en la textura i en la fàbrica de les roques, d'acord amb els seus ritmes biològics. Controlen, matisen i redueixen l'acció dels processos externs de dissolució inorgànica (Pomar i Calvet, 1974; Mottersehadi i Lucas, 2000), els cicles de meteorització tèrmica i les variacions d'humitat (Carter i Viles, 2003 i 2004). Fins i tot, en el balanç meteorització-erosió, els líquens arriben a protegir la superfície de la roca dels agents erosius (Carter i Viles, 2005; Viles i Goudie, 2004). De tot plegat, en resulta un tipus de microrelleu particular a les roques carbonatades que hom ve a designar com a fitocars (Bull i Laverty, 1982; Folk *et al.*, 1973) o, de forma més genèrica, biokars (Viles, 1988b).

### 3.3.2

#### *Acció erosiva dels macroorganismes perforadors*

Els macroorganismes endolítics –principalment casmolítics– característics de les costes rocoses carbonatades són les esponges (*Cliona*), els bivalves (*Lithophaga*, *Gastrochaena*) i els cucs (*Polydora*) perforadors, així com també els bogamarins (*Equinoderma*) que tenen un comportament a cavall entre els organismes endolítics i els epilítics (Schneider, 1976). Tots ells, arran del seu grau de tolerància respecte de les condicions ambientals, a diferència dels cianòfits i els líquens, ocupen els dominis interlitoral i sublitoral de la costa.

Les esponges produeixen perforacions esfèriques o el·líptiques, la densitat de les quals els pot arribar a donar l'aparença de nius d'abella. Les seves dimensions oscil·len de 0,5 mm a 1 mm de diàmetre i de 0,09 mm a 0,02 mm de profunditat (Trudgill, 1985). Les esponges són organismes filtradors i, per tal d'estar en contacte amb els corrents d'aigua sense ser-ne arrabassades, necessiten fixar-se a la roca. Perforen la roca mitjançant la secreció d'àcids orgànics i el disseny dels seus teixits els permet malmetre la roca físicament, fins al punt de poder trencar fragments de roca de 60 a 80 µm de gruixa. Els valors de remoció de substrat carbonatat de les esponges s'ha quantificat de 0,17 a 35 kg·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup> en

funció de la densitat d'esponges i el temps d'exposició de les peces de roca sotmeses a la colonització de les esponges del gènere *Cliona* (Spencer, 1988). Semblants són els patrons de colonització i d'alteració dels poliquets, així com també les seves taxes d'erosió (Hutchings i Peyrot-Clausade, 2002). Val a dir que els uns i els altres no només dissolen el CaCO<sub>3</sub>, sinó que també produeixen partícules d'arena fina (15-100 µm) arran de la seva acció mecànica sobre el rocam (Schneider, 1976).

Els bivalves que perforen la roca poden arribar a profunditats al voltant dels 10 cm des de la superfície de la roca. En la seva majoria es tracta d'organismes filtradors que perforen la roca per mitjà d'àcids orgànics, o bé sols la debiliten per després procedir a l'abració dels murs de l'orifici, per mitjà d'òrgans o teixits específics (Trudgill, 1985). Tot sovint les valves d'aquests organismes presenten irregularitats que constitueixen el negatiu de la forma de la perforació de la roca, així com també els cicles de creixement de l'organisme. Per a *Hiatella artica* s'ha quantificat la seva acció erosiva en taxes que oscil·len de 1,25 a 10 mm·a<sup>-1</sup> (Trudgill i Crabtree, 1987) i per a *Lithophaga lithophaga* aquests valors oscil·len de 4,3 a 12,9 mm·a<sup>-1</sup> (Spencer, 1988; Trudgill, 1976a).

Especialment important és el paper bioerosiu dels equinoderms que, com en el cas dels anteriors organismes, ataquen la roca mitjançant glàndules que segreguen àcids orgànics (Bak, 1990) i també per l'abració dels seus cossos i de les ràdules de què estan dotats (Torunski, 1979; Trudgill *et al.*, 1987). Els equinoderms produeixen depressions de planta circular proporcionals en profunditat i amplària a les dimensions del seu cos, així com també canals d'una depressió a una altra. La importància dels equinoderms com a agents bioerosius depèn de factors ecològics (Peyrot-Clausade *et al.*, 2000; Conand *et al.*, 1988; Trudgill *et al.* 1987). Les taxes d'erosió per a *Echinometra lucunter* són de 10 a 14 cm<sup>3</sup>·a<sup>-1</sup> i per a *Parecentrotus lividus* de 500 a a 2500 cm<sup>3</sup>·a<sup>-1</sup>, el que equival a taxes de bioerosió entre 2,5 i 15 mm·a<sup>-1</sup>.

### 3.3.3

#### *Acció erosiva dels macroorganismes brostejadors*

Els organismes que brostegen la superfície de les costes rocoses, consumint cianòfits, fongs i líquens, són principalment gastròpodes. La seva acció erosiva és principalment de tipus mecànic, tot i que la ràdula dels gastròpodes no està mineralitzada. Tot i així és prou resistent com per gratar la superfície de la roca, que ja està debilitada per l'acció dels cianòfits (Schneider, 1976; McLean, 1967), i deixar evidències de traces o pistes de la seva acció en forma de canals o traces ovalades relacionades, bé amb la geometria del seu cos (*Patella* sp.), o bé amb el seu desplaçament (*Monodonta* sp. i *Melaraphe* sp.)

Agent	Taxa	Substrat	Localitat	Referència
<i>Acanthopleura brevispinosa</i> (P)	0,65 mm·a <sup>-1</sup>	calcarenita	Aldabra Atoll	Taylor i Way, 1976
<i>Acanthopleura gemmata</i> (P)	0,50 mm·a <sup>-1</sup>	beachrock	Heron Island	McLean, 1974
<i>Acanthopleura gemmata</i> (P)	0,20 – 2,90 mm·a <sup>-1</sup>	calcarenita	One Tree Islands	Trudgill, 1983
<i>Acanthopleura granulata</i> (P)	13,0 cm <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup>	beachrock	Barbados	McLean, 1967
<i>Acanthopleura granulata</i> (P)	0,12 mm·a <sup>-1</sup>	calcarenita	Bahames	Rasmussen i Frankenberg, 1990
<i>Cittarium pica</i> (C)	1,30 cm <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup>	beachrock	Barbados	McLean, 1967
<i>Littorina meleagris</i> (C)	0,15 cm <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup>	beachrock	Barbados	McLean, 1967
<i>Littorina neritoides</i> (C)	0,07 – 0,13 mm·a <sup>-1</sup>	calcària (cretaci sup.)	Ístria, Croàcia	Torunski, 1979
<i>Littorina neritoides</i> (C)	0,07 a 0,013 cm <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup>	beachrock	Barbados	McLean, 1964
<i>Littorina unifacta</i> (C)	0,15 – 0,76 mm·a <sup>-1</sup>	calcarenita	Shag Rock Is. (Austràlia)	Abensperg-Traun <i>et al.</i> , 1990
<i>Littorina ziczac</i> (C)	0,40 cm <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup>	beachrock	Barbados	McLean, 1967
<i>Nerita tessellata</i> (C)	0,40 cm <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup>	beachrock	Barbados	McLean, 1967
<i>Nerita versicolor</i> (C)	0,80 cm <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup>	beachrock	Barbados	McLean, 1967
<i>Nodolittorina tuberculata</i> (C)	0,60 cm <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup>	beachrock	Barbados	McLean, 1967
<i>Patella coerulea</i> (L)	0,51 – 0,76 mm·a <sup>-1</sup>	calcària (cretaci sup.)	Ístria, Croàcia	Torunski, 1979
<i>Patella vulgata</i> (L)	0,15 – 0,49 mm·a <sup>-1</sup>	calcària cretencia	Sussex	Andrews i Williams, 2000

Taula 3.1 Recull de taxes d'erosió de macroorganismes brostejadors a la costa rocosa.

mentre brostegen (Villanueva *et al.*, 2001). El resultat és l'alliberament de fragments de roca de 100 a 200 µm d'eix màxim. La intensitat de les taxes d'erosió dels gastròpodes depenen de l'abast de la seva distribució i de les seves densitats, dels cicles biològics, de les estratègies etològiques i del control que exerceixen els gradients hidrodinàmics i topogràfics (Lang *et al.*, 1998). S'ha quantificat la contribució de diferents gastròpodes a diferents localitats amb un espectre ampli de taxes de rebaixament de la superfície rocosa (Taula 3.1). No obstant això, aquells organismes amb una capacitat d'erosió més transcendent són els dels grup de pegellides i els poliplacòfors tropicals.

### 3.4

#### Patrons i taxes de bioerosió a les costes rocoses de Mallorca

Amb la finalitat de quantificar la contribució de la component biològica en els patrons i taxes d'erosió de les costes rocoses carbonatades s'ha avaluat la capacitat erosiva dels principals macroorganismes brostejadors presents a la costa de Mallorca. Les localitats on s'han estudiat les densitats, la distribució i la capacitat erosiva dels organismes es corresponen a les descrites per al càlcul de les taxes d'erosió mitjançant escàner làser (apartat 2.5.1, taula 2.18).

Pel que fa a la litologia a la Cala d'en Guixar (CG) i a la Punta des Faralló (PF) afloren roques carbonatades, mesozoiques plegades, mentre que a s'Alavern (SA), Cala Murada (CM) i la Punta des Sivinar (PS) afloren, calcarenites tabulars postorogèniques del Miocè Superior (Fig. 3.3).

#### 3.4.1

##### Materials i mètode

A cada una de les localitats d'estudi, en funció de la variabilitat de la línia i el perfil de costa, s'han aixecat d'un a cinc **perfils topogràfics**, mitjançant una estació total TOPCON® CTS210, i s'indiquen tots els canvis bruscs de pendent, amb un registre de cota cada 15-20 cm. La direcció dels perfils és perpendicular a la costa i abracen des del domini terrestre fins allà on les condicions de seguretat han permès obtenir cotes per sota del nivell marí. Atès que a Mallorca no existeix un zero topogràfic "real" per als aixecaments topogràfics oficials, s'ha considerat el límit superior de les praderies de *Cystoceria sp.* sobre tenasses i plataformes com a zero relatiu. La *Cystoceria* és una macroalga que viu just per sota dels primers centímetres de columna d'aigua que pot arribar a profunditats de 55 m (Ribera i Gómez, 1985). De vegades, coincidint amb les baixades del nivell de la mar, arran de la pressió atmosfèrica entre 0,25 m i 1 m (Basterretxea *et al.*, 2004), les mates de *Cystoceria* romanen emergides i pateixen una important dessecació. Per tant, el seu límit superior ve a coincidir amb la posició estadística de pocs mil·límetres per sota del nivell marí mitjà.

A partir dels perfils de costa, s'ha confeccionat un **inventari dels organismes bioerosius** presents a les zones d'estudi i se n'ha determinat la distribució espacial, tipologia d'hàbitats i comportament erosiu. Sobre els perfils, s'hi ha indicat la coloració de la roca i la distribució de les formes de relleu (plataforma litoral, cocons, pinacles, esquerdes, etc.).

Per tal de caracteritzar la **densitat dels organismes** al

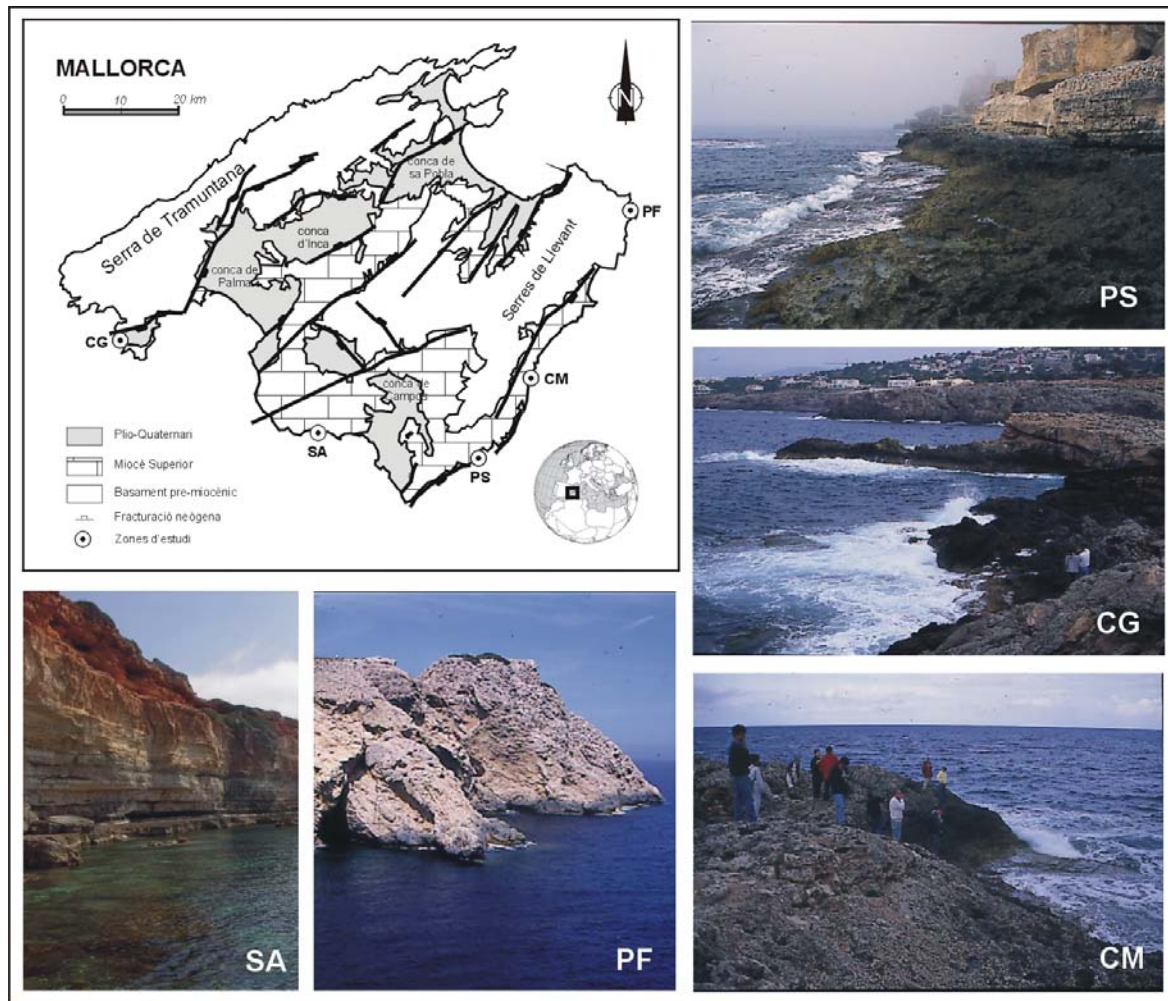


Fig. 3.3 Localització de les zones d'estudi i mostratge biològic. PS, Punta des Sivinar; CG: Cala d'en Guixar; CM, Cala Murada; SA, s'Alavern i PF, Punta des Faralló.

llarg dels perfils, s'hi ha desenvolupat un mostratge aleatori a partir de dos marcs, un de 0,25 m<sup>2</sup> i l'altre de 0,10 m<sup>2</sup> amb subdivisions d'1 cm de costat, en funció de les dimensions dels organismes i la seva abundància. Per a cada segment de la zonació del perfil, s'ha realitzat un nombre de recomptes (1 recompte cada 3,5 m) en funció de la variabilitat dels valors de densitat per a cada organisme en els registres i el tipus de micromodelat (Trudgill, 1988). Els recomptes s'han repetit de 3 a 4 cops per calcular l'error dels valors de densitat. Els recomptes s'han dut a terme estacionalment durant dos anys (el període de mostratge s'inicià l'estiu de 1999 i finalitzà la tardor de 2000). A cada una de les zones delimitades sobre el perfil, s'hi han recollit mostres representatives –un mínim de tres rèpliques– de *Melaraphe neritoides*, i *Patella rustica* per quantificar-ne les propietats biomètriques, analitzar-ne el contingut lític dels pèl·lets i comparar-ne els valors entre poblacions (Torunski, 1979).

La quantificació de la **capacitat erosiva** dels organismes s'ha calculat de forma indirecta a partir

del residu lític dels seus pèl·lets. Aquesta aproximació fou desenvolupada per McLean (1967). Andrews i Williams (2000) destaquen que, entre els seus inconvenients, s'hi compta: (a) que no és una mesura directa de l'erosió i, per tant, pot existir una component del material rocós alliberat que no sigui ingerida per l'organisme, (b) existeix la possibilitat que part de la roca ingerida sigui atacada per àcids orgànics durant la digestió de l'organisme i (c) no tot el residu lític es correspon amb carbonat càlcic i, donades les quantitats i el volum de residu lític, sovint no és possible separar-la de les altres fraccions no orgàniques dels pèl·lets fecals. Tanmateix, les taxes d'erosió calculades a partir de mètodes indirectes, mantenen una correlació significativa amb les taxes d'erosió, derivades de la quantificació de les perforacions dels organismes i del càlcul de la seva edat (Connand *et al.*, 1998; Rasmussen *et al.*, 1990; Trudgill *et al.*, 1987).

Així doncs, d'aquells organismes amb majors valors de densitat –*Melaraphe neritoides* i *Patella rustica*–, se n'han recollit a cada localitat tres rèpliques per

zona biològica amb un mínim de 50 individus per mostra. Un cop al laboratori, les mostres de *Melaraphe neritoides* s'han ubicat a un recipient amb aigua desionitzada entre 24 i 48 h perquè els organismes alliberassin tot el seu contingut intestinal. Es renten, un a un, els individus de *M. neritoides*; seguidament, es filtra l'aigua dels recipients sobre un filtre orgànic calibrat i aquest, després, s'eixuga al forn a 105 °C durant 24 h (McLean, 1967). Finalment, se'n calcula la massa. Per a les mostres de *Patella rustica*, els individus s'han deixat deshidratar a temperatura ambient, cara amunt, a un recipient compartimentat que permet la caracterització individual de les pegellides. Després d'eixugar-les al forn a 105 °C durant 24 h, se n'ha separat el cos de la closca i se n'ha calculat la massa. El contingut fecal s'ha determinat incinerant les mostres procedents del rentat i filtratge de *Melaraphe neritoides* i la part blana dels individus de *Patella rustica*, a 550 °C durant 5 h i, llavors, se'n pesa la massa d'acord amb Peyrot-Clausade et al. (2000). El residu dels pèl·lets fecals s'interpreta, tot i ser reduccionista, com a fracció mineral. Els experiments a propòsit del temps que roman la ingesta de roca en el sistema digestiu

dels organismes permeten associar la quantitat de roca erosionada en un dia per un organisme amb la seva producció fecal diària (Vidal *et al.*, 2001b i c). Així doncs, a partir de la densitat dels individus a cada localitat i zona del perfil de costa, tot coneixent l'edat i estructura de la població a partir de l'estudi de les seves característiques biomètriques i havent-ne avaluat la capacitat erosiva, se'n pot derivar una taxa de bioerosió a partir de l'expressió següent:

$$T_b = PPF / \delta_r = \text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$$

On  $T_b$  és la taxa de bioerosió de l'organisme ( $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ),  $PPF$  és la fracció mineral dels pèl·lets fecals anuals referida a la població que colonitza cada una de les zones estudiades ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ) –calculada a partir de la relació entre la producció de residu lític diària per individu ( $\text{g} \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{ind}^{-1}$ ) i els recomptes periòdics dels organismes per a cada zona i per a cada localitat d'estudi ( $\text{ind} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )– i  $\delta_r$ , que és la densitat de la roca ( $\text{gr} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) on els organismes brostegen. Paral·lelament, s'ha observat el contingut, estructura, mida i forma dels pèl·lets fecals frescos mitjançant observacions de microscopi electrònic de rastreig (Fig. 3.4).

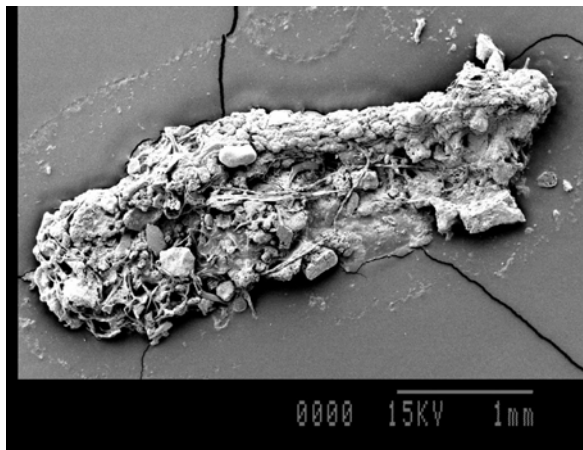


Fig. 3.4 Imatge de microscopi electrònic de rastreig d'un pèl·let fecal de *Monodonta turbinata* i el detall de la presència de fragments de roca amb dimensions al voltant de 100 i 200 µm entre les fibres i els filaments orgànics.

### 3.4.2

#### *Els macroorganismes bioerosius de les costes rocoses carbonatades de Mallorca*

A continuació es presenta un llistat dels macroorganismes implicats en la bioerosió de les costes rocoses presents a les localitats estudiades, amb informació respecte de les seves dimensions, distribució i hàbitat.

#### BIVALVIA

##### *Lithophaga aristata* (Dillwyn, 1817)

Mol·lusc amb una conquilla llarga i cilíndrica formada per dues valves iguals amb bandes de creixement separades. Les seves dimensions són de 15 a 26 mm de longitud, tot i que en determinades ocasions pot arribar als 50 mm. És una espècie cosmopolita i molt habitual a la Mediterrània, en particular a les ribes occidentals i meridionals. El seu hàbitat abraça des del límit de la marea baixa fins a 100 m de profunditat. Es diferencia de *L. lithophaga* pels apèndixs posteriors de cada valva. És un potent perforador tant de substrats rocosos com d'altres bivalves o gastròpodes i dels bioherms d'algues rodoícies. El seu mecanisme de perforació consisteix en la secreció d'àcids orgànics.

##### *Lithophaga lithophaga* (Linnaeus, 1758)

Gènere amb una conquilla allongada i cilíndrica

formada per dues valves iguals. Les seves dimensions oscil·len de 60 a 95 mm de longitud, tot i que pot arribar als 110 mm. S'escampa des de la costa occidental del continent africà fins a la Mediterrània. El seu hàbitat comprèn dels 100 m de profunditat fins al límit de la marea baixa. Perfora substrats durs com esculls de corals, roques carbonatades i, fins i tot, la fusta o les infraestructures sotaiguades (dics, esculls artificials). Es coneix, popularment, com a dàtil de mar i se'n fa consum gastronòmic.

#### ***Mytilaster solidus*** (Martin in Monterosato, 1872)

Bivalve de 8 a 15 mm de longitud, amb màxims de 19 mm. La seva distribució és mediterrània, encara que hi ha algunes colònies a les ribes atlàntiques properes i és possible que hagi arribat a les costes atlàntiques franceses. És un organisme intermareal, que viu adherit a les roques o a comunitats algals, com les de *Corallina mediterranea*. La xarnera té de 2 a 3 pues cardinals que no són evidents. Llevat de la presència de petits canals amb estries, l'aparença de la copinya és llisa. L'interior de les valves és d'un color blanc-perla brillant amb matisos porpra. La seva forma és extremadament variable, raó per la qual en el passat es distingia entre dues espècies o formes: *M. solidus* en sentit estricte, que es caracteritzava per una cara ventral còncava i *M. solidus* var. *minimus* (Poli, 1975) amb la cara ventral recta. Totes les espècies dels mitiloids són bivalves sèssils adherits a la roca o a les algues coral·lígenes presents al límit inferior del domini interlitoral. Quan l'organisme està viu desenvolupa una funció protectora de la roca, però quan és arrabassat per les tempestes, la depredació natural o l'home, pot esdevenir una espècie erosiva. La seva presència a les costes estudiades és ocasional.

#### ***Mytilus edulis*** (Linnaeus, 1758)

Bivalve sèssil adherit a la roca o als bioherms d'algues calcàries, la conquilla del qual té dimensions al voltant de 30 i 140 mm de longitud, tot i que existeixen exemplars que poden arribar als 228 mm. La dimensió de l'espècie depèn del seu biotop. Així les conquilles interlitorals són de dimensions petites i en comptades ocasions superen els 60 mm, mentre que els exemplars d'aigües més profundes acostumen a superar els 90 mm de longitud. Els límits de la distribució de *M. edulis* no es coneix exactament, arran de la seva confusió amb altres bivalves molt similars. Hom accepta que és una espècie pròpia de l'hemisferi nord, tot i que s'escampa per l'Atlàntic i també el Pacífic (Japó). A les costes europees viu sobre substrats rocósos i des dels sectors inferiors del domini interlitoral fins a profunditats de 40 m. És una espècie extremadament variable pel que fa a la forma i al color. Algunes conquilles són gruixudes i tenen un patró d'estries radiades associades a les línies de

creixement, tot i que la majoria són llises i fines. Els espècimens mediterranis són llargs, plans i tenen una línia basal més còncava. És molt freqüent als transectes estudiats.

#### ***Musculus subpictus*** (Cantraine, 1835)

Mitiloid amb una conquilla formada per dues valves simètriques, quasi ovals, que s'aprimen en el seu costat interior. Les seves dimensions poden arribar als 19 mm de longitud, tot i que són més habituals longituds de 5 i 10 mm. Es pot trobar des de les costes de Noruega a les d'Angola i tota la costa occidental d'Àfrica. A la Mediterrània, el seu hàbitat comprèn des del nivell de marea baixa fins a 60 m de profunditat. És habitual trobar-lo als biòtops on abunden els equinoderms o associat a *Laminaria* sp. Pot perforar les conquilles d'altres organismes com *Ascidia mentula*, *Acidiella aspersa*, *Cliona intestinalis* o *Holothuria tubulosa*. És un bivalve extremadament fi, amb una conquilla de color verdós amb 15 o 18 nervis anteriors i entre 20 o 35 nervis posteriors. És poc freqüent als perfils caracteritzats.

### CRUSTACEA

#### ***Chthamallus stellatus*** (Poli, 1791)

Crustaci filtrador de forma piramidal i aparença rugosa, amb una obertura a l'apex i un diàmetre de 15 mm. Molt habitual a les costes mediterrànies i a la mar Negra, al migjorn d'Anglaterra i a la mar del Nord. És força abundant al domini supralitoral de les costes rocoses de Mallorca, i coincideix amb l'àrea on dominen els esquits de les onades.

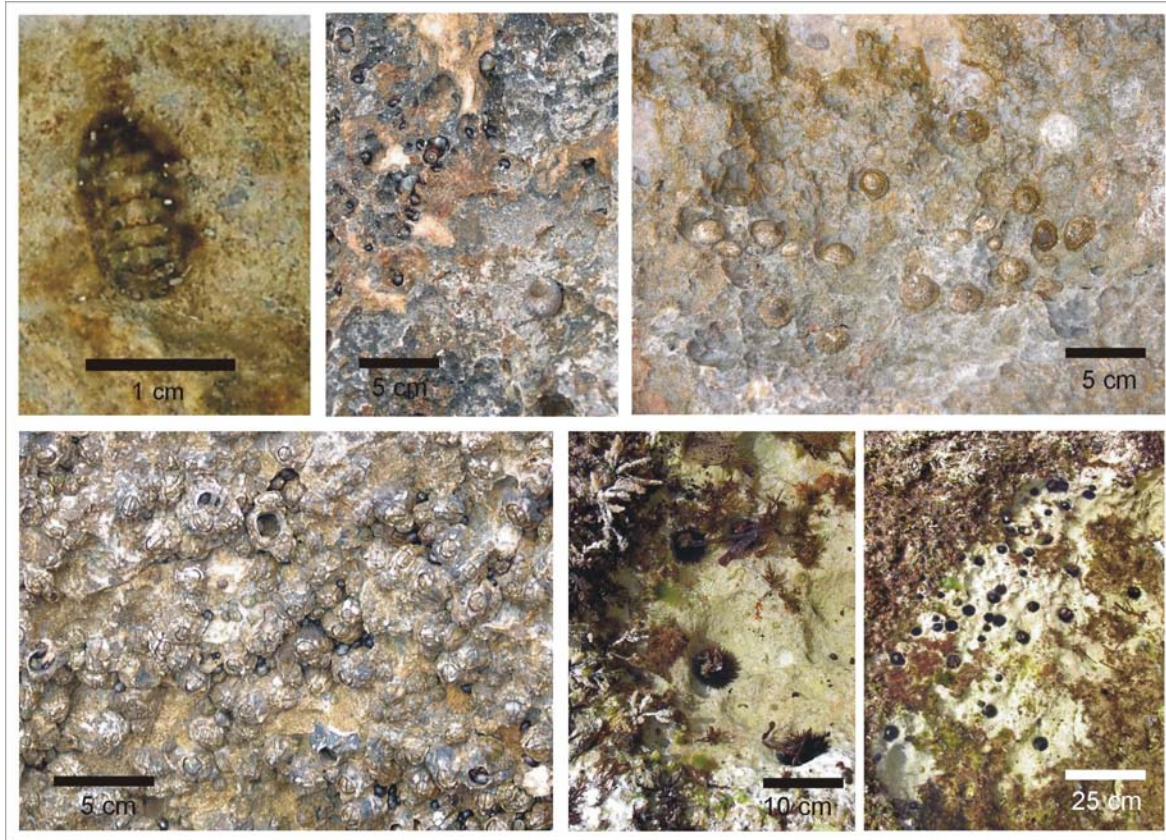
#### ***Chthamallus depressus*** (Poli, 1791)

Crustaci filtrador semblant a *C. stellatus* tot i que la seva forma cònica és més aplanada. Se'n poden distingir sis plaques d'aparença llisa. El seu diàmetre mitjà és de 15 mm. La seva distribució és restringida a la mar Mediterrània i la mar Negra. El seu hàbitat és el domini supralitoral i és molt abundant a les costes rocoses de Mallorca.

### ECHINOIDEA

#### ***Arbacia lixula*** (Linnaeus, 1758)

Equinoïdeu de closca semiesfèrica dura que pot arribar als 30 mm de diàmetre amb pues gruixudes, tan llarga com el diàmetre del cos, de color negre. És una espècie amb una distribució àmplia de les costes nordatlàntiques de Portugal al sud d'Àfrica tot i que exclusiu de litorals rocósos. El seu hàbitat és el



**Fig. 3.5** Organismes bioerosius de les costes rocoses de Mallorca. A la fotografia superior esquerra, un exemplar de *Chiton olivaceus* en el fons d'un cocó desventrat per la mar. La imatge superior central presenta, en primer pla, un exemplar de *Melaraphe punctata* i ocupant les petites cavitats de la roca, exemplars de *Melaraphe neritoides*. La fotografia superior dreta recull un grup d'exemplars de *Patella rustica* en el canvi de pendent entre la plataforma litoral i la paret vertical del notch. A la fotografia inferior esquerra hi ha una superfície completament entapissada per *Chthamallus depressus* entre els quals, i en alguns casos dins els *C. depressus* morts, trobam exemplars de *Melaraphe neritoides*. Les fotografies inferior central i dreta recullen diferents detalls de l'acció bioerosiva del bogamari *Paracentrotus lividus* sobre el rocam d'una plataforma litoral.

domini sublitoral, tot i que pot arribar als 50 m de profunditat.

***Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1822)**

Equinoderm de closca arrodonida i lleugerament aplanada al ventre o bé al dors. El seu diàmetre pot arribar als 70 mm. Les seves pues són llargues i d'un color verd fosc amb matisos porpra. És un organisme molt comú arreu, que apareix a tocar de contacte entre el domini interlitoral i el sublitoral fins a profunditats de 30 m. Habita tant substrats rocosos com arenosos.

**GASTROPODA**

***Melaraphe neritoides* (Linnaeus, 1758)**

Gastròpode amb una conquilla petita, de 3 a 9 mm d'alçària, de color gris-negrós i forma d'espiral bombada que habita des de les costes occidentals de Noruega fins al sud del Marroc, les Canàries i les Açores. És força comú a la Mediterrània i a la mar

Negra. El seu hàbitat són els dominis supralitorals de les costes rocoses, i coincideix amb l'abast espacial dels esquits i el ruixim de les onades. És un organisme brostejador molt abundant a les costes rocoses de Mallorca, en especial als cocons i esquerdes, amb densitats que arriben als 5.000 ind·m<sup>-2</sup> (Fig. 3.5).

***Melaraphe punctata* (Gmelin, 1791)**

Gastròpode semblant a *M. neritoides*, tot i que de dimensions majors, de 8 a 18 mm d'alçària, i amb un patró reticulat i una espiral ben marcada a la conquilla. Apareix regularment a les costes més càlides de la Mediterrània i a les illes Canàries. A Mallorca, la seva distribució es restringeix a la costa meridional. Probablement, es tracta d'una introducció recent (Barrados i Flexas, 1997).

***Monodonta articulata* (Lamarck, 1822)**

Gastròpode amb una conquilla en forma de baldufa de 15 a 28 mm de diàmetre i, com a màxim, 35 mm

d'alçària. El brodat de la seva conquilla defineix una espiral de color verd-grisós on destaca una línia en espiral que alterna segments vermells i blancs. És una espècie típica de la Mediterrània, tot i que també es pot trobar a les costes portugueses. És pròpia del domini interlitoral. També apareix en els sectors més propers al nivell mitjà de la mar o just per sota d'aquest. És un organisme abundant a les costes rocoses de Mallorca.

#### ***Monodonta turbinata*** (Born, 1870)

Gastròpode de 15 a 38 mm de diàmetre i com a màxim 43 mm d'alçària. La seva copinya defineix una espiral de color verd-grisós amb taques alternants de color crema, blanc i verd, i és més aplanada que *M. articulata*. És típica de la Mediterrània, tot i que també es pot trobar a les costes portugueses. És una espècie pròpia del domini interlitoral i apareix en els sectors més propers al nivell mitjà de la mar o just per sota d'aquest. És un organisme abundant a les costes rocoses de Mallorca.

#### ***Patella rustica*** (Linnaeus, 1758)

Mol·lusc d'entre 18 i 32 mm de longitud amb una copinya de color fosc i forma cònica amb límits basals irregulars. Es poden apreciar a l'interior de la copinya segments alternants de color fosc. El seu hàbitat és el domini interlitoral, i és molt comú de la mar Cantàbrica fins a Mauritània i a la Mediterrània. És molt abundant a les costes de Mallorca (Fig. 3.5).

#### ***Patella caerulea*** (Linnaeus, 1758)

Gastròpode de 20 a 66 mm de longitud amb una copinya aplanada, de límits arrodonits o pentagonals i amb una escultura suau de nerviacions radials. El color interior té matisos blaus, blancs i marrons. La seva distribució és mediterrània, tot i que és més habitual al sector occidental. Habita els sectors inferiors del domini interlitoral o ja al sublitoral de les costes rocoses, tot i que, en algunes ocasions també apareix a l'interior dels cocons més propers a la mar. Té nombrosos sinònims complementaris. Els més comuns són *P. scutellaris* (Blainville, 1825) o *P. subplana* (Potiez i Michaud, 1838).

#### ***Patella ullysiponensis*** (Gmelin, 1791)

Espècie semblant a l'anterior, tot i que es caracteritza per una copinya allongada, amb l'interior porcellanós, una base irregular amb nerviacions prominents i bandes de creixement concèntriques. Les seves dimensions oscil·len dels 20 als 50 mm de llargària.

La seva distribució s'escampa des de la mar Negra fins al nord de les Illes Britàniques, tot i que és absent al Canal de la Mànega. Els límits meridionals no es coneixen. Respecte de les altres *Patella* prefereix els límits inferiors del domini intermareal.

#### ***Vermetus triquetter*** (Bivona-Bernardi, 1832)

Gatròpode de conquilla tubular i superfície còncava formada per poques espirals i bandes robustes, de color blanc i gris. Pot arribar als 40 mm de llargària. La seva distribució abasta la Mediterrània i les Illes Canàries, típic del domini interlitoral. És relativament abundant a les costes rocoses de Mallorca.

### POLYPLACOPHORA

#### ***Chiton olivaceous*** (Linnaeus, 1758)

Poliplacòfor allongat de 15 a 30 mm de llargària, plaques espesses amb quilla i costelles marcades de color grisós. L'enrevolta un cinturó amb bandes clares i fosques. És un organisme comú i abundant arreu. Apareix al domini interlitoral a poca profunditat o dins cocons propers a la mar i habitualment plens d'aigua.

#### ***Lepidochitona corrugata*** (Reeve, 1848)

La copinya d'aquest polioplacòfor és ovalada, sense un patró clar de forma i té dos nervis a cada lateral. Apareix associat a substrats carbonatats i és típicament mediterrani. A l'Atlàntic, sols apareix a les costes de Cadis i al sud de Portugal. Es pot trobar al domini interlitoral i, en determinades ocasions, en zones emergides molt properes al nivell mitjà de la mar. És un organisme brostejador tot i que no es considera efectiu en l'erosió de la roca. Té molts sinònims, *Chiton cinereus* (Poli, 1791). *C. caprearum* (Scacchi, 1836) i, fins no fa gaire, s'assignava al gènere *Middendorffia*. Tot i que present, no és abundant a les costes rocoses de Mallorca. Apareix a petits cocons a la zona de ruixim i sobre les crostes biològiques de les plataformes litorals.

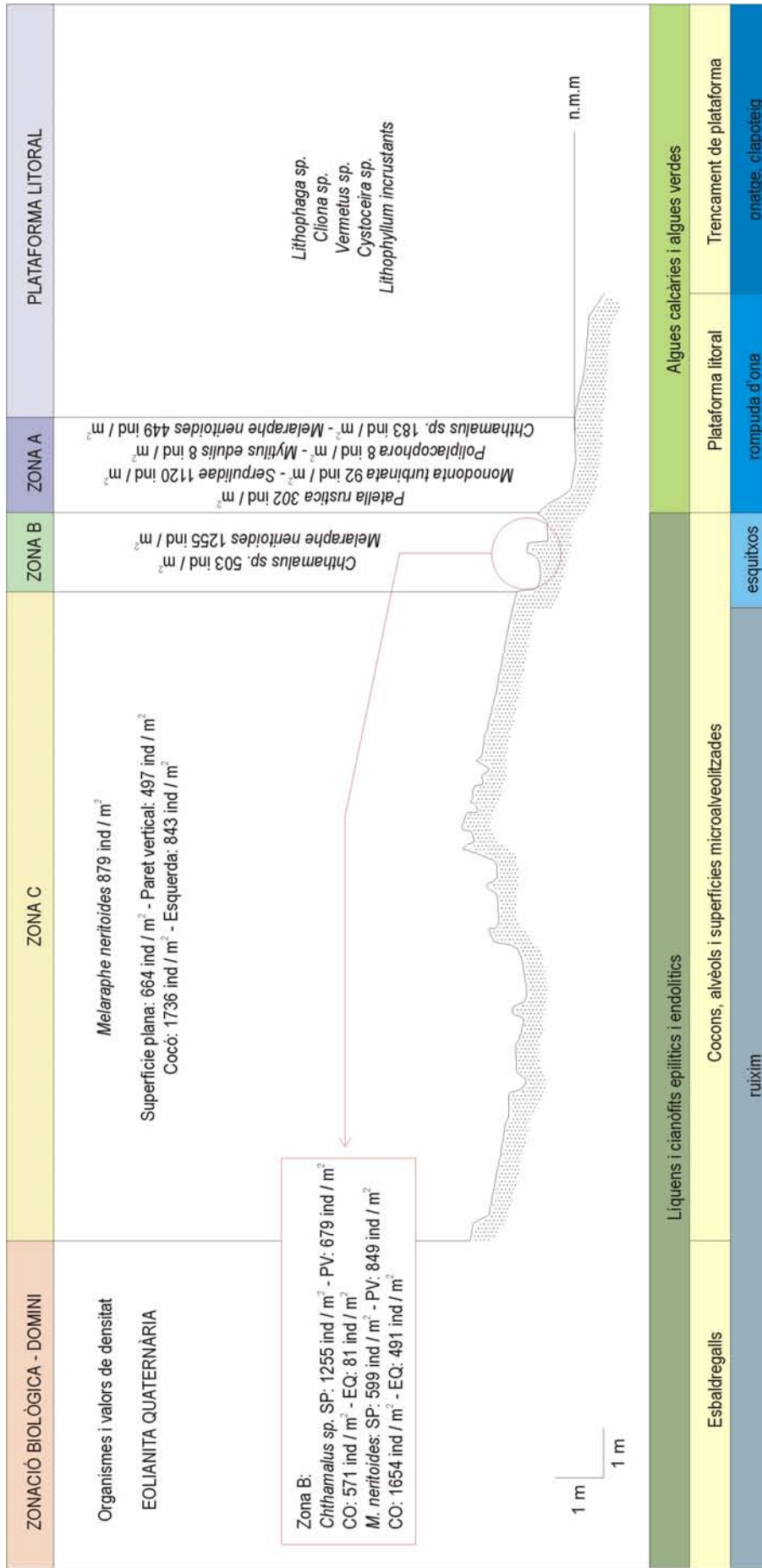
#### 3.4.3

##### *La zonació biològica de les costes rocoses de Mallorca*

L'observació de les comunitats biològiques de la costa de Mallorca revela un espectre uniforme d'espècies amb petites diferències entre les zones d'estudi.

La primera zona es correspon amb la plataforma litoral i abasta de 0 a 1 m per sota del nivell mitjà de

Fig. 3.6 Zonació biològica del perfil número 4 de la Cala d'en Guixar (pàgina següent) .





la mar. La comunitat que hi domina és *Cystoceirum mediterraneae* (Feldman, 1937). Els macròfits més comuns són els del grup de la *Cystoceira*, tot i que no és gens senzill distingir entre *C. mediterranea* i *C. stricta* que entapissen, quasi bé, el 100% de la superfície de la plataforma. A les costes de Mallorca, *Cystoceira* *sps.* du associades altres algues com *Ceranium rubrum*, *Corallina elongata* i *Corallina granifera* (Barceló *et al.*, 1999; Ballesteros *et al.*, 1993). Hi ha altres espècies com *Dictoyla dichotoma*, *Halopteris scoparia*, *Padina pavonica*, *Amphiroa rigida* i *Halimeda tuna*, tot i que la seva cobertura és força menor que la de les espècies dominants. La fauna la caracteritzen espècies com *Lithophaga aristata*, *Lithophaga lithophaga* (Bivalvia), *Emarginula octaviana*, *Fissurella nubecula*, *Acmaea virginea* i *Vermetus triqueter* (Gastropoda); i *Paracentrotus lividus* i *Arbacia lixula* (Echinoderma).

La segona de les zones la roca de la qual té un color blanquinós (Zona A) és difícil d'adscriure a una sola comunitat perquè suposa un gradient del domini dels macròfits a la zona supralitoral. Les crostes de l'alga calcària *Lithophyllum incrustans* i la colonització del cianòfit *Rivularia sp.* són els responsables de la coloració de la roca. S'han identificat altres algues en aquesta zona que són *Spongites notarisii*, *Chaetomorpha capillaris*, *Laurencia papillosa* i *Laurencia truncata* (Barceló *et al.*, 1999). Les pegellides són els organismes brostejadors més importants en la zona A. L'espècie més comuna i amb majors densitats és *Patella rustica*, seguida de *Patella caerulea* i *Patella ullysiponensis* (Bosch i Moreno, 1986). Estretament relacionat amb la localització de pegats de cianòfits, hi apareix *Lepodichiton corrugata* i *Chiton olivaceus* (Polyplacophora).

Altres organismes presents a la Zona A són gastròpodes com *Monodonta turbinata*, *Monodonta articulata* i *Vermetus triqueter*; bivalves com *Mytilus edulis*, *Mytilaster solidus* i *Musculus subpictus*; i, finalment, espècies del grup dels serpulíds. També són característics d'aquest domini biològic els crancs *Pachygrapsus marmoratus* o *Eriphia spiniformis*.

La tercera zona considerada (Zona B) és agranada per les ones només durant les fortes tempestes i coincideix amb l'àmbit on els esquits de les onades humitegen la roca. L'element més característic d'aquesta zona és l'alta densitat dels *Chthamulus sp* que poden arribar a cobrir completament la roca. El rocam presenta un color grisós arran de la colonització de cianòfits. *Chthamallus stellatus* i *Chthamallus depressus* entapissen la roca especialment als punts on es concentren els fluxos d'entrada i retorn d'aigua (esquerdes, sortints), ja que són organismes filtradors. La presència de *Melaraphe neritoides* també és destacada.

Finalment el quart domini, la zona C, es pot relacionar

amb l'associació *Verrucariuo-Melaraphetum neritoidis* (Augier, 1982). L'espècie dominant és *Melaraphe neritoides*, tot i que en determinades localitats *Melaraphe punctata* pot aparèixer si es donen les condicions d'hàbitat i distribució favorables (Barrado i Flexas, 1997). *M. Punctata* fou identificada per primer cop el 1983 en una sola localitat de Mallorca. Actualment es troba en expansió i ha colonitzat quasi bé tota la costa de Mallorca, excepció feta de la costa nord. Pel que fa a la flora, les espècies típiques d'aquesta zona són els líquens *Verrucaria amphibia*, *Arthopyrenia halodytes* i *Caloplaca maritima* i el cianòfit *Rivularia sp* (Llimona, 1991).

La Fig. 3.6 representa l'aplicació d'aquesta classificació en un dels perfils estudiats. La zonació biològica també integra els fenòmens hidrodinàmics i morfològics. Així doncs, la zona del perfil que sempre roman sota l'aigua coincideix amb la comunitat de la plataforma litoral. Quan aquesta talla la component horitzontal i comença a aixecar-se, just on trenquen habitualment les ones, comença la zona A. El domini hidrodinàmic dels esquits correspondria amb la colonització dels crustacis filtradors *Chthamallus stellatus*, que delimita l'extensió de la zona B. Aquí, hi són freqüents els pinacles i els cocons que comparteixen parets. Finalment, des d'on disminueixen els *Chthamallus* fins a on apareixen les primeres plantes superiors, *Limonium sp.*, queda definida la zona C, on són habituals cocons aïllats i superfícies subhoritzontals amb alvèols i microalvèols.

#### 3.4.4

##### *Densitats i biometries de les poblacions d'organismes bioerosius de les costes rocoses de Mallorca*

S'han mostrejat diferents perfils, repartits entre les cinc localitats descrites durant dos anys (Annex 2). Un dels principals problemes durant aquests períodes ha estat la dificultat de treballar i dur a terme inventaris als sectors més baixos del perfil, sobre la plataforma, arran de les condicions marítimes.

La **Cala d'en Guixar** (CG) es troba a l'oest de l'illa de Mallorca. És un sector de costa llavorat a les dolomies plegades del Retià sobre les quals es diposita un sistema de ventalls i dunes quaternàries. La localitat està exposada als vents del sudoest i la costa es caracteritza per un seguit de caps i badies que coincideixen, respectivament, amb perfils de penya-segats verticals i rampes de pendent suau. La plataforma litoral és estreta, tot i que hi ha sectors en què pot arribar als 6 m d'amplària. Als sectors més arrecerats, s'hi desenvolupen *trottoirs* de dimensions notables, així com també hi apareixen coves litorals.

A la zona A del sector de costa de Cala d'en Guixar, la densitat dels organismes varia en funció de la

	Primavera	Estiu	Tardor	Hivern
CGP1	208	100	157	161
CGP2	118	331	178	46
CGP3	175	160	148	115
CGP4	575	396	216	242
CGP5	679	141	93	87
CGP6	293	31	93	87
CMP1	160	190	154	117
CMP2	174	216	158	196
FFP1	293	157	109	189
FFP1	643	632	208	141
PSP1	1379	418	304	112
SAP1	183	151	126	150

**Taula 3.2** Densitats mitjanes (ind·m<sup>-2</sup>) de *Patella sp.* a les localitats estudiades. Vegeu els codis de la localitat al text.

microtopografia. De les pegellides, principalment *Patella rustica*, se'n registren densitats màximes de 741 ind·m<sup>-2</sup>, tot i que la mitjana entre estacions queda en un rang entre 100 i 269 ind·m<sup>-2</sup>. No obstant això, aquests valors duen associades desviacions típiques importants (Annex 2), de les quals es desprèn la important variabilitat espacial pel que fa a la colonització d'aquest organisme. Un dels altres organismes importants a la zona són els serpúlids, especialment allà on la pàtina de les algues rodofícies cobreix la roca. Valors màxims de 30.635 ind·m<sup>-2</sup> no són estranys en la sèrie temporal de mostratge. Tot i que amb una presència menys important, i així com augmenta la presència dels crustacis filtradors, hi apareixen *Monodonta turbinata* i *Lepidochitona corrugata*. *M. turbinata* arriba a registrar densitats de 300 ind·m<sup>-2</sup>, i és especialment freqüent a les basses bioconstruïdes per *Chthamalus*. Aquests arriben a assolir una presència important a les esquerdes, amb valors mínims de densitat entre 4.370 i 9.984 ind·m<sup>-2</sup>, i màxims de 54.400 ind·m<sup>-2</sup>.

No obstant això, a les superfícies subhorizontals on l'aigua no circula si no és en condicions de tempesta, les densitats de *Chthamalus depressus* són molt baixes, entre 124 i 185 ind·m<sup>-2</sup>. A la **zona B**, els *Chthamalus* són més abundants que no pas *Melaraphe neritoides*. Així, per als primers, les densitats màximes es registren a la tardor amb 975 ind·m<sup>-2</sup>, mentre que per a *Melaraphe* les densitats màximes, a la primavera i a l'estiu, són de 596 i 568 ind·m<sup>-2</sup> respectivament. La microtopografia juga un paper important en l'explicació de la diferència dels valors de densitat per a *Melaraphe neritoides* a la **zona C**. Així doncs, mentre a les superfícies subhorizontals només hi ha 31 ind·m<sup>-2</sup>, a les esquerdes, les densitats de *M. neritoides* arriben als 488 ind·m<sup>-2</sup> (Taula 3.3)

Pel que fa a les variables biomètriques, *Patella* té valors màxims de longitud a l'estiu (18,14 mm) i mínims a la tardor (16,74 mm). En el cas de *Melaraphe*, durant els mostratges d'estiu i tardor, s'hi registren els valors màxims d'alçària (5,91 mm a la

zona C), tot posant de manifest un increment de les dimensions dels individus terra endins a tots els perfils i a totes les estacions (Taula 3.4 i Fig. 3.7).

La localitat de **s'Alavern (SA)**, al sud de Mallorca, es caracteritza per una costa amb penya-segats verticals que descansen sobre una plataforma litoral. Aquest sector de costa està exposat als vents i als temporals de mar de SE.

La part batuda per l'onatge d'aquesta plataforma està entapissada per *Cystoceria sp.* A la **zona A**, hi abunden les pegellides amb densitats que oscil·len de 31 a 895 ind·m<sup>-2</sup>. Es reparteixen per igual entre *Patella rustica* i *P. ullysiponensis* (Taula 3.2). *Monodonta turbinata* també hi té una presència considerable, que arriba a valors de 130 ind·m<sup>-2</sup>. Mentre que el grup dels serpúlids s'ha identificat a cada estació, amb densitats al voltant de 300 ind·m<sup>-2</sup>, els poliaplacòfors han presentat patrons més irregulars i amb abundàncies menors. El mateix succeeix amb *Melaraphe neritoides* i *Chthamallus stellatus*.

A la **zona B**, després d'un petit relleix, el nombre d'individus de *Chthamallus stellatus* augmenta considerablement. Les densitats arriben a valors de 1.000 i 4.375 ind·m<sup>-2</sup>. *M. neritoides* no canvia substancialment la seva densitat durant cada una de les estacions de l'any. Els seus valors d'abundància

Perfil	Zona	Prim.	Estiu	Tardor	Hivern
1	A	895	340	873	617
	B	596	568	623	514
	C	213	225	172	528
2	A	575	357	509	471
	B	762	640	988	734
	C	354	383	403	263
3	A	185	494	519	502
	B	415	234	985	451
	C	196	109	239	133
4	A	247	595	646	448
	B	525	1895	1032	1463
	C	819	1593	615	814
5	A	821	1477	602	500
	B	1596	525	1295	436
	C	525	152	316	224
6	A	602	533	231	2230
	B	3097	1412	2250	944
	C	823	833	741	1216

**Taula 3.3** Densitats mitjanes (ind·m<sup>-2</sup>) de *Melaraphe neritoides* a Cala d'en Guixar.

	Estiu 99	Tardor 99	Hivern 00	Prim. 00
N	106	77	75	48
μ	18,14	16,73	18,84	17,74
σ	4,87	4,89	3,34	4,25
Mínim	1,89	8,90	10,74	9,34
Màxim	45,80	33,65	26,40	25,15

**Taula 3.4** Variació estacional de l'amplària de *Patella rustica* a la Cala d'en Guixar. Unitats en mm.

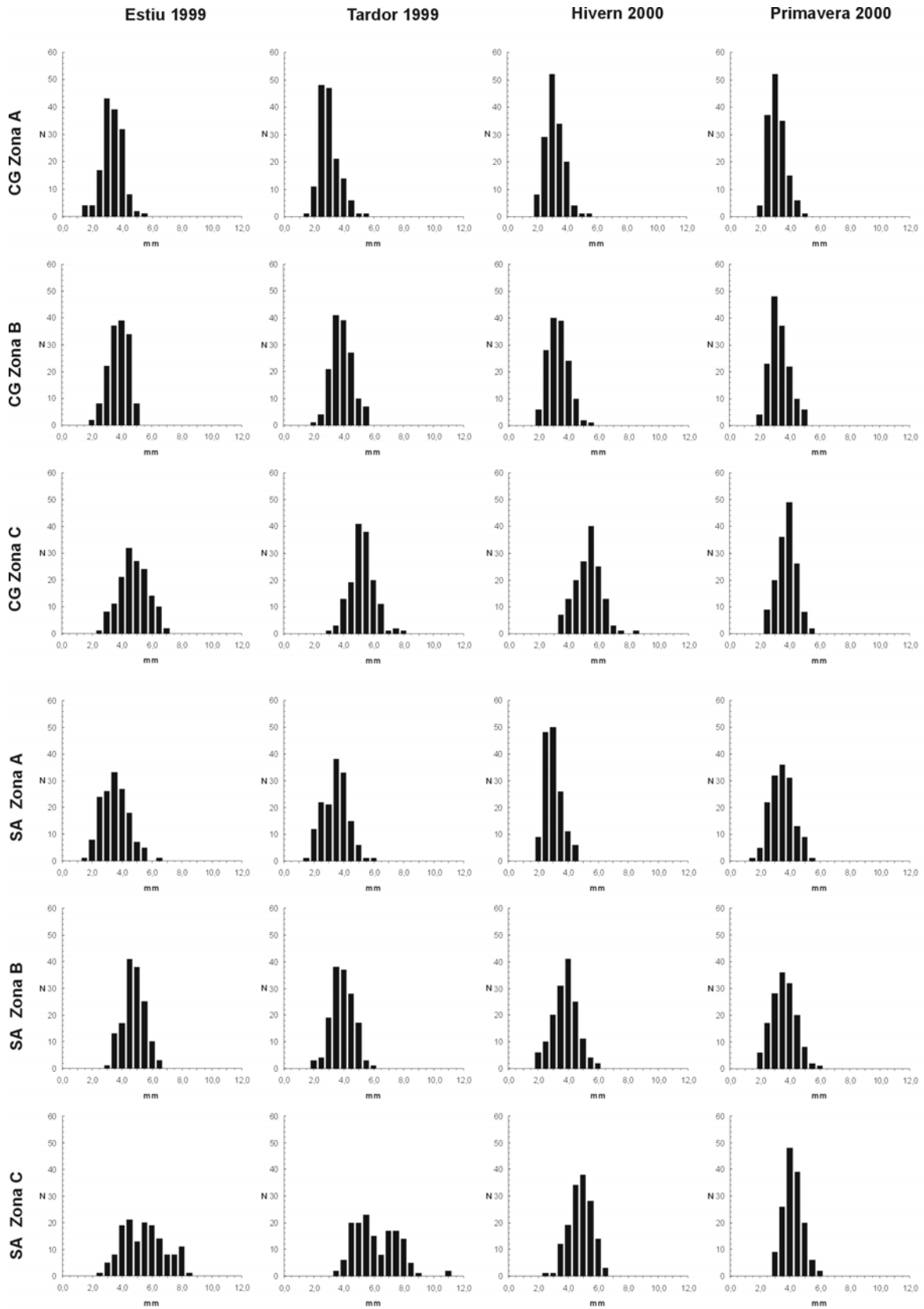


Fig. 3.7 Variació de l'alçària de *Melaraphe neritoides* a la Cala d'en Guixar (CG) i a s'Alavern (SA) d'acord amb l'estació i la zonació biològica. Observi's que hi ha un patró d'augment de les dimensions de *M. neritoides* amb la distància a la línia de costa, així com també lleugeres variacions de les dimensions d'eix major durant la primavera i l'estiu.

Perfil	Zona	Prim.	Estiu	Tardor	Hivern
1	A	195	183	113	192
	B	1903	1379	1522	1015
	C	345	293	335	348

**Taula 3.5** Densitats mitjanes (ind·m<sup>-2</sup>) de *Melaraphe neritoides* a s'Alavern.

abracen dels 700 als 1.500 ind·m<sup>-2</sup>.

A la zona C, que abraça un sector de blocs a peu de penya-segat i una antiga rasa de 3 a 4 m per sobre del nivell marí, les densitats de *Melaraphe neritoides* són menors amb valors mínims que arrenquen de 158 o 212 ind·m<sup>-2</sup> a màxims de 804 ind·m<sup>-2</sup> segons l'estació.

En el cas de *Patella*, només present a la zona A, la mitjana de longitud de la seva conquilla és de 18,3 mm a l'estiu i de 17,00 mm a l'hivern (Taula 3.6). Per a *Melaraphe neritoides*, no s'observen variacions estacionals dels paràmetres biomètrics, amb valors màxims de longitud de 6,8 mm. No obstant això, sí que es fa evident un augment de les dimensions dels organismes de mar cap a terra (Fig. 3.7).

A la **Punta des Sivinar** (PS), el perfil de costa el defineix una rasa sobre la qual hi descansa un penya-segat tallat a les calcàries del Miocè Superior i que, després d'una caiguda d'1 a 1,5 m, inicia el desenvolupament d'una plataforma sotaiguada.

Pel que fa a les poblacions d'organismes bioerosius a la zona A, les pegellides, principalment *Patella rustica*, presenten una distribució irregular, fet pel qual els valors de densitat marquen un interval de 418 a 3.837 ind·m<sup>-2</sup>. *Monodonta turbinata* i els crustacis filtradors hi tenen presències considerables, amb densitats de 864 ind·m<sup>-2</sup> i 4.753 ind·m<sup>-2</sup> respectivament. En aquesta zona, també s'hi constata la presència de *Melaraphe neritoides*, arran de la verticalitat i rugositat de la paret, amb mitjanes mínimes de 500 ind·m<sup>-2</sup> i màximes de 3.951 ind·m<sup>-2</sup> en funció de l'estació.

A la zona B *Chthamallus depressus* és l'organisme dominant amb densitats de 864 ind·m<sup>-2</sup> a 2.600 ind·m<sup>-2</sup>. La presència de *Melaraphe neritoides*, en aquest sector, és força menor, amb densitats de 371 a 549 ind·m<sup>-2</sup>, tot i que hi ha concentracions importants d'aquest individu a esquerdes o a les parets dels cocons amb valors de 3.249 ind·m<sup>-2</sup>.

	Estiu 99	Tardor 99	Hivern 00	Prim. 00
N	77	–	75	77
μ	18,3	–	17,08	17,03
σ	4,06	–	3,99	4,51
Mínim	8,83	–	7,89	8,04
Màxim	25,63	–	26,43	25,43

**Taula 3.6** Variació estacional de l'amplària mitjana de *Patella rustica* a s'Alavern. Unitats en mm.

Perfil	Zona	Prim.	Estiu	Tardor	Hivern
1	A	1319	479	363	220
	B	864	549	371	348
	C	374	264	226	143

**Taula 3.7** Densitats mitjanes (ind·m<sup>-2</sup>) de *Melaraphe neritoides* a la Punta des Sivinar.

A la zona C no hi ha variacions significatives d'abundància entre estacions, però sí que existeix una variabilitat considerable en relació a la microtopografia. Les densitats habituals per a *Melaraphe neritoides*, al segment més terrestre del perfil, són de 226 ind·m<sup>-2</sup> a 374 ind·m<sup>-2</sup> (Taula 3.7).

La caracterització biomètrica permet constatar com per a *Patella sp.* (Taula 3.8) hi ha un màxim en la longitud mitjana de l'eix major dels individus durant l'estiu (21,21 mm) i un mínim a l'hivern (18,42 mm). En el cas de *Melaraphe neritoides* es reconeix una tendència similar i s'aprecia, com passava a les anteriors localitats, un augment de les dimensions dels individus de mar cap a terra (Fig. 3.8).

En el cas de **Cala Murada** (CM), la costa, tallada en les calcàries del Miocè Superior, és més variable amb perfils que canvien de plataformes litorals a parets verticals amb *notchs* ben desenvolupats. Aquesta és una de les localitats sotmeses a un major nombre de tempestes i mar de fons.

De fet, la zona A només es pogué mostrejar durant la primavera. En comparació a d'altres localitats, la colonització és menys important. A la zona A, *Patella rustica* presenta densitats mitjanes de 160 a 174 ind·m<sup>-2</sup> segons l'estació (Taula 3.2). Els crustacis filtradors hi estan poc representats. A la zona C, *Melaraphe neritoides* arriba a densitats entre 347 i 547 ind·m<sup>-2</sup> (Taula 3.8)

Les dades biomètriques de *Patella rustica* (Taula 3.10) tornen a apuntar cap a un màxim estival, pel que fa a les seves dimensions de longitud (22,09 mm), i a un mínim hivernal (17,47 mm). Pel que toca a *Melaraphe neritoides*, s'hi constata una tendència similar, a la vegada que un augment de l'alçària de les conquilles de la zona A a la C, passant de 2,75 mm a 5,17 mm d'alçària respectivament.

La **Punta des Faralló** (PF) està formada per calcàries plegades del Mesozoic amb una estratificació i

	Estiu 99	Tardor 99	Hivern 00	Prim. 00
N	74	72	74	72
μ	19,50	15,09	18,38	20,15
σ	4,28	3,85	5,21	3,57
Mínim	10,64	6,98	7,62	12,28
Màxim	28,30	23,25	27,58	26,05

**Taula 3.8** Variació estacional de l'amplària mitjana de *Patella rustica* a la Punta des Sivinar. Unitats en mm.

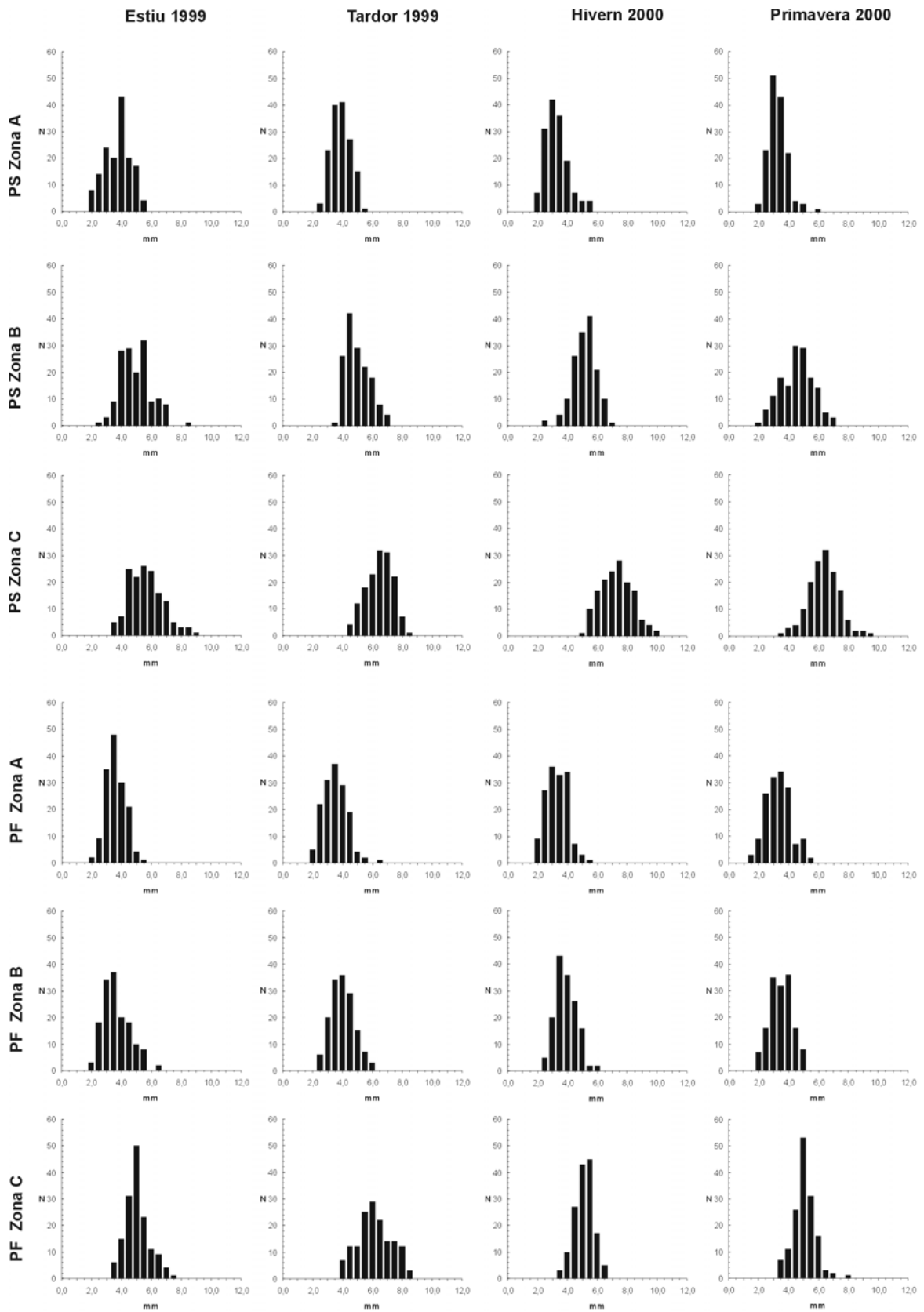


Fig. 3.8 Variació de l'alçària de *Melaraphe neritoides* a la Punta des Sivinar (PS) i a la Punta des Faralló (PF) d'acord amb l'estació i la zonació biològica. Observi's que hi ha un patró d'augment de les dimensions de *M. neritoides* amb la distància a la línia de costa, així com també lleugeres variacions de les dimensions d'eix major durant la primavera i l'estiu.

Perfil	Zona	Prim.	Estiu	Tardor	Hivern
1	A	593	995	795	552
	B	1867	1666	729	845
	C	540	783	734	489
2	A	485	289	154	108
	B	871	401	614	795
	C	205	313	635	446

**Taula 3.9** Densitats mitjanes (ind·m<sup>-2</sup>) de *Melaraphe neritoides* a Cala Murada.

	Estiu 99	Tardor 99	Hivern 00	Prim. 00
N	93	75	72	71
μ	20,09	19,23	19,50	20,41
σ	4,21	5,64	4,72	3,55
Mínim	8,88	8,30	8,77	13,12
Màxim	28,41	30,10	28,14	28,55

**Taula 3.10** Variació estacional de l'amplària mitjana de *Patella rustica* a Cala Murada. Unitats en mm.

esquistositat molt fina. Als sectors de la Punta des Faralló, exposats a l'onatge de nord, hi ha plataformes ben desenvolupades, mentre que a les exposicions arrecerades la façana del penya-segat cau dins la mar.

A la zona A, *Patella rustica* presenta densitats de 293 ind·m<sup>-2</sup>, ballant els valors mitjans de densitat de 62 a 833 ind·m<sup>-2</sup>. Els serpúlids són poc importants i *Monodonta turbinata* apareix puntualment i de forma dispersa. *Chthamallus stellatus* és molt abundant amb poc més de 3.000 ind·m<sup>-2</sup>. *Melaraphe neritoides* arriba als 1.000 ind·m<sup>-2</sup> i es concentra a esquerdes i cocons.

La zona B està entapissada gairebé en la seva totalitat per *Chthamallus*, amb densitats segons l'estació de 2.000 a 3.000 ind·m<sup>-2</sup>. *Melaraphe neritoides* apareix entre els esculls de crustacis, a esquerdes i alveolitzacions, tot sumant valors d'abundància mínims de 1.375 ind·m<sup>-2</sup> i màxims de 3.901 ind·m<sup>-2</sup>.

A la zona C, de marcada component vertical, les densitats de *Melaraphe neritoides* oscil·len de 294 a 652 ind·m<sup>-2</sup> (Taula 3.11).

En aquells perfils de la Punta des Faralló sense desenvolupament de la plataforma litoral, no hi ha una transició clara de la zona blanca (A) a la més terrestre (C) i la vegetació de màquia és molt propera a la línia

Perfil	Zona	Prim.	Estiu	Tardor	Hivern
1	A	386	853	1542	400
	B	2015	2422	2055	1943
	C	652	226	505	348
2	A	54	83	401	247
	B	195	213	100	432
	C	386	853	1542	400

**Taula 3.11** Densitats mitjanes (ind·m<sup>-2</sup>) de *Melaraphe neritoides* a la Punta des Faralló.

de costa. Les pegellides arriben als 640 ind·m<sup>-2</sup>, *Monodonta* als 731 ind·m<sup>-2</sup> i, mentre els polioplacòfors són relativament abundants, entre 440 ind·m<sup>-2</sup> i 570 ind·m<sup>-2</sup>, *Chthamallus* i *Melaraphe* són anecdòtics. Ja als sectors més terrestres, *Melaraphe neritoides* és l'únic macroorganisme que hi apareix, i ho fa de forma dispersa, perquè, tot i que la mitjana dels valors absoluts de densitat fluctuen entre 213 i 672 ind·m<sup>-2</sup>, són habituals registres de 31 ind·m<sup>-2</sup>.

La caracterització biomètrica dels organismes aboca diferències pel que fa a les dimensions mitjanes dels individus durant el mostratge. Així, per a *Patella rustica* els màxims es registren durant la primavera amb 18,53 mm (Taula 3.12), el mateix que passa amb *Melaraphe neritoides*. A més a més, s'hi registra un augment de dimensions de la zona A a la C. D'aquí que les dimensions mitjanes d'alçària dels gastròpodes sigui de 3,38 mm a la primera zona i de 5,25 mm a la segona (Fig. 3.8).

#### 3.4.5

*Factors que determinen la variabilitat de les densitats dels organismes en la zonació de la costa rocosa de Mallorca*

La Cala d'en Guixar, arran de la seva variabilitat geomòrfica i del nombre de perfils mostrejats (Fig. 3.9), permet avaluar quins són els controls sobre la distribució i densitat dels organismes.

Juntament amb els valors de densitat, descrits a l'apartat anterior, s'ha confeccionat una base de dades on s'integren les variables de distància i l'alçària respecte de la mar i la forma del perfil per a cada recompte d'individu (Taula 3.13). El nivell marí és un zero relatiu, a partir de la presència del límit superior de la praderia de *Cystoceira sp.* sobre la plataforma litoral. No existeix una variació mareal significativa, tot i les fluctuacions de 0,30 m de caràcter baromètric que, en ocasions, poden arribar a 1 m (Basterretxea *et al.*, 2004; Tintoré *et al.*, 1990). Per al càlcul del paràmetre de forma, una vegada definit el zero biològic, s'ha integrat l'àrea acumulada a tot el perfil per sota el punt de mostratge. (Fig. 3.10). De més a més, s'hi afegixen variables de microtopografia indicades prèviament en el registre: superfícies subhoritzontals (BS), recomptes a parets verticals (VF), recomptes dins dels cocons (BP) i recomptes a les esquerdes (CV). Atès que s'han

	Estiu 99	Tardor 99	Hivern 00	Prim. 00
N	105	–	78	76
μ	16,96	–	17,38	20,40
σ	6,17	–	4,86	6,43
Mínim	4,01	–	8,08	10,64
Màxim	30,11	–	24,76	15,68

**Taula 3.12** Variació estacional de l'amplària mitjana de *Patella rustica* a la Punta des Faralló. Unitats en mm.

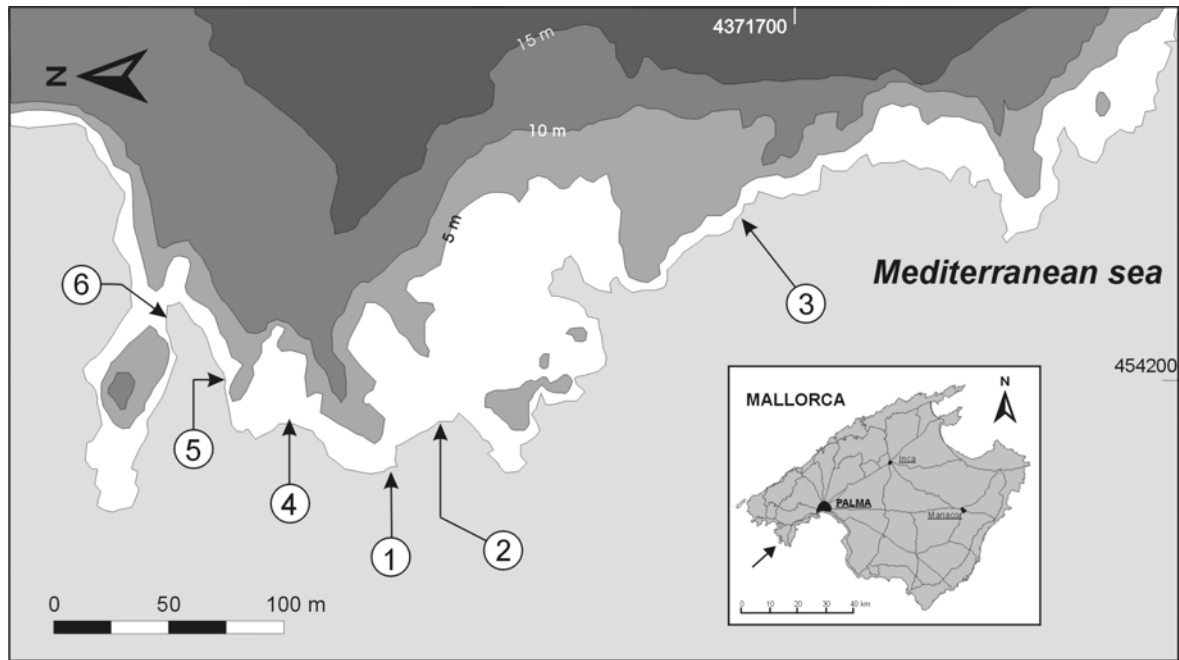


Fig. 3.9 Localització dels perfils on s'han dut a terme els recomptes biològics a la Cala d'en Guixar.

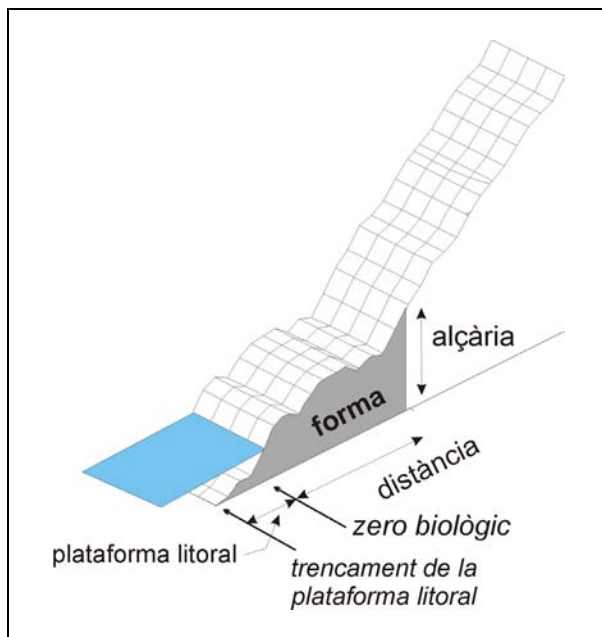


Fig. 3.10 Descripció de les variables espacials introduïdes a l'anàlisi. Alçària: alçària per sobre del zero biològic; Forma: àrea acumulada des del límit exterior de la plataforma litoral fins a la posició del recompte.

mostrejat els perfils durant 2 anys (de la primavera de 1999 a la tardor de 2000), també s'hi poden introduir les variables d'estació per tal d'avaluar el paper de les diferències en la distribució dels organismes. Els valors de densitat de cada organisme s'han transformat en valors de biomassa (pes sec en grams), a partir de les anàlisis biomètriques de les mostres recollides a cada una de les zones. El grau d'exposició

respecte de l'onatge no és senzill de definir ni de quantificar (Pannacciulli i Rellini, 2000). Tot i així, s'ha utilitzat una classificació categòrica per la qual els perfils 1, 2, 3 i 4 estan més exposats que no els perfils 5 i 6 (Fig. 3.9). Els primers perfils es localitzen a petites entrades, protegits de les direccions dominants d'onatge de SW, mentre que els segons estan localitzats a caps o a segments lineals del litoral encarats a la direcció dominant de l'onatge.

Una de les altres variables considerades és la litologia del substrat. Els perfils 4 i 6 es corresponen amb un rocam d'eolianites carbonatades poc cimentades, amb una porositat interpartícula elevada. La resta de transectes discorren sobre bretxes dolomítiques del Retià dures i ben cimentades.

Finalment, s'ha introduït una variable relacionada amb el grau d'humectació de la costa. Per aquest motiu, s'ha calculat la mitjana de l'altura d'ona dels quinze dies anteriors al mostratge biològic, a partir de les dades d'altura d'ona en mar profunda dels models WANA més propers a la zona d'estudi. Tot i que la correlació de l'onatge a mar oberta amb els valors predictius del model matemàtic és bona (Günther *et al.*, 1991), cal tenir en compte que el trencament a la costa pot abocar valors d'altura d'ona força diferents respecte a les previsions .

#### 3.4.5.1 Anàlisi estadística multivariant

A priori, l'abundància de les espècies sembla presentar una distribució unimodal al llarg del perfil. Així doncs, l'aproximació analítica pot desenvolupar-

Descriptor
<p>Matriu d'observacions:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Biomassa de cada organisme a cada recompte i per estació (g·m<sup>-2</sup>) (4 espècies, 4 estacions = 16 variables).</li> </ul> <p>Matriu de variables explicatives:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Distància al zero relatiu de cada recompte (m)</li> <li>- Alçària de cada recompte respecte el zero relatiu (m)</li> <li>- Àrea del perfil acumulat respecte el zero relatiu (m<sup>2</sup>)</li> <li>- Micromorfologia on s'ha dut a terme el recompte (categòrica, 4 variables)</li> <li>- Exposició (categòrica, 2 variables)</li> <li>- Litologia (categòrica, 2 variables)</li> <li>- Perfil (categòrica, 6 variables)</li> <li>- Alçària mitjana de les onades dels 15 dies anteriors al mostratge (m)</li> </ul>

**Taula 3.13** Descripció de les variables utilitzades per a l'anàlisi estadística dels factors que determinen la variabilitat de la distribució dels organismes en la zonació de la costa de Mallorca.

se des de l'anàlisi canònica de correspondències, CCA (Legendre i Legendre, 1998). La variació espacial de les espècies s'ha modelat a partir de la determinació, mitjançant la CCA, dels eixos resultants de la combinació significativa de les variables ambientals. La CCA avalua conjuntament el pes de cada variable ambiental i n'ordena les relacions amb les variables de cada espècie, la presència d'altres espècies i el perfil, així com també en redueix les dimensions espacials (ter Braak i Smilauer, 1998).

El resultat de l'ordenació de les variables pot representar-se mitjançant gràfics bidimensionals o tridimensionals, tot posant de manifest les relacions entre espècies, mostres i variables ambientals. S'han utilitzat els gràfics bidimensionals, de manera que les variables quantitatives es presenten en forma de fletxa, indicant la direcció i magnitud de la variació. El pes de cada una de les variables sobre el nou espai de coordenades explicatives, l'indica la posició de les variables respecte de les fletxes (ter Braak i Smilauer, 1998).

S'hi han desenvolupat tres tipus d'anàlisi estadística. Primer, s'ha avaluat la variabilitat *intraprofil* de les densitats dels organismes per a cada recompte i per a cada transecte. Dels trenta-sis transectes (6 perfils caracteritzats 6 cops), se n'han codificat els recomptes com a variables categòriques (1 quan el recompte quantifica la presència d'algun organisme i 0 quan no ho fa) i se n'ha avaluat la covariància a una CCA parcial. Les anàlisis de correspondència canònica parcials permeten organitzar la matriu de biomassa d'espècies, així com la combinació lineal d'un altre conjunt de variables explicatives de les quals també s'ha considerat l'autocorrelació. Dit d'una altra manera més planera, primer s'avaluen quines relacions existeixen entre la presència dels organismes o la seva absència al llarg del perfil, i només respecte d'aquests, i després s'avalua quina és l'autocorrelació

de les variables ambientals (p.e. humectació, forma, distància, micromorfologia) en el propi perfil. Finalment, es contraposen aquests dos conjunts de dades. Cal posar de manifest que no es dona una autocorrelació espacial en els valors de densitat de les espècies, tot i les distàncies relativament curtes entre els recomptes (el test I de Moran no és significatiu en cap dels intervals de distància considerats i els variogrames sols reflecteixen un efecte atzarós en la seva distribució).

La segona de les anàlisis estadístiques considera les variacions entre perfils, utilitzant el mateix model de l'anàlisi anterior, encara que canviant el paper de la covariància de les variables i les variables explicatives. Així doncs, s'han mesurat els paral·lelismes entre perfils a partir dels efectes de les variables espacials (p.e. distància, forma, etc.). Aquestes característiques s'han redefinit a partir de les puntuacions de cada transecte a l'espai canònic. Del conjunt de puntuacions, només 36 del primer eix canònic s'han utilitzat per avaluar el paper de la variació estacional, l'exposició, la litologia i la humectació, a partir d'anàlisis normalitzades de la variància, ANOVA (Grafen i Hails, 2002). La resta de puntuacions dels altres eixos canònics no han estat significatives.

Finalment, el tercer conjunt d'anàlisi s'ha dissenyat per tal d'avaluar el percentatge de variació de les espècies en funció de les variables ambientals. Una vegada més s'ha aplicat l'anàlisi de correspondències canòniques parcial. En els casos de colinealitat (p.e. més de dues variables significatives però amb una correlació elevada), se n'ha eliminat la de menor poder d'explicació. Cinc subconjunts de dades n'integren el model: (a) variables relacionades amb la distribució en alçada, (b) diferències entre transectes (aquestes inclouen els efectes de l'exposició i la litologia), (c) diferències entre estacions, (d) efecte de la microtopografia, i (e) efecte de l'onatge incident. Per a la descomposició de la variància s'han seguit els criteris de Legendre i Legendre (1998) i ter Braak i Smilauer (1998).

#### 3.4.5.2 Resultats

Del total de recomptes, se'n genera una base de dades de 34.859 individus repartits en 1.895 mostres. L'anàlisi estadística s'ha restringit a les espècies més abundants, que són *Melaraphe neritoides*, *Patella rustica*, *Monodonta turbinata* i *Lepidochitona corrugata*.

Pel que fa a la variabilitat dins del mateix perfil, l'anàlisi canònica de correspondències, com a covariables (considerant els 36 transectes, 6 transectes durant 6 estacions), aboca que dues de les variables relacionades amb les components verticals



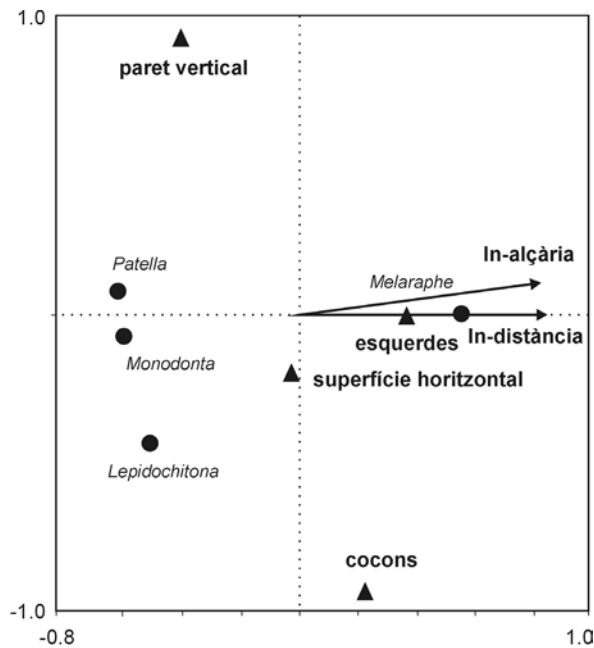


Fig. 3.11 Puntuacions de l'anàlisi de correspondències canòniques en funció del gradient vertical i la microtopografia (els transectes s'han tractat com a covariables). L'escala dels eixos fa referència als paràmetres de distància intraespècies.

del perfil (distància i alçària respecte del zero biològic) i la microtopografia dels perfils (superfícies planes i verticals, esquerdes i cocons) expliquen bona part de la variació de l'abundància dels organismes (42,7%,  $P < 0.001$ ). Tot i així, la importància relativa del gradient vertical, per ell mateix, és major que no pas la magnitud de la microtopografia. D'aquest 42,7%, un 83% ( $P < 0.001$ ) es correspon amb el gradient vertical i només un 3% ( $P > 0.001$ ) amb la

forma de la superfície. El gràfic resultant de la CCA (Fig. 3.11) posa en evidència el gradient vertical, perquè les posicions més properes a la mar exerceixen un control sobre *Patella*, *Monodonta* i *Lepidochitona* i les més allunyades sobre *Melaraphe*. Així mateix, també destaca el pes de *Patella* a les parets verticals, el de *Melaraphe* a les esquerdes i el de *Lepidochitona* als cocons, com a localitzacions més probables.

La variabilitat entre transectes s'ha avaluat a partir d'una matriu d'abundància de les espècies i d'una combinació lineal de 36 variables categòriques que representen els perfils, l'estació i d'altres variables ambientals. L'anàlisi canònica de correspondències ha permès determinar el pes de cada una de les variables categòriques a l'espai canònic (Fig. 3.12). Així doncs, per a les variables contrastades, el primer eix sembla que és significatiu (21,2% de tota la variabilitat, quan tots els eixos canònics n'expliquen el 76,5%). Les puntuacions de les 36 variables s'han utilitzat per assajar l'existència de diferències entre transectes (mitjançant una ANOVA de dues cues). Les variables ambientals considerades són les estacions (6 categories) i els transectes (altres 6 categories).

	SQ	gl	F-ratio
Transecte (1 – 6)	8,69	5	34,68
Estació	0,44	5	1,76 (N.S.)
Error	1,25	25	

Taula 3.14 Resultats de l'anàlisi de la variància (ANOVA) per a les 36 puntuacions (sis transectes respecte de sis estacions) sobre el primer eix de l'espai canònic. Aquestes puntuacions s'empren com a estimes de les característiques de cada transecte perquè la resta de variables presenten colinealitat. SQ: suma de quadrats, gl: graus de lliberats, F-ratio: estadístic de contrast..

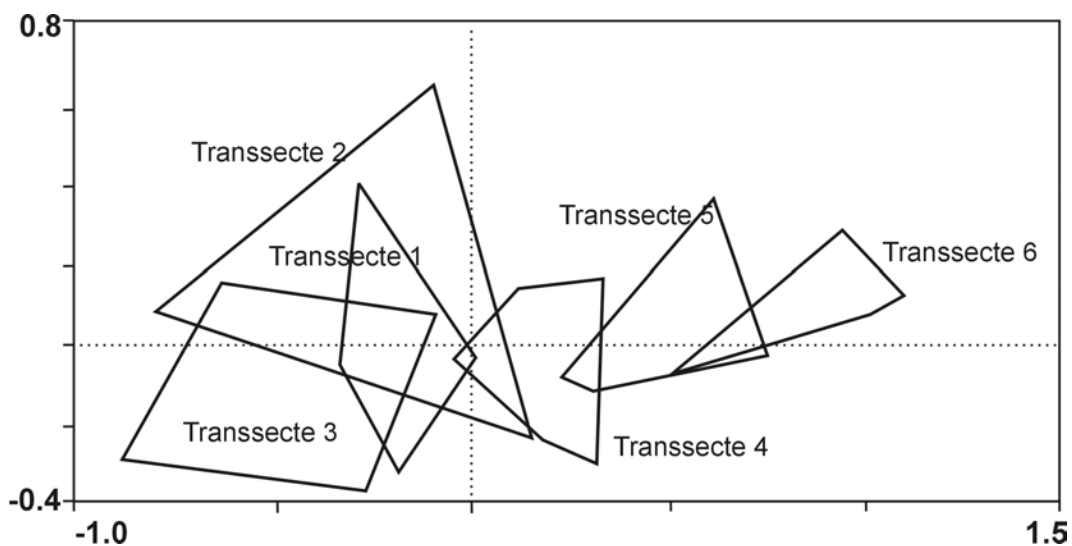


Fig. 3.12 Projecció de les 36 variables categòriques per a cada transecte i estació sobre els eixos canònics. La posició de les variables ve definida com el centroide de totes les puntuacions de les mostres per a un transecte en particular. El polígon delimita, per a cada perfil, les mostres de cada estació.

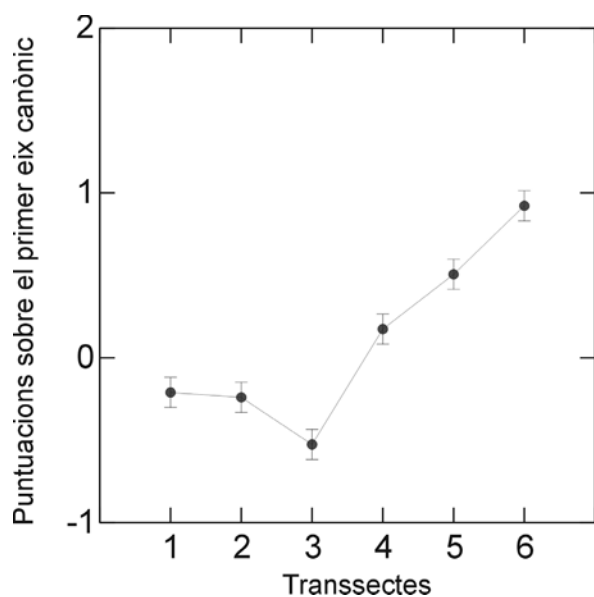


Fig. 3.13 Mitjanes de les puntuacions i intervals de confiança per a cada transecte. Les puntuacions de cada transecte i estació es corresponen als valors assignats per al primer eix de l'anàlisi canònica de correspondències parcial.

Tot i que la diferència entre transectes sembla important (Fig. 3.13), no hi ha una evidència significativa entre les variacions d'abundància i les estacions (Taula 3.14). A partir de les matrius de les sumes al quadrat de l'ANOVA, s'ha determinat l'efecte de l'exposició i de la litologia en la semblança entre perfils, pel que fa a la colonització biològica. La primera comparació (transecte 1 a 4 vs. 5 i 6) revela diferències significatives entre perfils exposats i perfils arcerats ( $F_{(1,25)} = 133,4; P < 0,001$ ). Els perfils exposats estan relacionats amb majors puntuacions al primer eix canònic (Fig. 3.13), a la vegada que també estan relacionats amb la major presència de *Patella*, *Monodonta* i *Lepidochytone*. La comparació relativa a la litologia (transectes 1, 2, 3, 4 i 5 respecte de 4 i 6) també constata diferències significatives ( $F_{(1,25)} = 70,6; P < 0,001$ ) associades al tipus de substrat (bretxes dolomítiques ben

	traça	% variància
Totes les variables	0.801	48.4
Gradient vertical	0.395	31.6
Intertransectes	0.284	24.9
Estacions	0.058	6.3
Microtopografia	0.040	4.5
Onatge	0.013	1.6
Total	1.656	

Taula 3.15 Explicació de la variància en la distribució de la biomassa al perfil per als cinc conjunts de variables ambientals. Les variables ambientals s'han seleccionat a partir dels resultats de l'anàlisi canònica de correspondències parcials. Observi's com la suma total de la variància de les variables explicatives supera el total de la variància explicada, ja que també incorpora la quantificació de la variància entre conjunts.

cimentades vs. eolianites carbonatades poc cimentades).

Pel que toca a la variabilitat en conjunt, integrant els factors considerats per avaluar les diferències als mateixos perfils i entre perfils, s'han seleccionat les següents variables: (a) la component vertical del perfil (ln de la distància i de la forma), (b) cada un dels sis transectes com a variable categòrica, (c) els mostresos o les estacions, també com a variable categòrica, (d) la tipologia de microtopografia associada als recomptes (quatre variables categòriques) i (e) l'alçària mitjana de l'onatge dels quinze dies anteriors al mostratge. Així doncs, el primer factor per a l'explicació de les diferències en el grau de colonització és el gradient vertical, la forma del perfil, amb un 31,6% de la variància (Taula 3.15). Les diferències entre perfils expliquen el 24,9%. Sota aquest epígraf, almenys, s'integren les diferències relatives a l'exposició i la litologia. La resta de variables només expliquen una petita part de la variància. L'estacionalitat pot justificar un 6,3% de la variància, la micromorfologia un 4,5% i l'onatge un 1,6%.

Si es cartografia la puntuació de la projecció dels 1.895 recomptes sobre el primer eix canònic a cada perfil (el que representa un 42,4% del total de la variabilitat i el 90% de la variabilitat explicada), podem comparar de forma gràfica els perfils (Fig. 3.14). D'una banda, es posa de manifest el gradient vertical de la distribució de la biomassa i, per una altra, les diferències entre perfils exposats i arcerats. Els perfils exposats (1 a 4) presenten una puntuació major a la base respecte dels arcerats, fet que coincideix amb una major presència i abundància de *Patella*, *Monodonta* i *Lepidochytone*, que és especialment significativa als perfils de pendent més suau.

#### 3.4.5.3 Discussió

De l'anàlisi estadística, se'n desprèn l'existència d'una variabilitat important en la distribució de les espècies en els perfils. Existeix un efecte significatiu del conjunt de variables ambientals sobre la distribució de les espècies, tot i que només pot justificar una part moderada de la variabilitat (48%). No obstant això, les explicacions amb nivells baixos o moderats de les distribucions dels organismes són freqüents arran dels molts factors que les determinen (ter Braak i Smilauer, 1998), tot i que això no implica que no hagin de ser considerades amb certa prudència i a títol informatiu.

Aparentment, punts de la superfície òptims per a la colonització biològica registren pocs individus, tot i que altres registres propers suposen la presència de centenars d'individus. Aquest fet és especialment

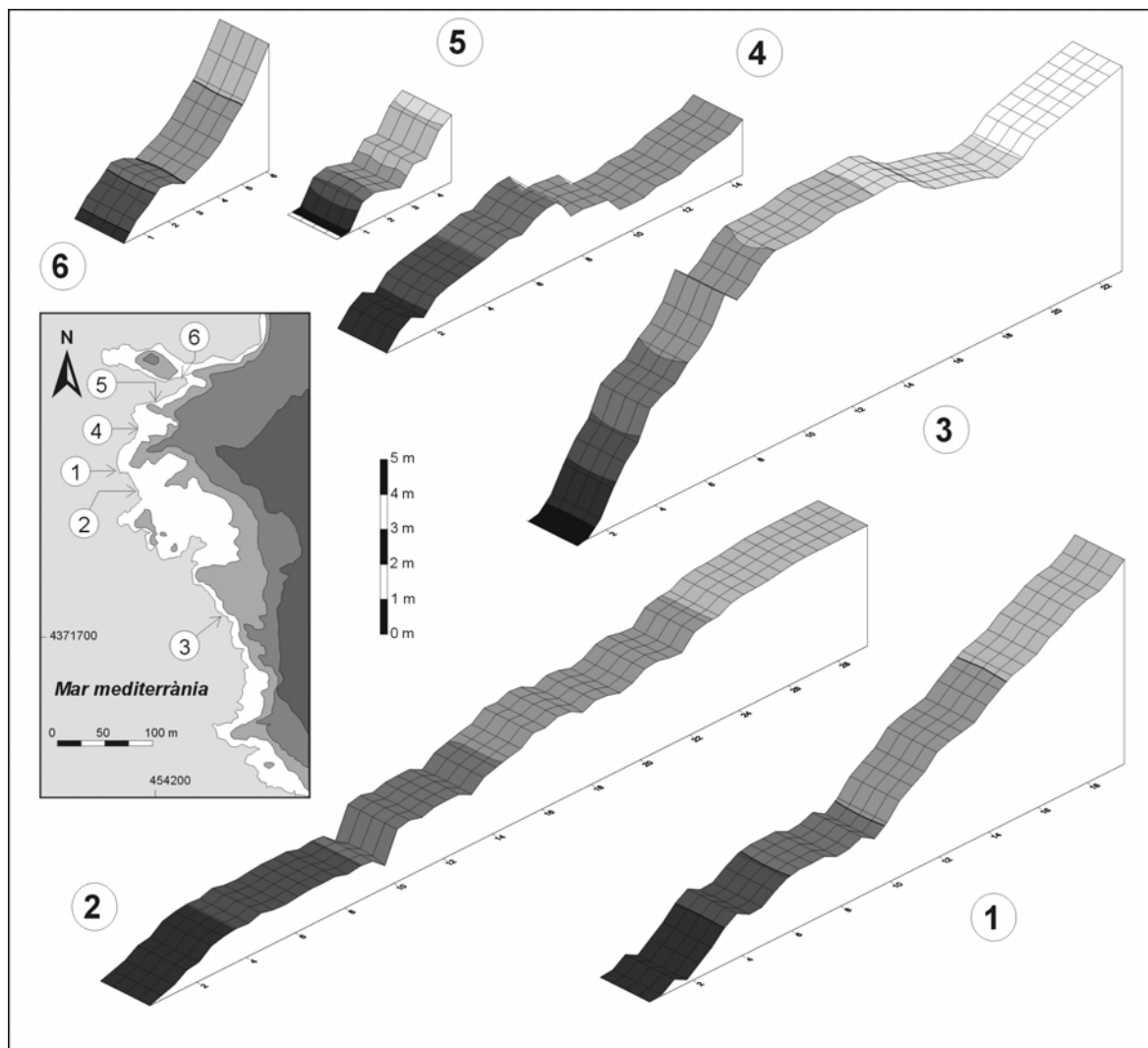


Fig. 3.14 Projectió sobre els perfils estudiats de les puntuacions de les variables sobre el primer eix canònic. El gràfic resultant és un mapa d'isolinies on la component biològica està normalitzada i permet la comparació de la colonització biològica entre perfils. De forma gràfica s'aprecia com la forma del perfil en condició l'abast de les zones. Així, la major biomassa, relacionada amb l'abundància d'organismes com *Patella* i *Monodonta*, és major als perfils de pendent suau que no als de pendent marcat.

notable quan s'hi introdueixen, a l'anàlisi, les categories de microtopografia. La distribució a mode de pegats dels organismes pot ser explicada per efecte de la depredació sobre els organismes (ocells marins, murícids i crancs), o en relació a la distribució de la seva font d'alimentació. En aquest sentit Vidal *et al.* (2001a) han estudiat la distribució de pigments dels cianòfits a diferents perfils de la costa i en constaten la distribució a mode de taques o pegats. Si s'assumeix que aquesta distribució, no contínua i dispersa, no està esbiaixada respecte de les variables estudiades, llavors la importància de les variables ambientals als perfils de Cala d'en Guixar és clara. El principal control sobre la distribució dels organismes és el gradient, la forma de la costa, fet que explica l'estructura de la comunitat amb un patró general de zonació on *Patella*, *Monodonta* i *Lepidochitona* són més abundants arran de mar i *Melaraphe* a les parts altes del perfil.

El gradient vertical està relacionat alhora amb el gradient d'humectació, que es posa de manifest pels patrons de diferència entre transectes. Els perfils exposats tendeixen a presentar un nombre major d'espècies i una colonització més important a les zones baixes de perfil. Als perfils més arrecerats, les densitats majors i el factor de biomassa s'accentuen en els segments més terrestres.

La litologia sembla jugar un paper secundari, però important, en la zonació del perfil de costa, tot i que les altes puntuacions del perfil 4 puguin estar associades a la combinació d'un transecte exposat i una roca porosa. Aquest fet facilitaria el desenvolupament d'un biofilm, la magnitud del qual explicaria la importància de la presència de *Patella* i *Melaraphe* respecte dels altres perfils.

Així doncs, *Patella sp.*, *Lepidochitona corrugata* i

*Monodonta turbinata* colonitzaran els hàbitats amb major grau d'humectació, mentre que *Melaraphe neritoides* serà més abundant als ambients més secs dels perfils. Per tant, els factors biòtics i abiòtics donaran força o actuaran sobre el mateix patró, maximitzant la presència dels agents erosius en perfils exposats de litologies poroses, en els sectors més propers al nivell mitjà de la mar. Dit d'una altra manera, existeix un control litològic, estructural i fins i tot evolutiu de la costa rocosa, sobre la distribució dels organismes, perquè és la forma del perfil la que determina quin és el gradient d'humectació i, a partir d'aquí, la concentració o la dispersió dels dominis biològics i la seva possible acció bioerosiva.

### 3.4.6

#### Taxes i capacitat bioerosiva: resultats i discussió

Atès que *Patella rustica* i *Melaraphe neritoides* són els organismes amb major presència a les costes rocoses de Mallorca, se n'ha avaluat la capacitat bioerosiva, entesa com la quantitat de roca que graten i s'engassen els organismes brostejadors a la recerca d'aliment ( $\text{g}\cdot\text{ind}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ ). Si aquest paràmetre es relaciona amb la densitat de la roca ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) i amb la població mitjana dels organismes a cada zona ( $\text{ind}\cdot\text{a}^{-1}$ ), d'acord amb l'equació 1 (pàg. 75), llavors es pot derivar una taxa de rebaixament ( $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ) de la superfície rocosa. De més a més, el contrast entre la capacitat erosiva i la taxa d'erosió permet avaluar quin control juguen en les taxes de bioerosió la litologia, les característiques biomètriques de les poblacions dels organismes i la quantitat d'organismes que hi ha a les zones en què s'ha dividit la costa.

Així doncs, per a *Patella rustica*, la capacitat erosiva fluctua entre els  $7,81 \text{ g}\cdot\text{ind}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$  de les mostres de la Punta des Faralló i els  $11,41 \text{ g}\cdot\text{ind}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$  de Cala Murada (Taula 3.16). La capacitat erosiva de les

pegellides procedents de les localitats amb substrats de calcarenites miocenes són majors que no pas les de les localitats amb dolomies i calcàries ben cimentades i plegades. En aquest sentit, els valors per a la Punta des Sivinar, s'Alavern i Cala Murada, queden dins la forquilla dels  $8,28$  i  $11,41 \text{ g}\cdot\text{ind}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ , mentre que la Punta des Faralló i la Cala d'en Guixar tenen com a valors respectius de capacitat erosiva dels organismes  $8,25 \text{ g}\cdot\text{ind}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$  i  $7,81 \text{ g}\cdot\text{ind}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ . L'aparent control litològic es difumina quan es consideren les taxes d'erosió a cada una de les zones (Taula 3.16). Així, perfils com els de la Cala d'en Guixar, tallats a les bretxes juràsiques, i els de s'Alavern, on afloren calcarenites esculloses poc cimentades, aboquen taxes d'erosió semblants al voltant de  $0,34$  o  $0,36 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ . També sobta constatar que no hi ha un patró clar entre els perfils arrecerats i els exposats. D'aquesta manera, no hi ha diferència entre les taxes d'erosió dels perfils de Cala d'en Guixar i sí que és ben marcada la diferència entre el perfil arrecerat i l'exposat de la Punta des Faralló, amb taxes  $0,482 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  i  $1,023 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , respectivament, per a *Patella rustica*.

Per tal d'avaluar si les diferències entre les capacitats erosives i les taxes d'erosió són significatives o no ho són, i per extensió el control de la població i/o el rocam sobre la taxa de bioerosió de *Patella*, s'han desenvolupat dos tests estadístics no paramètrics de contrast.

Primer, tant per a les taxes de capacitat erosiva, com per a les taxes d'erosió, s'ha desenvolupat el test de Kruskal-Wallis. Aquest és l'equivalent no-paramètric de l'anàlisi normalitzada de la variància d'una coa, tot i que opera per rangs. La seva finalitat és avaluar si un conjunt de mostres independents prové d'una mateixa població. Ho fa establint les probabilitats per les quals la distància de cada grup de dades, respecte la mitjana del conjunt de dades, sigui prou gran com per no haver més variació a la mostra que en el conjunt de les mostres.

Perfil	Zona	$\delta$ roca	Capacitat bioerosiva ( $\text{g}\cdot\text{ind}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ )					Taxa mitjana de bioerosió ( $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ )					
			Prim	Est	Tard	Hiv	Total	Prim	Est	Tard	Hiv	Total	
CG	1	A	2,60	1,558	1,291	1,200	1,604	8,253	0,500	0,200	0,288	0,396	0,346
	2	A	2,60	1,558	1,291	1,200	1,604	8,253	0,284	0,656	0,328	0,112	0,345
	3	A	2,60	1,558	1,291	1,200	1,604	8,253	0,420	0,316	0,272	0,284	0,324
	4	A	2,06	1,558	1,291	1,200	1,604	8,253	1,740	0,992	0,504	0,752	0,997
	5	A	2,60	1,558	1,291	1,200	1,604	8,253	1,628	0,280	0,172	0,216	0,730
	6	A	2,06	1,558	1,291	1,200	1,604	8,253	0,888	0,076	0,216	0,272	0,363
SA	1	A	2,40	1,398	1,170	1,905	1,414	8,287	0,428	0,296	0,400	0,352	0,369
PS	1	A	2,45	2,771	1,704	1,345	1,706	9,976	6,240	1,164	0,668	0,312	2,095
CM	1	A	2,12	2,169	1,753	2,200	3,171	11,413	0,656	0,628	0,640	0,700	0,656
	2	A	2,12	2,169	1,753	2,200	3,171	11,413	0,712	0,716	0,656	1,172	0,814
PF	1	A	2,35	1,509	1,785	–	2,166	7,810	0,752	0,476	–	0,696	0,482
	2	A	2,35	1,509	1,785	–	2,166	7,810	1,652	1,920	–	0,520	1,023

Taula 3.16 Capacitat bioerosiva i taxes d'erosió de *Patella rustica* a les costes rocoses carbonatades de Mallorca.

	Cala d'en Guixar	Cala Murada	Punta des Faralló	Punta des Sivinar
<b>Cala Murada</b>	U = 0; Z = -4,208 P < 0,000	–		
<b>Punta des Faralló</b>	U = 22; Z = -2,57 P < 0,009	U = 8; Z = -2,082 P < 0,043	–	
<b>Punta des Sivinar</b>	U = 11; Z = -2,436 P < 0,014	U = 6; Z = -1,710 P < 0,087	U = 10,5; Z = -0,430 P < 0,762	–
<b>s'Alavern</b>	U = 45; Z = -0,070 P < 0,974	U = 2; Z = -2,396 P < 0,016	U = 4; Z = -1,721 P < 0,114	U = 5; Z = -0,866 P < 0,486

Taula 3.17 Paràmetres del test de Mann-Whitney per a la capacitat bioerosiva de *Patella rustica*.

La segona aproximació consisteix a aplicar el test no paramètric de Mann-Whitney, la capacitat del qual és la mateixa que el de l'anterior, tot i que dissenyat per a dades aparellades. Per tal de treballar amb el mínim de dades necessàries per a l'execució dels tests, en lloc d'emprar les taxes anuals, s'han considerat les estacionals. Així, hi ha un mínim de quatre dades per a cada localitat.

La prova de Kruskal-Wallis, tant per a la capacitat erosiva ( $\chi^2 = 23,99$ ; gl = 4;  $P < 0,001$ ), com per a les taxes d'erosió ( $\chi^2 = 12,705$ ; gl = 4;  $P < 0,013$ ), permet rebutjar-ne la hipòtesi nul·la. Per tant, les mostres provenen de poblacions diferents o, dit d'una altra manera, les capacitats erosives i les taxes d'erosió són significativament diferents. Si s'avaluen les semblances estadístiques, parell a parell, de les localitats (Taula 3.17), pel que fa a la capacitat erosiva, hi ha zones d'estudi que no són significativament diferents.

És el cas de la Cala d'en Guixar i s'Alavern, ja que els rangs de les seves capacitats erosives estacionals se solapen. En menor mesura, existeix una semblança a considerar entre la Punta des Faralló i la Punta des Sivinar.

Pel que toca a les taxes d'erosió, una consideració prèvia és recordar que en el seu càlcul s'integren les densitats mitjanes dels individus a la zona biològica corresponent. En el cas de *Patella rustica*, a la zona A. Per tant, tot i que es constata que en el conjunt no hi ha semblances significatives, sí que podem considerar que se solapen els rangs de les taxes d'erosió de la Punta des Faralló i la Punta des Sivinar (Taula 3.18).

Dues litologies tan diferenciades com les calcàries

plegades mesozoiques de la Punta des Faralló i les calcarenites miocenes de la Punta des Sivinar, mostren, d'una banda, capacitats erosives i taxes d'erosió estadísticament semblants pel que fa a *Patella rustica*. El mateix es podria extrapolar per a la Cala d'en Guixar i s'Alavern. Aquest fet implica que, amb independència de les propietats de la roca pel que toca a la capacitat erosiva (Taula 3.18), els individus de *P. rustica* tenen la mateixa eficiència en el desmanegament de la roca.

Descartada una diferència pel que fa a l'edat i l'estructura de les poblacions, ja que ambdues localitats presenten mitjanes d'eix màxim de l'organisme al voltant de 19 mm i desviacions típiques semblants, una possible explicació a aquestes semblances seria la resposta dels individus a les facilitats o a l'abundància relativa del volum dels seus nutrients. Si la colonització de cianòfits o el biofilm és prou important, llavors l'esforç del brosteig es redueix amb independència del control que pugui exercir el rocam. Si, en canvi, el biofilm és menys abundant, llavors les pegellides han de dur a terme una acció més eficaç i més agressiva per alimentar-se.

Llavors sí, que quedaria reflectit el paper de la roca com a control de la capacitat de desmanegament de la superfície rocosa. La semblança de les taxes d'erosió entre localitats de substrat diferenciat, una vegada feta la consideració a l'entorn de la capacitat erosiva, és senzilla de justificar perquè depèn del factor poblacional que s'ha aplicat a l'equació per a convertir la capacitat erosiva en valors de denudació del rocam

Així doncs, sumàriament, per a *Patella*, es pot afirmar que, tot i que les característiques litològiques (duresa, porositat, alteració) són importants, les taxes de bioerosió depenen d'altres variables de caràcter més

	Cala d'en Guixar	Cala Murada	Punta des Faralló	Punta des Sivinar
<b>Cala Murada</b>	U = 39; Z = -2,39 P < 0,016	–		
<b>Punta des Faralló</b>	U = 28,5; Z = -2,18 P < 0,026	U = 19,5; Z = -0,646 P < 0,573	–	
<b>Punta des Sivinar</b>	U = 19; Z = -1,843 P < 0,069	U = 13; Z = -0,510 P < 0,683	U = 10,5; Z = -0,426 P < 0,762	–
<b>s'Alavern</b>	U = 37; Z = -0,614 P < 0,576	U = 10; Z = -2,72 P < 0,004	U = 10; Z = -2,558 P < 0,010	U = 3; Z = -1,443 P < 0,149

Taula 3.18 Paràmetres del test de Mann-Whitney per a les taxes d'erosió de *Patella rustica*.

Perfil	Zona	Densitat roca (g·cm <sup>-3</sup> )	RESIDU LÍTIC PÈL-LETS (g·ind <sup>-1</sup> ·estació <sup>-1</sup> )				Total (g·ind <sup>-1</sup> ·a <sup>-1</sup> )	TAXA MITJANA D'EROSIÓ (mm·a <sup>-1</sup> )				Taxa anual
			Primavera	Estiu	Tardor	Hivern		Primavera	Estiu	Tardor	Hivern	
<b>Cala d'En Guixar</b>												
1	A	2,60	0,005	0,004	0,015	0,004	0,028	0,0076	0,0020	0,0200	0,0036	0,0083
	B	2,60	0,007	0,016	0,008	0,003	0,034	0,0060	0,0144	0,0076	0,0028	0,0077
	C	2,60	0,022	0,004	0,005	0,003	0,034	0,0072	0,0012	0,0012	0,0024	0,0030
2	A	2,60	0,005	0,004	0,015	0,004	0,028	0,0048	0,0020	0,0116	0,0028	0,0053
	B	2,60	0,007	0,016	0,008	0,003	0,034	0,0080	0,0160	0,0124	0,0040	0,0100
	C	2,60	0,022	0,004	0,005	0,003	0,034	0,1200	0,0020	0,0032	0,0012	0,0047
3	A	2,60	0,005	0,004	0,015	0,004	0,028	0,0016	0,0032	0,0120	0,0028	0,0048
	B	2,60	0,007	0,016	0,008	0,003	0,034	0,0044	0,0060	0,0124	0,0024	0,0062
	C	2,60	0,022	0,004	0,005	0,003	0,034	0,0068	0,0004	0,0020	0,0004	0,0025
4	A	2,06	0,005	0,004	0,015	0,004	0,028	0,0024	0,0048	0,1880	0,0032	0,0073
	B	2,06	0,007	0,016	0,008	0,003	0,034	0,0068	0,0596	0,0164	0,0096	0,0231
	C	2,06	0,022	0,004	0,005	0,003	0,034	0,0356	0,0108	0,0064	0,0044	0,0143
5	A	2,60	0,005	0,004	0,015	0,004	0,028	0,0068	0,0092	0,0136	0,0028	0,0081
	B	2,60	0,070	0,016	0,008	0,003	0,097	0,0164	0,0132	0,0160	0,0024	0,0120
	C	2,60	0,022	0,004	0,005	0,003	0,034	0,0180	0,0008	0,0024	0,0008	0,0056
6	A	2,06	0,005	0,004	0,015	0,004	0,028	0,0064	0,0040	0,0068	0,0164	0,0083
	B	2,06	7,000	0,016	0,008	0,003	7,027	0,0404	0,0444	0,0356	0,0060	0,0317
	C	2,06	0,022	0,040	0,005	0,030	0,097	0,0356	0,0056	0,0076	0,0064	0,0139
<b>Cala Murada</b>												
1	A	2,12	0,006	0,000	0,003	0,004	0,013	0,0060	0,0000	0,0036	0,0040	0,0035
	B	2,12	0,003	0,003	0,004	0,004	0,014	0,0104	0,0080	0,0056	0,0064	0,0076
	C	2,12	0,050	0,002	0,005	0,004	0,061	0,0044	0,0024	0,0068	0,0040	0,0045
2	A	2,12	0,006	0,000	0,003	0,004	0,013	0,0052	0,0000	0,0008	0,0008	0,0016
	B	2,12	0,003	0,003	0,004	0,004	0,014	0,0048	0,0020	0,0048	0,0060	0,0044
	C	2,12	0,005	0,002	0,005	0,004	0,061	0,0016	0,0012	0,0060	0,0036	0,0031
<b>Punta des Sivinar</b>												
1	A	2,45	0,016	0,004	0,002	0,003	0,025	0,0348	0,0032	0,0012	0,0012	0,0101
	B	2,45	0,004	0,002	0,008	0,002	0,016	0,0048	0,0016	0,0048	0,0008	0,0030
	C	2,45	0,028	0,002	0,008	0,003	0,041	0,0160	0,0008	0,0028	0,0008	0,5100
<b>Punta des Faralló</b>												
1	A	2,35	0,004	0,005	0,003	0,004	0,016	0,0028	0,0072	0,0084	0,0240	0,0052
	B	2,35	0,006	0,019	0,004	0,070	0,099	0,0212	0,0792	0,0140	0,0224	0,0342
	C	2,35	0,003	0,008	0,008	0,006	0,025	0,0036	0,0032	0,0068	0,0036	0,0043
2	A	2,35	0,006	0,019	0,004	0,007	0,036	0,0004	0,0028	0,0028	0,0028	0,0022
	B	2,35	0,003	0,008	0,008	0,006	0,025	0,0012	0,0028	0,0012	0,0044	0,0024
<b>S'Alavern</b>												
1	A	2,40	0,003	0,030	0,002	0,003	0,038	0,0008	0,0008	0,0004	0,0008	0,0008
	B	2,40	0,004	0,003	0,003	0,004	0,014	0,0116	0,0076	0,0076	0,0076	0,0085
	C	2,40	0,003	0,001	0,003	0,067	0,074	0,0016	0,0004	0,0020	0,0388	0,0106

Taula 3.19 Capacitat bioerosiva i taxes d'erosió de *Melaraphe neritoides* a les costes rocoses de Mallorca.

biològic i ecològic.

Pel que fa a *Melaraphe neritoides*, la seva capacitat erosiva té valors mínims de 0,013 g·ind<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup> a màxims de 0,099 g·ind<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>. A grans trets, no hi ha excessives diferències entre la capacitat erosiva de *M. neritoides* a les zones A i B, però sí que canvia la magnitud de la capacitat a la zona C (Taula 3.19). Tampoc no s'aprecia una separació clara entre la capacitat erosiva en substrats més cimentats i els menys cimentats.

El major nombre de dades per a *Melaraphe* ens permet desenvolupar les anàlisis descrites per a *Patella*, tant per al contrast entre localitats, com per a la caracterització dels valors entre zones biològiques. En el cas de la comparació de la capacitat erosiva entre les localitats d'estudi ( $\chi^2 = 4,147$ ; gl = 4;  $P < 0,386$ ), es pot rebutjar la hipòtesi nul·la, per la qual cosa no hi hauria una diferència significativa de les capacitats bioerosives de *Melaraphe neritoides* en funció de les localitats, el que es podria interpretar com a diferències en funció del tipus de rocam.

Tampoc no es constata una similitud significativa entre la capacitat erosiva entre zones ( $\chi^2 = 7,52$ ; gl = 2;  $P < 0,023$ ), fet que ve a coincidir amb les diferències biomètriques entre zones. Els individus de majors dimensions de *Melaraphe neritoides* es localitzen terra endins, perquè arran de les seves

relacions entre la boca de la conquilla i les dimensions d'aquesta tenen menys capacitat de subjecció i resistència a l'envestida de l'onatge, que no pas els exemplars més petits (Bosch i Moreno, 1982). De més a més, també s'hi afegixen arguments de tipus biològic associats als patrons de reproducció de *Melaraphe*, per la qual cosa és més habitual trobar els exemplars més grossos i antics terra endins i els més petits i joves arran de mar. La capacitat erosiva augmenta amb l'edat i les dimensions dels individus.

Localitat a localitat i zona a zona (Taula 3.20) no es pot rebutjar la hipòtesi nul·la del test de Mann-Whitney per a les localitats de Cala Murada, la Punta des Sivinar i s'Alavern. Les seves capacitats bioerosives no són significativament diferents. Per a la resta, la variació a cada localitat és més gran que no pas les semblances entre localitats. Així doncs, per a *Melaraphe neritoides*, es pot plantejar el control litològic sobre la capacitat bioerosiva de forma clara, ja que a totes tres localitats hi afloren les calcarenites miocenes. No obstant això, també hi ha relacions significatives entre s'Alavern i la Cala d'en Guixar, fet pel qual tampoc no es pot descartar, com es justificava per a les pegellides, la influència biològica en la capacitat bioerosiva. De fet, quan es consideren, parell a parell, les diferències significatives entre les zones biològiques i la capacitat erosiva, es torna a plantejar un espectre de diferències significatives que,

	Cala d'en Guixar	Cala Murada	Punta des Faralló	Punta des Sivinar
<b>Cala Murada</b>	U = 28; Z = -1,671 <i>P</i> < 0,117	–		
<b>Punta des Faralló</b>	U = 14; Z = -1,287 <i>P</i> < 0,258	U = 19,5; Z = -0,646 <i>P</i> < 0,573	–	
<b>Punta des Sivinar</b>	U = 30; Z = -1,021 <i>P</i> < 0,359	U = 6,5; Z = -0,307 <i>P</i> < 0,786	U = 8; Z = -1,290 <i>P</i> < 0,247	–
<b>s'Alavern</b>	U = 23; Z = -0,280 <i>P</i> < 0,842	U = 4; Z = -0,218 <i>P</i> < 1,000	U = 5; Z = -1,060 <i>P</i> < 0,381	U = 7; Z = -0,150 <i>P</i> < 1,000

Taula 3.20 Paràmetres del test de Mann–Whitney per a la capacitat bioerosiva de *Melaraphe neritoides* en funció de la localitat.

	Cala d'en Guixar	Cala Murada	Punta des Faralló	Punta des Sivinar
<b>Cala Murada</b>	U = 16; Z = -2,450 <i>P</i> < 0,013	–		
<b>Punta des Faralló</b>	U = 20,5; Z = -0,529 <i>P</i> < 0,616	U = 5; Z = -1,033 <i>P</i> < 0,381	–	
<b>Punta des Sivinar</b>	U = 23; Z = -1,528 <i>P</i> < 0,140	U = 14; Z = -0,931 <i>P</i> < 0,931	U = 4; Z = -1,043 <i>P</i> < 0,393	–
<b>s'Alavern</b>	U = 23; Z = -0,265 <i>P</i> < 0,842	U = 3; Z = -0,655 <i>P</i> < 0,700	U = 6; Z = -0,775 <i>P</i> < 0,548	U = 7; Z = -0,149 <i>P</i> < 1,000

Taula 3.21 Paràmetres del test de Mann–Whitney per a les taxes d'erosió de *Melaraphe neritoides* en funció de la localitat.

amb tota probabilitat, està lligat a l'estructura de la població i a les dimensions dels individus de *Melaraphe neritoides*. De fet, els valors de capacitat erosiva de la zona C acostumen a ser lleugerament superiors als de les altres dues zones (Taula 3.19).

Per a *Melaraphe neritoides* varien de 0,008 a 0,510 mm·a<sup>-1</sup>, tot i que la variabilitat entre localitat i entre zones és considerable. Els valors de les taxes acostumen a ser majors a la zona B del perfil de costa. El mateix exercici estadístic que s'ha fet per a la capacitat bioerosiva, en el cas de les taxes d'erosió de *Melaraphe neritoides*, permet rebutjar la hipòtesi nul·la per al conjunt de localitats i per al conjunt de zones (Taula 3.21). Les taxes d'erosió són, doncs, significativament diferents entre les localitats ( $\chi^2 = 6,39$ ; gl = 4; *P* < 0,172) i entre les zones ( $\chi^2 = 3,247$ ; gl = 2; *P* < 0,197). Les diferències entre zones responen a les característiques biomètriques i als valors de densitat que ja s'han considerat per a la capacitat bioerosiva, perquè pel que fa a la capacitat bioerosiva només s'ha aplicat un producte que relaciona la densitat de la roca amb la població. De

	Zona A	Zona B	Zona C
<b>Zona B</b>	U = 51 Z = -0,630 <i>P</i> < 0,562	–	
<b>Zona C</b>	U = 17,5 Z = -2,895 <i>P</i> < 0,003	U = 7 Z = -1,670 <i>P</i> < 0,116	–

Taula 3.22 Paràmetres del test de Mann–Whitney per a la capacitat bioerosiva de *Melaraphe neritoides* en funció de la zonació biològica.

manera que el que magnificam són les diferències que ja s'havien constatat (Taula 3.21).

De les diferències de taxa bioerosiva localitat a localitat, tot i que es mantenen els patrons de la capacitat erosiva, canvia el poder de les relacions estadístiques entre localitats (Taula 3.20). Això vol dir que, de més a més del control litològic que s'insinuava, també té un paper relatiu l'estructura i el volum de la població de *Melaraphe neritoides*. Així doncs, per a les costes rocoses carbonatades de Mallorca, l'agent bioerosiu més important és *Patella rustica*, amb taxes de bioerosió que fluctuen entre 0,40 i 2,00 mm·a<sup>-1</sup> amb valors mitjans de 0,60 mm·a<sup>-1</sup>.

La capacitat bioerosiva de *Melaraphe neritoides* és deu cops menor, un ordre de magnitud, que les de *Patella*. Per a *Patella sp.*, tot i que les característiques de textura, duresa i porositat de la roca juguen un paper important, altres factors de caràcter biològic i ecològic ajuden a explicar les variacions en la capacitat bioerosiva i les taxes d'erosió. En canvi, per a *Melaraphe neritoides*, amb valors mitjans de taxa d'erosió de 0,010 mm·a<sup>-1</sup>, també es pot apreciar el control biològic i ecològic, tot i que es fa més palesa la incidència del rocam en els patrons i les taxes d'erosió d'aquests organismes.

Tot plegat, i de cara a futurs estudis, es recomana plantejar la quantificació de la bioerosió a les costes carbonatades des d'una perspectiva ecològica, a la vegada que es fa necessari tenir un coneixement sòlid del paper i distribució dels cianòfits i altres microorganismes epilítics i endolítics, per tal de poder justificar les taxes d'erosió dels macroorganismes brostejadors.

## 4 Freqüència, magnitud i escala en la morfodinàmica de les costes rocoses: s'Alavern com a excusa

### 4.1

#### Introducció

L'estudi dinàmic de l'erosió de les costes rocoses, ara per ara i d'acord amb el coneixement empíric que se'n té, presenta nombrosos problemes pel que fa a la seva sistematització (Spencer i Viles, 2004; Woodroffe, 2003). Aquest fet respon a l'elevat nombre de mecanismes, agents i factors de control, sovint interrelacionats i poc compresos que contribueixen a l'alteració i desmanegament de la roca. Així mateix, també juguen un paper important, en aquesta distorsió, les velocitats i la recurrència a les quals els mecanismes i els agents actuen (Goudie i Viles, 1999). D'una banda, hi ha mecanismes l'efectivitat dels quals, en termes de disgregació del rocam, destaca a escales temporals curtes, mentre que d'altres tenen transcendència en escales temporals i espacials llargues (de Boer, 1992). També és obligada la referència a l'efectivitat o la magnitud de l'esdeveniment, en el sentit de com són d'efectius aquests mecanismes en temps: breus o puntuals i mobilitzant grans volums de rocam, o bé continus i afectant un petit volum de material. Finalment, i per si no n'hi havia prou, s'hi afegeix la complexitat de lligar els processos i agents que operen en diferents escales i la relació entre la seva escala d'acció i la formació o destrucció del relleu a escales espacials majors (Viles, 2001).

El seguiment i la instrumentalització dels agents i taxes d'erosió i meteorització a les costes rocoses carbonatades de Mallorca permet plantejar la jerarquia dels processos i els factors que els controlen en termes de freqüència, eficiència en el reculament de la costa i escala espacial.

A la localitat d'estudi de s'Alavern (Fig. 4.1), s'hi han desenvolupat totes les tècniques instrumentals

descrites en aquesta memòria (capítol 2), així com també el seguiment de la component biològica (capítol 3). De més a més, Balaguer i Fornós (2003) també han fet el seguiment de les taxes de disintegració granular de la façana del penya-segat. Per al càlcul de la disgregació granular contínua, aquests autors han utilitzat trampes de sediment per gravetat. Es tracta de recipients col·locats al peu dels penya-segats als quals s'associa una superfície del penya-segat, a partir de la qual es relaciona el pes del sediment acumulat al recipient per tal d'obtenir-ne taxes de retrocés. La funció utilitzada, així com la justificació de la seva expressió matemàtica, es troben descrites a Balaguer (2006).

Els moviments de masses o despreniment de fragments de roca s'han calculat a partir dels eixos màxims dels blocs caiguts dels penya-segats o de les cicatrius que han deixat, tant a la façana del penya-segat, com al límit exterior de la plataforma. Es prenen en consideració criteris com la densitat de la roca, o el volum de porositat del con d'enderroc, per tal d'establir-ne les taxes d'erosió que ens permetin comparar-ho amb els altres processos (Balaguer *et al.*, 2002; Lahousse i Pierre, 2003a i b).

### 4.2

#### Taxes de denudació

Les taxes d'erosió relatives a la denudació general de la plataforma litoral calculades per Swantesson *et al.*, (en premsa) són poc significatives, en el sentit que els ordres de magnitud resultants són propers a la pròpia font d'error del MEM (Stephenson i Kirk, 1996). A més a més, s'hi observa com la desviació estàndard entre les tres lectures del MEM augmenta així com és més rugosa la superfície de la roca. De mar cap a terra, les taxes de denudació no canvien gaire (Taula

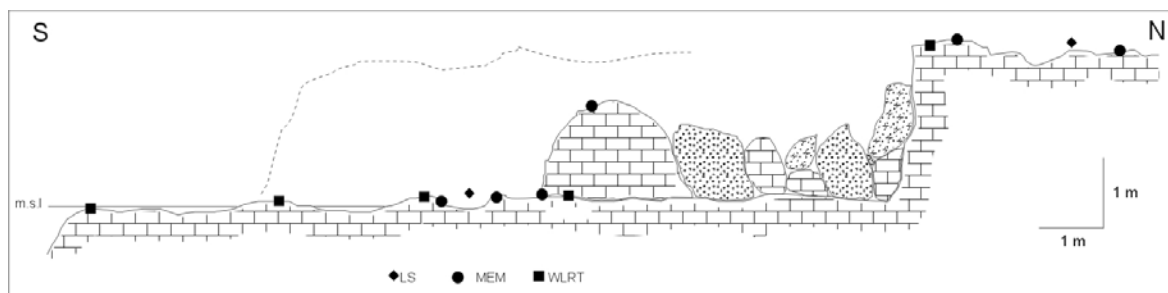


Fig. 4.1 Dispositiu de mostratge a s'Alavern. LS: escàner làser, MEM: micròmetres de dial fix i de dial mòbil; WLRT: tests d'exposició de peces de roca.



	Distància al mar (m)	Taxa erosió (mm·a <sup>-1</sup> )	Zonació biològica	Zonació hidrodinàmica	Observacions
MEM 1	1,50	n.a.	A	batuda	
MEM 2	3,07	- 0,036	A	batuda	
MEM 3	4,01	+ 0,002	B	esquitxos	Swantesson <i>et al.</i> <i>en premsa</i>
MEM 4	4,92	- 0,035	C	ruixim	
MEM 5	8,76	- 0,008	C	ruixim	
MEM 6	11,84	+ 0,032	C	ruixim	
TMEM 1	9,25	- 0,787 a + 1,006	C	ruixim	<i>biofilm</i>
TMEM 2	9,25	-1,613 a + 1,183	C	ruixim	<i>biofilm</i>
TMEM 3	11,97	-0,487 a + 0,782	C	ruixim	<i>biofilm</i>
TMEM 4	11,97	-1,810 a + 1,195	C	ruixim	<i>biofilm</i>
LS 1	4,00	- 0,310	B	esquitxos	gastròpodes
LS 2	10,50	-0,250	C	ruixim	

**Taula 4.1** Taxes d'erosió calculades mitjançant micròmetre de dial fix (MEM), micròmetre de dial mòbil (TMEM) i escàner làser (LS) a s'Alavern.

4.1) i s'han d'interpretar amb precaució. L'erosió, tant al domini de batuda com al d'esquitxos, és de l'ordre de 0,035 mm·a<sup>-1</sup>, mentre que a la zona d'abast del ruixim, hi tenim des de taxes d'erosió quasi bé nul·les (0,008 mm·a<sup>-1</sup>) i/o per sota de l'interval de confiança instrumental, fins a increments –moviment en positiu– de la superfície equivalents a les taxes de denudació (Swantesson *et al.*, en premsa).

Patrons semblants, tot i que amb una major resolució i cura instrumental, s'han obtingut mitjançant el micròmetre de dial mòbil només a la zona de ruixim. Les taxes mitjanes oscil·len de -0,206 a 0,058 mm·a<sup>-1</sup>, amb taxes mínimes d'erosió de -1,810 mm·a<sup>-1</sup> i màximes de 1,195 mm·a<sup>-1</sup>.

Les taxes de denudació calculades mitjançant l'escàner làser ofereixen uns valors força més grans; així, per a la superfície escanejada localitzada a la zona d'esquitxos, la taxa és de 0,310 mm·a<sup>-1</sup>, mentre que la superfície de la zona afectada sols pel ruixim és de 0,250 mm·a<sup>-1</sup>. La representació gràfica de les diferències entre les successives microtopografies posa de manifest la dispersió dels punts on s'ha produït l'erosió arran de la superfície. Aquest patró sembla estar relacionat amb la naturalesa eogenètica de les roques carbonatades, principalment miocenes i

quaternàries. Les estructures i fàcies sedimentàries, així com el grau de porositat, faciliten aquest tipus de patró erosiu poc definit (Taboroši *et al.*, 2004).

#### 4.3 Taxes de bioerosió

A la zona d'estudi només s'ha calculat la taxa d'erosió relativa als dos gastròpodes més abundants, *Melaraphe neritoides* i *Patella sp.*, principalment *P. rustica*, encara que també hi són presents exemplars de *P. ullysiponensis*. Aquests organismes es distribueixen de manera desigual al llarg del perfil d'estudi. Així, a la zona més terrestre del perfil, aquella afectada pel ruixim, hi trobam entre 290 i 350 individus de *Melaraphe neritoides* per m<sup>2</sup>, amb una densitat més elevada durant la primavera i l'hivern (Taula 4.2).

Ben important és la presència d'aquest petit gastròpode a la zona afectada pels esquitxos de l'onatge, on s'arriben a comptar densitats mitjanes de 1000 a 2000 exemplars per m<sup>2</sup>. A la zona de batuda, els exemplars de *M. neritoides* disminueixen la seva presència dramàticament fins al centenar d'individus, mentre que el grup de les *Patella sp* hi apareix amb

Zonació biològica	Densitat <i>Melaraphe neritoides</i> (ind· m <sup>-2</sup> )				Taxes d'erosió (mm·a <sup>-1</sup> )				Mitjana anual (mm·a <sup>-1</sup> )
	Primavera	Estiu	Tardor	Hivern	Primavera	Estiu	Tardor	Hivern	
A	195	183	113	192	0,0002	0,0002	0,0001	0,0002	0,0008
B	1903	1379	1522	1015	0,0029	0,0019	0,0019	0,0019	0,0085
C	345	293	335	348	0,0004	0,0001	0,0005	0,0006	0,0004
Zonació biològica	Densitat <i>Patella rustica</i> (ind· m <sup>-2</sup> )				Taxes d'erosió (mm·a <sup>-1</sup> )				Mitjana anual (mm·a <sup>-1</sup> )
	Primavera	Estiu	Tardor	Hivern	Primavera	Estiu	Tardor	Hivern	
A	183	151	126	150	0,107	0,074	0,100	0,088	0,369

**Taula 4.2** Densitats de població i taxes d'erosió de *Melaraphe neritoides* i *Patella rustica* a s'Alavern.

Distància al mar	0 a 2 m	2 a 4 m	4 a 6 m	6 a 8 m	8 a 10 m
Taxa d'erosió mitjana (mm·a <sup>-1</sup> )	0,4957	0,1753	0,2470	0,2143	0,1808
Taxa d'erosió mínima (mm·a <sup>-1</sup> )	0,2892	0,0380	0,0188	0,0731	0,0827
Taxa d'erosió màxima (mm·a <sup>-1</sup> )	0,7658	0,7156	0,3813	0,4796	0,2482

Taula 4.3 Taxes d'erosió calculades mitjançant test d'exposició de peces de roca a s'Alavern.

nivells de 125 a 200 individus per m<sup>2</sup>. Aquesta distribució, que respon a la forma del perfil de costa i a la humectació per l'onatge que la forma de la costa implica (Palmer *et al.* 2003), té una important transcendència pel que toca a les taxes d'erosió de la plataforma litoral. Així, a la zona de batuda, les taxes de bioerosió de *Patella sp* són de l'ordre de 0,369 mm a<sup>-1</sup> i les de *M. neritoides* de 0,001 mm a<sup>-1</sup>. Ja a la zona d'esquitxos les taxes mitjanes d'erosió de *M. neritoides* són de 0,008 mm a<sup>-1</sup> i a la zona de ruixim de 0,005 mm a<sup>-1</sup> (Taula 4.2).

#### 4.4

##### Tests d'exposició de peces de roca

A s'Alavern, les taxes d'erosió de les pastilles exposades durant un any tenen valors mitjans de 0,25 mm·a<sup>-1</sup>, tot i que el rang fluctua de 0,004 mm·a<sup>-1</sup> a 0,765 mm any<sup>-1</sup>. Des del contacte mar-terra, s'hi observa una disminució de les taxes d'erosió. Així, les taxes registrades a la zona més propera a la mar donen valors de 0,450 mm·a<sup>-1</sup>, mentre que aquelles que es

troben quasi bé al peu del penya-segat són de l'ordre d'una tercera o quarta part menors, amb valors mitjans de 0,180 mm·a<sup>-1</sup> (Taula 4.3).

#### 4.5

##### Taxes de desintegració granular de la façana dels penya-segats

Les taxes mitjanes d'erosió de la façana dels penya-segats, expressades com el retrocés lineal homogeni de la façana del penya-segat a partir de la distribució del sediment capturat a cada trampa, en funció de la seva àrea de captura, aboquen valors que oscil·len de 0,009 a 0,248 mm·a<sup>-1</sup>. Les taxes d'erosió mitjanes se situen en 0,080 mm·a<sup>-1</sup> (Balaguer i Fornós, 2003). Les taxes màximes de retrocés es registren durant els intervals temporals on augmenta la mitjana, o bé la intensitat de les precipitacions (Fig. 4.2). El material recollit a les trampes de sediment de s'Alavern és de textura grollera, grànuls i palets de forma laminar i aparença angular, tot i que també hi ha una component

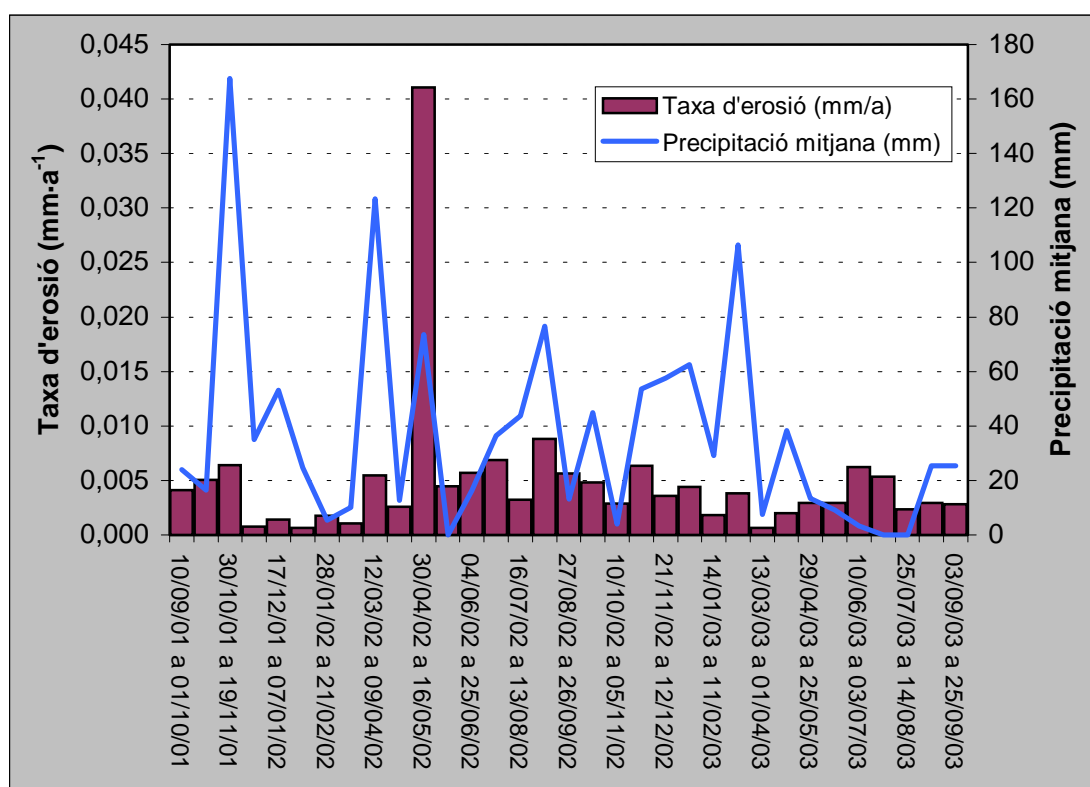


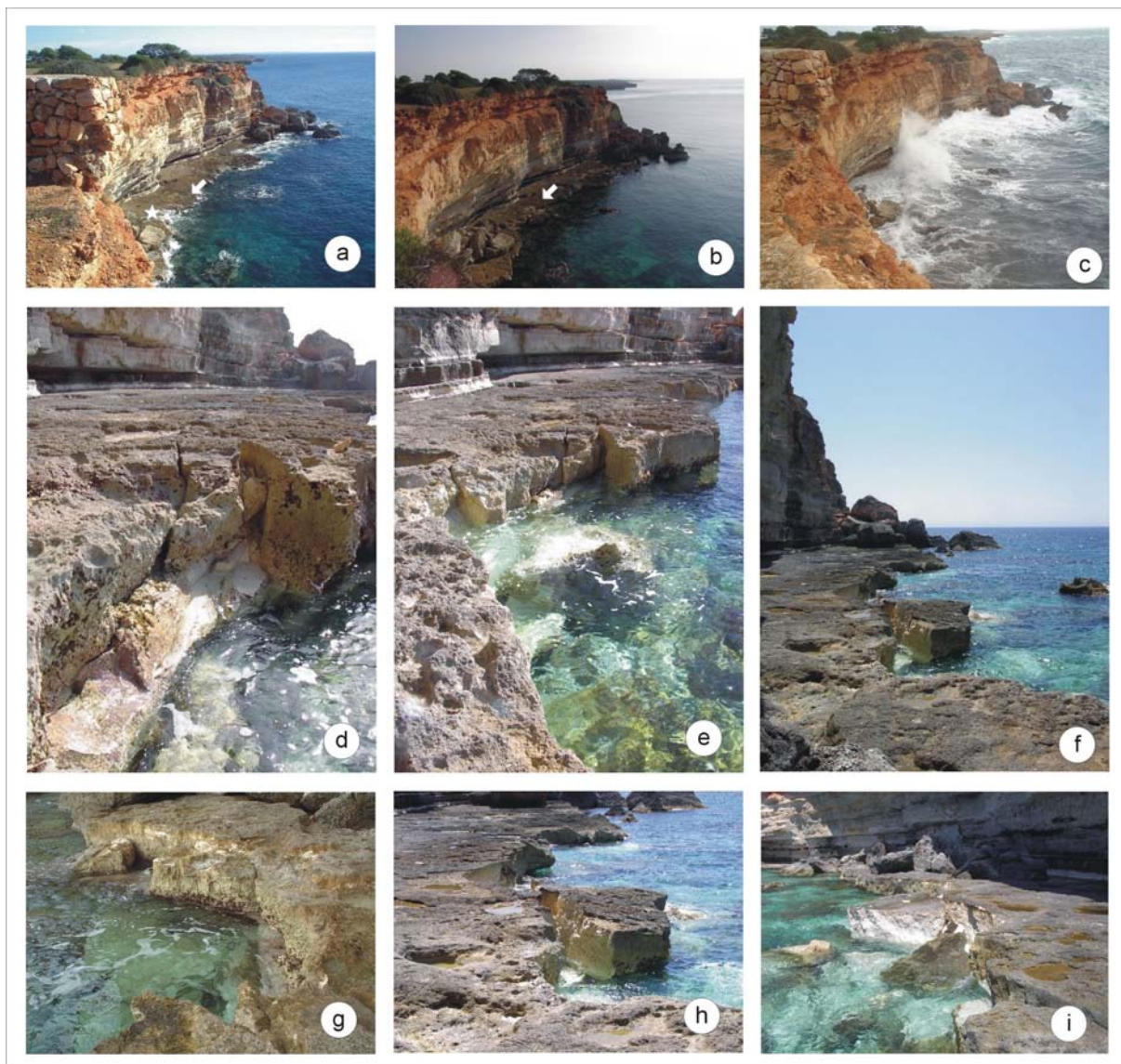
Fig. 4.2 Relació entre desintegració granular i precipitacions a s'Alavern (Balaguer, 2006).

considerable de materials fins. De fet, aquesta dicotomia respon a l'alternança i tipologia de materials que componen els penya-segats. Mentre les calcarenites aboquen la major part dels elements grollers, els paleosòls que queden entre els nivells d'eolianites pleistocenes constitueixen l'aportació principal de fins, ja que tenen un color vermellós característic que permet fer-ne l'assignació en aquestes unitats del penya-segat.

#### 4.6 Taxes relacionades amb l'acció mecànica de les onades

La visita periòdica als penya-segats de s'Alavern ha

permès comprovar l'acció de dinàmica marina. Durant la darrera setmana de febrer i la primera de març del 2002, se succeïren varis episodis de mar grossa que es traduïren a la línia de costa amb diverses mossegades d'entre 8 i 16 m<sup>3</sup> (Fig. 4.3). Amb posterioritat, s'han anat arrabassant altres blocs, alguns de dimensions ben considerables com el del mes de maig de 2004 que suposa un volum de 35 m<sup>3</sup>. Les mossegades i l'arrabassament de blocs tenen un marcat control estructural. D'una banda, les onades aprofiten les línies de contacte entre capes, desenvolupant un *notch*, mentre que la component vertical, que determina la forma dels blocs arrabassats que queden just sota el cantell exterior de la plataforma litoral, ve condicionada per un joc de diàclisis de 058° i 137°.



**Fig. 4.3** Moviments de massa i blocs arrabassats a s'Alavern. a) març 2002; b) desembre 2004; c) temporal de gener de 2003; d, g, h, i) detall de les cicatrius dels blocs arrabassats; e i f) trencament i desplaçament d'un fragment de plataforma de grans dimensions. Imatges corresponents al març de 2002 i el juny de 2004.

## 4.7

### Moviments de masses

El mes de desembre de 2001, a s'Alavern (Balaguer *et al.*, 2002), es produí una caiguda de blocs que afectà 40 m<sup>3</sup> de materials procedents dels nivells superiors quaternaris de la sèrie del penya-segat (paleosòls, encrostaments i dunes). Tres sistemes de fractures amb direccions mitjanes, per ordre d'importància, de 058°, 003° i 137° estan implicades en el col·lapse i afavoreixen la inestabilització d'aquells blocs de roca que estan en voladís, arran de l'erosió dels paleosòls més tous i, per tant, menys resistents que els encrostaments i les eolianites fòssils. L'erosió diferencial, doncs, afavoreix la inestabilització dels blocs. Les precipitacions tenen un paper important com a catalitzadores de la inestabilització dels vessants. Els valors de precipitació mitjana a s'Alavern són de 342 mm (Guijarro, 1986), però la mitjana per a l'any 2001 s'ha incrementat fins a 458 mm, prop de 100 mm més. Però això no és tot, cal observar que sols entre novembre i desembre de 2001 s'ha recollit el 43% de les precipitacions de tot l'any i, per tant, en pocs mesos s'ha incrementat sobtadament la càrrega hidràulica de la roca. És destriable el fet que en tres mesos els blocs, que havien caigut de la façana del penya-segat sobre la plataforma, han estat rentats per l'acció marina i les evidències de desplaçament per tracció dels blocs sobre la plataforma són ben minses.

## 4.8

### Discussió

La representació gràfica que relaciona la magnitud de les taxes d'erosió i la freqüència amb què els processos i agents que les causen actuen sobre el rocam litoral (Fig. 4.4), posa de manifest l'existència d'un gradient, una jerarquia pel que toca a l'aportació en el desmantellament de la línia de costa a s'Alavern. Aquelles taxes d'erosió relacionades amb els processos fisicoquímics, l'acció biològica o els canvis de microtopografia, suposen ordres de magnitud en les taxes d'erosió que poden arribar a ser cent, mil o milions de vegades més petits que no aquells que es deriven de l'acció hidràulica o els moviments de masses. No obstant això, aquest gradient s'inverteix en el vector temporal. Els processos i agents de meteorització i erosió fisicoquímics o biològics actuen a una escala diària o horària (Stephenson *et al.* 2004), i el rentat del material que disgreguen, bé per les pluges, bé per l'acció del vent o del propi onatge, es tradueix en una taxa d'erosió que pot ser més o menys important (Balaguer i Fornós, 2003; Woodroffe, 2003). Diferent és el que passa amb els moviments de masses o l'arrabassament de blocs per l'acció hidràulica, les escales temporals dels quals són més amples, i la distància relativament llarga entre episodis d'anys, dècades o segles, que estan

relacionats amb la ciclicitat i recurrència de fenòmens climàtics (Viles i Goudie, 2003).

Des de 1998 es fa un seguiment de la costa meridional mallorquina i són pocs els moviments de masses inventariats (Balaguer, 2006). En el cas de s'Alavern, dels moviments de masses i de l'acció hidràulica, se n'alliberen materials del penya-segat fins que el volum de roca alterada, o bé el propi pla de fractura, queda desmantellat i, de nou, el rocam fresc queda exposat a l'acció dels processos i agents de meteorització.

En termes d'ecologia es podria parlar d'un període de resistència –etapa de la morfogènesi on predomina l'erosió i el transport del sediment– molt acotat en el temps i separat per llargs períodes biostàtics –etapa d'equilibri– (Brundsen, 2002). En aquest sentit també apunten els treballs de Lahousse *et al.* (2003a i 2003b) on, a medis semblants, identifiquen intervals entre els moviments de masses generalitzats de prop de vint o trenta anys. Així doncs, destaquen dos grups d'agents i processos en el binomi meteorització-erosió: aquells que operen de forma contínua, però que suposen l'alliberament de quantitats petites de material o un retrocés de la costa discret; front a d'altres grups d'agents i processos que operen d'una forma discontinua, però que per contra són més efectius en el retrocés de la costa. Fet i fet, s'organitzen en dues sèries temporals d'erosió superposades, de període i longitud diferents. La de menor amplitud i període –meteorització fisicoquímica, biològica–, com que és induïda pel rentat constant de la superfície de la roca, no es troba quasi mai en una situació d'equilibri i podríem parlar d'una resistència ininterrompuda; mentre que els moviments de masses que representarien la sèrie temporal de major amplitud i longitud pateixen episodis de biostàcia ben definits, com succeeix en d'altres medis on la meteorització-erosió disminueix en funció del temps (Colman, 1981).

La consideració de les variables de freqüència i magnitud en les taxes calculades ajuda a plantejar el debat entorn de l'acció predominant de l'acció de l'onatge i de la meteorització a les costes rocoses. Aquest debat, que ha centrat bona part de les discrepàncies dels geomorfòlegs (Stephenson, 2000; Trenhaile, 2002), apareix aquí com un artefacte en el sentit que la preponderància de l'acció de l'onatge o de la meteorització a les costes rocoses depèn de la posició de l'investigador en l'escala temporal i la resolució dels estudis. El desplaçament en el vector negatiu, que indica el gràfic de la Fig. 4.4, ens marca la transició des de la perspectiva dinàmica a l'evolutiva en l'estudi de les costes rocoses. Tot i que aproximacions de tipus evolutiu, per al cas de la costa rocosa meridional de Mallorca, atorguen als moviments de masses i a la desintegració granular un paper suficient per explicar el retrocés de la costa

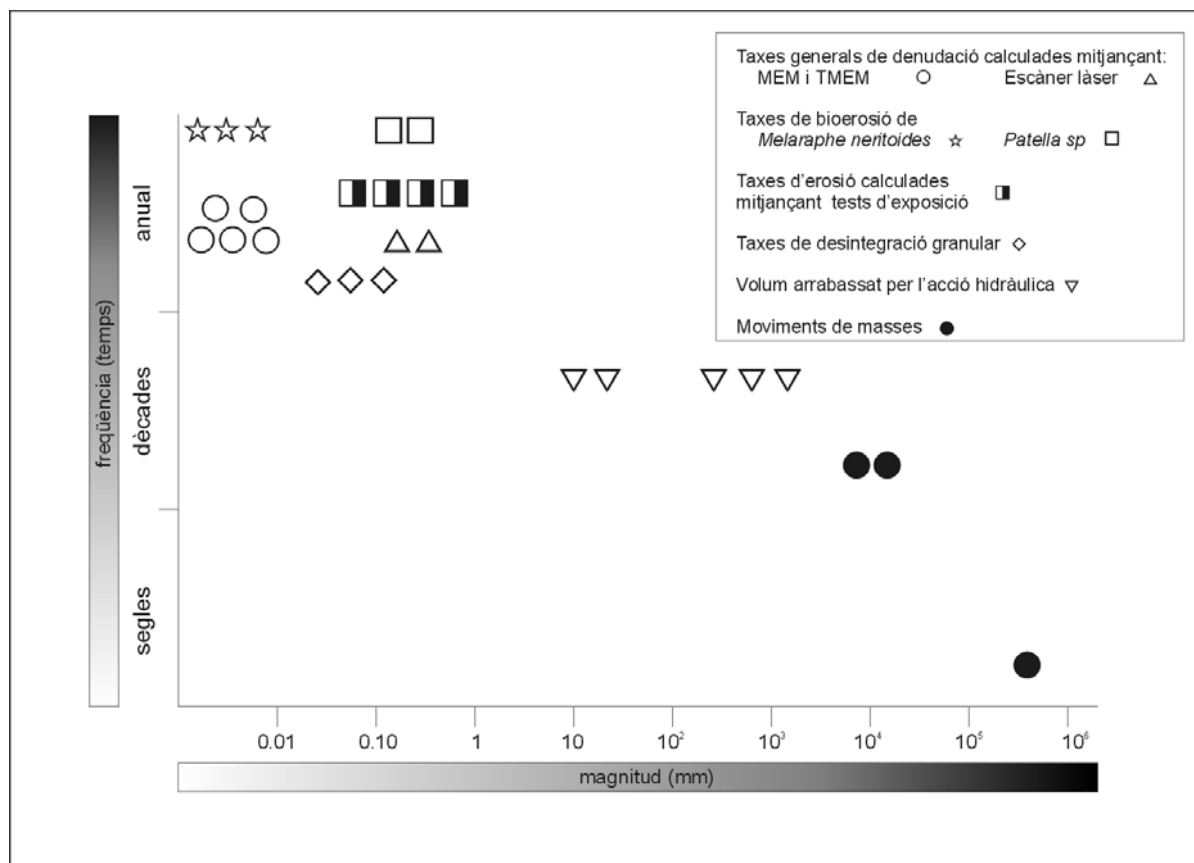


Fig. 4.4 Freqüència i magnitud en la morfodinàmica de la costa rocosa de s'Alavern. Taxes calculades mitjançant MEM, TMEM, escàner làser, tests d'exposició de peces de roca, residu lític dels pèllets fecals dels organismes brostejadors, trampes de sediment i estandardització del volum de roca mobilitzat pels moviments de masses i per l'acció hidràulica de les onades.

(Fornós *et al.* 2005), també és cert que aquests no es poden deslligar de la influència de l'onatge o de processos com els de bioerosió i/o bioprotecció. Més encara, quan els estudis recents posen de manifest la necessitat d'entendre les costes com a ecosistemes (geosistemes) complexos amb relacions multicausals i multidireccionals entre els seus components, especialment a les costes carbonatades (Gómez-Pujol i Fornós, 2004a; Naylor *et al.*, 2002; Viles *et al.*, 2000)

Un altre fet que cal posar de manifest arran dels resultats obtinguts a s'Alavern, és la dificultat per integrar els resultats obtinguts mitjançant diferents tècniques i el seu significat real. Aquest problema no és nou (Trudgill, 1977). Arrenca de les diferents tècniques emprades, del seu grau de resolució i error, i de conèixer allò que realment permeten avaluar. Així, les taxes obtingudes amb el MEM són realment baixes i properes al límit de confiança de l'error instrumental. El MEM, ateses les seves característiques i limitacions, només mesura tres punts d'alçària relativa preferentment a superfícies planes. Per tant, queden excloses del mostratge esquerdes, superfícies verticals, extraploms i zones on abunden els organismes com *Melaraphe neritoides* o *Patella*

*sp*, i on es presuposen taxes d'erosió majors que les mesurades pel MEM. L'escàner làser, amb una capacitat de mostratge espacial major, ens aboca resultats més propers als assignats a la bioerosió o als tests d'exposició. Aquests darrers, no obstant, plantegen el dubte d'allò que s'està mesurant. Es pot descartar l'acció de l'abrasió, però com destriar entre allò que correspon a bioerosió per cianobacteris, l'atac químic, l'acció de les sals... En realitat no és gens senzill, i encara que es poden fer extrapolacions a partir d'experiments de laboratori, sempre hi ha el problema de relacionar els paràmetres del model amb els de la realitat (Trudgill i Viles, 1998). Els entrebancs per homogeneïtzar els resultats de les tècniques esmentades amb els de les trampes de sediment, o el càlcul del volum dels moviments de masses o arrabassament de blocs, són els mateixos. Així doncs, el criteri que hom accepta per superar aquest entrebanc és el de comparar els ordres de magnitud, més que no les taxes d'erosió *per se* (Trudgill, 2000). En aquest sentit, allò que s'hi destaca és la importància en una escala de temps curta dels processos d'erosió lligats a la meteorització química i a la biològica en la component horitzontal de les costes rocoses. Els ordres de magnitud de les taxes de bioerosió i les dels tests d'exposició són semblants i

---

vénen a coincidir amb la quantificació de l'acció de tots els processos que habitualment s'assignen als resultats de l'escàner làser (Williams *et al.* 2000). La preponderància de la meteorització no ve de nou perquè es manifesta en el mateix modelat de la costa de s'Alavern, destacant l'abundant nombre de cocons i la rugositat de la microtopografia potenciada per la naturalesa de la roca. Els moviments de masses o l'arrabassament, si s'homogeneïtzassin –això seria assignar el volum de roca després de forma homogènia a la superfície de plataforma, considerant-ne una recurrència d'acord amb la bibliografia– ens donaria taxes a comparar de l'ordre de la centèsima de mil·límetre de rebaixament. Ordre de magnitud que convergeix en el domini de la meteorització química i

biològica i amb el perquè de l'aspecte rugós de la superfície de la roca. D'altra banda, la tècnica instrumental, de la qual es disposa avui per avui, complica molt estudiar la façana dels penya-segats com es fa amb la component horitzontal. Així doncs, tot i que els estudis de disgregació granular no ens permeten inferir quins agents actuen sobre el penya-segat en relació a les escales d'acció temporals i espacials petites, sí que, per analogia amb altres estudis duts a termes en ambients molt semblants sobre façanes d'elements arquitectònics històrics (Gómez-Pujol *et al.* 2002a), podem inferir que els processos d'alteració fisicoquímica tenen una importància igual o molt semblant als descrits a les zones de ruïna de la plataforma litoral.



---

## 5 Formes de meteorització i erosió a les costes rocoses carbonatades

### 5.1

#### Introducció

El micromodelat de les costes rocoses carbonatades resulta de la interacció entre diferents processos i agents, motiu pel qual les formes que s'hi observen no sempre tenen una naturalesa estrictament càrstica en l'accepció clàssica d'aquest mot (Jennings, 1985).

Sota els epígrafs de *karren* costaner, *karren* litoral, *karren* marí, carst litoral o carst marí, s'acostuma a agrupar el conjunt de microformes que apareixen des de la zona interlitoral a la supralitoral de les costes rocoses i que es perllonguen fins a l'àrea de declivi dels processos marins front als pròpiament terrestres. No obstant això, aquesta definició no és suficientment acurada en el sentit que, d'una banda, engloba formes generades estrictament per l'acció física de l'onatge i dels esbaldregalls (com podria ésser el cas d'una marmita) i, d'altra banda, comprèn les depressions creades pels bogamarins o altres gastròpodes brostejadors com *Patella rustica*, *Monodonta turbinata* o *Melaraphe neritoides*.

Un altre problema, de caràcter terminològic, apareix arran de la poca precisió en l'ús dels termes *karren* i carst litoral o costaner. Al respecte, Ginés (2000) en fa una acurada revisió. En sentit estricte, les formes càrstiques resulten de l'acció de l'aigua sobre una roca que reuneixi una alta solubilitat i una porositat (primària i/o secundària) ben desenvolupada. Aquest fenomen es tradueix en un tipus de terreny amb una hidrologia i un relleu força diferent d'altres sistemes (Ford i Williams, 1989). En funció de l'expressió subaèria o subterrània d'aquestes formes particulars de meteorització, es distingeix entre exocarst i endocarst. El primer d'aquests termes fa referència a aquelles formes que es desenvolupen sobre la superfície de la roca nua o sota una petita potència de sòl, mentre que el terme endocarst queda restringit per a les formes i els processos que es donen en condicions subterrànies. Tanmateix, el terme d'ús per designar formes que abasten diversos ordres de magnitud és el manlleu germànic *karren* (Fornós, 2000). Així doncs, el terme carst fa referència al sistema integrat per l'exocarst i l'endocarst, com a elements estretament interrelacionats. Un és l'enllaç de l'altre a la superfície. Ara bé, atès que les formes superficials del rocam litoral no tenen perquè estar vinculades amb les formes i processos subterrànies, sembla poc apropiat utilitzar termes com carst litoral o carst costaner per classificar el micromodelat

subaeri que es desenvolupa sobre els afloraments de roca calcària a zones costaneres.

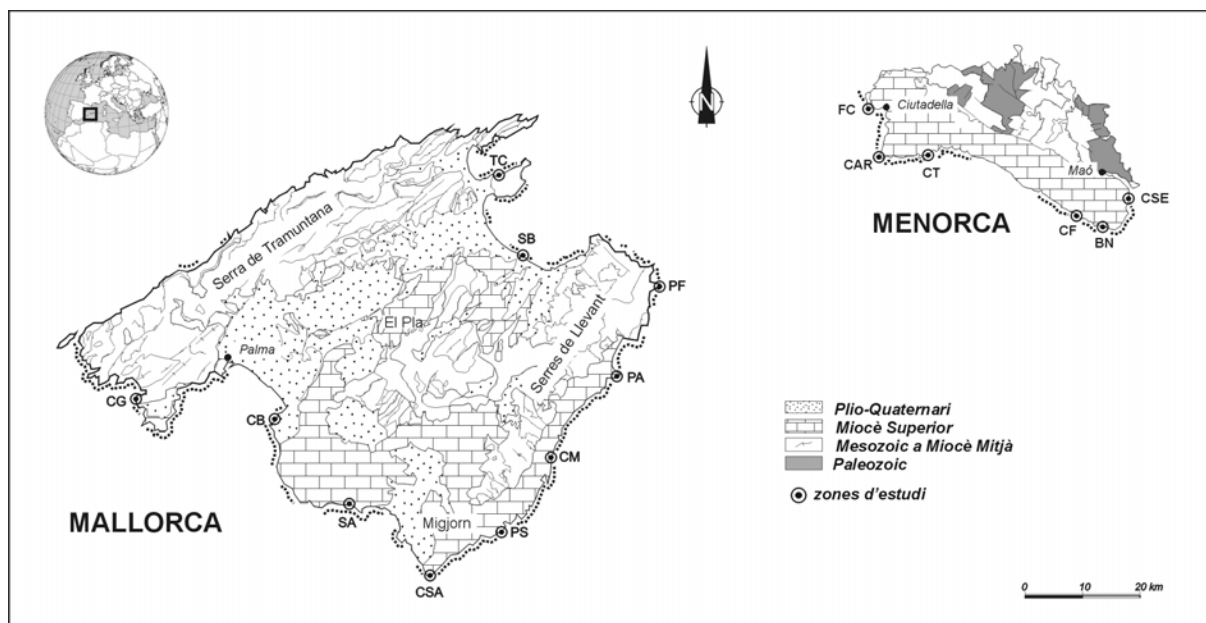
Així doncs, per *karren* litoral s'entendrà tot aquell seguit de formes de meteorització que es desenvolupin sobre la roca calcària als ambients litorals i en les quals la dissolució jugui un paper important. Quedarien fora d'aquesta definició, entre d'altres, formes com les marmites, les plataformes litorals o les construccions organògenes. Totes elles, tan estretament lligades als ambients que es consideren.

Treballs recents (Fiol *et al.*, 1996; Moses, 2003; Viles, 1995) posen de manifest la importància dels agents biològics, des de cianobacteris a gastròpodes, en els processos de meteorització del rocam calcari, tot parlant de biocarst o de processos biocàrstics o fitocarst (Viles, 1988a). Aquesta situació és particularment important a les costes carbonatades on la superfície presenta un grau intens de colonització i on l'aportació d'aigua, tant per la pluja com per les onades, no pot ser menystinguda.

L'estudi del micromodelat de les costes calcàries, tot i que no compta amb una tradició consolidada, no és pobre en contribucions. Des dels treballs de Wentworth (1939), un dels primers científics que aborden aquestes formes del relleu costaner, l'aproximació a l'estudi del *karren* litoral ha canviat significativament en els seus continguts i objectius. Així, n'hi ha que centren els seus objectius en la descripció de les formes i la seva organització espacial (Emery, 1946; Corbel, 1952; Guilcher, 1953; Dalongeville, 1977; Mazzanti i Parea, 1979; Sanjaume, 1985), mentre que d'altres dediquen els seus esforços a identificar i entendre els processos i els agents que operen a les costes carbonatades (Folk *et al.*, 1973; Schneider, 1976; Trudgill, 1976a i 1979; Viles *et al.*, 2000; Lundberg i Lauritzen, 2002 i Moses, 2003).

A les Illes Balears, i en especial a Mallorca, el primer treball que considera el *karren* litoral és el de Walter-Levy *et al.* (1958). El seguirien observacions breus de Butzer (1962), Butzer i Cuerda (1962) i Ginés (2000) en el marc dels seus treballs d'estratigrafia quaternària. El primer article que aborda, en exclusiva, aquest tipus de formes és el de Rosselló (1979), qui intenta avaluar la tipologia i l'organització de les formes, a la vegada que assaja de calcular-ne una taxa de denudació, d'acord amb els treballs previs





**Fig. 5.1** Croquis geològic i localització de les zones d'estudi a Mallorca i Menorca. La línia de punts indica la presència a la zona costanera de formes abundants de *karren* litoral. A Mallorca, CG: Cala d'en Guixar, CB: Cala Blava, SA: S'Alavern, CSA: Cap Salines, PS: Punta des Sivinar, CM: Cala Murada, PA: Punta de n'Amer, PF: Punta des Faralló, SB: Son Bauló i TC: Punta de Tacàritx. A Menorca, FC: Far de Ciutadella, CAR: Cap d'Artrutx, CT: Cala Turqueta, CF: Cap d'en Font, BN: Binibèquer, CSE: Cala Sant Esteve.

dels quaternaristes. Posteriorment, apareixen altres treballs que posen l'èmfasi en la relació entre les formes del *karren* litoral i els processos bioerosius (Kelletat, 1980, 1985). Moses i Smith (1994) caracteritzen l'abast espacial del processos inorgànics –meteorització per sals i dissolució– que actuen a les costes del Migjorn de Mallorca a partir d'observacions de microscopi electrònic de rastreig i la difracció de raigs X. De 1998 ençà, hi ha un augment dels treballs que es dediquen a la descripció morfològica i a la identificació del paper dels agents i els processos, tot integrant les dues tradicions, que configuren el *karren* litoral de Mallorca (Gómez-Pujol i Fornós, 2001; Fornós i Gómez-Pujol, 2002) per passar, amb posterioritat, a contrastar els models a les costes menorquines (Gómez-Pujol i Fornós, 2004a, b i c).

## 5.2 Àrea d'estudi

Mallorca i Menorca es troben localitzades al centre de la Mediterrània occidental (Fig. 5.1). Gaudixen d'un clima típicament mediterrani amb estius càlids i secs i hiverns humits i temperats. La temperatura anual mitjana és de 17°C, amb una mitjana mínima de 10°C els mesos d'hivern i una mitjana màxima de 25°C els mesos d'estiu. La precipitació mitjana és de 500 mm i es concentra, bàsicament, a la tardor (Guijarro, 1986). A les costes de Mallorca i Menorca, les onades –en mar oberta– poques vegades superen els 8 m d'alçària i longituds d'ona de 50 m. De més a mes, aquests paràmetres es redueixen considerablement quan es

desplacen cap a costa, arribant, només durant les tempestes amb graus de 6 a 8 a l'escala de Beaufort, a alçàries màximes de 4 m (Butzer, 1962). L'amplitud de marea és quasi bé nul·la, inferior als 0,25 m, tot i que canvis en la pressió atmosfèrica i l'acció dels vents poden contribuir a fluctuacions importants del nivell marí, que poden arribar a la diferència entre marees màximes i mínimes d'1 m (Basterretxea *et al.*, 2004).

Mallorca i Menorca són els enclavaments emergits més extensos del Promontori Balear, un engruïment de l'escorça continental que s'articula com a continuació del cinturó de plegaments i d'encavalcaments alpins de les serralades Bètiques, estructurat durant el Miocè Mitjà (Alonso Zarza *et al.*, 2002; Gelabert, 1998). Els principals accidents del relleu d'ambdues illes es corresponen amb horsts formats després de l'extensió postectònica i exposen materials deformats d'edat paleozoica a roques carbonatades del Miocè Mitjà. Els grabens associats es corresponen amb relleus suaus i plans, reomplerts per dipòsits carbonatats de plataforma miocènica i ventalls al·luvials i eolianites quaternàries (Gelabert, 1998 i Gelabert, 2003).

Les costes rocoses són característiques, per no dir dominants, del perímetre litoral de les illes de Mallorca i Menorca. Estan associades a canvis bruscs de la batimetria i poques vegades la isòbata de –20 m es troba a distàncies majors de 500 m respecte de la línia de costa. La forma dels penya-segats està relacionada amb la disposició i característiques de les unitats morfoestructurals de cada illa. Els penya-

segats aplomats són típics dels vessants marítims dels horsts, mentre que els grabens donen redós a albuferes i sistemes platja-duna. Els relleus tabulars, adossats als principals horsts i grabens, estan delimitats per falles lístriques d'edat Miocè Superior–Quaternari (Gelabert, 1998) que es tradueixen a la línia de costa en penya-segats verticals d'altures mitjanes i baixes. Així doncs, a mode d'instantània, les costes rocoses de Mallorca i Menorca presenten perfils aplomats o composts tallats en materials del Paleozoic fins al Miocè Superior. L'alçària dels penya-segats varia, localment, de 3 a 30 m, i es perllonga mar endins entre 3 i 5 m. Als afloraments plegats, les plataformes litorals i el *karren* litoral apareixen a mode de pegats quan l'estructura i la litologia ho permeten. Quan hi afloren les roques carbonatades del Miocè Superior, els penya-segats presenten un perfil esglaonat relacionat, d'una banda, amb la disposició tabular i geometria dels estrats de les unitats del Miocè Superior, així com de les seves propietats geomecàniques (Pomar i Ward, 1999; Pomar *et al.*, 2003) i, d'altra banda, amb les fluctuacions plistocenes del nivell marí (Butzer, 1962). El tram final d'aquests penya-segats, a tocar de la ribera, cau en vertical amb façanes de 3 a 30 m. Les plataformes litorals, tot i que amb una distribució discontinua, són més freqüents que als afloraments de materials plegats. De la mateixa manera, els conjunts o dispositius de *karren* litoral, són força comuns en els afloraments carbonatats del Miocè Superior, així com a les eolianites quaternàries que s'adossen.

### 5.3

#### Materials i mètode

S'ha procedit a la delimitació de la presència de formes de *karren* litoral arreu de la costa de Mallorca i del Migjorn de Menorca (Fig. 5.1), a partir de la visita de camp i la consulta de la fotografia aèria obliqua del *Servicio de Costas del Ministerio de Medio Ambiente*. Seguidament, s'han seleccionat 17 localitats, 11 a Mallorca i 6 a Menorca, on s'ha aixecat un perfil de detall mitjançant una estació total TOPCOM<sup>®</sup> CTS210, des del trencament de la plataforma litoral fins a les primeres evidències de predomini dels processos estrictament terrestres. El zero relatiu dels perfils s'assigna al límit superior de les mates de *Cystoceira* sp. a la plataforma litoral. Sobre el perfil, s'hi ha delimitat l'extensió de les zonacions hidrodinàmiques i biològiques (capítol 3), així com la presència i dimensions de les principals formes. Atès que els cocons són les formes més representatives i abundants en els conjunts de *karren* litoral, tant de Menorca com de Mallorca, s'ha realitzat la seva caracterització morfològica d'acord amb els criteris de Johansson *et al.* (2001). Per a cada localitat es duen a terme un mínim de 25 observacions per cada una de les subdivisions de la zonació hidrodinàmica i biològica. Cada una de les

observacions integra dades quantitatives i dades categòriques de caràcter descriptiu.

En el primer grup hi ha incloses la *llargària* (L), l'*amplària* (A) i la *profunditat* o *fondària* (D). La primera és la distància de l'eix simple de major desenvolupament de la depressió. L'amplària és la distància màxima de costat a costat del cocó, perpendicular a la llargària i, finalment, la profunditat és la màxima distància entre la cota més alta i més baixa del cocó en la component vertical. Aquesta mesura no és senzilla d'obtenir arran del grau d'evolució i la complexitat de certes formes. En casos com la coalescència de cocons, o la interrelació entre cocons i pinacles, la mesura de profunditat s'ha pres considerant no tant la distància màxima, sinó la distància mitjana entre les cotes inferiors i superiors de la forma estudiada.

Les dades descriptives (Fig. 5.2) consideren diferents aspectes del perímetre de les formes, la seva interrelació i geometria, el tipus de fons i la disposició respecte el sistema de diàclasi i fractures. Així, per l'*obertura* entendrem si els cocons estan interconnectats, o bé estan isolats els uns respecte dels altres. La variable de *forma* diferencia entre depressions de planta circular, rectangular, triangular, allargada i irregular. La configuració del perímetre, com són els *límits* dels cocons, és una de les altres característiques considerades. Se separa entre depressions de límits rectes, sinuosos, amb indentacions i mixtos. El *tipus de fons*, si és pla, rugós o si hi ha crestes evidents –separació d'antigues depressions individualitzades–, és una altra de les variables registrades. Finalment, el darrer conjunt de dades correspon a la relació de la forma en planta amb l'organització del sistema de diàclasi o de fractures. Així, en funció de la *relació amb les fractures*, distingirem entre cocons desenvolupats seguint-ne una, paral·lel a dues fractures, desenvolupat arran de la intersecció de dues, arran de la intersecció de dos jocs o més de fractures i, també, depressions la forma de les quals està governada per un seguit de jocs de diàclasi paral·lels que en tallen altres que els són perpendiculars. En algunes ocasions, no hi ha evidència d'un control estructural en el desenvolupament en planta del cocó.

A cada un dels transectes, perpendiculars a la línia de costa, s'hi han recollit fragments de roca per a la seva observació mitjançant microscopi electrònic de rastreig (SEM) seguint Taylor i Viles (2000). El centenar i escaig de fragments de roca estudiats procedeixen de diferents posicions de la zonació hidrodinàmica i biològica del perfil, així com dels diferents atributs d'una mateixa forma. Per tant, s'han pres mostres de les crestes dels pinacles, de la seva base, del fons dels cocons, de les parets que els separen o de les entallades dels seus laterals. La classificació de les nanofomes i atributs relacionats

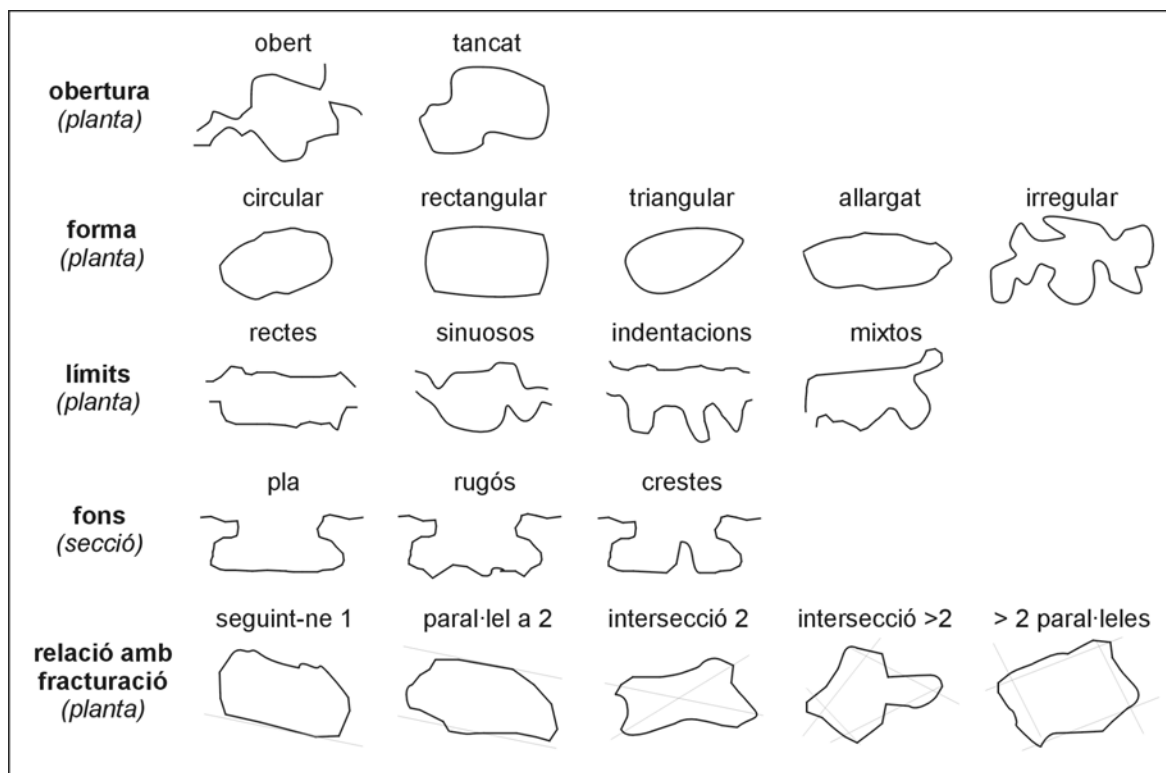


Fig. 5.2 Criteris de classificació dels cocons en funció de la forma, límits, connexió, tipus de fons i relació amb el sistema de fractures segons Johansson *et al.* (2001).

amb els processos d'alteració segueix els criteris de Viles i Moses (1998) i es tractarà més detalladament a l'apartat corresponent, en aquest mateix capítol.

#### 5.4 Formes i criteris de classificació

No resulta gens senzill agrupar les formes desenvolupades sobre el substrat carbonatat de les costes rocoses, ja que les formes i combinacions d'aquestes obrin un ventall tan ample de possibilitats que fan que les classificacions siguin molt diverses. Bogli (1980) defensa una classificació dominada per un criteri genètic per tal de simplificar les classes o tipologies morfològiques. No obstant això, els claroscurs que encara existeixen sobre els processos que intervenen en el desenvolupament de les microformes de meteorització en el litoral calcari aconsellen un criteri descriptiu de caràcter mixt.

Així doncs, a continuació se segueix l'esquema de Ford i Williams (1989) en el qual la classificació de les formes descansa en els aspectes de forma, tot i que incorpora subdivisions arran dels factors genètics. Les grans classes que en resulten són: formes de planta arrodonida, formes lineals controlades per fractures, formes lineals controlades hidrodinàmicament i un darrer grup de formes complexes o poligenètiques.

Pel que fa a la terminologia catalana s'han adoptat les

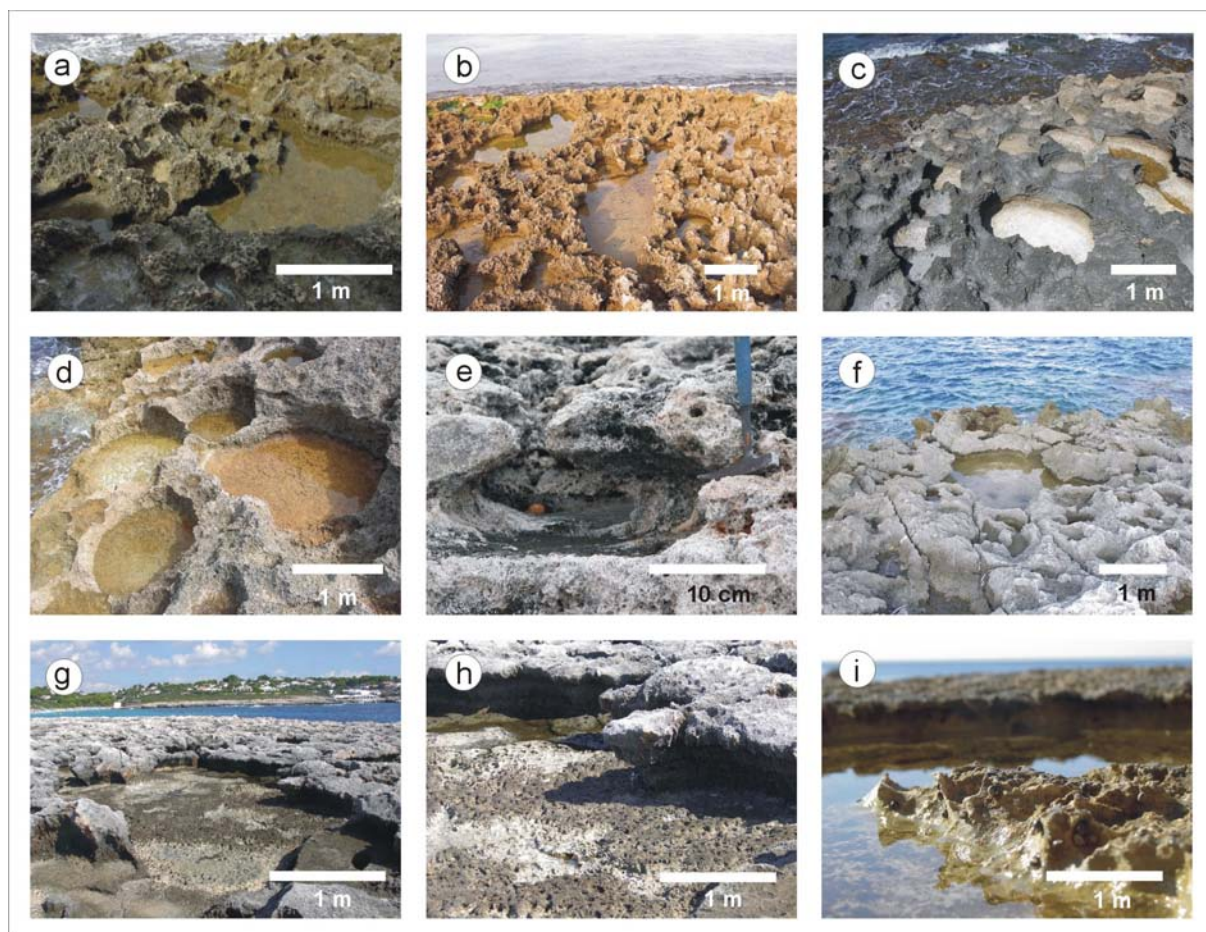
recomanacions de Riba (1997), mentre que per als altres idiomes s'indica la terminologia present a Ginés (1999) i a la bibliografia citada al text.

##### 5.4.1 Formes de planta arrodonida

**Cocons** – *solution pans, basin pools* (ang.); *vasques, mares* (fr.); *cuvetas, pozas, tinajitas* (cast.).

Els cocons són depressions de planta el·líptica, poc profunds i de fons pla, les dimensions dels quals oscil·len des de l'ordre centimètric al mètric (Fig. 5.3). Les seves parets són abruptes i mantenen un angle proper als 90° amb la base. Les parets laterals dels cocons solen presentar extraploms i entalladures de pocs centímetres de profunditat. Es desenvolupen sobre diferents litologies carbonatades i són presents a superfícies planes o subhorizontals, tant a ambients micromareals com macromareals, sempre i quan predominin a la zona els processos de meteorització química.

Pel que fa a les seves dimensions, la llargària, per norma general, és major que la profunditat. Les relacions entre aquests dos paràmetres varien en funció del substrat (Taula 5.1) Així, els quocients entre llargària i profunditat mantenen proporcions de 5 a 2 (Emery, 1946), de 10 a 1 (Mii, 1962) o de 6 a 1 (Guilcher, 1953) sobre substrats amb porositats baixes i grans ben cimentats. A litologies menys cimentades i



**Fig. 5.3** Cocons. a) Cocons interconnectats arran de la intersecció de dues fractures a la contrada de ses Penyes Roges (Calvià, Mallorca) desenvolupats sobre calcàries del Miocè Superior. b) Conjunt heteromètric de cocons, els de major desenvolupament –de 5 a 7 m de llargària– ho fan seguint una alineació de fracturació dominant de direcció NE, Cala Blava (Llucmajor, Mallorca). c) Cocons de planta arrodonida sobre un pegat d'eolianites carbonatades a la Cala d'en Guixar (Calvià, Mallorca). d) Cocons aïllats i de planta arrodonida que comparteixen les parets a les eolianites de Tacàritx (Alcúdia, Mallorca). e) Detall de les parets laterals dels cocons amb entalladures accentuades que són evidència del domini de processos de dissolució sobre fàcies de rodòfits del Miocè Superior a s'Algar (Menorca). f) Cocó de grans dimensions (9 m de llargària), de planta irregular i fons pla, format per la coalescència de diverses formes a Cala Sant Esteve (Sant Lluís, Menorca). g) Detall de la imatge anterior on es poden apreciar els microalvèols que apareixen al fons de la depressió i evidències, a les parets laterals de dos nivells, de dissolució que marquen el reculament de la paret vertical. i) Detall d'una cresta –antiga paret lateral entre dos cocons– al bell mig d'una forma de dimensions modestes sobre les calcàries del Miocè Superior a s'Alavern (Llucmajor, Mallorca).

més poroses, com les eolianites, aquestes relacions mantenen proporcions de 2 a 1 (López-Bermúdez, 1979; Guilcher, 1953; Miller i Mason, 1994; Pérez-Cueva, 1979; Sanjaume, 1979; Schneider, 1976). Els valors màxims de llargària corresponen als 62 m registrats per Battistini (1981) a Madagascar, tot i que arreu els màxims se situen al voltant d'1,5 i 10 m (Taula 5.1).

Els mecanismes genètics implicats en la gènesi dels cocons són bàsicament bioquímics i el gros de la seva formació s'atribueix als processos de dissolució (Trudgill, 1987). Les primeres referències respecte del quimisme de les aigües dels cocons es troben als treballs de Feldman i Davy de Virville (1933). Aquests autors, en el marc d'un estudi de la flora de les costes rocoses, analitzen durant un cicle de 24

hores el pH de l'aigua embassada als cocons i detecten oscil·lacions de 8,1 a 10 unitats de pH. Fins aleshores, des d'un punt de vista geomòrfic, el problema de la gènesi dels cocons resideix en la sobresaturació en carbonat càlcic ( $\text{CaCO}_3$ ) de l'aigua de la mar (Trudgill, 1976a). Per tant, es proposava l'aigua d'escolament com la responsable dels processos de dissolució que afectaven els cocons (Wentworth, 1944). No seria fins als estudis d'Emery (1946), quan s'abordaria el problema des d'una perspectiva analítica. Emery estudià els paràmetres de temperatura ambiental, temperatura de l'aigua, pH i alcalinitat de les depressions sobre substrats calcaris reomplertes d'aigua marina de la costa meridional de Califòrnia (La Jolla). Els seus resultats posaven de manifest l'existència de canvis de pH i d'alcalinitat durant el vespre.

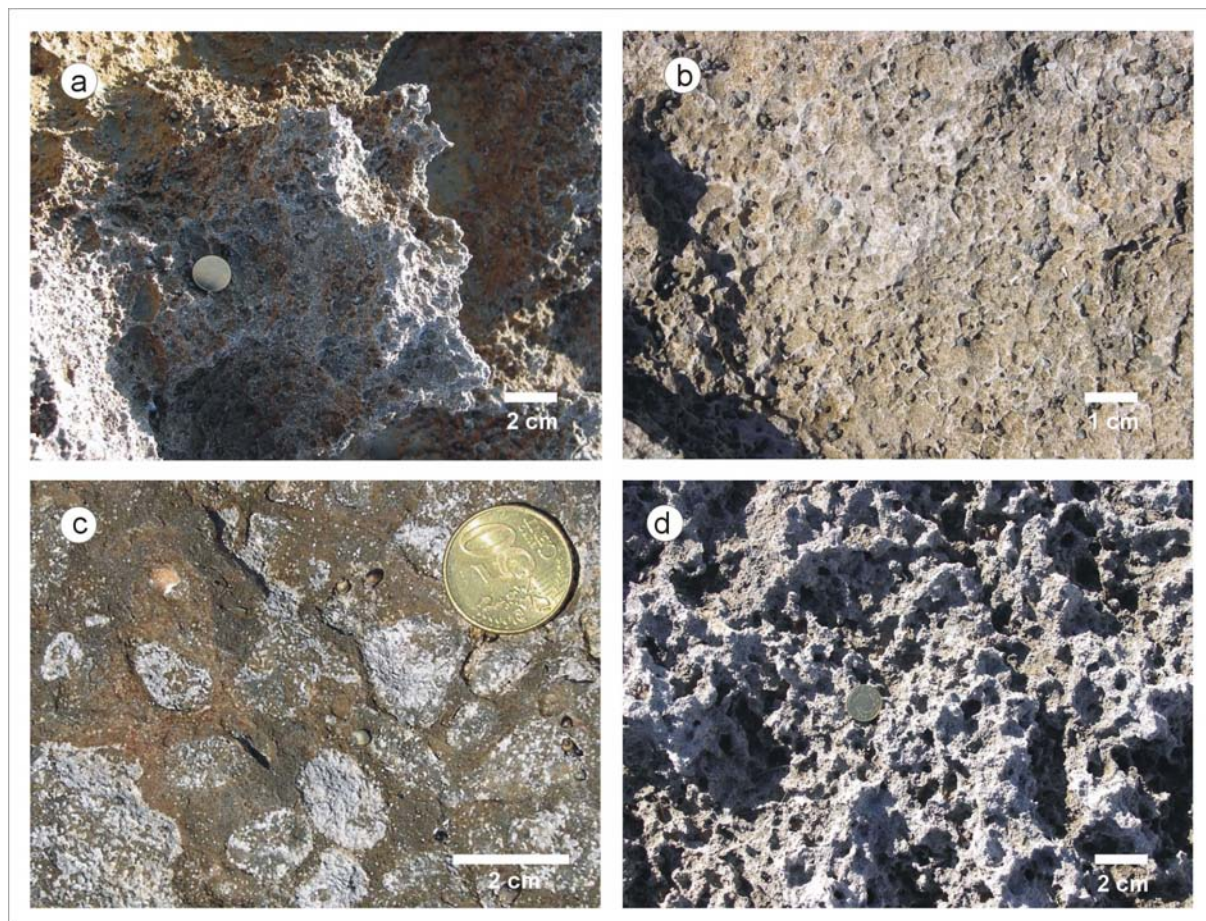
Localitat	Litologia	Dimensions	Situació	Referència
La Jolla (Califòrnia, USA)	Arenisques calcàries cretàciques i eocenes	Llargària: 25 a 50 cm Profunditat: 3 a 20 cm	Plataforma litoral. Amplitud marea: 1 m	Emery (1946)
Wakayama (Japó)	Arenisques calcàries miocenes	Llargària: 20 a 40 cm Profunditat 3 a 4 cm	Plataforma litoral. Amplitud marea: 1 m	Mii (1962)
Costa de Morombe (Madagascar)	Eolianites calcàries pliocenes	Llargària: 15 a 100 cm.	Plataforma litoral de 2 a 4 m d'amplària.	Battistini (1981)
Nord-Arnøy (Gideskaal, Noruega)	Marbre	Llargària: 10 a 300 cm Profunditat: 25 a 30 cm.	Domini supralitoral. Amplitud marea: 2,3 m	Holbye (1989)
Livorno, Rosignano (Toscana, Itàlia)	Dipòsits de platja i eolianites quaternàries	Llargària: 10 a 50 cm Profunditat: 4 a 50 cm	Plataforma litoral Amplitud marea: 0,30 m	Mazzanti i Parea (1979)
Burren (Co. Clare, Irlanda)	Calcàries	Llargària: 24 a 43 cm Profunditat: 8 a 40 cm	Costa baixa esglaonada	Lundberg (1977)
Costa de Zululand (Sudàfrica)	Dipòsits de platja i eolianites pliocenes i holocenes	Llargària: 50 a 600 cm Profunditat: 4 a 24 cm	Rampes i costes baixes esglaonades	Miller i Mason (1994)
Garzotto (Croàcia)	Calcàries	Llargària: 30 cm Profunditat: 10 a 15 cm	Costa baixa esglaonada. Amplitud marea: 1 m	Schneider (1976)
Costa de Múrcia (Múrcia)	Calcàries i dolomies triàsiques, calcàries pliocenes i quaternàries	Llargària: 20 a 80 cm Profunditat: 10 a 32 cm	Costa baixa esglaonada	López Bermúdez (1979)
Costa nord d'Alacant (País Valencià)	Dipòsits de platja i eolianites calcàries quaternàries	Llargària: 20 a 80 cm Profunditat: 10 a 32 cm	Rampes i costes baixes esglaonades	Sanjaume (1979)
Costa sud d'Alacant (País Valencià)	Dipòsits de platja i eolianites quaternàries	Llargària: 50 cm Profunditat: 25 cm	Rampes i costes baixes esglaonades	Sanjaume (1979)
Rabat (Marroc)	Eolianites quaternàries	Llargària: 50 cm Profunditat: 25 cm	Costa baixa	Guilcher (1953)
Gower (País de Gal·les)	Calcàries carboníferes	Llargària: 60 cm Profunditat: 10 cm	Plataforma litoral	Guilcher (1953)
Cala Pudent (Mallorca)	Eolianites quaternàries	Llargària: 90 a 230 cm Profunditat: 7 a 10 cm	Costa baixa esglaonada	Rosselló (1979)

**Taula 5.1** Recull de dades morfològiques de cocons a diferents localitats i sobre diferents litologies. Els valors de les dimensions fan referència als màxims i els mínims descrits a cada treball. En el cas que només hi aparegui un sol valor, aquest correspon a la mitjana del paràmetre morfològic.

Schneider (1976) desenvolupà el seguiment més complet de paràmetres físics i químic de l'aigua retinguda als cocons a la costa croata. Les corbes d'intensitat de llum, temperatura, concentració d'oxigen, alcalinitat específica, pH, oxigen dissolt, contingut en clorurs, contingut en calci i la relació calci-clorur (Ca/Cl), permeten plantejar aquells mecanismes pels quals s'assimila el bicarbonat, tot descartant com a procés, en l'evolució dels cocons, la dissolució inorgànica. Durant el dia, la flora que entapissa la roca consumeix el CO<sub>2</sub> de l'aigua mitjançant l'acció fotosintètica. En el moment que no disposa de llum suficient atura aquest procés i es produeix un increment del contingut en CO<sub>2</sub> a l'aigua, de manera que es dissocia el carbonat càlcic i el volum d'aigua deixa d'estar sobresaturat, fet pel qual

disminueix el pH i s'incrementa el potencial de dissolució. D'altra banda, Trudgill (1985) destaca el paper de la dissolució diferencial en funció de la mineralogia dels carbonats, ja que mentre l'aigua marina està sobresaturada en carbonat càlcic, no ho està en magnèsic. Debrat (1974) i Miller i Mason (1994) també duen a terme seguiments de la química de l'aigua dels cocons i, juntament amb altres experiències de laboratori (Guilcher i Pont, 1957; Dalongeville *et al.*, 1994 i Trudgill, 1979), apunten en la línia dels treballs d'Schneider, tot posant èmfasi en el control de la microflora que habita a la roca en els processos de dissolució.

Ara bé, la dissolució no és l'únic mecanisme que intervé en el desenvolupament dels cocons. Kelletat



**Fig. 5.4** Alvèols i microalvèols. a i b) Superposició de microalvèols a sobre i dins les concavitats d'alvèols sobre les eolianites quaternàries de Cala Blava (Llucmajor, Mallorca) i Son Bauló (Santa Margalida, Mallorca). Molts dels microalvèols apareixen ocupats per exemplars de *Melaraphe neritoides* i *M. punctata*. c) Alvèols i microalvèols poc desenvolupats a les eolianites quaternàries de Cap Salines (Ses Salines, Mallorca). Es pot apreciar com a l'interior dels alvèols la colonització per microflora és menor que a l'exterior, a la vegada que també es pot observar una microrugositat del seu fons que coincideix amb l'acció brostejadora dels individus de *Melaraphe neritoides* que apareixen a la fotografia. d) Alvèols relacionats amb la textura i fàcies de les calcàries algals –rodòlits– del Miocè Superior de la Punta de n'Amer (Sant Llorenç, Mallorca).

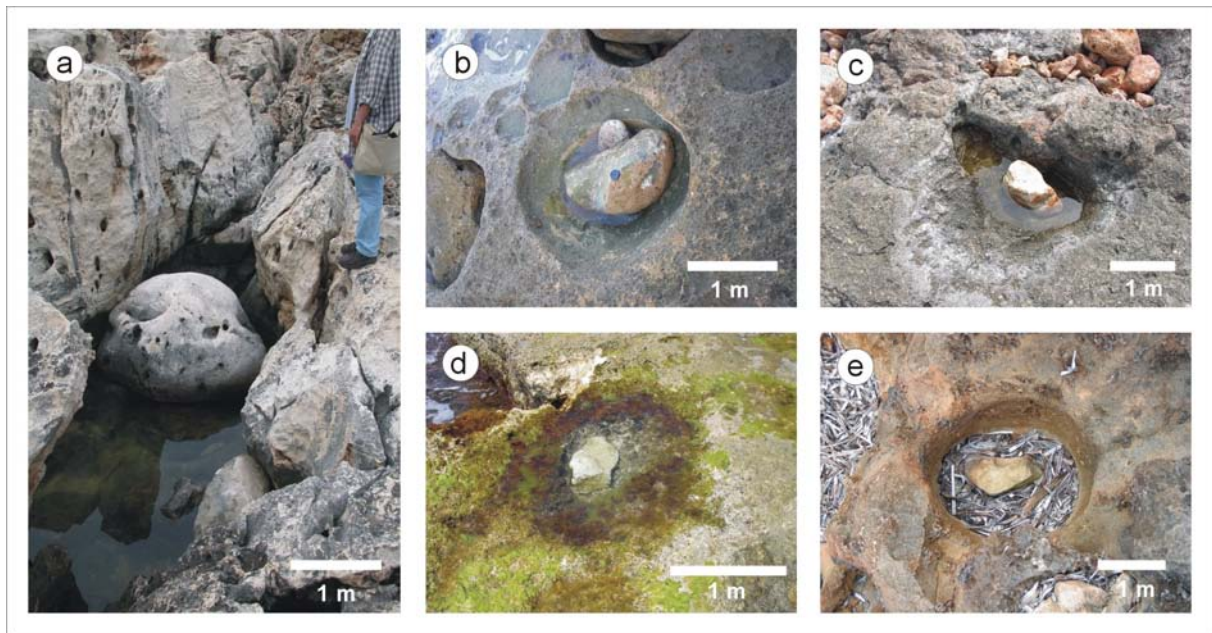
(1997), Dalongeville i Le Champion (1982), Torunski (1979), Trudgill *et al.* (1987) i el mateix Schneider (1976) destaquen l'acció erosiva física i química dels gastròpodes i, en alguns casos, dels equinoderms en l'evolució lateral d'aquestes formes. Tampoc no es pot deixar de banda la meteorització mecànica per l'impacte de l'onatge o de la meteorització per sals, tot i que amb un paper secundari.

**Alvèols, microalvèols** – *cockling pits, pits, micropits* (ang.); *alvéoles, micro-alvéoles, vermiculacions* (fr.); *alveólos, microperforaciones, microcáries* (cast.).

Les formes que concorren sota l'epígraf d'alvèols són l'exemple més clar d'una forma convergent. Es tracta de petites depressions de planta arrodonida o el·líptica poc profundes. Els diàmetres superiors al centímetre són rars i les profunditats no són majors que la meitat del diàmetre. S'anomenen microalvèols aquelles formes que tenguin un diàmetre inferior al centímetre

i alvèols aquelles que el superin. Es poden disposar alineats, seguint diàclasi, en coalescència o de forma aïllada, tant sobre superfícies planes com sobre superfícies verticals. L'absència d'una orientació preferent d'aquestes formes, la manca d'un control gravitatori dominant, juntament amb el recobriment de la superfície de la roca per líquens i/o cianòfits, posa de manifest la importància dels agents biològics en la gènesi d'aquestes formes (Fig. 5.4). Folk *et al.* (1973) classifiquen aquest seguit de formes com a "fitocarst" en el sentit que són els líquens i els cianòfits, que tenen la roca com a hàbitat, els responsables de la gènesi i evolució d'aquestes formes (vegeu el capítol 3). En la mateixa línia apunten els estudis de Danin *et al.* (1982) i els treballs, específicament desenvolupats a un gradient litoral, de Jones (1989) i Viles (1988b).

Pel que fa als processos que contribueixen a l'evolució dels alvèols i microalvèols, en destaca l'acció dels filaments dels líquens (Moses i Smith,



**Fig. 5.5** Marmites. a) Marmites de grans dimensions a s'Algar (Sant Lluís, Menorca). El bloc que rota i eixampla una antiga esquerda té dimensions al voltant d'1,5 m d'eix major i 1 m d'amplària i alçària. Presenta una colonització de serpulíds i perforacions d'altres organismes marins que n'indiquen la procedència marina, tot i estar a prop de 5 m per sobre del nivell de la mar. b) Marmita amb evidències de dos cicles d'evolució i varis clastes al seu interior al Cap de Fornells (Menorca). c) Marmita desenvolupada sobre eolianites quaternàries tot i que els blocs són de calcàries del Miocè Superior al Cap Enderrocat (Llucmajor, Mallorca). d) Cocó amb una colonització biològica –observi's les parets entapissades per rodofícies– dins el qual la mar ha deixat un bloc angular alliberat del trencament de la plataforma i que comença a actuar com una marmita. e) Marmita temporalment inactiva que conserva el bloc que efectua l'acció erosiva a Cala Blava (Llucmajor, Mallorca).

1993; Chen et al., 2000) o l'atac químic derivat de l'acció metabòlica, tant dels cianobacteris com dels líquens (Fiol *et al.*, 1996; Gehrmann *et al.*, 1992; Peyrot-Clausade *et al.*, 1995; Pomar *et al.*, 1975).

**Taffoni i nius d'abella** – *cavernous weathering*, *honeycomb* (ang.), *nid d'abeilles* (fr.), *cúpulas* (cast.).

El manlleu italià taffoni (sing. taffone) és emprat a gairebé tota la bibliografia científica per tal de designar aquelles cavitats lleugerament esfèriques més grans que un alvèol (des de més de 10 cm fins a uns quants metres de llargària i profunditat), principalment resultat de la meteorització. Per la seva banda, el terme nius d'abella s'utilitza per a aquells taffoni de petites dimensions que presenten com a particularitat una estructura de cel·les a mode de bresques. Tant els taffoni com els nius d'abella, només es desenvolupen sobre superfícies verticals o lleugerament inclinades.

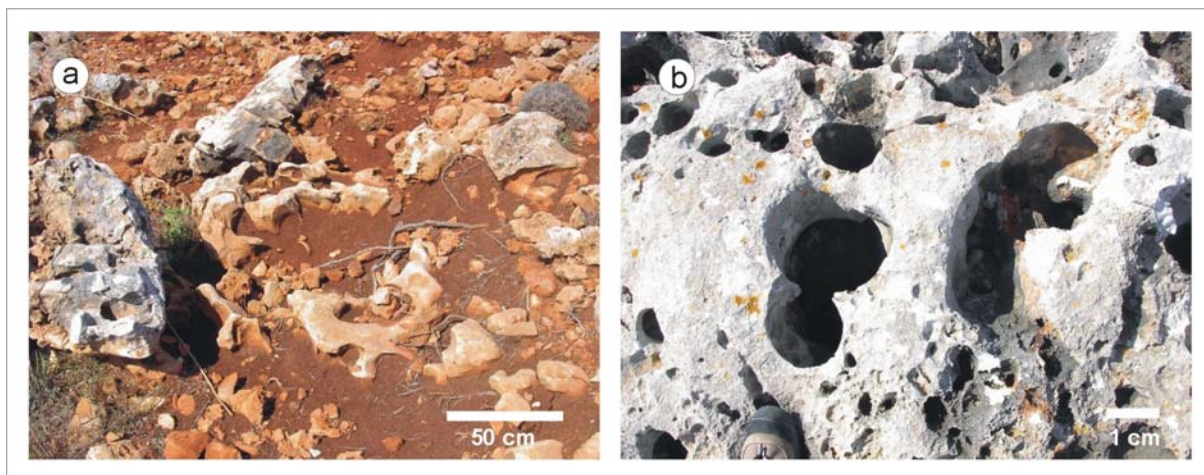
De taffoni i nius d'abella, als ambients litorals, se'n troben arreu i sobre diferents substrats: de les arenisques arcòsiques (Matsukura i Marsuoka, 1996), als conglomerats i arenisques (Matsukura., 1989), esquists (Motersehad, 1982), materials volcànics (Smith i McAllister, 1986) i sobre les eolianites carbonatades quaternàries de la riba oriental de la Mediterrània (Uzun, 1998). La meteorització per sals

s'ha identificat com el principal agent en l'evolució dels taffoni i els nius d'abella (Mottershead i Pye, 1994; Rodríguez-Navarro *et al.*, 1999). També tenen un paper important, tot i que secundari, els processos d'humectació i dessecació i, fins i tot, els processos biològics (Viles i Pentecost, 1994).

**Marmites** – *potholes* (ang.), *marmite de géant* (fr.), *marmita de gigante* (cast.).

Les marmites són depressions de planta arrodonida formades sobre el substrat rocós per l'acció física d'arenes, graves, còdols o blocs, que són moguts o rotats per l'energia de l'aigua (Sunamura, 1992).

Aquestes formes no són exclusives del domini litoral i també apareixen en el llit dels cursos fluvials (Segura, 1990). Les marmites presenten quasi bé sempre una planta circular. Les relacions entre l'eix major i l'eix menor oscil·len de 0,8 a 1 en funció de la forma i les dimensions del clast que les ha generades. Els exemplars que s'allunyen d'aquest patró són el resultat de la coalescència de depressions veïnes o el fruit de les variacions de duresa o textura de la roca (Trenhaile, 1987). Quant a la profunditat, les marmites són més profundes que amples, ja que quan aquestes augmenten la profunditat, sense fer-ho el diàmetre, l'energia cinètica del còdol en moviment es dissipa amb major facilitat. Les marmites poden



**Fig. 5.6** Conductes de subsòl al sector més terrestre del perfil de costa, (a) just acabats de desenterrar a les contrades de Punta Prima (Sant Lluís, Menorca) i (b) més evolucionats a Cala Murada (Manacor, Mallorca). El rocam d'ambdues localitats són calcàries algal del Miocè Superior.

presentar una evolució discontinua en el temps, en el sentit que, durant una tempesta, el clast que provoca l'erosió pot sortir disparat de la depressió. De la mateixa manera, també hi pot entrar nou material particular que activi de nou el procés. De fet, cal posar de manifest que qualsevol depressió que originàriament no fos una marmita, en el moment que s'ubica al seu interior un clast, que per l'acció de l'onatge desenvolupi una acció erosiva, passa a comportar-se com una marmita. Igualment, en perdre el clast, adquireixen preponderància altres processos com puguin ser els propis dels cocons (Fig. 5.6). Les marmites apareixen sobre substrats diferents sempre que es disposi de material abrasiu. Així, es coneixen referències de la presència d'aquestes formes sobre marbres (Holbie, 1989), granits (Trenhaile et al., 1999), materials volcànics (Sunamura, 1992) i eolianites quaternàries (Sanjaume, 1985). Val a dir que són freqüents exemples fossilitzats d'aquestes formes, tant per sobre com per sota del nivell marí actual (Gràcia i Vicens, 1998).

**Conductes de subsòl** – *soil dissolution tubes, tubules, shafts* (ang.); *criptolapiaz* (cast.).

Els conductes tubulars són formes de planta arrodonida, de profunditat força més gran que no el radi i que evolucionen en sentit gravitatori aprofitant les línies de debilitat de la roca. Les relacions entre els seus eixos són d'1 a 1 per a les dimensions en planta i d'1 a 2 respecte l'eix major i la profunditat. Les dimensions dels conductes varien de mínims de 4×4×9 cm fins a màxims de 26×26×50 cm. La forma vertical del conducte pot ésser sinuosa i, en molts casos, apareix amb sòls originals o d'erosió al seu interior. També es pot donar el cas de trobar-hi una gradació que va des de material al·locton (restes de *Posidonia oceanica*, bioclasts) a una potència

considerable de llims vermells. Les parets són suaus, amb evidents signes d'una dissolució homogènia facilitada per la cobertura edàfica (Fig. 5.6).

#### 5.4.2

*Formes lineals controlades per fractures*

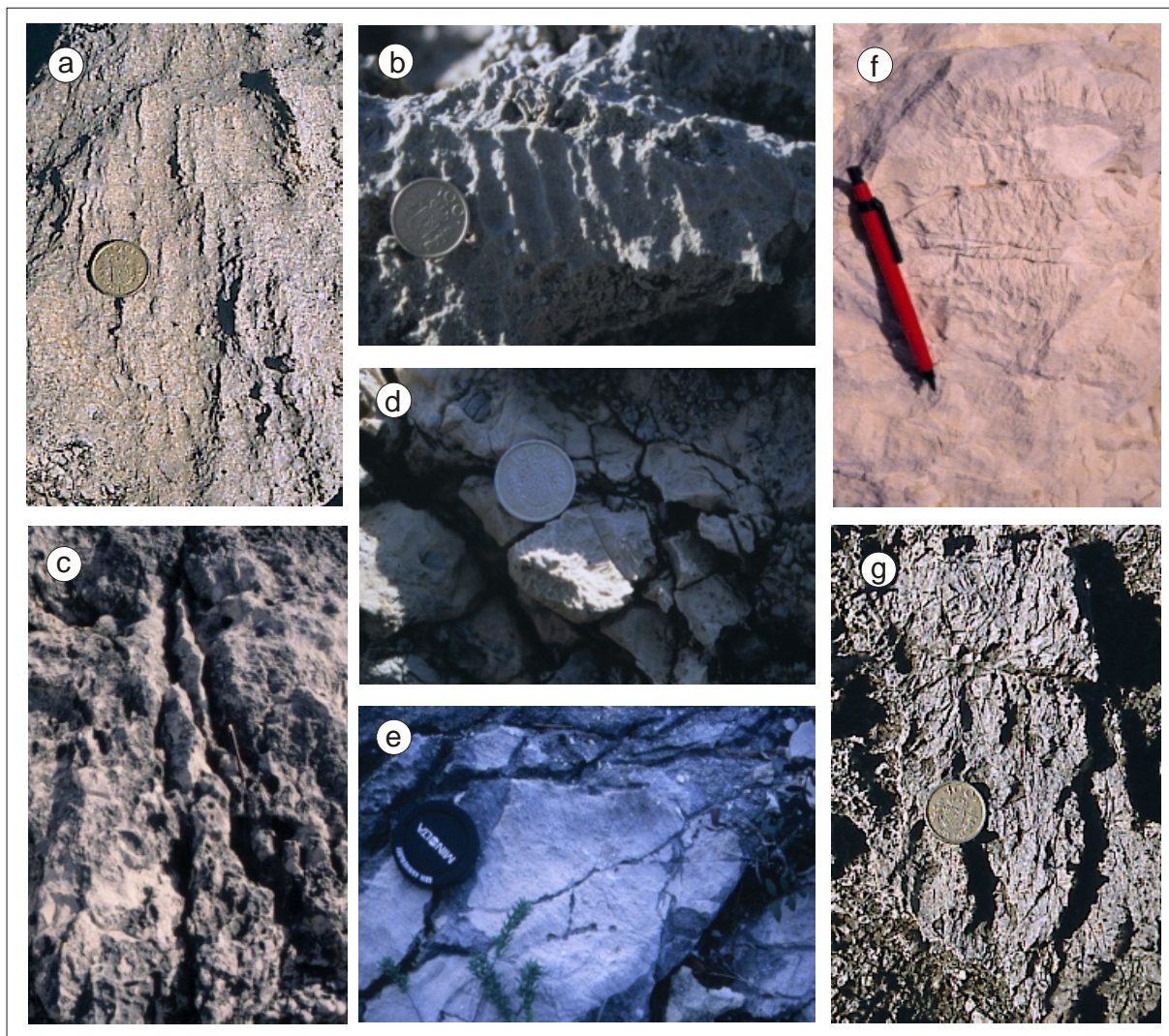
**Microfissures** – *microfissures* (ang.), *microfissuras* (cast.)

Les microfissures són formes lineals rectilínies, la direcció de les quals està governada per l'estratificació o les diàclasis del substrat. Són molt poc profundes (< 1cm) i la longitud pot ésser de varis centímetres. Són bàsicament formes de dissolució que aprofiten els plans de debilitat de la roca per desenvolupar-se. L'aigua que circula per les microfissures prové, bé de la pluja, bé de l'onatge (Fig. 5.7). Les microfissures, com bona part de les formes lineals, són presents al sector més terrestre del domini del ruixim (*spray*).

**Esquerdes** – *splitkarren, vein-guided solution fissures* (ang.)

Les esquerdes són depressions estretes, poc profundes i molt allargades que segueixen la direcció de les diàclasis. Aquestes morfologies oscil·len des de pocs centímetres fins a un parell de metres, tot i que la seva amplada no supera l'ordre centimètric. El mateix succeeix amb la profunditat (Ford i Williams, 1985). Quan sobre un substrat s'hi donen varies famílies de diàclasi, les esquerdes poden formar canals, aparentment, meandriformes (Fig. 5.7). A la dissolució preferent del pla de debilitat, també cal afegir-hi altres processos de meteorització, de caràcter biocàrstic, que contribueixen a l'evolució d'aquestes formes lineals. Les esquerdes destaquen sobre





**Fig. 5.7** Formes lineals. a i b) Estries desenvolupades sobre calcarenites del Miocè Superior (Cala Murada, Manacor, Mallorca) i bretxes juràsiques (Cala d'en Guixar, Calvià, Mallorca), respectivament. Observi's la forma en "u" i paral·lela dels canals. La primera de les fotografies correspon al domini del ruixim, mentre que la segona s'ubica a la zona d'esquits. c) Esquerdas amb longitud d'ordre mètric i amplada d'ordre cm, desenvolupades seguint la fracturació a la Punta des Sivinar (Santanyí, Mallorca). d) Microsolcs trenats presents sobre els clasts d'una bretxa. El clast és d'una textura més fina que no la matriu a Cala d'en Guixar (Calvià, Mallorca). e) Microsolcs desenvolupats sobre una superfície plana, que comencen a ésser desmantellats per petits microal·veòls. La textura de la roca és de tipus *mudstone*. Cala Murada (Manacor, Mallorca). f i g) Microfissures sobre calcàries mesozoiques i bretxes juràsiques a la Punta des Faralló (Cala Rajada, Capdepera, Mallorca) i a Cala d'en Guixar (Calvià, Mallorca), respectivament.

aquelles superfícies lleugerament inclinades cap a la mar i allà on els sistemes de cocons no estan ben desenvolupats.

#### 5.4.3

##### *Formes lineals controlades per hidrodinamisme*

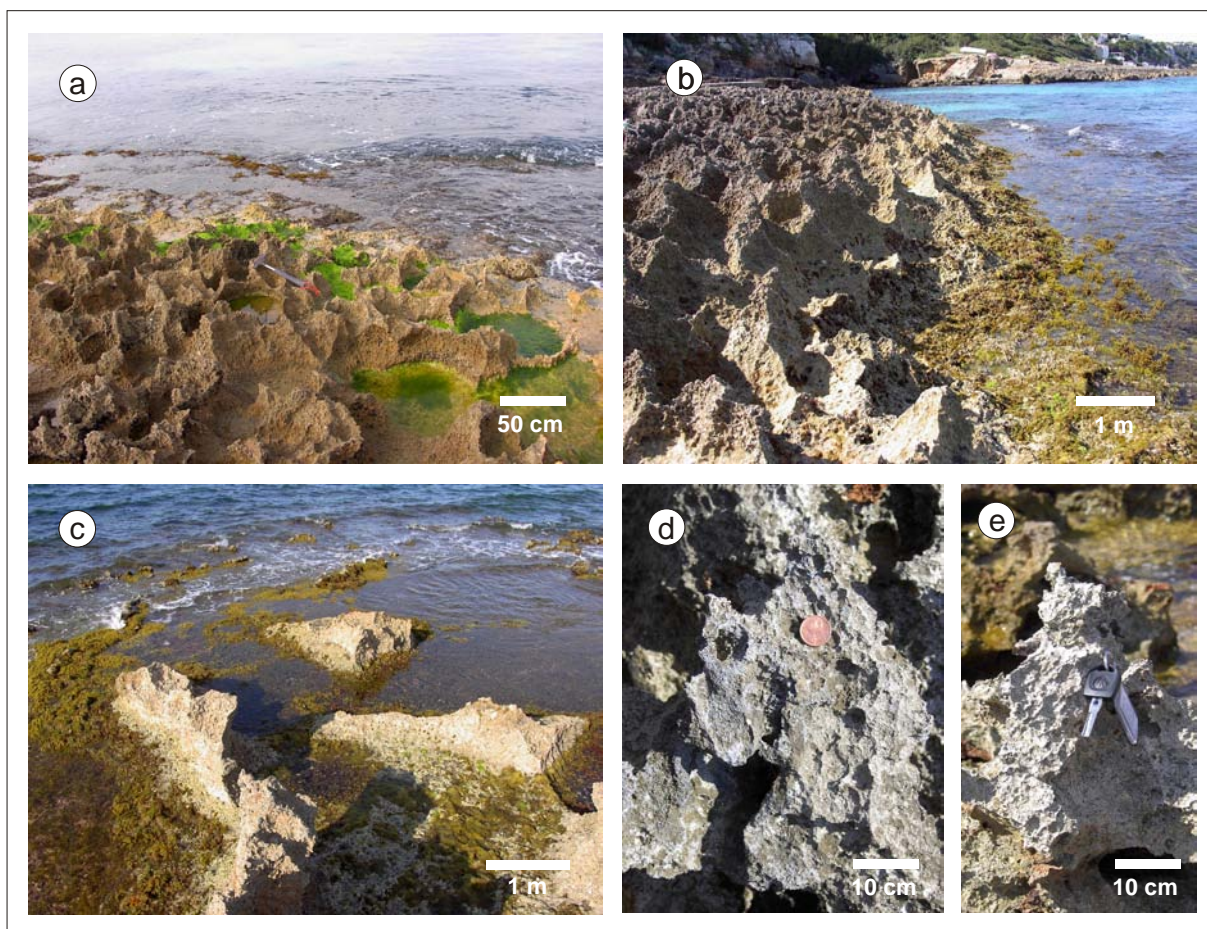
##### **Microsolcs microrills, rillenstein** (ang.)

Els microsolcs són formes lineals l'amplada dels quals sol ésser d'1 mm i molt poc profunds. Així com les microfissures tenen un fons angulós i abrupte, els microsolcs el presenten més suau i arrodonit. Són sinuosos i, fins i tot, trenats sobre superfícies subhorizontals que esdevenen rectes amb l'increment del pendent (Fig. 5.7). Es localitzen únicament a la

zona afectada pel ruixim de l'onatge i sobre superfícies de textura molt fina i homogènia. Ford i Williams (1989) atribueixen la gènesi d'aquesta morfologia als fluxos d'aigua per capil·laritat i destaquen el paper que puguin tenir les rosades o les pel·lícules primes d'aigua com a agents de meteorització.

A ambients litorals, aquesta particular morfologia també ha estat identificada per Ford i Lundberg (1987) al supralitoral calcari de l'illa de Vancouver (Canadà) i, per la seva banda, Ginés (1993) també ha identificat aquestes formes a les costes de l'arxipèlag de Cabrera.

L'aparença dels microsolcs, encara que aquest aspecte no ha estat abordat en profunditat, recorda els processos que es donen a zones àrides, com el sud de



**Fig. 5.8** Pinacles. a) Pinacles aïllats just a tocar de la plataforma litoral i d'altres que encara estan units a les seves bases a Cala Agulla (Capdepera, Mallorca). b) El desenvolupament dels pinacles, en aquest cas sobre eolianites quaternàries, dóna lloc a topònims com la Punta de ses Punxes (Cala Blava, Lluçmajor, Mallorca). c) Pinacles aïllats a la Punta de Tacàritx (Alcúdia, Mallorca). d i e) Detall dels microalvèols superposats a la forma piramidal dels pinacles al Far de Ciutadella i Punta Prima (Menorca). Observi's la manca d'orientació preferent dels microalvèols.

Tunísia, on es consideren les microformes lineals com a relictos (tot i que força recents), fruit d'unes condicions més humides (Smith *et al.*, 2000).

**Estries** *rillenkarren*, *solution flutes* (ang.), *cannelures* (fr.); *estrías de lapiaz* (cast.)

Les estries són canals de fons arrodonit i parets fines organitzades de forma paral·lela que es disposen des de la cresta d'una roca llisa i disminueixen la seva profunditat fins a desaparèixer pendent avall (Ford i Lundberg, 1987). Les estries es caracteritzen per mantenir una amplada més o menys constant a cada localitat (entre 1,2 i 2,1 cm a la Serra de Tramuntana de Mallorca), mentre que la longitud varia en funció d'un gradient relacionat amb les temperatures i la pluviometria (Ginés, 1996). Els processos que intervenen en la seva formació són, bàsicament, la dissolució provocada per l'aigua de precipitació i l'acció derivada del metabolisme de líquens i cianòfits que entapissen la roca (Fiol *et al.* 1996). No hi ha gaire informació sobre

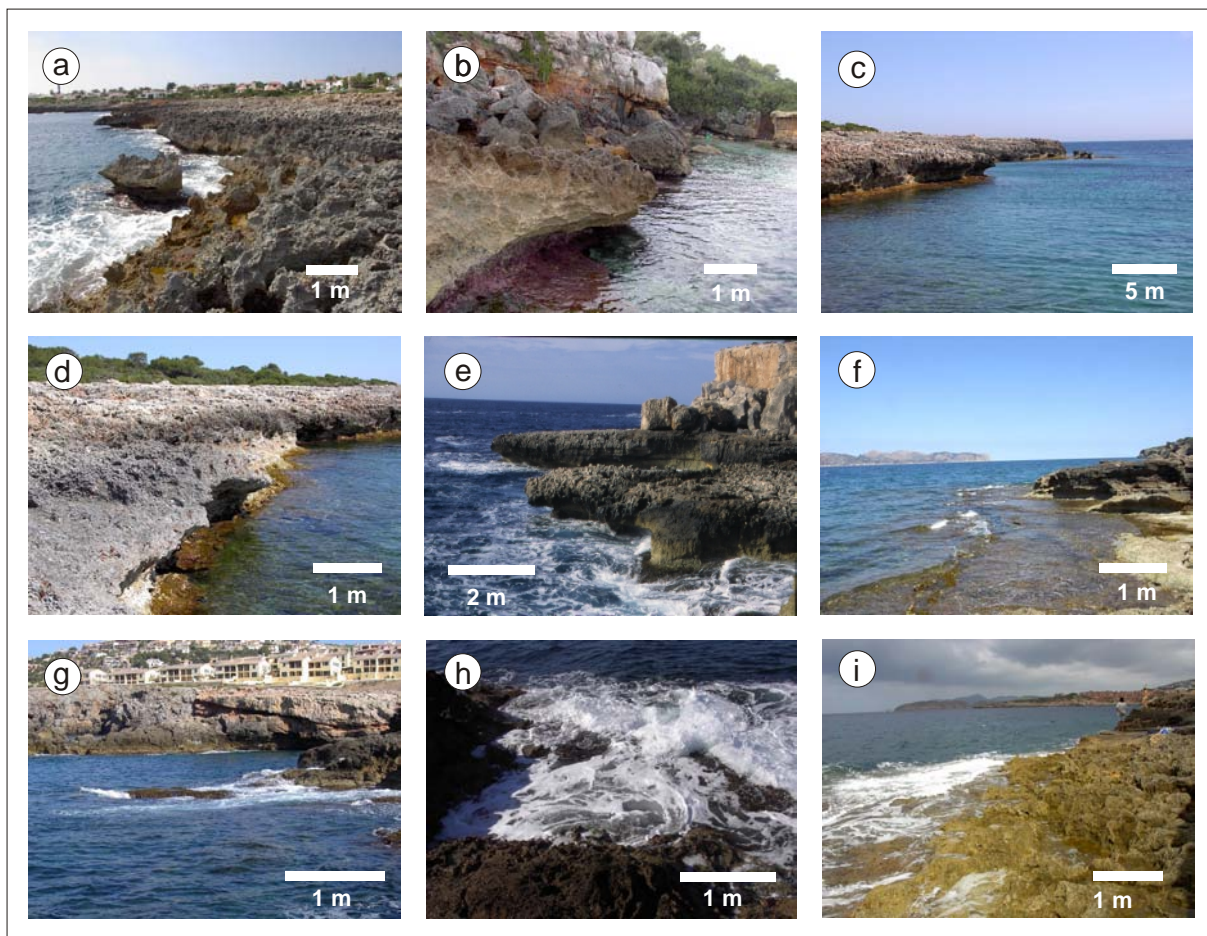
el desenvolupament d'aquesta forma en els conjunts de *karren* litoral, llevat dels estudis de Miller i Mason (1994) al sud de Sudàfrica, on s'hi desenvolupen sobre dipòsits de platja i eolianites quaternàries (Fig. 5.7).

**Canals de decantació** *solution runnels*, *wandkarren*, *wall karren* (ang.),

Aquesta és una morfologia poc comuna en el *karren* litoral. Es tracta de canals amb una amplada que supera el cm, paral·lels entre ells. Es disposen sobre l'extraplom de cocons que han aprofitat l'estructura de la roca per desenvolupar-se, de manera que actuen com a col·lectors de l'aigua cap a l'interior dels cocons.

5.4.4  
*Formes poligenètiques*

**Pinacles** - *spitzkarren*, *pinnacles* (angl., fr.), *aguja* (cast.)



**Fig. 5.9** *Notchs, trottoirs i plataformes.* a) *Notchs* tallats a les calcàries algals del Miocè Superior al Cap d'Artrutx (Ciutadella, Menorca). b) *Notch* amb relleix biogènic, *trottoir*, a la seva base proper al Cap Enderrocat (Llucmajor, Mallorca). c i d) Perfils de *notch* i plataforma i *notch* i *trottoir* a la Punta de n'Amer afectant calcàries del Miocè Superior (Sant Llorenç, Mallorca). e) *Notchs* de grans dimensions als sortints d'un sector de costa ben articulada a la Punta des Sivinàr (Santanyí, Mallorca). f) Plataforma litoral de 5 m d'amplària tallada sobre eolianites quaternàries a la Punta Llarga (Alcúdia, Mallorca). g i h) Plataforma litoral amb amplàries de 3 a 7 m tallada sobre les bretxes plegades del Retià a la Cala d'en Guixar (Calvià, Mallorca). i) Plataforma litoral de 4 a 6 m d'amplària sobre calcàries del Miocè Superior entre les Penyes Roges i el Banc d'Eivissa (Calvià, Mallorca).

Els pinacles són cossos de roca de forma piramidal aïllats els uns dels altres. Les dimensions són força variables i depenen de factors molt locals (Ley, 1979). Els pinacles apareixen a la transició entre la zona d'estopeig de l'onatge i el domini dels esquits. En general, els pinacles tenen una aparença molt esponjosa perquè estan completament entapissats per microalvèols sense cap tipus d'orientació preferent (Fig. 5.8). D'altra banda, les seves arestes són molt abruptes.

Els pinacles s'entenen com el relleu residual d'una superfície prèvia que ha estat desmantellada per la meteorització física i química durant la formació dels cocons (Miller i Mason, 1994; Sunamura, 1992). De fet, és molt comú observar a l'interior dels cocons restes dels nodes que comunicaven un grup de cocons coalescents i que, amb el temps, han quedat aïllats deixant un testimoni en forma de piràmide, de pinacle. Trudgill (1979), Folk *et al.* (1973) i Jones (1989) atribueixen la gènesi dels pinacles a l'erosió diferencial i a l'alteració biològica, especialment pel que fa al microrelleu

superposat a la forma piramidal. Moses (2003) hi lliga la meteorització per sals.

**Notch, balma, entalladura** *notch, groove, nip, surf-notch* (ang.); *encorbellement, encoche, entaille* (fr.); *entalladura* (cast.)

Un *notch* és una indentació, de pocs centímetres a bastants metres, tallada a la costa rocosa en el vessant que dona al mar. Els *notchs* varien en mida, forma i relleu superficial i poden aparèixer a diferents nivells i desenvolupar-se arran de diferents processos (Pirazzoli, 1986).

El desenvolupament dels *notchs* pot ésser atribuït a varis processos de meteorització, químics, mecànics i biològics. L'acció mecànica, per l'efecte erosiu de l'onatge o l'impacte del material solt que aquest arrossega, es reconeix en el *notch* per una superfície de la roca polida; llavors es parla d'un *notch* d'abrasió (Trenhaile *et al.* 1998). Cal separar-los d'aquells que

també s'han format per l'acció impactant, tot i que afavorits per la disposició estructural (*notchs* estructurals). Quan els que dominen són els processos de meteorització química i l'acció dels organismes, es classifiquen com a *notch* de corrosió (Higgins, 1980; Rust i Kershaw, 2000) o de bioerosió (Abesnperg-Traun *et al.*, 1990; Hodgkin, 1970; Pirazzoli & Salvat, 1992), en funció de la preponderància dels processos.

**Plataformes litorals** – *shore platform* (ang.), *platier rocheux*, *trottoir rocheux* (fr.), *plataforma litoral*, *acera* (cast.)

Les plataformes litorals són superfícies d'erosió subhorizontals, d'extensió variable en funció de l'exposició i les característiques del substrat sobre el qual es desenvolupen, de més a més d'una important component relacionada amb les condicions oceanogràfiques (Trehale, 2002 i 2004b). Els processos que intervenen en la seva formació són variats i van des de l'acció mecànica de l'onatge fins a la meteorització química i l'acció bioerosiva (Stephenson, 2000).

**Trottoirs** – *Trottoir*, *surf benches*, *armoured rim*, *bioherm*, *organic crust* (angl.); *trottoir*, *banquette*, *trottoir construit* (fr.); *acera* (cast.)

El *trottoir* és una construcció biogènica produïda principalment per algues calcàries i vermètids (Kershaw, 2000). Es disposa sobre la costa o adossada a la costa rocosa des de pocs mm per sobre el nivell del mar a uns quants cm per sota (Fig.5.9). Està condicionat per l'abast de la cavitació de l'onatge, que és un dels mecanismes més importants d'aportació de l'oxigen i dels nutrients que requereixen aquestes comunitats (Focke, 1978). Pot arribar a tenir gruixos considerables i desenvolupa, paral·lelament, una acció de protecció de la roca que entapissa. A la vegada, també facilita el desplaçament de l'onatge cap a dins del perfil de costa, alhora que els propis organismes realitzen accions d'erosió (Nunn, 1993), tant mecàniques com químiques.

Els *trottoirs*, atès que la seva distribució està estretament lligada al nivell marí, són uns bons indicadors de les oscil·lacions quaternàries (Pirazzoli & Salvat, 1992).

**Bufadors** – *blowhole* (ang.); *cheminée de jaillissement*, *soufflard* (fr.); *bufadero*, *bufón*, *sopladero* (cast.)

Els bufadors són conductes de morfologia molt variada que, aprofitant els plans de debilitat, connecten la superfície de la costa amb cavitats

obertes a la mar o amb la base de la balma, de manera que quan l'onatge estopeja la costa desplaça l'aire i l'aigua a través de la fissura, com si es tractàs d'un guèiser.

## 5.5 Distribució i organització del *karren* litoral a Mallorca i al Migjorn de Menorca

Un periple marítim en sentit antihorari permetrà, primer, identificar i analitzar el micromodelat de les costes rocoses carbonatades de Mallorca, per passar després a les del Migjorn de Menorca.

### 5.5.1 Cala d'en Guixar (CG)

La Cala d'en Guixar, un sector de costa entre les localitats d'El Toro i Santa Ponça (Calvià), representa un dels enclavaments de contacte més occidental i meridional de la Serra de Tramuntana amb la mar. A la localitat d'estudi, hi afloren bretxes carbonatades plegades del Retià, sobre les quals hi descansa un paquet potent de paleosòls, ventalls al·luvials i dipòsits d'interferència entre processos col·luvials, al·luvials i sistemes dunars que, amb tota probabilitat, corresponen a la transició Pliocè – Quaternari (Rohdenburg & Sabelberg, 1973). S'adossen a la costa, i sobre els materials anteriors, un seguit de dunes grimpadores quaternàries per criteri estratigràfic de l'estadi isotòpic 3-4 que, desventrades per la mar o per l'explotació com a pedreres, ofereixen un paisatge ben interessant de la costa. Es tracta d'un sector de costa ben articulada, amb nombrosos entrants i sortints que aprofiten l'estructura i plegament del rocam, fet pel qual són abundants els exemples de coves marines.

A la Cala d'en Guixar s'hi han estudiat dos perfils de costa. Un sobre les bretxes del Retià i l'altre sobre eolianites quaternàries que permet comparar els efectes de la litologia i de la fracturació sobre les formes del rascler litoral (Fig. 5.10).

#### 5.5.1.1 Perfil sobre bretxes

El primer dels perfils està tallat sobre bretxes dolomítiques plegades del Retià, poc poroses (6,2%) i amb valors de rebot de l'escleròmetre de 58,8, per la qual cosa a l'escala de Selby entrarien a la categoria de roques dures. Pel que fa a la fracturació, la línia de costa la defineixen dos conjunts de fractures de direcció 090° i 165°. La primera delimita les alineacions paral·leles a la línia de costa i la segona els entrants, més o menys perpendiculars. Se n'han identificat dues famílies més, de fractures, tot i que de

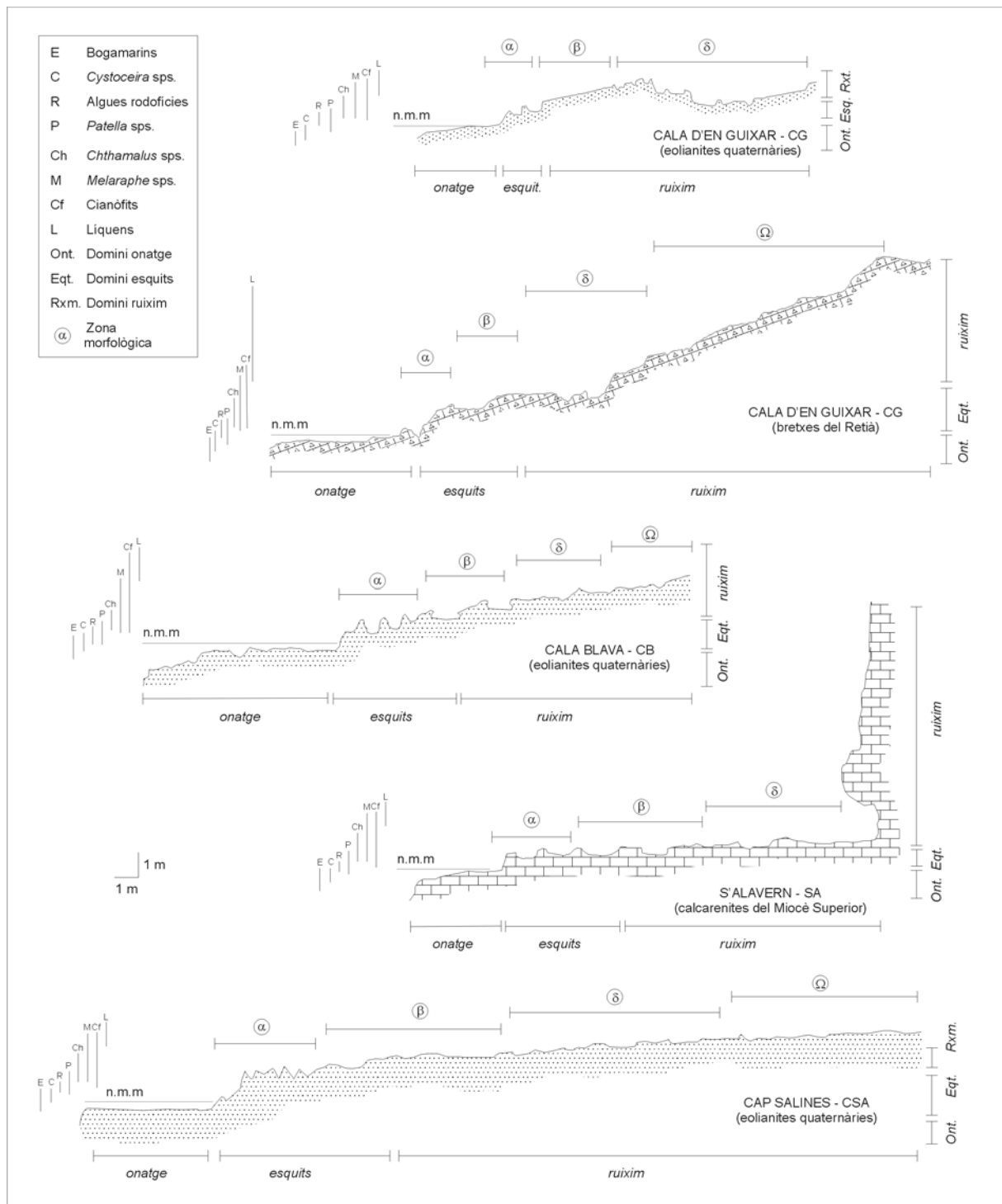


Fig. 5.10 Zonació morfològica, biològica i hidrodinàmica dels perfils estudiats a Mallorca. Localització dels perfils a la figura 1.

menor importància, amb direccions al voltant de  $065^\circ$  i  $010^\circ$ . L'alçària mitjana significant de les onades a la zona, a mar oberta, és de 1,15 m amb màxims de 2,20 m. Les tempestes i vents dominants són de SW.

El perfil on s'ha procedit a la mesura de les formes de planta arrodonida té una longitud de 22 m i una alçària de 6 m, des del punt on la plataforma litoral trenca la seva component horitzontal, fins al punt on

apareixen els primers exemplars de *Limonium* spp.

Des d'un punt de vista morfològic, al perfil, s'hi distingeixen un mínim de cinc zones. La primera, de mar cap a terra, correspondria a la **plataforma litoral**. Aquesta té una amplària mitjana de 3,15 m, tot i que arriba a màxims de 4,23 m, amb un pendent mitjà de  $0,88^\circ$ . Es tracta d'una superfície subhoritzontal completament coberta per una pàtina biològica

d'algues vermelles i organismes incrustants que, juntament amb els pradells d'algues com *Cystoceria sp.* o els esculls de musclos (*Mytilus edulis*), esmorteixen l'acció de les onades que rompen a la plataforma i protegeixen la plataforma de la seva acció erosiva. L'aparença de la superfície de la plataforma és suau i tan sols es veu trencada per les depressions dels bogamarins (*P. lividus* i *A. lixula*) i també per alguna marmita. Els blocs de les marmites sotaiguades són fragments arrabassats dels nivells al·luvials i dels encrostaments quaternaris que romanen per sobre les bretxes del Retià terra endins. No s'aprecia la presència de *notchs* al contacte entre la plataforma i la part emergida de la costa rocosa, així com tampoc als sectors de les bretxes del Retià que cauen a plom mar endins.

El segon segment del perfil (**zona  $\alpha$** ) el delimita la presència d'un microrelleu rugós sobre les parets verticals i els replans, de poca entitat -20 a 80 cm d'alçària-, sobre els quals abunden al·vèols i microal·vèols lligats a l'activitat bioerosiva de *Patella rustica* i *Patella caerulea* i dels cianòfits. És una zona relativament estreta, de poc més d'1 m d'amplària. En la seva transició amb el primer sector, on apareixen els cocons, hi destaquen depressions bioconstruïdes per crustacis filtradors com *Chthamalus stellatus*, allà on, en altres perfils, hi trobam pinacles. Les seves dimensions són variades i sovint venen condicionades per les esquerdes que s'organitzen a mode *trittkarren*. Aquests cocons són de planta circular o allargada i no superen els 20 cm d'eix major i el 10 cm de profunditat.

El tercer sector (**zona  $\beta$** ) queda clarament delimitat per una densitat elevada de cocons, dels quals la característica més evident és la seva coalescència (Taula 5.2). El 81,25% de les depressions mesurades en aquest domini estan desventrades en el seu flanc marí. O bé han perdut la paret que els separa d'altres individus, o en mantenen una cresta prou baixa com perquè, amb determinats volums d'aigua, sols es puguin individualitzar els cocons en base a l'arrodoniment o al tancament de la seva planta. Aquí els cocons tenen unes dimensions mitjanes de llargària de 30,30 cm, amb màxims de 214 cm i una relació de 2 a 1, pel que fa a la llargària i l'amplària, i de 5 a 1, pel que fa a la llargària i la profunditat. La fondària dels cocons a la zona  $\beta$  gira al voltant dels 6 o 7 cm, tot i que hi ha màxims de 33 cm. La majoria dels cocons tenen una planta el·líptica, o bé rectangular i els seus límits són rectes arran de la fracturació que, en un 75% del casos, lliga la presència dels cocons a la intersecció de dues diàclasis.

El quart domini (**zona  $\delta$** ) té una aparença més suau. Els cocons continuen essent les formes dominants, tot i que, respecte a l'anterior sector, hi apareixen en major proporció els cocons tancats (37,5%) i en

disminueixen els connectats sense perdre la seva important presència (62,5%). Per cocons tancats cal entendre aquells que comparteixen carenes o parets amb d'altres, però són independents els uns respecte dels altres, de manera que no hi ha un transvasament d'aigua entre cocons veïnats. Les dimensions mitjanes són lleugerament superiors, 37 cm de llargària, 21 cm d'amplària i 10 cm de profunditat. No obstant això, el caràcter rectangular (50%), els límits rectilinis de les depressions (69%), juntament amb la mateixa presència dels cocons (75%) ve condicionat per l'encreuament de les diàclasis (Taula 5.2). Les superfícies que queden entre cocons presenten un microrelleu on abunden els microal·vèols a les superfícies planes, a més a més de l'eixamplament d'esquerdes per dissolució.

Finalment, el cinquè dels sectors (**zona  $\Omega$** ) coincideix amb el canvi més bruscat de pendent del perfil, devers 3 m d'altura respecte el zero relatiu del perfil. Als replans, encara hi apareixen alguns cocons, encara que quasi exclusivament tancats (81%) i aïllats els uns dels altres, sense compartir envans. Les dimensions mitjanes de les depressions, així com les màxims, són menors respecte dels segments anteriors. Així, els seus valors són de 28,60 cm de llargària mitjana. Els màxims arriben als 59 cm. Mentre la relació de llargària i profunditat és similar a la de les altres zones, també s'acusa una disminució de l'eix menor dels cocons, ja que la relació de llargària i profunditat és d'1,47 a 1. A diferència de les zones anteriors i malgrat la textura de la roca, els cocons de la zona  $\Omega$ , en un 81 % dels casos, tenen el fons pla. El paper del control de les diàclasis és palès una vegada més, el 69% de les depressions són rectangulars i, en més d'un 75% de les observacions, els límits són rectes i responen a la presència de la pròpia diàclasi o a la intersecció de dues. Cal destacar la presència de formes lineals de control hidrodinàmic, en particular d'estries (*rillenkarren*) en alguns sectors, o crestes entre esquerdes de la superfície rocosa, així com també de microsolcs sobre els clasts de gra molt fi de les bretxes.

#### 5.5.1.2 Perfil sobre eolianites

El segon dels perfils estudiats a la Cala d'en Guixar està tallat sobre un pegat d'eolianites carbonatades quaternàries ubicat en el cul d'un petit entrant de la línia de costa. Des d'un punt de vista petrològic, ens trobam davant d'una biocalcarenita, ben classificada, i amb una marcada laminació per l'alternança d'arenas mitjanes i fines. Es tracta d'una roca poc cimentada, i molt porosa (24,25%), amb uns valors de rebot d'escleròmetre (28,6) que correspon a la categoria de roca poc resistent. L'alçària mitjana significant de les onades, a mar oberta, és d'1,15 m amb màxims de 2,20 m. Les tempestes i vents de SW són dominants. Respecte el perfil anterior, tenen una orientació

Litologia perfils		Cala d'En Guixar					Cala Blava			S'Alavern		Cap Salines		
		Bretxes carbonatades (Retià)			Eolianites carbonatades (Quaternari)		Eolianites carbonatades (Quaternari)			Calclutites (Miocè Superior)		Eolianites carbonatades (Quaternari)		
Zonació morfològica		$\beta$	$\delta$	$\omega$	$\beta$	$\delta$	$\beta$	$\delta$	$\omega$	$\beta$	$\delta$	$\beta$	$\delta$	$\omega$
Llargària (cm)	Mitjana	30,30	36,90	28,60	31,60	51,20	57,50	75,60	47,50	27,40	25,30	120,40	91,40	101,30
	SD	50,90	43,80	15,20	18,30	58,10	15,60	17,20	13,60	12,70	17,20	41,70	52,20	52,50
	Mínim	4,50	9,00	7,00	10,00	12,00	38,00	40,00	31,00	8,00	7,00	70,00	33,00	32,00
	Màxim	214,00	189,50	59,00	70,00	204,00	80,00	105,00	65,00	61,00	70,00	204,00	225,00	190,00
Amplària (cm)	Mitjana	12,40	20,60	21,60	25,80	34,60	43,80	46,90	35,10	20,30	17,40	86,90	50,70	69,90
	SD	15,30	29,40	13,10	16,60	35,90	15,60	17,60	16,00	9,40	10,60	29,90	36,50	32,40
	Mínim	2,50	7,00	3,50	9,00	9,00	29,00	10,00	17,00	7,00	6,00	50,00	16,00	22,00
	Màxim	66,50	128,00	43,00	70,00	120,00	71,00	75,00	70,00	38,00	46,00	144,00	150,00	130,00
Fondària (cm)	Mitjana	6,30	10,40	7,30	22,70	14,30	25,30	26,30	25,20	17,50	13,60	32,70	18,80	15,50
	SD	8,20	7,20	3,40	12,10	9,00	4,67	4,60	8,20	7,60	8,50	14,70	7,30	3,30
	Mínim	1,00	2,80	1,00	5,00	4,00	17,00	18,00	15,00	6,00	4,00	15,00	10,00	10,00
	Màxim	33,20	28,00	13,00	55,00	30,00	33,00	34,00	42,00	33,50	31,00	67,00	30,00	20,00
Llargària vs. amplària	Mitjana	2,18	2,04	1,47	1,24	1,47	1,36	2,06	1,46	1,39	1,42	1,40	1,91	1,47
	SD	1,02	0,91	0,41	0,28	0,37	0,30	1,76	0,40	0,43	0,34	0,24	0,40	0,35
	Mínim	1,06	0,92	0,90	0,79	1,00	1,09	1,14	0,90	1,04	1,00	1,03	1,43	0,76
	Màxim	5,00	4,38	2,55	1,95	2,42	2,08	7,00	2,10	2,54	2,26	1,75	2,55	2,13
Llargària vs. fondària	Mitjana	5,04	3,69	4,30	2,01	3,70	2,31	2,90	1,93	1,65	1,92	3,99	5,09	6,31
	SD	2,36	2,59	2,08	1,86	2,31	0,61	0,62	0,34	0,67	0,73	1,38	2,27	2,59
	Mínim	2,11	1,25	1,50	0,33	0,40	1,31	1,90	1,43	0,88	0,96	2,09	2,00	3,20
	Màxim	8,80	8,97	10,00	6,86	8,16	3,33	4,06	2,52	4,29	4,63	6,73	8,33	11,33
Obertura (%)	Obert	81,25	62,5	18,75	64,71	29,41	70,00	80,00	-	80,00	13,33	100,00	20,00	0,00
	Tancat	12,5	37,5	81,25	35,29	70,59	30,00	20,00	100,00	20,00	86,67	-	80,00	100,00
Forma (%)	Circular	6,25	-	-	76,47	76,47	60,00	40,00	20,00	33,33	43,33	20,00	30,00	10,00
	Rectangular	37,50	75,00	68,75	-	-	-	-	10,00	6,67	13,33	10,00	10,00	50,00
	Triangular	12,50	6,25	12,50	5,88	5,88	30,00	20,00	30,00	10,00	23,33	10,00	10,00	10,00
	Allargat	25,00	6,25	6,25	5,88	0,00	10,00	20,00	30,00	33,33	13,33	40,00	40,00	20,00
	Irregular	25,00	12,50	12,50	11,76	17,65	0,00	20,00	10,00	16,67	6,67	20,00	10,00	10,00
Límits (%)	Rectes	75,00	68,75	75,00	-	5,88	10,00	10,00	40,00	-	6,67	20,00	20,00	60,00
	Sinuosos	-	6,25	12,50	88,24	88,24	50,00	40,00	40,00	53,33	70,00	20,00	50,00	20,00
	Indentacions	12,50	18,75	6,25	11,76	-	-	-	-	10,00	16,67	10,00	-	-
	Mixtos	12,50	6,25	6,25	-	5,88	40,00	50,00	20,00	36,67	6,67	50,00	30,00	20,00
Fons (%)	Pla	6,25	62,50	81,25	23,53	82,35	-	60,00	10,00	6,67	76,67	-	90,00	90,00
	Rugós	68,75	37,50	18,75	64,71	11,76	90,00	10,00	90,00	76,67	23,33	80,00	-	-
	Crestes	25,00	6,250	-	11,76	5,88	10,00	30,00	-	16,67	-	20,00	10,00	10,00
Relació amb fractures (%)	Seguint-ne 1	12,50	25,00	37,50	23,53	47,06	20,00	20,00	50,00	10,00	16,67	20,00	40,00	-
	Paral·lel a 2	-	-	-	-	11,76	-	-	-	70,00	-	-	20,00	20,00
	Intersecció 2	75,00	25,00	50,00	76,47	35,29	70,00	70,00	40,00	20,00	76,67	20,00	30,00	50,00
	Intersec. > 2	12,50	50,00	12,50	-	-	10,00	10,00	10,00	-	3,33	60,00	10,00	30,00

Taula 5.2 Paràmetres morfomètrics dels cocons de Cala d'en Guixar a Cap Salines.

paral·lela, si bé el primer es troba a un sortint de la costa i el de les eolianites a una entrada.

El perfil té una longitud de 12 m i una alçària de 3 m des del trencament de la plataforma litoral fins allà on acaba l'aflorament d'eolianita i torna a aparèixer la bretxa retiana. La forma del perfil està controlada per la geometria i la disposició de l'estratificació del pegat de duna (Fig. 5.10).

Del perfil sobre eolianites, en podem separar quatre zones en funció de la distribució de les formes. La primera d'elles, de mar cap a terra, és el mòdul que defineix la **plataforma litoral**. Com en el cas anterior, es tracta d'una superfície subhoritzontal de 4,69 m d'amplària i rost mitjà de 0,78°, entapissada

per una pàtina d'algues rodofícies sobre la qual hi descansa una comunitat d'algues verdes. La comunitat de bogamarins és més important i dona com a resultat un major nombre de depressions i una superfície més rugosa. Tot i que al perfil estudiat no hi ha *notch*, sí que als afloraments d'eolianites quaternàries més arcerats es troben exemples de dimensions considerables, gairebé sempre associats a *trottoirs*.

Just per sobre del nivell superior de la *Cystoceira sp.*, a la **zona  $\alpha$** , hi apareixen cossos piramidals d'eolianita de 24 a 76 cm d'alçària, als quals se superposa una xarxa de microalvèols amb diàmetres al voltant de 0,5 cm o inferiors. Així com s'avança cap a terra, els pinacles estan units a la seva base per cordons o crestes que, en alguns casos, arriben a individualitzar

algun cocó. A les parets verticals dels pinacles, s'hi troben *Chthamallus stellatus*, *C. depressus* i *Melaraphe neritoides*, mentre que als espais plans entre pinacles hi ha un nombre considerable d'exemplars de *Patella caerulea* i *P. rustica*. A grans trets, la superfície entre cocons no és gaire accidentada, tot i que s'hi poden apreciar les depressions associades a l'acció brostejadora de les pegellides.

El següent sector, **zona  $\beta$** , a 3 m del zero relatiu del perfil, es caracteritza per la presència de cocons que estan connectats o bé que comparteixen envans. Fins i tot, algun dels envans presenta un grau tan elevat d'evolució que recorda els pinacles. Les dimensions mitjanes dels cocons en aquesta zona són de 31,60 cm de llargària, prop de 26 cm d'amplària i 22,70 cm de profunditat (Taula 5.2). Les dimensions màximes que s'hi registren són de 70 cm de llargària. A diferència de l'altre perfil, les relacions entre paràmetres morfològics són menors. Així es pot parlar de formes lleugerament aplanades, ja que la llargària i l'amplària mantenen proporcions d'1,24 a 1 i, respecte de les de profunditat, de 2 a 1. En la seva majoria, els cocons de la zona estan oberts (64,71%) i presenten una planta circular (76,47%) i límits sinuosos (88,24%), a diferència del perfil sobre bretxes retianes, fet que remarca l'escàs control que exerceix la fracturació sobre el pegat d'eolianites quaternàries. El fons dels cocons és rugós (64,71%) i, en aquells connectats i amb plantes irregulars, s'hi observa la presència de crestes com a testimoni d'antics envans.

El darrer sector del perfil, **zona  $\delta$** , el defineixen una vegada més els cocons, tot i que aquest cop en destaca que no estan connectats i que romanen aïllats els uns respecte dels altres. Així, el 70,59% de les observacions corresponen a depressions tancades, les dimensions de les quals són lleugerament superiors a les de la zona anterior. La llargària mitjana arriba als 51,20 cm amb màxims de 204 cm, mentre que la mitjana de profunditat és de 14,30 cm. Així les relacions entre llargària i amplària se situen al voltant d'1,47 i les de llargària i profunditat ho fan a 3,70. Existeix certa organització en la disposició de les formes. Un mínim del 50% de les observacions segueix la mateixa alineació pel que fa al seu eix major. El fons dels cocons és pla i a les seves parets s'hi observa una important presència de *Melaraphe neritoides*.

### 5.5.2

#### *Cala Blava (CB)*

El perfil es troba a la badia de Palma, a un sector de costa comprès entre el caló de s'Almadrava i la Punta de ses Punxes, en referència a l'abassegadora presència de les formes de *karren* litoral. Es tracta d'un conjunt de dunes quaternàries que es disposen

sobre el substrat Miocè. Aquest apareix en algunes raconades, rere la rampa a la qual dona cos la duna fòssil, així com ens apropam al Cap Enderroc.

El perfil està modelat sobre eolianites quaternàries atribuïdes al Tirrenià (Cuerda i Sacarès, 1992) i es perllonga al voltant de 18 m des de la caiguda a plom de la plataforma litoral, en el seu límit exterior, fins a les primeres cases aixecades arran de mar. La diferència d'altura és de 3 m (Fig. 5.10).

Hi aflora una arenisca bioclàstica formada, principalment, per grans formats per fragments d'algues vermelles, bivalves i gastròpodes, ben classificada i molt porosa (26,32%). L'alçària mitjana significant de les onades, en mar oberta, és d'1,25 m amb màxims de 2,40 m. La direcció predominant de mar i de tempestes és de SW, motiu pel qual el perfil queda arrecerat arran de la seva posició al flanc oriental de la badia de Palma.

El caló de s'Almadrava destaca pel desenvolupament de la **plataforma litoral**, de 2,5 a 6 m d'amplària en els sortints i que descomparaix a les entrades de la línia de costa. El pendent és suau, al voltant de 0,34°. Com passa a la Cala d'en Guixar, la comunitat biològica, a la vegada que redueix l'efecte de les onades per la rugositat que suposa tota la vegetació i la protecció de la superfície rocosa per la pàtina coral·lígena, trasllada perfil amunt el que queda de l'energia de l'ona. No hi abunden les depressions de bogamarins, com tampoc no hi ha marmites sobre la plataforma litoral sotaiguada.

Just de passada la plataforma, a la **zona  $\alpha$** , ens trobam amb un conjunt de pinacles aïllats de dimensions considerables. Els cossos piramidals s'alcen entre 27 i 58 cm amb un ventall de formes –de més cilíndriques a més anguloses– prou variat. S'hi superposa un microrelleu d'alvèols i microalvèols que confereix una estructura esponjosa. Val a dir que just a la transició entre la plataforma i els pinacles, les superfícies horitzontals ofereixen una rugositat ben accentuada lligada a les depressions de les pegellides. També hi trobam alguna depressió d'envans bioconstruïts per *C. stellatus* d'ordre centimètric.

Hi segueix una franja de 3 m on cocons i pinacles, més o menys ben definits, són l'atribut més evident de la **zona  $\beta$** . Les depressions són de dimensions mitjanes, al voltant dels 60 cm de llargària i els 25,30 cm de profunditat, amb relacions entre els eixos en planta d'1,36 a 1 i en planta respecte la vertical de 2,31 a 1 (Taula 5.2). No hi ha cap cocó que depassi el metre de llargària i un 70% de les observacions corresponen a cocons que estan oberts, en connexió. Alguns (10%) encara conserven restes dels envans que els separaven a mode de petites crestes en el seu interior. La planta dels cocons en aquesta zona és circular (60%) o triangular, tot i que no hi ha un



diaclasament dominant que, de més a més, per la forma dels cocons, també es manifesta pel desenvolupament de les depressions, coincidint en l'encreuament de dues diàclasis (70% de les observacions). També hi trobam marmites pròpiament dites i d'altres que han evolucionat a partir de la depressió prèvia d'un cocó, motiu pel qual encara són més amples que fondes.

A la **zona δ** els cocons no són tan densos, per bé que encara hi trobam formes complexes arran de la seva connexió (un 80% dels casos). L'espectre de formes en planta és més ampli, encara que hi dominen els circulars (40%). Les dimensions són lleugerament superiors amb una llargària mitjana de 75,60 cm i uns valors d'amplària i profunditat semblants als de la zona anterior (Taula 5.2). A diferència de la zona β, aquí els cocons tenen el fons pla, tot i que no hi ha diferències respecte de l'espectre de formes en planta de la zona anterior. Cal destacar que, arran d'una major presència de superfície entre els cocons, es fa més avinent la presència de formes lineals controlades per l'estructura, com esquerdes eixamplades o microfissures.

El darrer mòdul del perfil, **zona Ω**, destaca per un gradient morfològic que arrenca de la presència de cocons aïllats (100% de les observacions), de petites dimensions (47,50 cm de llargària mitjana) i poc profunds (relació d'1,46 a 1 entre llargària i profunditat) fins a la presència de formes d'alvèols i nius d'abella a les parets verticals del perfil. No obstant això allò que crida més l'atenció és l'aspecte ruïniforme del sector arran de les rizoconcrecions de la duna fòssil. A les superfícies més o menys planes, s'hi troben depressions tubulars de pocs cm d'amplària que, per la suavitat de les seves parets i la presència en alguns casos de sòls en el seu interior, s'han considerat com a conductes de subsòl. De fet, pocs metres enrere d'aquesta zona, encara hi ha un sòl no gaire desenvolupat que cobreix l'eolianita.

### 5.5.3 *S'Alavern (SA)*

S'Alavern, entre Vallgornera i s'Estalella a Lluçmajor, és un sector de penya-segats verticals tallats a la sèrie deposicional del Miocè Superior i els materials plioquaternaris. Hi destaca una plataforma litoral al peu dels penya-segats desenvolupada a favor del contacte entre estrats horitzontals de diferent textura i resistència. Sobre la plataforma s'aprecia un micromodelat important que s'accentua quan, en contacte amb la mar, hi trobam dunes plistocenes adossades al penya-segat.

El perfil està modelat sobre materials calcarenítics de la Unitat Escullosa del Miocè Superior (Pomar, 1993). És una superfície de 12 m d'amplària mitjana i de

disposició horitzontal (0,25° de pendent), poc més de mig metre per sobre del nivell marí mitjà (Fig. 5.10). Es tracta d'una calcarenita bioclàstica amb abundants foraminífers, que presenta un elevat grau de micritització amb una porositat intergranular ocupada per cristalls de calcita esparítica. És una roca molt porosa, un 28,47%, i relativament resistent amb valors de rebot d'escleròmetre de 41,37. L'onatge i les tempestes tenen una direcció dominant de SW i, a mar oberta, l'alçària mitjana d'ona significant arriba als 2,81 m. Els màxims se situen en 4,40 m. La batimetria és molt suau i guanya profunditat lentament. Aquest fet permet l'entrada de l'onatge alçant la rompent d'ona i agranant la superfície de la plataforma i bona part del penya-segat (vid. capítol 4).

A s'Alavern, hi manca el domini dels pinacles i la geometria del penya-segat no permet el desenvolupament d'una zona de transició terrestre (Fig. 5.10).

Els sectors més propers al mar del perfil són un seguit de superfícies inclinades i replans, amb una intensa alveolització i colonització de pegellides, organismes filtradors i gastròpodes brostejadors. Hi segueix una feixa de prop de 5 m d'amplària amb un bon nombre de cocons que comparteixen envans si no estan connectats els uns amb els altres. Les dimensions mitjanes dels cocons de la **zona β** són de 27,40 cm de llargària, amb màxims que arriben als 61 cm (Taula 5.2). La profunditat oscil·la dels 6 als 30 cm, fet pel qual les relacions de llargària i profunditat són d'1,65 a 1. En general, es tracta de cocons oberts (80%), de planta circular o allargada (66%), límits sinuosos (53,33%) i fons rugós (76,67%).

La següent zona, **δ**, es caracteritza per la separació entre cocons. La majoria de casos ja no comparteixen envans i estan aïllats els uns dels altres (86,67% de les observacions). Pel que fa a la resta, no presenten gaires diferències respecte dels de la zona anterior. Així, les dimensions mitjanes són 25,30 cm de llargària, 17,40 cm d'amplària i 13,60 cm de profunditat. Les relacions entre els paràmetres morfomètrics són lleugerament superiors a les de la zona β. Plantes circulars, rectangulars i triangulars sumen més del 75% dels casos. Tot i així, el fet que el 70% dels límits dels cocons siguin sinuosos no permet derivar el control de les fractures en la delimitació de les formes. El 76,67% dels cocons, a diferència del domini anterior, tenen el fons pla. En els espais entre cocons, hi destaca una densitat important de microalvèols que, tot i l'aparença de superfície plana, quan es redueix l'escala d'observació, posa en relleu el grau de microrugositat de la superfície de la roca. La coloració de la roca, quasi bé negra, denota la importància de la colonització per cianòfits, fongs i líquens. També són molt abundants els exemplars de *Melaraphe neritoides*.

#### 5.5.4

##### Cap Salines (CSA)

Cap Salines és l'extrem meridional de l'illa de Mallorca. Es tracta d'una costa baixa on afloren eolianites plioquaternàries sobre les quals descansa un potent sistema duna que entra varis quilòmetres terra endins. És un sector de costa, a grans trets, rectilini, tot i que hi ha sortints i entrades menors. L'aparença general és la d'un esglaonament arran de l'alternança de paleosòls i nivells dunars. A 3 m d'alçària, hi trobam una alineació de bloc d'ordre mètric que Butzer (1962) atribueix a dipòsits de platja.

El perfil abraça al voltant de 26 m, amb un desnivell des del pla de la plataforma litoral allà on apareixen les primeres mates de *Limonium sp.* de 2,5 m. Se'n poden distingir clarament dos segments: el que correspon a la plataforma litoral, de traçat subhoritzontal, i el de la part emergida lleugerament inclinat i còncav (Fig. 5.10). Així com als afloraments d'eolianita anteriors, la laminació era tènue, aquí és ben marcada fins al punt de condicionar el desenvolupament de les formes d'erosió i meteorització de la roca.

El sector on s'ha desenvolupat el perfil correspon a la cara de sotavent de la paleoduna, motiu pel qual l'estratificació capbussa cap a terra i vincla cap a mar els pinacles i els sortints de les parets dels cocons. Novament, es tracta d'arenas bioclàstiques ben classificades amb làmines alternants d'arenas gruixudes i arenas fines de 2 a 5 mm de potència. La porositat és del 24,25% i estan poc cimentades. Els valors d'altura d'onada són semblants als de s'Alavern, tot i que en la component de mar i tempestes també tenen un pes important les direccions de Llevant.

Des d'un punt de vista geomòrfic, se'n distingeixen cinc zones. La primera correspon a la **plataforma litoral**, l'amplària de la qual arriba als 6 i 7 m. No es pot apreciar la superfície de la roca a causa de la important colonització biològica, tant d'algues com de pàtines coral·lígenes. La plataforma acaba bruscament i cau a plom dins la mar. El perfil és variable, en el sentit que als sortints no hi trobam *notchs*, mentre que a les entrades n'hi ha de dimensions modestes. Sobre les plataformes, hi trobam alguna marmita de dimensions entre 20 i 60 cm de diàmetre i de 46 a 84 cm de fondària.

La **zona  $\alpha$**  es correspon amb la presència dels pinacles aïllats i els replans on l'alveolització ve condicionada per la presència de *Patella rustica*, *P. caerulea* i *Monodonta turbinata*. Els pinacles tenen dimensions variables. N'hi ha de poc més de 20 cm d'alçària, mentre que altres depassen els 50 i 70 cm. La seva forma no és ben bé cònica, arran de la influència de l'estratificació del substrat que en condiciona un

desenvolupament lleugerament inclinat cap a la mar. La seva aparença és esponjosa arran de la densitat de microalvèols que se superposen al gros de la forma. Les dimensions d'aquests són molt constants, entre 0,3 i 0,8 cm de diàmetre i una profunditat semblant. No tenen cap tipus d'orientació preferent i, fins i tot, s'hi dona el cas que, a una mateixa aresta del pinacle, les projeccions dels eixos màxims dels microalvèols són completament oposades.

La **zona  $\beta$**  integra alguns pinacles, però les depressions de planta circular en són l'element més característic. La totalitat dels cocons comparteixen envans, o bé n'han perdut un d'ells i romanen connectats (Taula 5.2). Les seves dimensions són considerables, la llargada mitjana és de 120,4 cm i la profunditat de 32,70 cm. No obstant això, la proporció entre eixos en planta manté els quocients descrits per als altres afloraments d'eolianites quaternàries. No passa el mateix amb la vertical. Així la relació entre llargària i amplària és de 1,40 a 1, i la de llargària i profunditat de 4 a 1. La forma dels cocons és allargada o irregular (60% de les observacions) i els seus límits són mixtos, n'hi ha de rectilinis i de sinuosos. Aquest fet que es tradueix en un control de les diàclasis en la distribució i delimitació de les formes. El 60% dels casos el delimiten la intersecció de vàries fractures, mentre que un 20% es desenvolupa a partir de l'encreuament de dues fractures i el restant 20% ho fa seguint-ne una. El fons dels cocons de la zona  $\beta$  és rugós. L'accidentat del relleu no permet observar la presència de formes lineals que poden quedar emmascarades dins dels cocons. Tot i així, les parets dels verticals de les depressions també presenten un grau de microalveolització notable.

La **zona  $\delta$**  marca una transició cap a l'isolament dels cocons. Només un 20% està connectat, mentre que la resta de casos, o bé estan aïllats o bé comparteixen algun envà. Les dimensions són lleugerament menors, amb una llargària mitjana de 91,40 cm i una profunditat mitjana de 18,80 cm. S'hi registren màxims de 225 cm de llargària que desplacen la mitjana de les relacions de la llargària respecte de la profunditat a quocients de 5 a 1 (Taula 5.2). La forma dels cocons és allargada, o circular, i els límits majoritàriament són sinuosos (50%). El fons del cocó és pla. Es disposen seguint una fractura (40%), o bé en la intersecció de dues (30%). En els espais entre cocons, de més a més dels microalvèols, s'hi aprecien esquerdes eixamplades que van a morir als espais entre pinacles o als cocons de les zones anteriors.

Finalment, la **zona  $\Omega$**  destaca per la presència menys densa de cocons completament aïllats els uns dels altres. L'aparença de la superfície de la roca és més suau i en els espais entre cocons es troben alguns conductes de subsòl retreballats i d'altres que encara conserven restes de sòl al seu interior. Aquí els

cocons tenen dimensions mitjanes considerables, amb llargàries de 101,3 cm, amplàries mitjanes de 70 cm i profunditats de 16 cm (Taula 5.2). El fons és suau (90% dels casos) i la planta rectangular (50%) o allargada (20%). Un control estructural també es posa de manifest a partir de la disposició del 50% de les observacions en funció de l'espai que delimiten les fractures. L'altre 50% aprofita la intersecció d'aquestes fractures. Els límits rectes i mixtos es corresponen a la primera meitat i els sinuosos a la segona.

#### 5.5.5

##### *Punta des Sivinar (PS)*

A la costa oriental de Mallorca i en el marc morfoestructural dels relleus tabulars de la Marina de Llevant, la Punta des Sivinar es localitza entre Cala Figuera i Mondragó. Es tracta d'un penya-segat de 15 m d'alçària que descansa sobre una rasa de poc més de 20 m d'amplària que, a la vegada, es troba a 3 m sobre el nivell del mar. Els materials que afloren a la costa són una sèrie de calcarenites i calcilitites corresponents a la Unitat Escullosa (Pomar, 1991) i les Calcàries de Santanyí (Fornós, 1987). A la zona són abundants els paleocolapses càrstics (Ginés, 2000) que exerceixen una forta influència en el retall de la línia de costa. L'onatge té una direcció dominant de Llevant i l'alçària mitjana de les onades significatives és de 3,11 m a mar oberta.

El perfil de la Punta des Sivinar coincideix amb l'extensió de la rasa i té una llargària de 26 m, els quals cobreixen un desnivell de 3 m des del pla que defineix la plataforma litoral fins al peu de la façana del penya-segat. El canvi brusc de pendent es dona just quan acaba la plataforma, i el perfil puja de cop 2,5 m. A partir d'aquí, la component horitzontal és marcada i en poc més de 20 m sols hi ha un ascens de 50 cm (Fig. 5.11).

El rocam consisteix en unes calcarenites de la Unitat Escullosa amb abundants microorganismes (milioids i briozous) i amb una porositat, principalment intergranular, del 26%. La composició és dolomítica (87%) i els valors de rebot de l'escleròmetre, 61,67, corresponen a roques molt resistents.

A la Punta des Sivinar, hi diferenciam cinc unitats en funció del microrelleu. La primera és la **plataforma litoral**, una superfície subhoritzontal de 3,66 m d'amplària i un pendent de 0,67°. Està coberta per concrecions d'algues rodofícies i vermètids on s'instal·len els pradells de *Cystoceria*. No s'hi observen depressions de bogamarins.

La **zona  $\alpha$**  queda compresa entre el canvi de pendent de la plataforma cap a terra i la transició de la component vertical del perfil a l'horitzontal. Els segments inferiors d'aquesta zona corresponen a un

seguit d'alvèols i microalvèols i depressions de petites dimensions amb envans bioconstruïts per *Chthamalus stellatus*. La presència de *Patella* sp. i *Monodonta turbinata* és important. Just en el canvi de pendent superior, hi apareixen els primers pinacles aïllats, amb dimensions entorn dels 40 i 60 cm d'alçària. Els pinacles tenen una aparença ruïniforme arran dels nombrosos microalvèols que s'hi superposen. En algunes de les seves crestes, s'hi aprecia la presència de colònies de *Chthamalus stellatus* i *C. depressus*. Els pinacles semblen mantenir una alineació i un distància més o menys constant.

La **zona  $\beta$**  correspon a la presència dels primers cocons, juntament amb algun pinacle. Les dimensions dels cocons són les majors registrades a tota l'illa. Així, els valors de llargària mitjana depassen els 140 cm i els màxims arriben als 354 cm. L'amplària mitjana és de 83,70 cm i la profunditat de 36,70 cm (Taula 5.3). Són cocons, en la seva majoria, connectats amb d'altres (84,10%), de forma allargada (55,60), límits sinuosos (72%) i fons rugós o amb crestes. Els pinacles sovint apareixen com a envans entre cocons i les seves dimensions abracen des dels 13 fins als 64 cm d'alçària. La superfície entre cocons està completament alveolitzada.

Finalment, la **zona  $\delta$**  la defineix un pla puntualment solcat per cocons tancats, que no comparteixen envans (70%), tot i que les formes irregulars o complexes (20%) es corresponen amb la coalescència de dos o més cocons. En general, les dimensions són majors que les del mòdul anterior, encara que són menys profunds. Així, la llargària mitjana és de 150,30 cm i la profunditat mitjana de 17,40 cm. Per tant, tot i que no hi ha diferències importants quant a la relació entre llargària i amplària, que es manté d'1,66 a 1, per a la component vertical la relació és de 4,63 a 1. La forma dominant és allargada (50%) i el fons és majoritàriament pla (80%). La intersecció de les fractures condiciona el desenvolupament dels cocons, però no els seus límits, ja que un 60% són sinuosos (Taula 5.3). Als espais entre cocons es pot apreciar la importància del retoc i l'eixamplament de les esquerdes també ben alveolitzades.

#### 5.5.6

##### *Cala Murada (CM)*

La localitat on s'ha estudiat la disposició de les formes en el perfil és un sector de penya-segats mitjans i baixos, 2 km al sud de Cala Murada. Es tracta d'un sector de costa esglaonat tallat sobre les calcarenites esculloses del Miocè Superior, també afectat per paleocolapses càrstics. És una localitat exposada a l'onatge i tempestes de Llevant. L'onatge mitjà és de 2,25 m tot i que es registren màxims de 5,60 m a mar oberta.

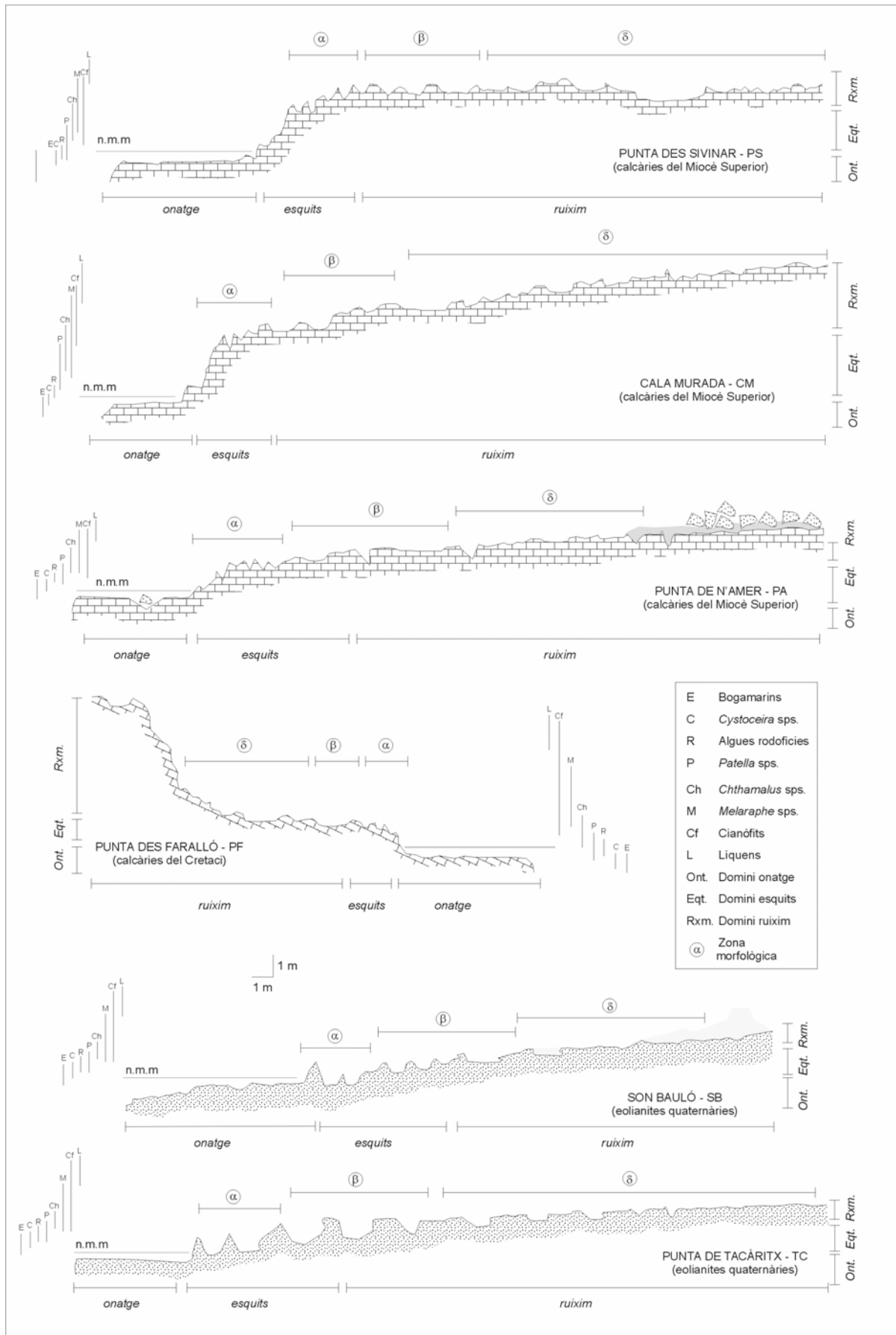


Fig. 5.11 Zonació morfològica, biològica i hidrodinàmica dels perfils estudiats a Mallorca. Localització dels perfils a la figura 1.

El perfil de Cala Murada es perllonga 26 m des del trencament de la **plataforma litoral** fins a la presència de la vegetació més terrestre. El perfil recorda el de la Punta des Sivinar, tot i que el bot de la plataforma litoral fins al primer replà horitzontal suposa una paret més o menys vertical de prop de 4 m (Fig. 5.11).

En altres sectors de la costa, en lloc de la caiguda vertical i una plataforma litoral més o menys desenvolupada, hi apareix un *notch* de dimensions considerables (una obertura de 200 cm i un reculament de 150 cm) que, a la base, o bé presenta una plataforma estreta, o bé una construcció biogènica que es disposa a mode de balda.

La litologia de la roca correspon a unes calcarenites amb una component bioclàstica (fragments de bivalves, equinoderms), característiques de la Unitat Escullosa. La porositat és del 16,90% i el valor de rebot de l'escleròmetre de 49,7, roca força resistent a l'escala de Selby.

El perfil de Cala Murada permet separar cinc zones, la primera de les quals correspon a la **plataforma litoral**, que no presenta diferències significatives respecte dels trets descrits per a la Punta des Sivinar. Aquí l'amplària de la plataforma litoral es redueix a 2,87 m i el seu pendent és de 1,08°.

La **zona  $\alpha$**  abraça el segment comprès entre la plataforma litoral i el canvi de pendent, arran de l'esglaonament del perfil. És un sector on l'expressió morfològica dominant són els alvèols i microalvèols lligats a l'activitat biològica. De fet, de més a més de la pàtina d'algues calcàries, també són molt importants les colònies de *Patella rustica* i, a la part alta del perfil, dels crustacis filtradors. Just en el trencament de la component vertical, hi apareixen els primers pinacles, aïllats i de dimensions modestes (entre 13 i 36 cm d'alçària). Les superfícies entre pinacles són relativament suaus i també presenten una colonització biològica important (*Patella caerulea*, *Modonta turbinata*, *Melaraphe neritoides*). S'hi arriben a formar, a les zones de circulació preferent d'aigua, construccions biogèniques amb envans de *Chthamallus stellatus*.

La **zona  $\beta$** , a més a més dels pinacles, també presenta les primeres depressions de planta allargada (55,60%), connectades entre elles, compartint envans (70%). Les dimensions mitjanes de llargària són de 115,9 cm i les de profunditat de 27,30 cm. Les relacions entre llargària i amplària són de 2 a 1 i les de llargària i profunditat de 4 a 1. Els límits dels cocons són sinuosos i es disposen seguint una línia de fractura. El fons de la totalitat dels cocons és rugós. Els pinacles presents a la zona  $\beta$  mantenen contacte entre les seves bases, mitjançant envans o petites crestes, i l'alçària de les formes piramidals és de 12 a

38 cm. La textura esponjosa continua essent un dels atributs per destacar d'aquest element del relleu litoral.

La **zona  $\delta$**  marca una clara transició cap a l'aïllament dels cocons. Només el 10% dels casos observats romanen connectats amb altres cocons. El seu fons continua essent rugós i els envans dels cocons presenten sobreploms, els més profunds fins a dos nivells. Les dimensions mitjanes de llargària són de 135,40 mm i les de profunditat de 29 cm. Pel que fa a les relacions entre eixos, són semblants als de la zona anterior (Taula 5.3). La forma dels cocons és variada, tot i que són més habituals les formes allargades (40%), el que es correspon amb les distribucions més o menys homogènies que impliquen un control estructural, com són el tipus de límit del cocó i la disposició respecte els jocs de fractures. Les superfícies entre cocons estan alveolitzades i s'hi identifiquen depressions d'ordre centimètric i pocs mil·límetres de profunditat amb una intensa coloració del seu fons, fet que indica un paper de la component biològica, probablement fongs, en la seva gènesi. També s'hi pot apreciar l'eixamplament de les esquerdes i, sobre superfícies on la roca té una textura molt fina, la presència de microsolcs.

Finalment, la **zona  $\Omega$** , al sector més terrestre del perfil, es caracteritza per la disposició aïllada dels cocons i la presència de conductes de subsòl als espais entre depressions. Moltes d'aquestes formes cilíndriques de parets molt suaus, encara conserven restes de sòl al seu interior. D'altres hi tenen arena i restes de *Posidonia oceanica*. En els límits superiors del perfil, s'hi pot apreciar, quasi bé a tocar de la posició del sòl que cobreix la roca, conductes exhumats recentment. Les dimensions dels cocons de la zona  $\Omega$  són de 92,70 cm de llargària mitjana o de 32 cm de profunditat mitjana (Taula 5.3). Hi ha cocons que arriben als 322 cm de llargària, el que explica que mentre que el quocient entre llargària i amplària es manté en els intervals de les altres localitats i zones del propi perfil, la relació entre llargària i fondària augmenta fins a una relació de 6 a 1. La totalitat de les observacions corresponen a cocons tancats i aïllats, de forma circular (60%) i límits sinuosos (70%). La majoria dels cocons es disposen seguint una fractura (30%), o bé en la intersecció de dues fractures (60%). També cal fer esment de la presència de microsolcs quan apareixen pegats de roca de textura fina i homogènia.

#### 5.5.7

##### *Punta de n'Amer (PA)*

La Punta de n'Amer és una petita península que constitueix el límit septentrional dels relleus tabulars de la Marina de Llevant, atès que a partir de la badia de Cala Millor i Cala Bona ja apareixen, a tocar de

Litologia perfils		Punta des Sivinar		Cala Murada			Punta de n'Amer		Punta des Faralló		Son Bauló		Punta de Tacàritx		
		Calcarenites (Miocè Superior)		Calcarenites algals (Miocè Superior)			Calcarenites algals (Miocè Superior)		Calcàries (Cretaci)		Eolianites carbonatades (Quaternari)		Eolianites carbonatades (Quaternari)		
Zonació morfològica		$\beta$	$\delta$	$\beta$	$\delta$	$\Omega$	$\beta$	$\delta$	$\beta$	$\delta$	$\beta$	$\delta$	$\beta$	$\delta$	$\Omega$
Llargària (cm)	Mitjana	139,70	150,30	115,90	135,40	92,70	81,30	104,20	29,90	28,40	93,30	102,60	97,10	120,50	90,70
	SD	90,70	90,60	78,85	59,90	7895	28,60	45,30	14,20	22,50	67,60	45,20	27,80	59,10	61,40
	Mínim	56,00	49,00	49,00	5800	55,00	40,00	66,00	11,00	9,00	40,00	29,00	67,00	48,00	31,00
	Màxim	354,00	405,10	312,00	275,00	32,00	113,00	197,00	72,00	127,00	265,00	186,00	160,00	215,00	210,00
Amplària (cm)	Mitjana	83,70	82,90	60,40	72,30	6250	62,20	67,50	16,13	14,30	64,70	59,70	72,50	79,10	47,00
	SD	51,10	46,80	19,93	22,89	9,60	25,56	33,30	10,32	7,51	41,60	33,70	14,50	37,20	21,40
	Mínim	34,20	37,00	30,00	34,5	48,0	28,00	43,00	4,00	5,00	32,00	23,00	50,00	33,00	24,00
	Màxim	215,10	188,00	90,00	105,80	89,00	104,00	158,00	58,00	32,00	162,00	133,00	96,00	150,00	90,00
Fondària (cm)	Mitjana	36,70	17,40	27,30	29,00	32,00	19,40	22,70	12,55	11,90	9,90	9,60	22,10	27,50	17,90
	SD	13,40	4,50	8,37	7,41	43,80	12,76	3,70	5,25	5,20	3,50	3,40	4,20	6,70	4,70
	Mínim	13,00	11,00	12,00	25,00	12,00	6,00	18,00	6,00	4,00	6,00	4,00	17,00	18,00	12,00
	Màxim	64,20	27,00	38,00	45,0	64,00	42,00	30,00	25,50	25,50	17,00	15,00	30,00	38,00	26,00
Llargària vs. amplària	Mitjana	1,48	1,66	1,93	1,85	1,44	1,37	1,61	2,03	1,92	1,47	1,80	1,35	1,58	1,83
	SD	1,09	0,49	1,11	0,77	0,76	0,37	0,54	0,75	0,61	0,51	0,46	0,32	0,59	0,55
	Mínim	1,07	1,19	1,03	1,06	1,03	1,00	1,12	1,24	1,13	1,08	1,26	1,05	1,07	1,11
	Màxim	5,88	2,61	4,80	3,54	3,60	2,33	2,83	4,00	3,97	2,73	2,83	1,98	2,69	2,69
Llargària vs. fondària	Mitjana	2,15	4,63	4,13	4,91	6,14	5,37	4,51	2,53	2,67	9,76	11,17	4,38	4,20	4,73
	SD	1,08	1,68	1,82	2,63	6,74	2,64	1,51	1,15	1,51	6,66	4,58	0,74	1,43	2,14
	Mínim	0,81	1,85	2,52	1,43	0,46	2,29	3,09	1,10	0,83	4,92	5,80	3,33	2,27	2,58
	Màxim	5,06	7,50	8,21	9,20	24,62	10,27	7,73	6,00	7,47	26,50	19,50	5,33	6,72	9,13
Obertura (%)	Obert	84,10	30,00	70,00	10,00	-	80,00	-	76,67	13,33	80,00	20,00	90,00	30,00	-
	Tancat	16,21	70,00	30,00	90,00	100,00	20,00	100,00	23,33	86,67	20,00	80,00	10,00	70,00	100,00
Forma (%)	Circular	10,08	20,00	20,00	-	60,00	50,00	10,00	26,67	16,67	30,00	10,00	40,00	20,00	20,00
	Rectangular	12,15	10,00	-	20,00	-	-	10,00	16,67	40,00	30,00	20,00	30,00	30,00	20,00
	Triangular	5,52	-	-	20,00	-	-	10,00	30,00	20,00	23,33	10,00	20,00	-	20,00
	Allargat	55,60	50,00	50,00	40,00	20,00	30,00	40,00	36,67	20,00	20,00	20,00	40,00	10,00	50,00
	Irregular	16,67	20,00	20,00	20,00	20,00	10,00	10,00	-	-	10,00	10,00	-	0,00	-
Límits (%)	Rectes	28,00	20,00	10,00	50,00	-	-	40,00	53,33	56,67	60,00	40,00	40,00	30,00	60,00
	Sinuosos	72,00	60,00	70,00	40,00	70,00	50,00	10,00	-	6,67	10,00	30,00	40,00	30,00	20,00
	Indentacions	-	20,00	10,00	10,00	-	-	10,00	10,00	16,67	-	10,00	-	-	-
	Mixtos	-	-	10,00	-	30,00	50,00	40,00	36,67	20,00	30,00	20,00	20,00	40,00	20,00
Fons (%)	Pla	-	80,00	-	-	40,00	10,00	50,00	6,67	76,67	10,00	70,00	-	70,00	70,00
	Rugós	82,33	10,00	100,00	100,00	60,00	60,00	40,00	76,67	23,33	80,00	10,00	80,00	30,00	20,00
	Crestes	17,67	10,00	-	-	-	30,00	10,00	16,67	-	10,00	20,00	20,00	-	10,00
Relació amb fractures (%)	Seguint-ne 1	50,22	80,00	50,00	20,00	30,00	20,00	20,00	30,00	16,67	10,00	10,00	-	20,00	30,00
	Paral·lel a 2	21,00	-	-	10,00	-	-	-	50,00	-	-	10,00	10,00	10,00	-
	Intersecció 2	23,22	-	40,00	50,00	60,00	70,00	60,00	20,00	76,67	50,00	50,00	50,00	40,00	60,00
	Intersec. > 2	4,66	20,00	10,00	20,00	10,00	10,00	20,00	-	6,67	40,00	30,00	30,00	20,00	10,00

Taula 5.3 Paràmetres morfomètrics dels cocons de la Punta des Sivinar a la Punta de Tacàritx (Mallorca).

mar, els rocams plegats de les Serres de Llevant. És un sector de costa baixa amb afloraments de materials del Miocè Superior i d'eolianites quaternàries.

El perfil de la Punta de n'Amer es perllonga poc més de 25 m i representa una diferència en altura de 3 m, respecte la plataforma litoral, en el punt on apareix la vegetació de garriga. L'aparença general és d'una rampa lleugerament còncava (Fig. 5.11). Els materials que hi afloren són calcarenites –fàcies amb rodòlits– corresponents a la Unitat Escullosa del Miocè Superior. La porositat de la roca és molt elevada, 32,67%, i la composició és d'un 61% de calcita i un 39% de dolomita. El valor de rebot de l'escleròmetre és de 45,25, per la qual cosa es torna a considerar un rocam relativament resistent. Exposat a la mar i a les tempestes procedents de Llevant, l'alçària de les onades a mar oberta és de 2,71 m, tot i que s'hi registren màxims de 7,20 m.

A la Punta de n'Amer es poden separar quatre sectors del perfil en funció de les formes. La primera, de mar cap a terra, és la **plataforma litoral**. La seva amplària se situa al voltant de 4,5 m. Entre el tapís algal i les crostes coral·lígenes, hi apareixen algunes crestes d'eolianita que recorden la base de les formes piramidals.

La següent zona,  $\alpha$ , la determina la presència dels pinacles, les dimensions dels quals giren entre els 25 i el 60 cm. La seva forma és molt irregular i no arriben a delimitar arestes de forma clara. De més a més dels alvèols i microalvèols sobre les seves parets, hi ha casos en què s'observen petites balms o mossegades. Aquestes semblen estar relacionades amb la textura de la roca i, en particular, amb els patrons de porositat que impliquen les fàcies de rodòlits. Els pinacles ocupen una franja estreta d'1,5 m d'amplària.

Els cocons connectats són l'atribut més característic de la **zona**  $\beta$ . Només un 20% de les observacions corresponen amb cocons que estan completament tancats, tot i que comparteixen envans amb d'altres cocons. Les dimensions mitjanes són de 81,30 cm de llargària i 19,40 cm de profunditat. Les relacions entre eixos en planta és d'1,37 a 1 i respecte la vertical de 5,37 a 1 (Taula 5.3). Els cocons tenen una planta circular (50%), amb límits sinuosos o mixtos, i el fons és rugós (60%). També són significatius els casos on es pot apreciar la presència de crestes i romanents d'antics envans (30%).

De la **zona**  $\delta$  l'atribut més notable és la disposició aïllada dels cocons. El 100 % de les observacions corresponen a cocons tancats i separats per replans horitzontals d'altres cocons. Els replans entre cocons tenen un aspecte ruïniforme al qual contribueixen tant les fàcies de rodòlits com l'alveolització del rocam. Les dimensions dels cocons són majors que al sector anterior. Així, la llargària mitjana arriba a 104,20 cm i la profunditat a 22,70 cm (Taula 5.3). La majoria dels cocons tenen una planta allargada (40%), o bé triangular (30%). Els seus límits són sinuosos (40%), el fons pla (50%) i bona part de les depressions es disposen en funció de la intersecció de dues fractures (60%). En aquesta zona apareixen conductes de subsòl entre els cocons i superfícies ruïniformes que es perllonguen fins a la posició del sòl i la vegetació de garriga actual. Tot i la textura gratel·losa de la roca, les parets d'aquestes formes cilíndriques són suaus i llises.

#### 5.5.8

##### *Punta des Faralló (PF)*

La Punta des Faralló tanca pel nord la badia de Cala Rajada. És un dels sectors on el relleu de les Serres de Llevant entra en contacte amb la mar. A la localitat d'estudi, hi afloren calcàries del Cretaci plegades, amb una important esquistositat horitzontal. El conjunt és un rocam força reticulat. La façana del penya-segat exposada a nord, a l'exterior de la badia, presenta una **plataforma litoral** estreta que, quan la fracturació ho permet, desenvolupa un *notch*. En canvi, a recer de la badia, la façana dels penya-segats entra dins la mar i en destaquen *notchs* de dimensions modestes als quals s'adossen, per sota del nivell marí mitjà, *trottoirs* a mode de balda.

El perfil de la Punta des Faralló té una llargària de 16 m i abasta un desnivell de 6 m. El perfil es pot dividir en quatre segments. Un primer segment correspon a la plataforma litoral, de 3 a 4 m d'amplària. Tot seguit d'un petit canvi de pendent, hi apareix una superfície, també horitzontal, que resta quasi bé 1 m per sobre del nivell marí mitjà, que després continua amb una paret vertical de perfil còncau i un nou replà que el corona (Fig. 5.11).

El perfil està tallat a les calcàries mesozoiques: biocalcarenites amb una dolomitització incipient. La porositat és d'1,29% i el valor de rebot d'escleròmetre de 59,8 que, a l'escala de Selby, correspondria a una roca resistent.

#### 5.4.8.2 Zonació geomòrfica del perfil

El perfil de la Punta des Faralló no destaca per l'espectacularitat de les formes. Els pinacles hi són absents, els cocons tenen dimensions discretes i la intensitat de l'alveolització és menor que a d'altres localitats. Tot i així, deixant de banda la plataforma litoral que no presenta grans diferències respecte de les descrites a d'altres localitats, hi distingim 3 dominis geomòrfics. Sí que són evidents, al llarg de tot el perfil, les formes lineals relacionades amb el control estructural com esquerdes eixamplades o microfractures.

La **zona**  $\alpha$  quedaria restringida a la paret vertical que separa la plataforma del primer replà. En destaca l'alveolització i microalveolització de la roca, que ofereix una textura gratel·losa. Allà on no trobam les colònies de *Patella rustica* i *P. caerulea*, les depressions d'ordre mil·límetric donen a la roca una textura esponjosa.

A la **zona**  $\beta$  hi apareixen els primers cocons. Les dimensions són modestes, tot i que hi predominen les formes coalescents (76,67%). La llargària mitjana és de 29,90 cm i la profunditat de 12,55. En general, són formes més compactes i les relacions entre eixos són semblants, de 2,03 a 1 per a la llargària i l'amplària, i de 2,53 a 1 per a la llargària i la profunditat. La forma dels cocons és allargada (36,67%) i circular (26,67%) i els seus límits són rectes (53,33%) seguint l'espai que delimiten fractures paral·leles (50%). Són abundants els exemplars de *Melaraphé neritoides*.

A la **zona**  $\delta$  els cocons no estan connectats entre ells (86,67%) i presenten un fons pla (76,67%). Les dimensions i les relacions entre eixos són semblants a les de la zona  $\beta$  (Taula 5.3). Hi predominen els cocons de planta rectangular o allargada (60%), controlats per l'estructura que en determina els límits rectes (56,67) i el seu desenvolupament a partir de la intersecció de dues fractures (76,67). Hi apareixen de forma puntual alguns exemples de microsolcs. Entre cocons, la superfície està completament alveolitzada.

#### 5.5.9

##### *Son Bauló (SB)*

L'aflorent d'eolianites sobre el qual s'ha dut a terme l'estudi morfomètric es troba al bell mig de la badia d'Alcúdia, pocs metres al sud de l'estany del Torrent de Son Bauló. Sobre l'aflorent, s'hi troba un important sistema de dunar holocènic.

El perfil estudiat es perllonga poc més de 17 m i des del zero relatiu tan sols s'aixeca 1,5 m. El perfil té un traçat de rampa lleugerament còncava. A la part superior, s'hi aprecia un nivell de paleosòls que seguidament és enterrat pel sistema dunar holocènic i la vegetació de garriga que s'hi instal·la. Hi aflora una arenisca bioclàstica, formada per fragments d'algues vermelles, bivalves i gastròpodes, ben classificada i molt porosa (27,32%). Els valors de rebot de l'escleròmetre són de 28,6 a l'interval de les roques poc resistents.

En base a les formes, podem separar quatre zones. La primera correspon a la **plataforma litoral**, l'amplària de la qual arriba als 4 i 6 m. No es pot apreciar la superfície de la roca a causa de la important colonització biològica, tant d'algues com de pàtines coral·lígenes. La plataforma acaba bruscament i cau a plom dins la mar. Sobre les plataformes hi trobam alguna marmita de dimensions entre 30 i 70 cm de diàmetre i de 52 a 84 cm de fondària.

La **zona  $\alpha$**  es correspon amb la presència dels pinacles aïllats i els replans on l'alveolització ve condicionada per la presència de *Patella rustica*, *P. caerulea* i *Monodonta turbinata*. Els pinacles de poc més de 32 cm d'alçària tenen una forma cònica, tot i que matisada per la influència de l'estratificació. La seva aparença és esponjosa arran de la densitat de microalvèols que se superposen al gros de la forma. Les dimensions d'aquests són molt constants, entre 0,5 i 1 cm de diàmetre, amb una profunditat semblant. No tenen cap tipus d'orientació preferent i, fins i tot, es dona el cas que a una mateixa aresta dels pinacles les projeccions dels eixos màxims dels microalvèols són completament oposades.

La **zona  $\beta$**  integra alguns pinacles, però les depressions de planta circular en són l'element més característic. La totalitat dels cocons comparteixen envans, o bé n'han perdut un i romanen connectats (Taula 5.3). Les seves dimensions són 93,30 cm de llargada mitjana i 22,10 cm de profunditat. No obstant això, hi ha cocons amb diàmetres màxims de 265 cm. La proporció entre eixos en planta manté els quocients descrits per als altres afloraments d'eolianites quaternàries. No passa el mateix amb la vertical. Així, la relació entre llargària i amplària és d'1,47 a 1, i la de llargària i profunditat de 10 a 1. La forma dels cocons és circular o rectangular (60% de les observacions) i els seus límits són rectes, fet que es tradueix en un control de les diaclàsis en la distribució i delimitació de les formes. El 90% dels casos el delimiten la intersecció de diverses fractures. El fons dels cocons de la zona  $\beta$  és rugós. Tant les parets dels cocons, com els espais que els separen presenten un grau d'alveolització important. En els espais entre cocons, de més a més dels microalvèols, s'hi aprecien esquerdes eixamplades que van a morir als espais entre pinacles o als cocons de les zones anteriors.

La **zona  $\delta$**  marca una transició cap a la individualització dels cocons. Només un 20% està connectat, mentre que la resta de casos o bé estan aïllats, o bé comparteixen algun envà. Les dimensions són lleugerament majors, amb una llargària mitjana de 102,60 cm i una profunditat mitjana de 27,50 cm (Taula 5.3). La forma dels cocons és allargada, o circular (50%) i els límits majoritàriament són rectes (50%). El fons del cocó és pla i es disposen seguint una fractura (40%), o bé en la intersecció de dues (30%). Les superfícies horitzontals entre cocons tenen un aspecte ruïniforme arran de la presència de rizoconcrecions i arenas soltes procedents del sistema dunar que contribueixen a l'abradió de les formes del perfil. De fet, en relació a altres afloraments d'eolianita, la intensitat de la colonització biològica és menor.

#### 5.5.10

##### *Punta de Tacàritx (PT)*

El perfil es troba a la badia de Pollença, a mitjan camí entre el Mal Pas i Cap Pinar. Es tracta d'un aflorament inicialment d'eolianites quaternàries, però amb una forta influència dels processos col·luvials dels vessants propers, motiu pel qual són abundants els clasts mesozoics suportats per una matriu d'arenas bioclàstiques ben classificades. La línia de costa està molt articulada. A grans trets, als caps hi apareixen plataformes que aprofiten els plans d'estratificació de les eolianites per al seu desenvolupament. A les entrades entre els esbaldregalls, s'hi pot apreciar algun *notch* que també aprofita els plans de discontinuïtat per desenvolupar-se.

El perfil de 20 m i escaig de llargària puja al voltant de 2 m des del zero relatiu. El traçat del perfil correspon a una rampa lleugerament convexa. La plataforma adquireix un desenvolupament important, amb una marcada continuïtat lateral. Arran de la presència dels còdols a l'aflorament, l'aspecte general és ruïniforme.

Segons la importància de les formes, s'hi distingeixen cinc zones. La primera destaca pel desenvolupament de la **plataforma litoral**, de 4 a 8 m d'amplària en els sortints, que descomparaix a les entrades de la línia de costa. El pendent és suau, al voltant de 0,34°. La comunitat biològica, a la vegada que redueix l'efecte de les onades per la rugositat que suposa tota la vegetació i la protecció de la superfície rocosa per la pàtina coral·lígena, trasllada perfil amunt el que queda de l'energia de l'ona. Hi abunden les depressions de bogamarins, hi ha marmites sobre la plataforma litoral sotaiguada i hi apareixen restes de pinacles completament coberts de crustacis filtradors de forma aïllada a pocs centímetres per sobre del nivell mitjà del mar.



Just depassada la plataforma, a la **zona  $\alpha$** , ens trobam amb un conjunt de pinacles aïllats de dimensions considerables. Els cossos piramidals s'alcen entre 70 i 150 cm amb un ventall de formes anguloses variat. Tot i que s'hi superposa un microrelleu d'alvèols i microalvèols que confereix una estructura esponjosa, aquesta és més atenuada que a altres afloraments d'eolianites. Val a dir que just a la transició entre la plataforma i els pinacles, les superfícies horitzontals ofereixen una rugositat ben accentuada lligada a les depressions de les pegellides. També hi trobam alguna depressió d'envans bioconstruïts per *C. stellatus* d'ordre centimètric.

Hi segueix una franja on cocons i pinacles, més o menys ben definits, són l'atribut més evident de la **zona  $\beta$** . Les depressions són de dimensions mitjanes, al voltant dels 97,10 cm de llargària i el 22,10 cm de profunditat, amb relacions entre els eixos en planta d'1,35 a 1 i en planta respecte la vertical de 4,38 a 1 (Taula 5.3). No hi ha cap cocó que depassi els 2 m de llargària i un 90% de les observacions corresponen a cocons que estan oberts, en connexió. Alguns (20%) encara conserven restes dels envans que els separaven, a mode de petites crestes en el seu interior. La planta dels cocons, en aquesta zona, és circular (40%) o rectangular (30%), tot i que no hi ha un diaclament dominant que, de més a més per la forma dels cocons, també es manifesta pel desenvolupament de les depressions coincidint amb l'encreuament de dues diàclasis (80% de les observacions).

També hi trobam marmites pròpiament dites i d'altres que han evolucionat a partir de la depressió prèvia d'un cocó, per la qual cosa encara són més amples que fondes. S'hi observen dues famílies de microalvèols, uns de dimensions majors, que afecten les eolianites, i uns altres, de menors, que afecten els clasts juràssics.

A la **zona  $\delta$**  els cocons no són tan densos, per bé que encara hi trobam formes complexes a causa de la seva connexió (un 30% dels casos). L'espectre de formes en planta és més ampli, encara que dominen els allargats (50%). Les dimensions són lleugerament superiors amb una llargària mitjana de 120,50 cm i uns valors d'amplària i profunditat semblants als de la zona anterior (Taula 5.3). A diferència de la zona  $\beta$ , aquí els cocons tenen el fons pla (70%), tot i que hi ha diferències respecte de l'espectre de formes en planta de la zona anterior, ja que hi predominen els allargats (50%).

Cal destacar que arran d'una major presència de superfície entre els cocons, es fa més avinent la presència de formes lineals controlades per l'estructura, com esquerdes eixamplades o microfissures. Sobre els clasts juràssics apareixen microsolcs amb una varietat de traçats –sinuosos,

trenats, meandriformes– d'1 mm d'amplària.

El darrer mòdul del perfil, **zona  $\Omega$** , destaca per un gradient morfològic que arrenca de la presència de cocons aïllats (100% de les observacions), de dimensions mitjanes (90,70 cm de llargària mitjana) i poc profunds (relació de 4,73 a 1 entre llargària i profunditat), fins a la presència de formes d'alvèols i nius d'abella a les parets verticals del perfil. No obstant això, allò que crida més l'atenció és l'aspecte ruïniforme del sector arran de la textura de la duna fòssil. També hi són abundants els exemples de microsolcs.

#### 5.5.11

##### *Far de Ciutadella (FC)*

El Far de Ciutadella és la primera del seguit de localitats que es descriuran de Menorca. La zona d'estudi es localitza a 700 m a l'oest del far del Port de Ciutadella. L'aflorament correspon al Migjorn de Menorca i a les fàcies de la Unitat d'Esculls (Obrador i Pomar, 2004).

El perfil de 12 m de longitud recorda el perfil de la Punta des Sivinar de Mallorca, tot i que amb unes cotes, tant de la rasa com de la façana del penya-segat, menors. De mar cap a terra, hi apareix un planell on es van succeint les formes del *karren* litoral, que puja prop de 2 m sobre el zero relatiu del perfil. La façana del penya-segat puja recta al voltant de 5 m. El planell està format per calcarenites algals –rodòlits– del Miocè Superior i hi abunden els fòssils d'equinoderms. Els materials del penya-segat són de textura més fina i són abundants els motlles de bivalves (Fig. 5.12).

Des d'un punt de vista morfològic, dividim en tres zones el perfil, de més a més de la plataforma litoral que en aquest perfil és de petites dimensions, 2 a 3 m, i duu associat un *notch* de 50 cm d'obertura i altres 50 cm de tirada.

La **zona  $\alpha$**  es caracteritza per la presència de pinacles separats per superfícies més o menys planes colonitzades per *Patella sp.* i *Chthamallus depressus*. La superfície dels pinacles és molt rugosa i sobre les seves arestes i parets s'hi superposa una densa xarxa de microalvèols.

La **zona  $\beta$**  destaca per la presència de cocons connectats (84% de les observacions), de fons rugós (83,33%) i amb restes d'envans que individualitzaven els cocons al seu interior (Taula 5.4). Les dimensions mitjanes de llargària són de 137,9 cm i les de profunditat de 3,37 cm, tot i que hi ha depressions que arriben als 353 cm de llargària. Les relacions entre els seus eixos mantenen proporcions al voltant de 2 a 1 per a la llargària i l'amplària i de 4 a 1 per a la llargària i la fondària. La majoria dels cocons tenen

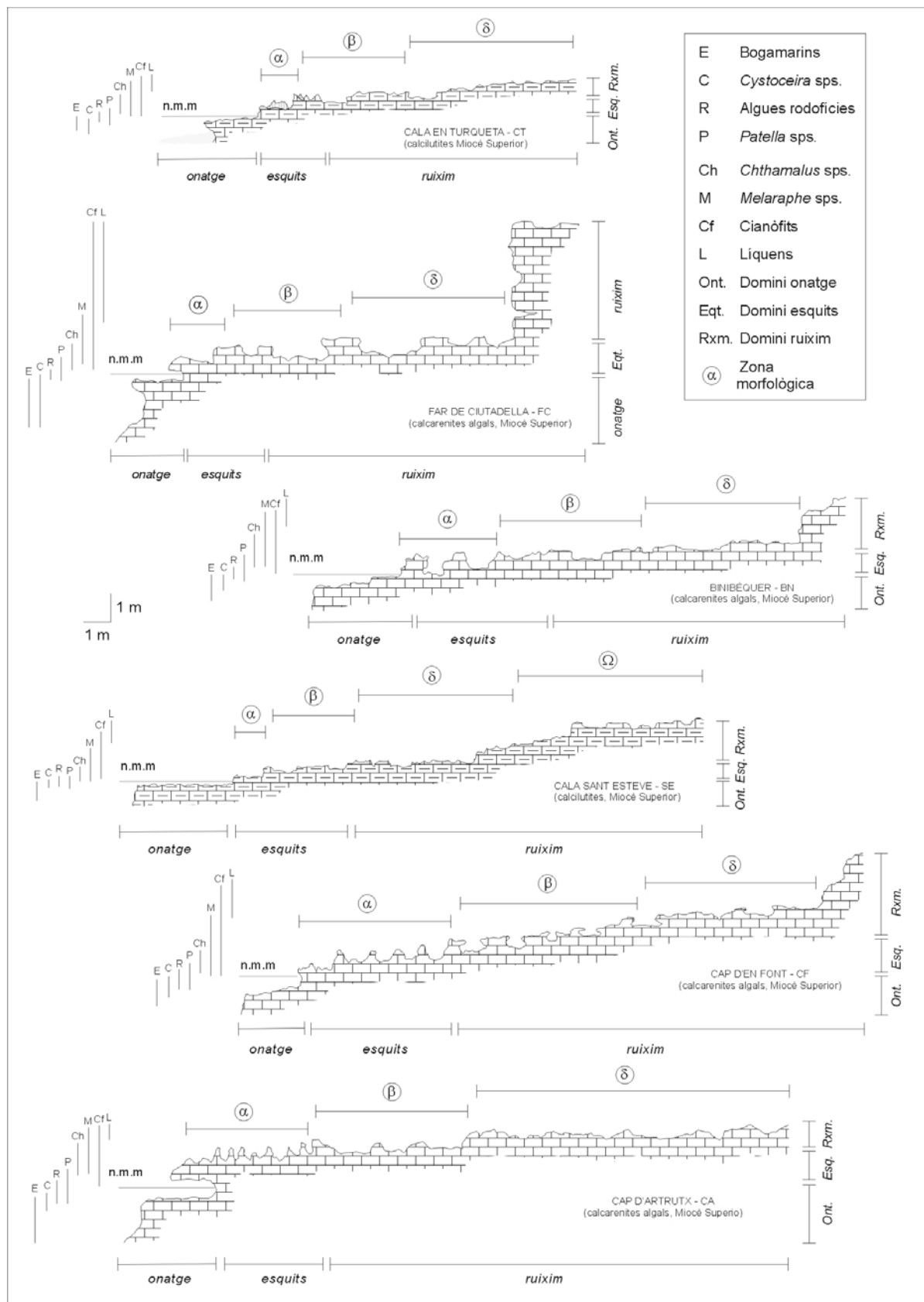


Fig. 5.12 Zonació morfològica, biològica i hidrodinàmica dels perfils estudiats a Menorca. Localització dels perfils a la figura 1.

		Far de Ciutadella		Cap d'Artrutx		Cala Turqueta	Cap d'En Font		Cala Sant Esteve	
Litologia perfils		calcarenites algals (Miocè Superior)		calcarenites algals (Miocè Superior)		calcilutites (Miocè Superior)	calcarenites algals (Miocè Superior)		calcilutites (Miocè Superior)	
Zonació morfològica		$\beta$	$\delta$	$\beta$	$\delta$	$\beta$	$\beta$	$\delta$	$\beta$	$\delta$
Llargària (cm)	Mitjana	137,90	140,40	125,73	165,90	89,69	115,90	134,30	61,80	93,70
	SD	89,71	101,61	47,09	80,22	23,20	78,85	60,29	24,89	79,95
	Mínim	55,00	49,00	56,00	80,00	54,00	49,00	57,00	38,00	54,00
	Màxim	353,00	400,00	220,00	320,00	130,00	312,00	230,00	123,00	320,00
Amplària (cm)	Mitjana	81,73	82,90	63,00	106,00	60,00	60,40	70,30	41,10	60,50
	SD	52,31	46,80	30,47	40,80	14,36	19,93	21,89	9,24	11,62
	Mínim	33,00	37,00	20,00	60,00	32,00	30,00	34,00	25,00	48,00
	Màxim	212,10	188,00	109,00	207,00	90,00	90,00	106,00	56,00	89,00
Fondària (cm)	Mitjana	37,37	17,40	32,00	32,70	22,77	27,30	30,30	12,70	30,10
	SD	14,44	4,50	6,43	14,85	7,42	8,37	8,41	2,31	45,80
	Mínim	13,00	11,00	20,00	16,00	10,00	12,00	20,00	10,00	10,00
	Màxim	67,00	27,00	40,00	53,00	36,00	38,00	45,00	18,00	160,00
Llargària vs. amplària	Mitjana	1,84	1,66	2,35	1,56	1,54	1,93	1,95	1,52	1,44
	SD	1,16	0,49	1,36	0,47	0,40	1,11	0,77	0,52	0,76
	Mínim	1,08	1,19	1,24	1,05	1,00	1,03	1,06	1,04	1,03
	Màxim	5,88	2,61	6,00	2,29	2,28	4,80	3,54	2,56	3,60
Llargària vs. fondària	Mitjana	2,25	4,63	3,84	3,61	2,94	4,13	4,91	4,99	6,14
	SD	1,12	1,68	0,98	1,37	1,29	1,82	2,63	2,03	6,74
	Mínim	0,83	1,85	2,73	1,72	1,48	2,52	1,43	2,56	0,46
	Màxim	4,92	7,50	5,79	6,30	5,80	8,21	9,20	9,46	24,62
Obertura (%)	Obert	88,89	30,00	63,64	20,00	38,46	70,00	10,00	90,00	10,00
	Tancat	16,67	70,00	36,36	80,00	61,54	30,00	90,00	10,00	90,00
Forma (%)	Circular	11,11	20,00	18,18	-	38,46	20,00	0,00	10,00	60,00
	Rectangular	11,11	10,00	9,09	10,00	-	-	20,00	10,00	-
	Triangular	5,56	-	9,09	-	15,38	-	20,00	10,00	-
	Allargat	55,56	50,00	54,55	30,00	38,46	50,00	40,00	40,00	20,00
	Irregular	16,67	20,00	9,09	60,00	7,69	20,00	20,00	30,00	20,00
Limits (%)	Rectes	27,78	20,00	36,36	20,00	7,69	10,00	50,00	40,00	-
	Sinuosos	72,22	60,00	63,64	30,00	76,92	70,00	40,00	40,00	70,00
	Indentacions	0,00	20,00	-	30,00	-	10,00	10,00	20,00	-
	Mixtos	0,00	-	-	20,00	15,38	10,00	-	-	30,00
Fons (%)	Pla	0,00	80,00	-	80,00	76,92	-	-	90,00	40,00
	Rugós	83,33	10,00	90,91	-	23,08	100,00	100,00	10,00	60,00
	Crestes	16,67	10,00	9,09	20,00	-	-	-	-	-
Relació amb fractures (%)	Seguint-ne 1	50,00	70,00	81,82	30,00	61,54	50,00	20,00	70,00	30,00
	Paral·lel a 2	22,22	10,00	9,09	-	-	-	10,00	-	-
	Intersecció 2	22,22	-	9,09	50,00	38,46	40,00	50,00	30,00	60,00
	Intersec. > 2	5,56	20,00	-	10,00	-	10,00	-	-	10,00

Taula 5.4 Paràmetres morfomètrics dels cocons dels perfils estudiats a Menorca.

una planta allargada (55,56%) i els límits sinuosos (72,22%). El fons és rugós en el 83,33% de les observacions i el 50% de les depressions segueix l'alineació d'una fractura. Mentre que les parets dels cocons estan intensament alveolitzades, les superfícies que els separen són suaus i s'hi poden apreciar nombrosos exemples de descamacions.

A la **zona**  $\delta$  els cocons apareixen aïllats (70%). El fons és més pla (80%). Les dimensions en planta són semblants a les de la zona anterior, però la profunditat de les depressions disminueix considerablement. Així, la llargària mitjana és de 140 cm i la profunditat de 17,4 cm. Les relacions entre eixos per a la llargària i la profunditat augmenten, en aquesta zona, fins a un quocient de 4 a 1. La forma dels cocons de la zona  $\delta$  també és allargada (72%) i els seus límits són sinuosos (60%). La majoria de les depressions (70%) es disposen seguint una fractura.

#### 5.5.12

#### Cap d'Artrutx (CA)

La zona d'estudi es localitza a 1 km del far del Cap d'Artrutx –sud de Ciutadella (Menorca)–, en direcció cap a Cala En Bosch. És una costa baixa amb un salt d'1 m arran de mar que acaba en una plataforma litoral lleugerament inclinada, d'1 a 3 m d'amplària. El perfil està desenvolupat sobre calcarenites algals de textura homogènia. El perfil es perllonga 18 m terra endins i des del zero relatiu arriba a pujar 2 m (Fig. 5.12).

Al perfil del Cap d'Artrutx podem separar un mínim de cinc zones morfològiques. La primera correspon al mòdul **plataforma litoral – notch**. La plataforma litoral és relativament estreta, de 2 a 3,5 m d'amplària i, a partir del trencament de plataforma, cau a plom al voltant de 5 m. La superfície està entapissada per una pàtina de rodofícies, sobre les quals hi ha una densa

mata de macroalgues verdes. Segueix a la plataforma un *notch* amb profunditat propera a 1,5 m i una distància entre el sostre i la base de l'entalladura de 0,87 cm. La base està recoberta per concrecions coral·lígenes, mentre que el sostre i la paret vertical estan intensament alveolitzades. La presència de *Patella rustica* és important.

Per sobre del *notch*, hi ha els primers pinacles aïllats que ocupen una franja de 4 m corresponents a la **zona  $\alpha$** . Els pinacles tenen alçàries de 13 a 67 cm i una aparença esponjosa arran dels microalvèols que s'hi superposen. Els pinacles més propers al mar apareixen recoberts de *Chthamallus stellatus* i *C. depressus*. Els alvèols als pinacles o les parets verticals tenen dimensions d'ordre mil·limètric, mentre que sobre les superfícies subhorizontals són d'ordre centimètric.

A la **zona  $\beta$**  els cocons són més representatius que no els pinacles. Els cocons es capturen els uns als altres (64% de les observacions), motiu pel qual la seva forma és allargada i circular (56% i 17%, respectivament). Les dimensions mitjanes de llargària són de 126 cm i les de profunditat de 32 cm. Les relacions entre eixos són de 2,35 a 1 per a la llargària i l'amplària, i de 4 a 1 per a la llargària i la profunditat. Bona part dels cocons es disposa seguint una fractura (81%) i els seus límits són sinuosos (63%) o rectes (36%). Entre cocons, sovint, hi apareixen formes cilíndriques de parets suaus que es corresponen amb conductes de subsòl. Tot i que suaus, alguns comencen a presentar un aspecte rugós en relació a les mateixes formes presents als sectors més terrestres del perfil.

La presència de cocons aïllats defineix la **zona  $\delta$**  que ocupa una franja al voltant de 10 m. La topografia és suau i són molt evidents les formes de conductes de subsòl. Algunes conserven restes de sòls bruns al seu interior, o hostatgen vegetació hal·lòfila. Els cocons d'aquesta zona en el 80 % dels casos estan tancats i no comparteixen envans amb d'altres formes. La llargària mitjana és de 166 cm i la fondària de 32,70 cm. La forma dels cocons és irregular (60%) i els límits dels cocons es reparteixen majoritàriament entre les categories de sinuós i indentacions (60%). La majoria dels cocons es desenvolupen a partir de la intersecció de dues fractures.

#### 5.5.13

##### *Cala Turqueta (CT)*

El perfil estudiat correspon a un aflorament de calcilitites del Miocè Superior molt bioturbades i riques en fragments de bivalves, just al sector central de la cala i ben encarat a la seva obertura. A diferència dels altres perfils no hi ha una zonació clara. El perfil abasta poc més de 8 m en l'horitzontal,

mentre que el desnivell en vertical és de poc més d'1,5 m. La primera franja que correspondria a la **zona  $\alpha$**  dels altres perfils té com a elements morfològics alguns pinacles amb alçàries per sota dels 30 cm, sense gaire alveolitzacions i cocons desventrats cap a la mar, on hi ha abundants *Patella sp.* i *Monodonta turbinata*. Un segon segment ocupa prop de 4 m des d'allà on acaben els pinacles. Aquest es correspondria amb la **zona  $\beta$** , tot i que la majoria de cocons estan aïllats (62%). Les seves dimensions són menors que els de les calcarenites algals. Així, la llargària mitjana és de 89,69 cm i la profunditat de 22,77 cm. Tot i així, les relacions entre els seus eixos no fugen de les tendències que marquen la resta de localitats (Taula 5.4). Per sobre del domini de les depressions aïllades, l'aspecte general és ruïniforme a causa de la intensitat de la bioturbació.

#### 5.5.14

##### *Cap d'en Font (CF)*

La localitat d'estudi es troba a 3 km al sud de Binidali i correspon a un sector de costa baix, amb façanes de penya-segat que tot just arriben als 3 m d'alçària. El perfil, de 17 m de llargària i 4 m d'alçària des del zero relatiu fins allà on apareixen els primers *Limonium sp.*, transcorre sobre calcarenites bioclàstiques del Miocè Superior, texturalment grolleres i de composició majoritàriament coral·loide i amb molta fauna. Tot plegat confereix una gran porositat primària.

Des d'un punt de vista morfològic, es poden separar fins a quatre zones de mar cap a terra. La primera zona correspon amb el domini de la **plataforma litoral**. Al Cap d'en Font, aquesta és relativament estreta, d'1,5 a 2 m d'amplària, i apareix completament encotonada per algues rodofícies i *Cystoceira sp.*

A la **zona  $\alpha$**  hi ha pinacles molt ben desenvolupats i exageradament alveolitzats. Les seves dimensions oscil·len dels 12 als 18 cm d'alçària. La base dels cossos piramidals està separada per plans suaus on abunden *Patella sp.* i *Monodonta turbinata*. Així com arrenquen les bases dels pinacles, hi trobam els esculls de *Chthamallus stellatus*. Els pinacles arriben a delimitar algun cocó a partir dels cordons que uneixen les seves bases amb diàmetres entorn dels 49 cm.

La **zona  $\beta$**  arrenca 4 m terra endins des de la plataforma litoral. És una zona on els cocons destaquen per la seva densitat per sobre dels pinacles, els quals redueixen les dimensions i augmenten el grau de connexió de les seves bases. Les dimensions dels cocons són considerables, 116 cm de llargària mitjana, 60,40 cm d'amplària i 27,30 de profunditat mitjana (Taula 5.4). Les relacions entre paràmetres

són de 2 a 1 per als eixos en planta i de 4 a 1 per a la relació planta–component vertical. El 70% dels casos observats estan oberts i la forma és d'irregular a allargada. El fons arran de la litologia és molt rugós i els límits són sinuosos (70%). Bona part dels cocons es disposen seguint una fractura (50%), o bé aprofitant l'encreuament de dues per desenvolupar-se (40%). Les parets dels cocons, així com les superfícies que els separen, tenen una aparença esponjosa arran de la densitat de microal·lèols.

La **zona  $\delta$**  és el darrer dels sectors per descriure al Cap d'en Font. D'una banda, la menor densitat dels cocons permet apreciar l'eixamplament d'esquerdes i la presència d'altres formes de planta lineal. Així, quan la roca és prou homogènia i té una textura fina, són abundants els exemples de microsols (paral·lels, trenats) i, en alguns casos, les seves alineacions es veuen alterades pel desenvolupament de microal·lèols.

Les depressions de la zona  $\delta$  en un 90% dels casos romanen tancades i aïllades respecte de les altres formes. Les dimensions mitjanes són de 134,30 cm de llargària mitjana i 30,30 cm de profunditat mitjana. S'hi han registrat màxims de 230 m. Les relacions entre paràmetres morfomètrics són semblants a les de la zona  $\beta$ , així com la resta de paràmetres morfomètrics.

#### 5.5.15

##### *Binibèquer (BN)*

El perfil de Binibèquer interessa arran del patró que presenta entre la interacció dels processos marins i els terrestres. És una costa relativament baixa, el traçat del perfil correspon al pendent deposicional de la Unitat Inferior de Barres (Obrador i Pomar, 2004). El perfil es localitza al flanc occidental de la cala, coincidint amb un petit sortint que la tanca. És una zona intensament afectada per la fracturació. L'aspecte general és ruïniforme, fins al punt que no hi ha un desenvolupament efectiu de les formes. Llevat d'uns pocs pinacles de dimensions inferiors als 50 cm en alçària i d'una textura relativament suau, així com d'alguns cocons aïllats de 150 a 210 cm de llargària i 33 cm de profunditat, no hi ha una zonació ni organització clara de les formes. No obstant això, a 5 m de la línia de costa hi apareixen conductes de subsòl amb restes de sòl a les superfícies entre cocons i 2 m més endins del perfil hi apareixen aquestes formes just acabades de desenterrar, a pocs centímetres de distància de la posició del sòl actual que cobreix el rocam (Fig. 5.14).

#### 5.5.16

##### *Cala Sant Esteve (CSE)*

La Cala Sant Esteve es troba al sud del Port de Maó.



**Fig. 5.13** Aparença ruïniforme del perfil de Binibèquer i contribució de les formes de subsòl en el modelat del *karren* litoral. A la fotografia superior es pot apreciar (a la zona de color blanquinós) la presència dels conductes de subsòl entre pinacles i cocons poc desenvolupats, mentre que a la fotografia inferior es pot apreciar com aquestes formes són desenterrades a pocs metres de la costa.

El perfil estudiat es localitza a la riba meridional de la cala, just davant les mirades del Fort de Malborough. A la zona d'estudi, hi ha una pedrera amb un buit important relacionada amb la construcció de la fortificació, així com també hi ha algunes piscines d'origen antròpic dedicades a la captura i cria artesanal de la llagosta.

El perfil llavorat sobre calcàries de textura fina, amb abundants bioturbacions corresponents a la Unitat Inferior de Barres (Obrador i Pomar, 2004) del Miocè Superior, té una llargària de 10 m i puja un desnivell de 2 m des del zero relatiu. El perfil té forma còncava i se'n poden separar dos nivells horitzontals. Un a 0,60 m de la plataforma litoral i l'altre a 1,30 m d'alçària.

Al perfil de la Cala Sant Esteve podem separar un mínim de cinc zones morfològiques. La primera correspon al mòdul **plataforma litoral**. La plataforma litoral és relativament estreta, de 2 a 3,5 m d'amplària, i a partir del trencament de plataforma cau a plom al voltant de 2 m. La superfície està entapissada per una pàtina de rodofícies, sobre les quals hi ha una densa

mata de macroalgues verdes.

A la **zona  $\alpha$**  els pinacles tenen alcàries de 10 a 18 cm i una aparença esponjosa arran dels microalvèols que s'hi superposen. Els pinacles més propers al mar apareixen recoberts de *Chthamallus stellatus* i *C. depressus*. Els alvèols, als pinacles o a les parets verticals tenen dimensions d'ordre mil·limètric, mentre que sobre les superfícies subhoritzontals són d'ordre centimètric.

A la **zona  $\beta$**  els cocons són més representatius que no els pinacles. Els cocons es capturen els uns als altres (90% de les observacions), motiu pel qual la seva forma és allargada i irregular (40% i 30% dels casos respectivament). Les dimensions mitjanes de llargària són de 61,80 cm i de profunditat de 12,70 cm. Les relacions entre eixos són de 1,52 a 1 per a la llargària i l'amplària, i de 5 a 1 per a la llargària i la profunditat. Bona part dels cocons es disposa seguint una fractura (70%) i els seus límits són sinuosos (40%) o rectes (40%). El fons dels cocons és completament suau i són habituals les entalladures a la base dels seus envans. La superfície entre cocons està completament alveolitzada.

La presència de cocons aïllats defineix la **zona  $\delta$**  que ocupa una franja al voltant de 5 m. La topografia és suau. Els cocons d'aquesta zona en el 90% dels casos estan tancats i no comparteixen envans amb altres formes. La llargària mitjana és de 93,70 cm i la fondària de 30,10 cm. La forma dels cocons és circular (60%) i els límits dels cocons són sinuosos (70%). La majoria dels cocons tenen el fons rugós arran de la presència dels nivells bioturbats. En relació a la fracturació, es desenvolupen a partir de la intersecció de dues fractures (60% de les observacions). A les superfícies entre cocons es poden seguir les formes lineals controlades per la fracturació, per bé que la seva textura no és tan gratel·losa com a altres localitats.

Per sobre de la zona  $\delta$ , i coincidint amb el nivell d'exploració antròpica del rocam, s'hi aprecia l'existència d'un nivell més cimentat de la roca on els cocons arriben a tenir un desenvolupament espectacular. La coalescència de formes arriba a permetre la formació de cocons de planta irregular, amb nombroses indentacions i una llargària composta de més de 12 m. Pel que fa a la profunditat, pot arribar als 70 o 80 cm de fondària. Les superfícies entre aquests cocons tenen un aspecte ruïniforme arran de la meteorització diferencial relacionada amb la bioturbació de la roca.

## 5.6

### L'organització de les formes

Els setze perfils de costa estudiats recullen la

casuística tant pel que fa a l'organització espacial de les formes del *karren* litoral, com al tipus de costa on apareixen. En general, es tracta d'un perfil de costa lleugerament inclinat amb una modesta tendència còncava, que supera el desnivell mitjançant esglaons.

L'abast del modelat del *karren* litoral és variable i sembla dependre, d'una banda, de la litologia i, de l'altra, del grau d'exposició als agents marins, principalment l'onatge. Així, a indrets arrecerats, com a l'interior de Cala Turqueta o de Cala Binibèquer a Menorca, i del pegat d'eolianites a la Cala d'en Guixar o el perfil de Cala Blava a Mallorca, la zona afectada pel rascler litoral és d'uns 8 a 10 m terra endins. A zones més exposades, com el Cap d'Artrutx o el Cap d'en Font, a Menorca, i la Cala Murada, la Punta de n'Amer o el Cap Salines, a Mallorca, els perfils s'acosten o depassen la vintena de metres. Tot i així, el *karren* litoral presenta una organització i una gradació interna molt acusada. Comptat i debatut, la gradació de les formes, la fauna i la flora és una de les característiques més destriables de les costes rocoses (Spencer, 1988), que està associada al grau d'humidificació derivat de l'onatge i a la forma del perfil de costa (Palmer *et al.*, 2003). En aquest sentit, la taula 5.5 sintetitza la presència de les formes inventariades a cada perfil en termes d'abundància relativa, a la vegada que s'intenta correlacionar la seva distribució amb les zonacions biològiques i hidrodinàmiques estudiades i descrites en altres capítols d'aquesta memòria. Els termes relatius amb què s'ha dividit cada un dels perfils, quan s'hi aborda en conjunt, aboca un gradient on formes com marmites i alvèols lligats a l'activitat biològica dels bogamarins són característiques del domini de la plataforma litoral, mentre que els alvèols són molt importants a la zona  $\alpha$  i disminueixen el seu pes relatiu, així com avança el sector terrestre. És una tendència lleugerament inversa a la dels cocons, o a la dels conductes de subsòl i les microfissures. Els primers són molt abundants als sectors intermedis del perfil, mentre que els altres dos són abundants als sectors més terrestres. Els pinacles queden, també, ben sectorialitzats a l'espai que delimiten, per una banda, la plataforma litoral i, per l'altra, la presència abundant de cocons.

Així doncs, si s'hi integra la zonació morfològica, la hidrodinàmica i la biològica es pot definir una seqüència general pel que toca a l'organització de les formes del *karren* litoral de Mallorca i Menorca en què queden ben definits cinc mòduls (Fig. 5.14).

El primer dels mòduls lliga el domini de l'onatge amb les comunitats biològiques de plataforma litoral (vegeu capítol 3). És el mòdul que queda definit per les **plataformes litorals** i les concrecions orgàniques que duen associades. En aquest segment del perfil de costa, que roman quasi sempre per sota del nivell

marí, és freqüent trobar-hi algunes formes molt característiques d'origen biològic. Es tracta de les cavitats alveolars que deixen els bogamarins i que mantenen una relació geomètrica amb la mida d'aquests individus. La resta de plataforma està entapissada per pradells d'algues verdes (majoritàriament *Cystoceria* sp.), així com també per concrecions d'algues calcàries i vermèdids. Aquesta coberta actua com a agent de protecció i evita, en bona part, l'erosió mecànica de la plataforma, desplaçant l'onatge i la seva acció cap a l'interior del perfil. Només quan el perfil subhoritzontal de la plataforma comença a esdevenir vertical, ens trobam amb un *notch* (entalladura), o amb un esglaó a partir del qual comença la zona emergida de la costa rocosa. A grans trets, en ambdós casos, es tracta de superfícies amb abundants microalvèols, completament recoberts de cianobacteris i, a les zones més properes al nivell marí, d'algues calcòfiles i bioherms de musclos (*Mytilus edulis*). Juntament amb els microalvèols descrits a l'inventari, és fàcil trobar formes alveolars creades per gastròpodes com les pegellides (*Patella* sp.) i els polioplacòfors (*Chiton* sp.).

El segon dels mòduls, la **zona  $\alpha$** , coincideix amb l'abast de la rompuda de l'onatge sobre el perfil de costa. Aquest abraça des de la part superior del *notch* o de l'esglaó, fins allà on arriben els esquits amb major intensitat. Hi són presents, amb caràcter dominant, els pinacles amb tot el reguitzell de microalvèols superposats. Les dimensions dels pinacles oscil·len dels 20 cm a quasi bé 1 m en alçària. Les formes són variades, en funció del nombre de diaclàsis i les seves direccions i la intensitat dels microalvèols que se superposen a la forma piramidal base. El color de la superfície de la roca és fosc arran de la intensa colonització per cianòfits i líquens (*Rivularia* sp., *Pynerocollema* sp.). Hi comencen a aparèixer els primers individus de *Melaraphe neritoides* o *Melaraphe punctata*. Les pegellides (*Patella rustica* i *P. caerulea*) són relativament abundants a les superfícies horitzontals entre pinacles, o bé a les parets verticals que s'aixequen just després de la plataforma litoral. El patró també és semblant per a *Monodonta turbinata*. Les esquerdes i fractures eixamplades –*splitkarren*–, que apareixen a la zona  $\alpha$ , acostumen a estar intensament colonitzades per crustacis filtradors

Zonació morfològica	Plataforma litoral	Zona $\alpha$	Zona $\beta$	Zona $\delta$	zona $\Omega$	
Planta arrodonida	Cocons	r	+	+++	+++	+
	Alvèols	+	+++	++	+	+
	Microalvèols	-	+++	+++	++	+
	<i>Taffoni</i>	-	-	-	-	+
	Nius d'abella	-	-	-	-	+
	Marmites	++	+	r	r	r
	Conductes subsòl	-	-	-	+	++
Planta lineal control fractures	Microfissures	-	-	r	+	+
	Esquerdes	+	+	+	++	+
Planta lineal control hidrodinamisme	Microsolcs	-	-	-	+	++
	Estries	-	-	r	r	r
	Canals decantació	-	-	r	r	-
Poligèniques	Pinacles	-	+++	+	-	-
	<i>Notch</i>	+	-	-	-	-
	Plataforma	++	-	-	-	-
	<i>Trottoir</i>	+++	+	-	-	-
	Bufadors	+	+	r	-	-
Zonació hidrodinàmica	onatge	rompuda onatge	esquits	ruixim		
Zonació biològica	plataforma	zona a	zona b	zona c		

**Taula 5.5** Zonació morfològica del *karren litoral* a les costes de Mallorca i Menorca. Correlació amb les zonacions hidrodinàmica i biològica. Els codis emprats a la taula en relació a les formes signifiquen: (+++) molt abundant, (++) abundant, (+) present, (r) rara i (-) absent.

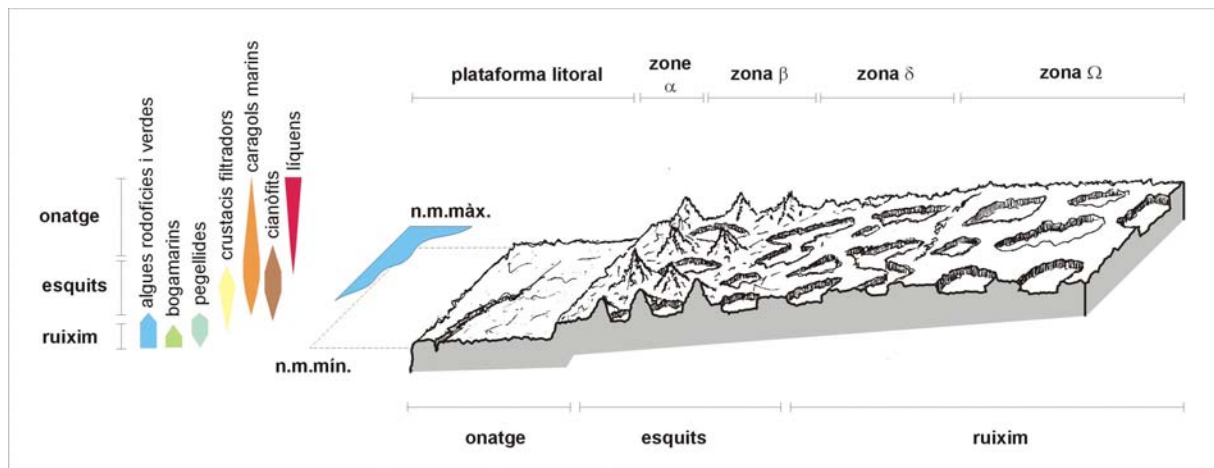


Fig. 5.14 L'organització de les formes del karren litoral de Mallorca i Menorca.

(*Chthamalus depressus* i *Chthamalus stellatus*), especialment quan l'aigua s'hi escola i hi corre. La superfície de la roca és rugosa i durant els episodis secs queda coberta d'eflorescències salines.

Dellà dels pinacles completament aïllats, i quan es comença a donar la transició entre els esquits intensos a l'impacte de les gotes d'aigua, hi dominen les formes de planta arrodonida. En aquest mòdul (**zona β**), els pinacles es mantenen units a la seva base per petits cordons, conformant petites conques que recorden, tot i que en un altre factor d'escala, els relleus de *cockpit* tropicals. En aquesta zona els cocons mostren un alt grau de connexió, del 70% al 90% dels casos, i la majoria presenten sobreploms. En funció de la litologia s'aprecia un augment de les dimensions mitjanes de llargària dels cocons (Fig. 5.15). Les dimensions dels cocons sobre roques molt resistents, i amb una intensa fracturació com les de la Cala d'en Guixar i la Punta des Faralló, són menors que les de les localitats amb un aflorament de calcarenites del Miocè Superior, o d'eolianites quaternàries. A la zona β les relacions entre els eixos que defineixen la planta dels cocons són d'1,5 a 2. És a dir, són més llargs que amples, l'eix major és quasi dues vegades l'eix menor (Fig. 5.15). Pel que fa a les relacions entre llargària i fondària, les relacions entre eixos abracen mínims de 2 a 1 i arriben a màxims de 5 a 1, tot i que hi ha casos que arriben a proporcions de 9 unitats de llargària per 1 de fondària. Tot plegat no ve sinó a destacar el fet que es tracta de depressions somes.

Ja dins els dominis del ruixim (**zona δ**), quan l'aportació de l'aigua de mar ve en forma d'aerosol, els cocons continuen essent les formes més característiques. Aquest cop, però, es troben aïllats els un dels altres (entre el 35% i el 100% de les observacions) i en pocs casos presenten sobreploms (Fig. 5.15). Respecte del mòdul anterior, les dimensions mitjanes dels cocons són lleugerament

superiors. Aquesta és una característica que es dona en tots els tipus de litologies i a gairebé totes les localitats estudiades (Fig. 5.14). No hi ha diferència pel que fa a les relacions entre llargària i amplària respecte de la zona β. Ben al contrari del que passa amb les proporcions entre llargària i profunditat, que se situen en quocients de 4 o 6 a 1. En altres paraules, els cocons del mòdul δ són més llargs, igual d'amples, i menys profunds que els dels sectors del perfil que el precedeixen (Fig. 5.15). Les superfícies entre cocons estan microalveolitzades, tot i que, com passa amb la cobertura de cianòfits, la densitat de microalvèols disminueix terra endins. Comencen a aparèixer alguns líquens crustacis a la superfície de la roca i el gastròpode *Melaraphe neritoides* assoleix densitats de 200 a 600 ind·m<sup>-2</sup>, encara que sobre les eolianites quaternàries pot arribar a 1.700 ind·m<sup>-2</sup>. En aquesta zona del perfil, s'hi poden localitzar microsolcs quan apareixen pegats de roca de textura fina i homogènia, així com conductes de subsòl desenterrats i lleugerament remanegats.

Rere el domini del ruixim, allà on l'acció dels processos marins és més confosa (**zona Ω**), encara s'hi troben alguns cocons. Això sí, apareixen aïllats (com a mínim un 85% dels casos) i tenen un aspecte més suau, amb parets i fons arrodonits. Una densitat de cocons menor permet apreciar sobre les superfícies subhoritzontals un seguit de formes lineals controlades per la fracturació. Dins aquestes esquerdes o a les parets dels cocons, hi trobam poblacions considerables de *Melaraphe neritoides*, de 271 a 897 ind·m<sup>-2</sup>. La superfície entre cocons és menys rugosa que en el mòdul anterior i arriben a donar-se aparences suaus o arrodonides quan els líquens hi són presents (especialment *Verrucaria* sp.). Els microsolcs continuen apareixent de forma intermitent, quan la textura de la roca ho permet. En funció de la forma i exposició del perfil, l'erosió dels sòls permet avaluar, en aquesta zona, la transició dels conductes de subsòl a formes del karren litoral. Amb



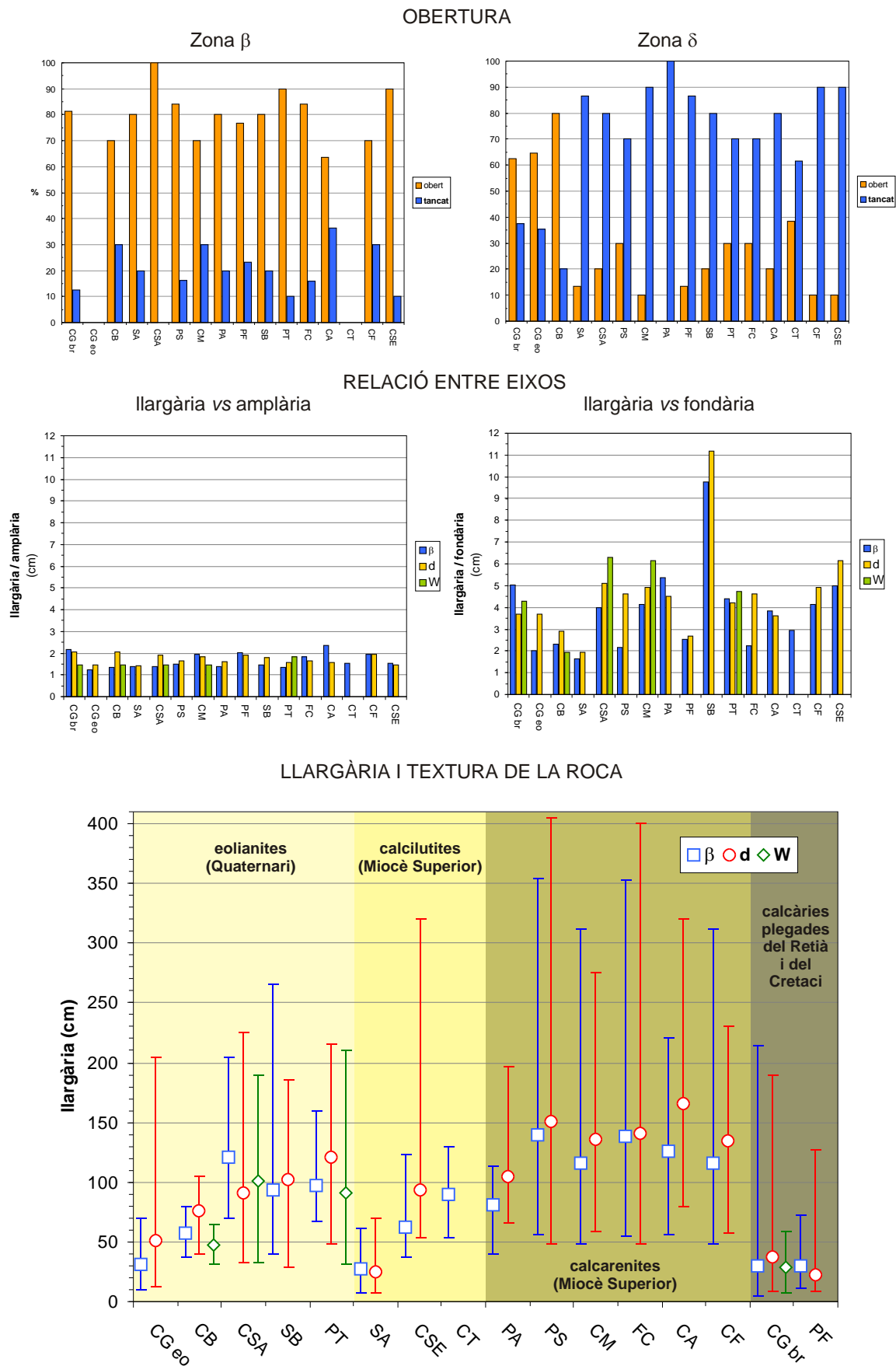


Fig. 5.15 Paràmetres morfomètrics i atributs de forma dels cocons a les localitats d'estudi d'acord amb la zonació geomòrfica

l'aparició dels primers *Limonium* sp. es deixa enrere el domini marí per passar al pròpiament terrestre.

## 5.7

### Observacions mitjançant microscopi electrònic de rastreig (SEM)

El micromodelat que se superposa a les parets dels pinacles, els flancs dels cocons o la rugositat de les superfícies subhorizontals obliga a considerar l'estudi del *karren* litoral des d'una perspectiva multiescalar en què, meso, micro i nanoformes no són del tot independents (Viles, 2001). Moses i Viles (1996) utilitzen el terme nanoformes per referir-se a totes aquelles formes l'eix major de les quals sigui inferior al mil·límetre, entre d'altres raons, perquè el seu estudi i la seva caracterització es desenvolupa mitjançant tècniques de microscopia, com el microscopi electrònic de rastreig (SEM) o el microscopi petrogràfic (Naylor i Viles, 2002).

Les observacions de SEM tenen per objecte descriure les principals nanoformes presents al *karren* litoral de Mallorca i Menorca, així com identificar els agents que les provoquen i relacionar-ne l'evolució amb les mesoformes descrites a l'apartat anterior.

#### 5.7.1

##### Materials i mètode

Al llarg de setze perfils perpendiculars a la costa, s'han recollit fragments de roca per al seu estudi

mitjançant SEM (Fig. 5.1), d'acord amb el protocol de Taylor i Viles (2000). El centenar i escaig de fragments de roca procedeixen de les diferents zonacions del perfil i, en cada una d'aquestes, de diferents punts d'una mateixa forma. Així, s'han obtingut mostres de les crestes dels pinacles, de les seves bases, o bé dels envans dels cocons o del seu fons (Taula 5.6).

A la superfície de les roques carbonatades, a escala de micres, es reconeix un ventall ample de formes sobre els cristalls de carbonat càlcic i sobre els altres elements de la fàbrica de la roca. Berner (1978) i Young (1988) posen de manifest l'existència de dos factors que controlen les velocitats i l'eficiència dels processos cinètics de dissolució dels carbonats. Sota una dissolució en condicions de transport del fluid, els ions són arrabassats de forma ràpida de la superfície dels cristalls i deixen una nanotextura suau i arrodonida. Quan el contacte és lent, amb pel·lícules d'aigua estàtiques, els ions són arrabassats lentament, per la qual cosa es possibilita una dissolució selectiva dels cristalls, atacant en primer lloc les irregularitats dels cristalls i de llurs contactes. El resultat és la producció de superfícies angulars, amb nanoformes controlades cristal·logràficament, així com la formació de petits alvèols. A les roques carbonatades, arran de l'ampla varietat en la mida de cristalls i el tipus de ciments, els límits entre grans i altres debilitats de la roca són atacades de forma preferent (Moses i Viles, 1996).

Gillot (1978) atribueix a l'acció de les sals l'eixamplament dels plans de contacte entre cristalls

Perfil	Zona $\alpha$					Zona $\beta$					Zona $\delta$					Zona $\Omega$				
	Crestes pinacles	Base pinacles	Fons cocons	Parets verticals	Superfícies planes	Cresta pinacles	Base pinacles	Fons cocons	Parets cocons	Superfície entre cocons	Fons cocons	Parets cocons	Superfície entre cocons	Esquerdes	Microsolcs	Fons cocons	Parets cocons	Esquerdes	Microsolcs	Conduïtes subsol
MALLORCA	CGb			✓	✓			✓	✓	✓	✓		✓		✓		✓			
	CGe	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓		✓		✓					
	CB	✓	✓					✓	✓	✓	✓				✓					✓
	SA			✓	✓				✓	✓	✓			✓						
	CSA	✓	✓			✓			✓	✓	✓			✓		✓		✓		✓
	PS	✓	✓			✓			✓	✓	✓	✓		✓		✓				
	CM	✓	✓		✓	✓			✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			✓	✓
	PA	✓			✓	✓			✓	✓	✓	✓		✓		✓				✓
	PF				✓	✓			✓	✓	✓	✓		✓		✓				
	SB	✓				✓			✓	✓	✓	✓		✓		✓				
	PT	✓	✓						✓	✓					✓					
MENORCA	FC	✓	✓			✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓						
	CAR	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓				✓					✓
	CT	✓		✓				✓	✓	✓	✓									
	CF	✓	✓					✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓					
	BN	✓				✓		✓	✓	✓	✓			✓						✓
	CSE			✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓				

Taula 5.6 Llistat de les mostres recollides a cada localitat i a cada zona morfològica.

Tret morfològic	Gènesi
Depressions de corrosió ( <i>circular etch pits</i> )	Biològica
Galeries de corrosió ( <i>circular boreholes</i> )	Biològica
Solcs de filaments ( <i>filament-shaped trenches</i> )	Biològica
Corrosió del límit cristal·lí ( <i>Crystal boundary widening</i> )	Dissolució
Accentuació del clivatge ( <i>cleavage widening</i> )	Dissolució
Corrosió en V ( <i>V-in-V etching</i> )	Dissolució
Corrosió polièdrica ( <i>blocky etching</i> )	Dissolució
Arrodoniment ( <i>rounding</i> )	Dissolució
Deposició – creixement cristalls ( <i>deposition / crystal growth</i> )	Transformació mineral induïda per la meteorització
Microfractures ( <i>microfissures</i> )	Varis, p.e. acció de sals

**Taula 5.6** Nanoformes de meteorització de les roques carbonatades i les seves relacions genètiques segons els treballs de Viles i Moses (1998).

i/o grans i la corrosió circular o corrosió polièdrica. Viles (1987 i 1990) utilitza un seguit de categories similars per a la descripció de les formes de meteorització biològica a ambients naturals i urbans. Les nanoformes, com el propi *karren*, tenen dues propietats importants: (a) bona part de les formes estan controlades per la mineralogia (cristal·lografia) i (b) acostumen a mantenir-hi una relació jeràrquica (Moses i Viles, 1996).

La classificació de les nanoformes (Taula 5.7), així com les seves implicacions genètiques s'han desenvolupat d'acord amb els criteris de Viles i Moses (1998).

### 5.7.2

#### Resultats

Les observacions qualitatives de microscopi electrònic revelen la presència d'un ventall ample de nanoformes que a continuació es comenten seguint la zonació morfològica (Taula 5.5)

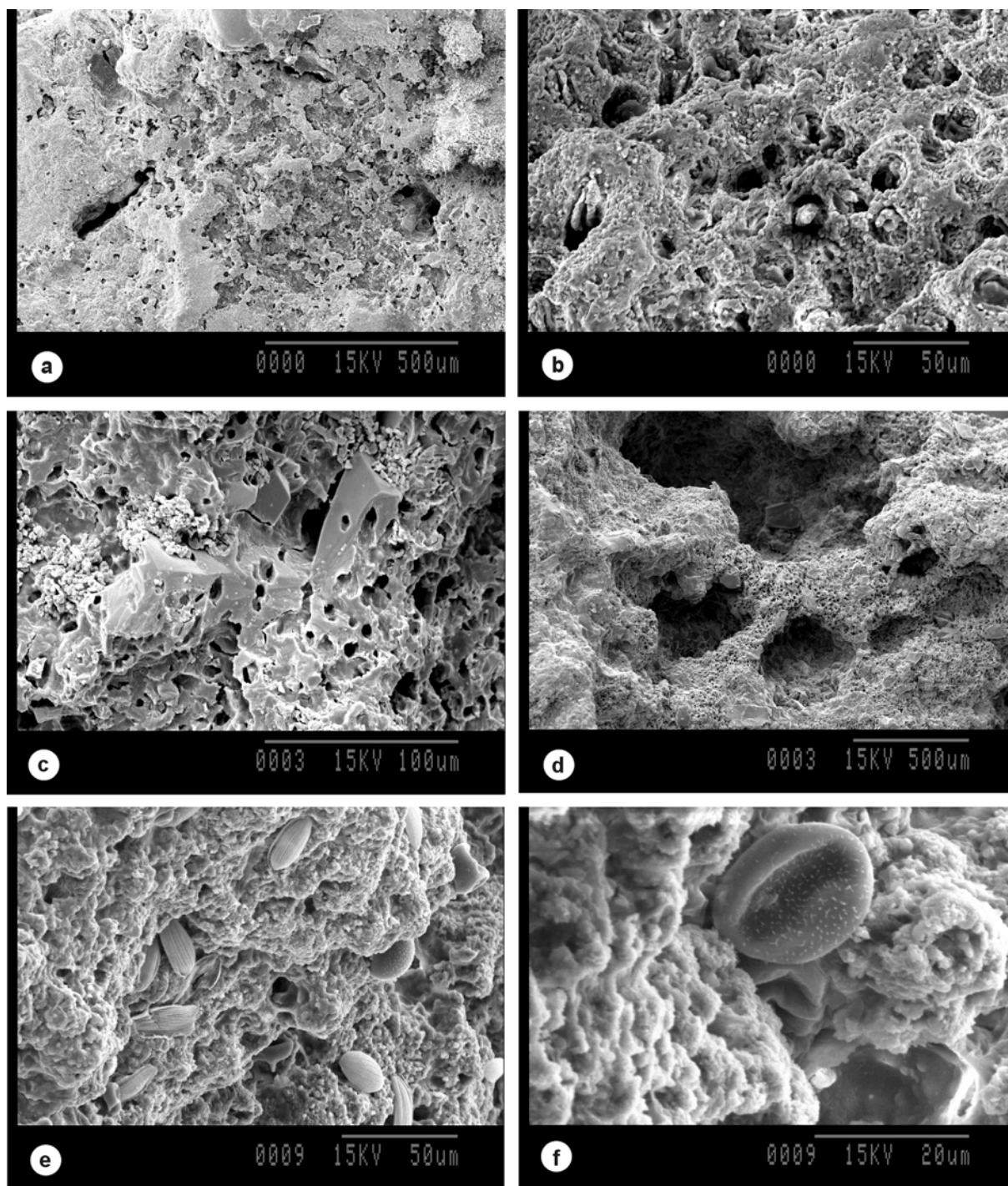
#### 5.7.2.1 Zona $\alpha$ (pinacles)

Les mostres estudiades procedents de la zona  $\alpha$  dels perfils es corresponen amb fragments dels pinacles i les bases de les depressions que aquests tanquen. Els pinacles destaquen per la irregularitat de la seva topografia que, en molts de casos, es veu accentuada per la litologia. A l'interior dels microalvèols, se solen observar dues generacions de depressions d'aparença suau i arrodonida (Fig. 5.16a). La primera generació defineix la geometria dels microalvèols. Les seves dimensions són de 400 a 700  $\mu\text{m}$ , mentre que la segona generació, bé de forma aïllada, bé en coalescència, es desenvolupa a l'interior de la primera. Aquestes depressions, de forma circular i de diàmetre al voltant de les 20  $\mu\text{m}$ , són abundants també a la resta de mostres procedents de la zona de pinacles, amb independència de si corresponen a la cresta dels pinacles, a la base d'aquests o a les superfícies de parets verticals o superfícies subhoritzontals (Fig. 5.16b i d).

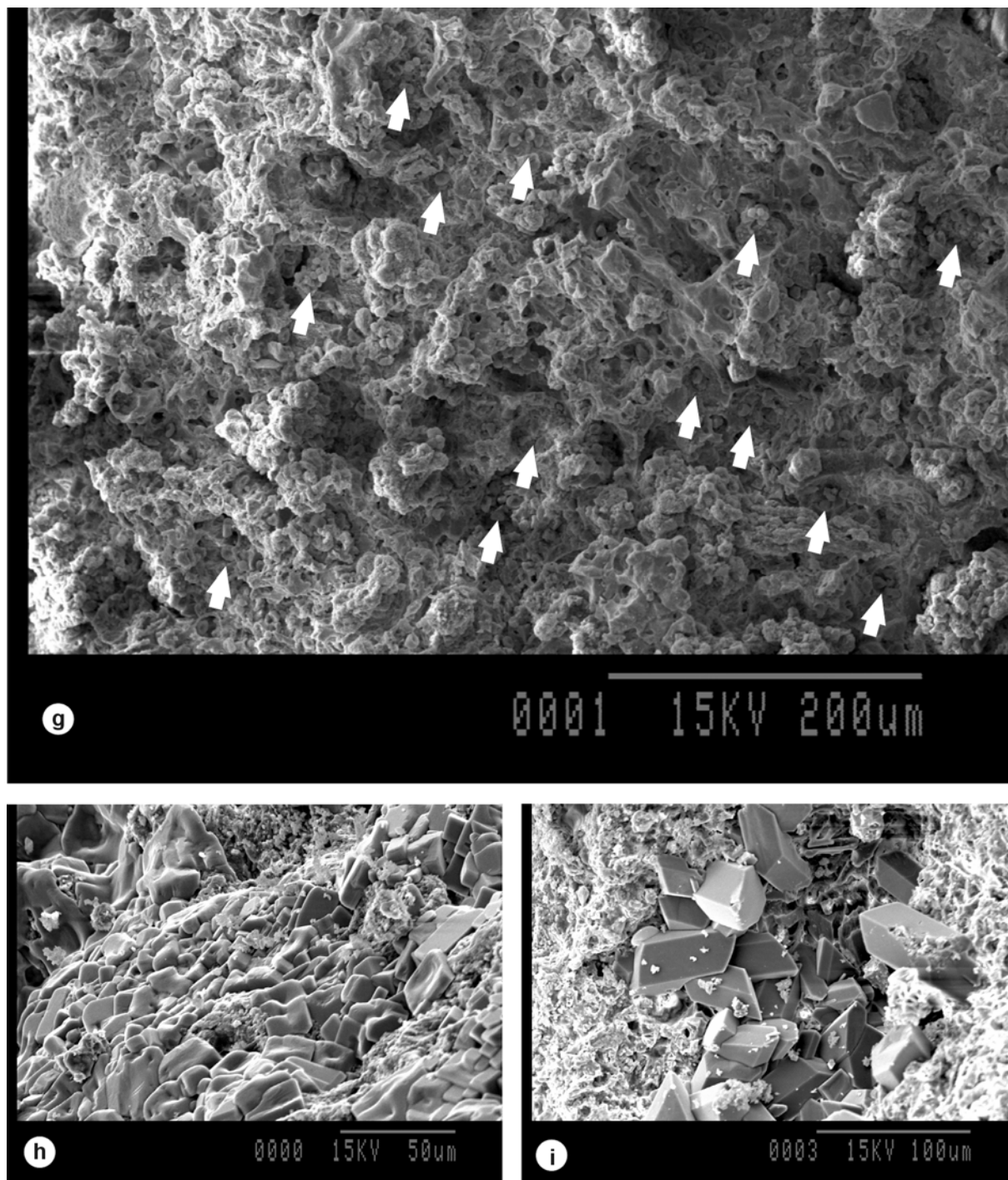
Les depressions de corrosió afecten, majoritàriament, els grans de les calcarenites del Miocè ni les eolianites quaternàries, mentre que a les mostres de Cala d'en Guixar i la Punta des Faralló afecten els cristalls de dimensions més grans (Fig. 5.16c). A la vegada, no s'aprecien els límits angulosos dels fragments esquelètics dels bioclasts de les calcarenites ni de les eolianites, un arrodoniment generalitzat que, en el ciment, es manifesta en abundants evidències de corrosió polièdrica.

A les mostres procedents de les superfícies horitzontals entre pinacles, hi són freqüents, i amb densitats superiors a la de les parets dels pinacles, les depressions i les galeries de corrosió (Fig. 5.16b i 5.16g). Tant els grans com el ciment de la roca estan alterats i la porositat està ocupada per cristalls d'halitai, en menor mesura, de guix (Fig. 5.16h i 5.16i).

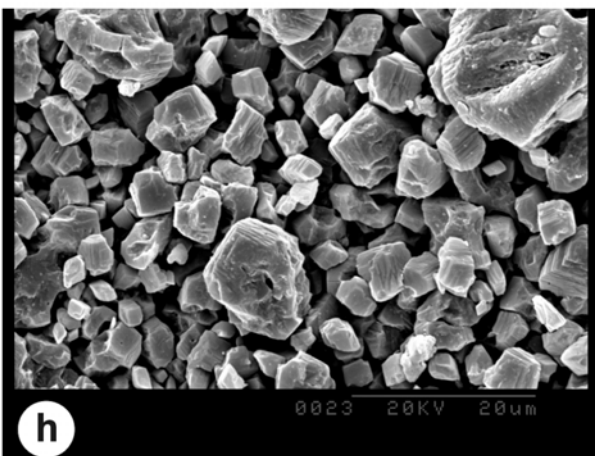
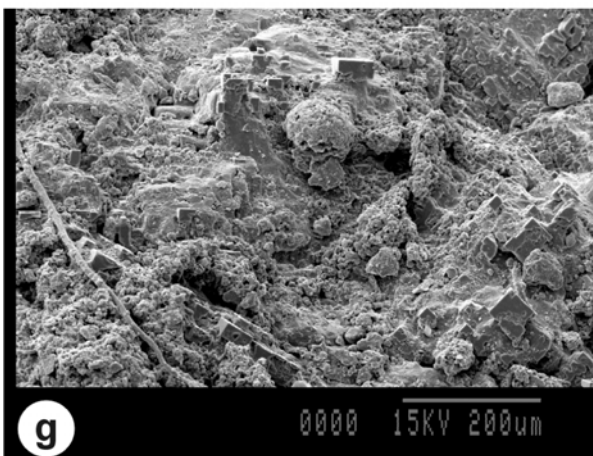
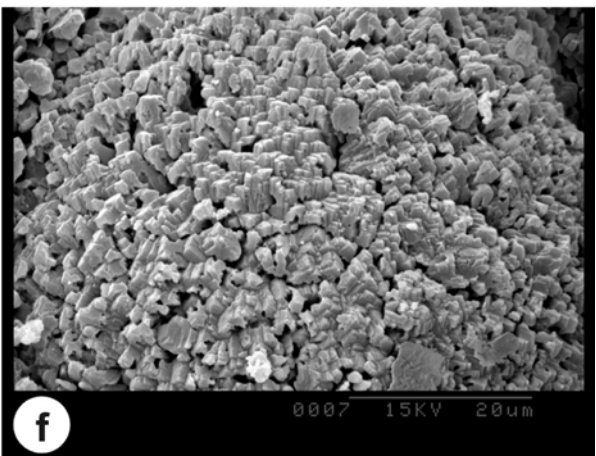
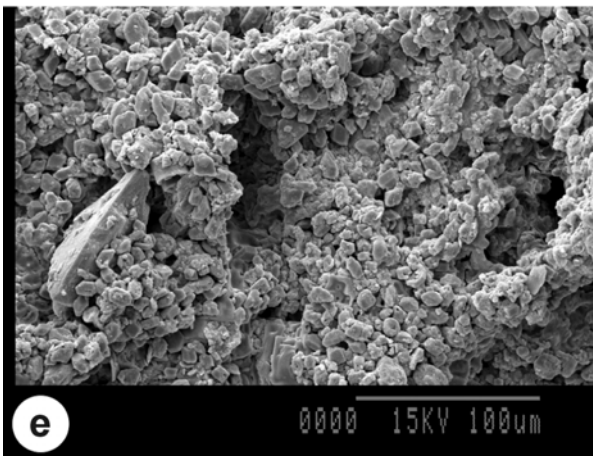
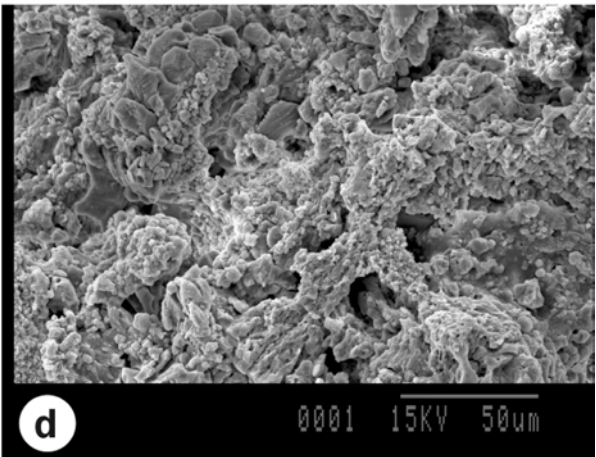
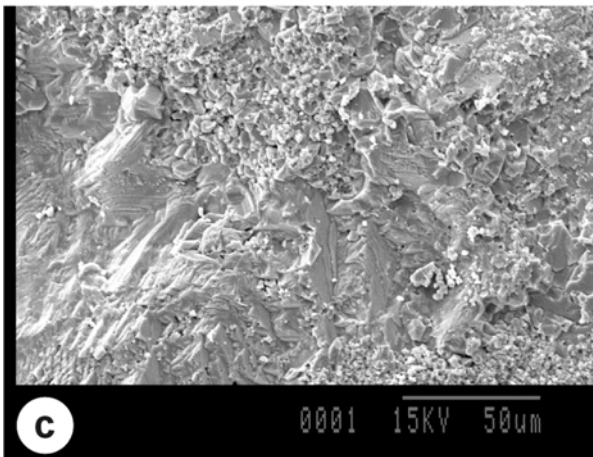
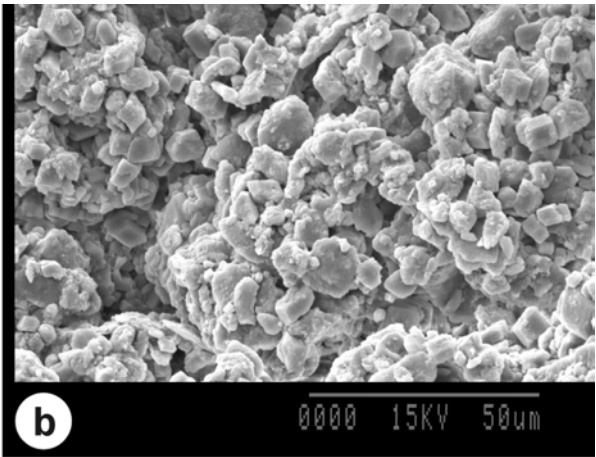
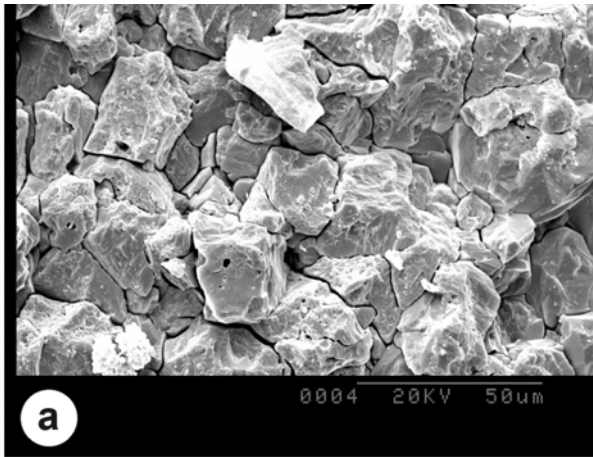
Aquesta situació contrasta amb les observacions dels pinacles, on són comptades les ocasions en què s'ha identificat l'acumulació de sals, fet que implicaria un rentat de l'aportació de sals per l'aigua marina amb el propi desplaçament gravitatori dels esquits cap a la base dels pinacles o dels relleus verticals. Cal destacar que bona part de la porositat que s'observa a les mostres respon al desmantellament del ciment, que presenta un grau de corrosió marcat entre els límits dels seus cristalls, així com en els seus agregats. De forma puntual, també hi apareix alguna evidència de solcs de filaments, probablement relacionada amb la presència de les hifes de fongs i líquens.



**Fig. 5.16** Depressions de corrosió, galeries de corrosió i deposició de sals a la zona  $\alpha$  dels perfils estudiats. a) Dues generacions de depressions a les parets dels pinacles del Cap d'Artrutx (Menorca). Sembla que hi hagi una superfície d'enduriment que defineix el primer nivell de concavitats amb un diàmetre al voltant de les 250 i 500  $\mu\text{m}$ . Sobre aquest, bé de forma aïllada, bé en coalescència, hi ha tot un seguit de depressions circulars de corrosió i galeries responsables de la segona generació de depressions. b) Detall de la planta de les depressions de corrosió afectant el ciment de les calcarenites del perfil del Far de Ciutadella (Menorca). c) Depressions i galeries de corrosió sobre els cristalls de les bretxes dolomítiques d'una superfície subhoritzontal a la Cala d'en Guixar (Mallorca). Observi's com l'atac biològic n'augmenta la porositat i la superfície per a l'acció d'altres processos. d) A les calcarenites del Miocè Superior de la Punta de n'Amer (Mallorca), les perforacions lligades a l'activitat dels cianòfits ataquen preferencialment el ciment. A la imatge els grans han botat i defineixen un primer nivell de concavitats. El ciment ofereix un aspecte ruïniforme. e i f) Detall de la presència de diatomees i cianòfits al voltant de les depressions de corrosió a les parets dels pinacles de la Punta des Sivinar (Mallorca).



**Fig. 5.16** (continuació) Depressions de corrosió, galeries de corrosió i deposició de sals a la zona  $\alpha$  dels perfils estudiats. g) Depressions de corrosió i cianòfits –indicats amb les fletxes– a una superfície subhoritzontal a la zona de pinacles del Cap d'en Font (Menorca). Les depressions tenen unes dimensions al voltant de 16 a 20  $\mu\text{m}$  coincidint amb les dimensions dels cianòfits o ramells d'aquests que s'hi hostatgen. h) Acumulació de sals –cristall d'halita– a la base dels pinacles al Cap d'Artrutx (Menorca). i) Esquerda reomplerta per cristall de guix i halita a Cala Murada (Mallorca).



**Fig. 5.17** (pàgina anterior). Nanoformes de dissolució (corrosió del límit cristal·lí, polièdrica i accentuació del clivatge a la zona dels perfils estudiats. a) Detall d'una superfície subhoritzontal a 8 m del mar a la Cala d'en Guixar (Mallorca) sobre bretxes del Retià. Destaca l'eixamplament de límit cristal·lí. En els cristalls també s'hi pot observar alguna forma de corrosió circular i l'accentuació del clivatge en la dissolució de la roca. b) Arrodoniment i individualització dels cristalls del ciment a les calcarenites del Miocè de la Punta de n'Amer. Hi ha abundants cristalls de sals. c) Formes de corrosió en V i accentuació del clivatge a una mostra procedent d'una superfície entre cocons del Cap d'Artrutx (Menorca). d) Arrodoniment dels cristalls i eixamplament dels seus límits de contacte. A la seva superfície també s'hi constaten evidències d'accentuació del clivatge, amb menor mesura que a les mostres de la zona de pinacles. En el costat inferior dret de la imatge s'observa el recobriment d'una pàtina biològica que ofereix una superfície suavitzada que contrasta amb la resta de la imatge. També hi ha alguns cristalls de sals. La mostra procedeix de la paret d'un cocó del Far de Ciutadella (Menorca). e) Corrosió polièdrica i arrodoniment de la textura que afecta el ciment de la roca. Els grans i cristalls de majors dimensions han botat, o bé presenten evidències de forats de corrosió. Superfície entre cocons a la Punta des Sivinar (Mallorca). f) Detall del fons d'un cocó a la Punta des Faralló (Mallorca). La corrosió polièdrica, que individualitza cada un dels elements marcant la geometria de les arestes dels cristalls, és dominant. També hi apareixen algunes depressions i galeries de corrosió i l'accentuació del clivatge dels cristalls, de més a més d'alguna estructura en V. g) Aparença suau de la superfície de la roca al Cap d'en Font (Menorca) a una superfície entre cocons aïllats. Comença a fer-se evident la importància d'una pàtina biològica que contrasta amb la rugositat del ciment. Hi ha solcs de filaments abandonats i d'altres d'ocupats per hifes al marge inferior esquerre de la imatge. Sobre la pàtina biològica també hi trobam pel·lícules de sals dissoltes i h) Detall del grau de corrosió polièdrica de les superfícies entre cocons a Cala Murada (Mallorca). No es pot parlar d'eixamplament del límit cristal·lí del ciment, perquè els seus elements quasi bé suren. Destaca la presència de nanoformes lligades a l'accentuació del clivatge dels cristalls, així com alguna depressió circular de corrosió.

#### 5.7.2.2 Zona $\beta$ (cocons)

Altres dos tipus de superfícies s'han considerat a la zona on els cocons, bé en connexió o bé aïllats, són les mesoformes dominants. El primer conjunt correspon a mostres procedents de superfícies subhoritzontals, lleugerament rugoses, que hi ha entre cocó i cocó. El segon grup de mostres el componen aquelles mostres arrabassades dels envans que separen les depressions i els seus fons.

Les mostres de les superfícies entre cocons, a grans trets, tenen una aparença irregular derivada de la corrosió dels límits cristal·lins dels grans i de la corrosió polièdrica del ciment (Fig. 5.17a). En alguns grans, s'hi aprecien estructures de corrosió en V. Pel que fa a les depressions i galeries de corrosió, se'n poden distingir dos ordres de magnitud. Un d'ells correspondria a les nombroses, tot i que menys abundants que a la zona  $\alpha$ , perforacions circulars i en galeria que hi ha a les mostres estudiades. L'altre ordre de magnitud, de majors dimensions ( $\sim 150 \mu\text{m}$ ), correspondria a les concavitats relacionades amb la ubicació dels cossos reproductius de líquens epi i casmoendolítics (Fig. 5.17b). En algunes mostres també s'hi ha detectat la presència d'estructures filamentosas.

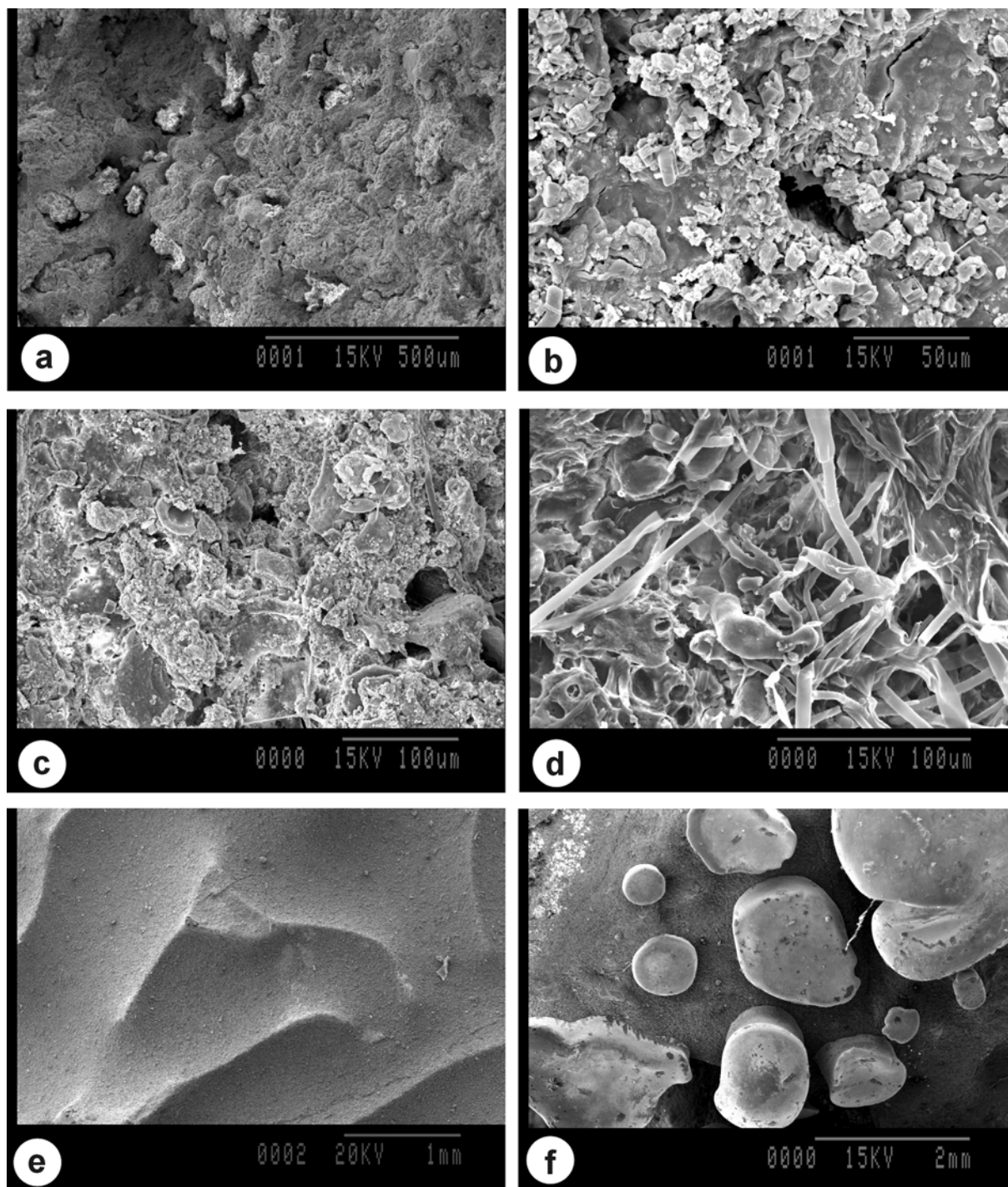
A l'interior dels cocons i a les seves parets, disminueix la densitat de formes de corrosió circular, a la vegada que augmenten considerablement les evidències d'estructures de corrosió de límit cristal·lí. Tant els grans com el ciment presenten un grau d'alteració notable (Fig. 5.17c). Hi comencen a aparèixer mostres amb una pàtina biològica que entapissa la microtopografia, així com la presència abundant de cristalls d'halita i de guix (fig. 5.17d).

#### 5.7.2.3 Zones $\delta$ i $\Omega$ (domini del ruixim)

Les mostres aquí estudiades procedeixen de superfícies de la roca que queden rere la zona amb cocons aïllats. Habitualment es tracta de superfícies que presenten poca rugositat. Tal volta, la característica més important és la intensitat de la colonització biològica. Pàtines i filaments (hifes) apareixen a totes les mostres i ocupen un elevat percentatge de la superfície de qualsevol de les imatges i escales d'aproximació del microscopi electrònic de rastreig (SEM). Entre els filaments hi apareixen fragments de roca arrodonits, amb estructures de corrosió entre grans (Fig. 5.17a). Pel que fa al ciment de la roca, en destaca la seva alteració en forma de blocs polièdrics (Fig. 5.17b). De la mateixa manera que disminueix dràsticament la presència de depressions de corrosió circular i de galeries, també són menys importants o nul·les les acumulacions de sals i guixos a les esquerdes i a la porositat de la roca. No obstant això, en algunes localitats s'observen fenòmens de precipitació cristal·lina amb la formació de pàtines minerals sobre les arestes de la roca a les zones de ruixim (Fig. 5.17c). Aquest tipus de crosta o precipitat l'aparença del qual recorda els vernissos del desert ja havien estat esmentats amb anterioritat per Pomar (1976). La seva composició és majoritàriament aragonítica. Fornós (com pers.) els classifica com a precipitats de pelagosita i la seva gènesi podria estar induïda per agents biològics (Folk & Chafetz, 2000).

#### 5.7.3 Discussió

La taula 5.8 recull les observacions semiquantitatives de la presència de les nanoformes a cada una de les



**Fig. 5.18** Nanoformes de meteorització al domini del ruixim (zones  $\delta$  i  $\Omega$ ). a) Depressions de corrosió –típiques– associades als cossos reproductius dels líquens (a la imatge cremats per la intensitat del feix d'electrons) a una mostra d'una superfície subhoritzontal del Cap d'Artrutx (Menorca). b, c i d) Pàtines biològiques que entapissen la superfície de la roca i n'afavoreixen un aspecte suavitzat, a la vegada que accentuen l'homogeneïtat espacial de l'acció dels processos. Entre les hifes de la imatge d es poden apreciar alguns grans de roca subjectats pel líquen. Les imatges corresponen a superfícies del domini de ruixim de Cala Sant Esteve (Menorca), Punta des Sivinar i s'Alavern (Mallorca). e) Microsolcs de planta meandriforme desenvolupats sobre una textura fina i ben classificada a Cala Murada, al domini del ruixim (Mallorca). f) Concrecions de pelagosita sobre una cresta al domini del ruixim de la Punta de n'Amer (Mallorca).

zones i elements morfològics considerats. A grans trets, les depressions i les galeries de corrosió disminueixen de mar cap a terra. A la inversa, les pàtines biològiques i l'observació d'estructures

filamentoses de mar cap a terra. L'arrodoniment i la corrosió polièdrica, també són més importants als sectors més terrestres i disminueixen en direcció cap al mar. D'acord amb Viles i Moses (1998), les formes



Zona	Formes	Depressions i galeries de corrosió (Circular etch pits and tunnels)	Corrosió del límit cristal·lí (Crystal boundary widening)	Corrosió en V (V-in-V etching)	Corrosió polièdrica (Blocky etching)	Arrodoniment (Rounding)	Deposició, creixement de cristalls (Deposition, crystal growth)	Pàtina biològica (Biological patina)
$\alpha$	Pinacles	+++	+	0	+	+	0	0
$\alpha$	Base de pinacles	+++	++	0	+	+	+++	+
$\beta$	Sup. subhoritzontal	++	+	+	+	++	+	+
$\beta$	Cocons	+	++	0	0	++	+++	++
$\delta$ i $\Omega$	Sup. subhoritzontal	+	++	0	+	+++	+	+++

**Taula 5.8** Síntesi de la presència de les nanoformes al llarg dels perfils. 0 presència no evident, + forma evident, ++ forma ben desenvolupada i +++ forma abundant.

de corrosió circulars o en galeria, així com la identificació d'estructures filamentosos s'atribueix a l'acció dels organismes biològics, mentre que les estructures de corrosió dels límits cristal·lins, en blocs o en V, o l'arrodoniment o suavitzar general, es corresponen a la dissolució per processos inorgànics. Així doncs, de les dades obtingudes, se'n deriva la importància de l'acció biològica al llarg de tot el perfil, i la reducció de la rugositat de la textura de la roca de mar cap a terra.

El paper de la biologia, a l'escala d'estudi, fa referència a l'acció de cianòfits, bacteris i fongs. Els primers, arran dels seus factors limitants ecològics i la seva etologia, són els responsables de les perforacions circulars que trobam en els grans i en el ciment que constitueixen la roca (Jones, 1989; Schneider, 1976). La seva presència i acció disminueixen de mar cap a terra passa a ser discreta a les parets i fons dels cocons. És especialment significativa la densitat d'aquestes formes a la zona de pinacles. Per aquest motiu, contribueixen a augmentar-ne la porositat i, per tant, la superfície d'atac d'altres processos. De la mateixa manera, aquest patró d'alteració de la roca, també resulta en una estructura menys resistent de la roca, front a l'atac de les onades. Quan disminueix la importància del paper dels cianòfits, llavors augmenta la contribució dels fongs i dels líquens, la qual cosa es manifesta en la coloració i la gradació de la superfície de la roca. L'acció dels líquens sobre la roca és molt variada. En algunes ocasions la seva condició de pàtina protegeix la roca de l'agressió dels agents externs, en d'altres actuen físicament mitjançant la pressió intergranular que exerceixen les seves hifes (Smith i Moses, 1993). Pel que toca a l'atac químic de la roca, té una doble naturalesa. D'una banda, cal considerar l'atac químic dels àcids orgànics i, per una altra, l'efecte de retenció de petites pel·lícules d'aigua sobre la superfície i la porositat de la roca. Els líquens, especialment els crustacis que es troben als sectors més terrestres del perfil, tenen una textura més rugosa que no pas la superfície de la roca; per tant, retenen més aigua, en dificulten l'evaporació i la mantenen més temps en contacte amb la roca, fet que

afavoreix els processos de dissolució (Chen *et al.*, 2000).

Pel que fa a la dissolució, s'identifica un augment de la seva importància de mar cap a terra. De fet, les nanoformes, així com també les micro i les mesoformes descrites a l'apartat 5.7.2, tenen perfils més suavitzats que no pas les formes més properes al mar. Tot i que l'aigua de precipitació i escolament també afecta el rocam litoral, l'element que contribueix en major proporció al seu humitejament és l'aigua de mar. Aquest fluid està sobresaturat respecte de carbonat càlcic i, per tant, la seva capacitat agressiva química és escassa o bé nul·la. Dos arguments justifiquen l'evidència de formes típiques de dissolució del *karren* litoral a macroescala (sobrepoms dels cocons) i a microescala (nanoformes de control cristal·lí). Aquests són la dissolució diferencial i la regulació biològica del CO<sub>2</sub> a les aigües retingudes als cocons. El primer considera la dissolució dels elements de la roca amb una proporció de Mg, respecte del qual l'aigua de mar no està sobresaturada (Trudgill, 1976). El segon mecanisme fa referència a la component etològica dels biofilms. Durant el dia, la microflora que cobreix la roca consumeix el CO<sub>2</sub> mitjançant l'acció fotosintètica. A partir del moment en què no es disposa de llum suficient, s'atura aquest procés i es produeix un augment del contingut del CO<sub>2</sub> a l'aigua, de manera que es dissocia el carbonat càlcic i la pel·lícula d'aigua deixa d'estar sobresaturada, a la vegada que n'augmenta el potencial de dissolució (Schneider, 1976).

Les imatges de SEM indiquen que la presència de sals és considerable especialment al peu dels pinacles, i té menys importància als cocons, fet que apunta a una concentració relacionada amb el rentat de les parets verticals del rocam (parets de pinacles i envans dels cocons). Tot i que amb un pes relatiu menor, també topa amb la presència de sals a la porositat de la roca a les superfícies subhoritzontals més terrestres i a les superfícies entre cocons. S'hi han identificat cristalls d'halita i guix. Les oscil·lacions de temperatura i humitat de la costa meridional de Mallorca són

suficients per desencadenar la contracció i l'expansió de les sals (Moses i Smith, 1994).

A mode de síntesi (Taula 5.8), i considerant la informació derivada de la presència de meso, micro i nanoformes al llarg del perfil, es pot establir un gradient en el qual s'identifica el domini dels processos responsables del desenvolupament del microrelleu a les costes rocoses carbonatades. A la zona de pinacles –zona  $\alpha$ – destaca la importància de l'acció de les sals i l'erosió i meteorització biològiques. Aquestes s'atenuen al domini dels cocons –zona  $\beta$ – i comencen a cedir representativitat a la dissolució per processos inorgànics un cop que s'avança en la component terrestre del perfil.

Les observacions de microscopi electrònic de rastreig posen de manifest la importància de la component biològica en el desenvolupament del *karren* litoral. L'ecosistema o els ecosistemes presents al llarg del perfil de costa condicionen, mitjançant la seva etologia, el modelat del rocam a diferents escales i ordres de magnitud. No es pot parlar, doncs, d'un modelat càrstic en sentit estricte, tot i que la dissolució en sigui el procés dominant, ja que aquesta està induïda directament o indirectament per l'acció orgànica. Per tant, s'ha de considerar el *karren* litoral com un exemple de biokarst.

## 5.8 Controls en el desenvolupament del *karren* litoral

El *karren* litoral és un sistema complex, són molts els factors que controlen la configuració de les formes i els processos d'erosió. La magnitud, la successió i la freqüència d'aquests processos és variable en funció de l'aproximació i l'objecte d'anàlisi. Per tant, la integració de les observacions a diferents escales és fonamental per tal d'identificar-ne els controls. Amb l'objectiu de sintetitzar la informació descriptiva que s'ha considerat als apartats anteriors, s'organitza la informació en tres ordres de magnitud, que consideren els controls a macroescala, a mesoscala i a microescala.

### 5.8.1 Controls a macroescala

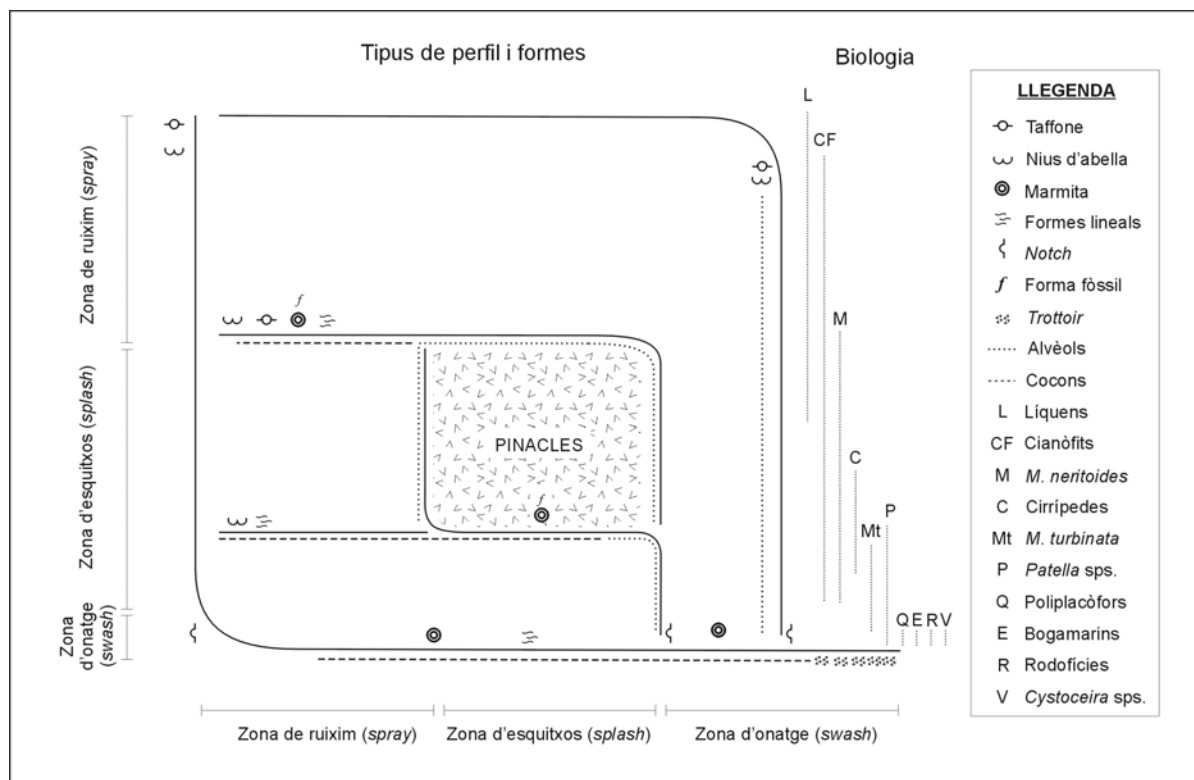
Malgrat que la naturalesa carbonatada de la roca és la condició *sine qua non* per al desenvolupament del *karren* litoral, la litologia i l'estructura també hi tenen la seva importància. En aquest sentit l'estructura juga un doble paper perquè, d'una banda, permet l'aflorament de litologies susceptibles de donar lloc a les formes característiques del *karren* litoral i, per una altra banda, regeix el gros de la forma del perfil que acaben adjectivant altres factors, com la litologia i les discontinuïtats de la roca.

Així, a Mallorca i Menorca la distribució dels afloraments amb presència de *karren* litoral, representats a la figura 5.1, és una distribució a mode de pegats on la combinació de l'estructura i la litologia en són el principal control.

Al Migjorn de Menorca, els afloraments amb presència de perfils de costa amb sistemes ben organitzats de *karren* litoral es distribueixen als flancs occidentals i meridionals de l'illa. El sector central de la costa meridional de l'illa és ben pobre, pel que fa al desenvolupament d'aquest tipus de microrelleu. El Migjorn de Menorca està format per calcàries tabulars, postorogèniques, del Miocè Superior (Pomar *et al.*, 2002) afectades per un antiformal lax d'edat pliocena amb direcció NNE-SSW (Gelabert *et al.*, 2004). És, per aquest motiu, que els materials basals del Miocè Superior (*Unitat Inferior de Barres*) apareixen als sectors centrals de la costa del Migjorn menorquí, mentre que els materials corresponents a les unitats per sobre dels anteriors, la *Unitat d'Esculls* del Miocè Superior, en contacte amb la línia de costa, just afloren als extrems Est i Oest de l'illa. Les calcarenites de textura fina i poc cimentades són el principal component dels materials de la *Unitat Inferior de Barres*, la qual cosa les converteix en un tipus de rocam que és més fàcil d'erosionar que no pas les calcàries algals o amb estructures de corals, ben cimentades, de la *Unitat d'Esculls* (Fornós, 2005). Per tant, els penya-segats verticals són elements dominants allà on afloren els materials de la *Unitat Inferior de Barres*, mentre que els perfils de costa esglaonats amb sistemes ben desenvolupats de *karren* litoral són característics del contacte de la *Unitat Escullosa* amb el mar. No obstant això, és cert, com es recull a l'apartat descriptiu dedicat a Menorca, que existeixen exemples de sistemes de *karren* litoral desenvolupats sobre les calcilutites de la *Unitat Inferior de Barres*, però el seu grau de desenvolupament és escàs en termes espacials i també en l'organització de les formes i l'evolució al propi perfil.

El control de l'estructura i la litologia en el *karren* litoral de Mallorca també es fa palès. Les façanes marítimes de les unitats geològiques amb materials mesozoics plegats coincideixen amb el front d'estructures de plegaments i encavalcaments. D'aquí la seva acusada verticalitat, si no és la materialització del propi pla de falla que converteix la línia de costa en un penya-segat aplomat on el retoc de la meteorització és mínim. Aquesta circumstància és típica dels afloraments litorals dels materials del Lias a la Serra de Tramuntana. Per trobar-hi formes de *karren* litoral, cal anar als flancs de les estructures o, en sentit contrari, a la vergència.

Pel que fa als relleus tabulars postorogènics del Miocè Superior que conformen l'arc meridional i oriental de la costa mallorquina, convé dir que estan formats per



**Fig. 5.19** Tipus de perfil de costa a Mallorca en funció de la combinació d'estructura i litologia. S'hi superposen l'abast de les zonacions biològiques, hidrodinàmiques i morfològiques. Observi's que els pinacles sols apareixen quan el domini dels esquitxos afecta un esglaó de la costa de dimensions mitjanes.

calcarenites esculloses i oolítiques afectades per un basculament preholocènic en direcció SE (Fornós *et al.*, 2002). Aquest fet explica la presència de penya-segats verticals tallats a la *Unitat Escullosa* al NE i la presència de perfils esglaonats cap al SW, coincidint amb la successió dels materials de la *Unitat Escullosa* amb les calcarenites oolítiques i de manglar del *Complex Terminal* (Fornós i Pomar, 1983) que s'hi superposen. En funció de la geometria d'aquests penya-segats, s'hi trobaran sistemes de *karren* ben desenvolupats. Així, quan el paquet sedimentari és homogeni i la litologia és resistent (Fig. 5.19), només trobam penya-segats verticals amb un lleuger retoc de la seva façana per alvèols i microalvèols i depressions i conductes de subsòls amb un lleuger retoc d'influència marina. En el vector oposat, quan la successió d'estrats ofereix línies de debilitat a la mar, llavors són varis els tipus de perfils esglaonats que en resulten. Segons la potència i la resistència dels estrats, la forma del perfil canvia. La síntesi de tots els perfils, caracteritzats als apartats anteriors, posa de manifest que formes com els pinacles només apareixen i tenen un desenvolupament important quan el perfil de costa ofereix un esglaó arran de costa entre 0,5 i 2 m d'alçària. Per sobre i per sota, el domini dels pinacles queda substituït per una rampa o superfície subhoritzontal amb cocons connectats de planta irregular. En el cas de les eolianites quaternàries, la geometria del perfil també depèn de la geometria i el

tipus de cos sedimentari. El tipus de dipòsit i la seva estratificació –com és palès a Cap Salines i a la Punta de Tacàritx– afectarà tant la forma del perfil com la disposició de les morfologies.

### 5.8.2 Controls a mesoescala

A mesoescala el gradient hidrodinàmic juga un paper capital perquè és el principal responsable de les diferències en la quantitat i tipus d'aportació d'aigua, l'impacte físic, la dissolució –l'aigua marina és essencial per al desenvolupament dels cocons– o la deposició de sals. Així doncs, la distribució dels pinacles, de més a més dels condicionants litològics, també està relacionada amb la superfície del rocam afectada pels esquitxos, ja que al perfil només hi apareixen entre els límits superiors i inferiors de la zona afectada pels esquitxos. La importància del gradient hidrodinàmic també es manifesta en el desenvolupament dels perfils. Les localitats exposades acostumen a presentar majors superfícies de rocam afectades pel micromodelat, no aquelles que estan arrecerades. A Mallorca, a la Cala d'en Guixar (Calvià), sobre calcàries plegades del Retià, els perfils exposats tenen superfícies amb formes de *karren* litoral fins a 24 m terra endins. En canvi, als perfils protegits, el microrelleu només afecta de 4 a 10

m del perfil de costa. A Menorca, els ordres de magnitud són semblants. A perfils exposats com els del Cap d'Artrutx o el Cap d'en Font, l'extensió del *karren* litoral abasta al voltant de 20 m terra endins, mentre que a localitats arrecerades, com Cala Turqueta o Binibèquer, la superfície esculpida just afecta de 8 a 10 m del perfil.

D'altra banda, el gradient hidrodinàmic també resulta essencial per a la colonització biològica i la seva zonació. En el capítol 3 d'aquesta memòria ja s'ha posat de manifest que el gradient hidrodinàmic, a la vegada condicionat per la forma del perfil, exerceix un control tant sobre el biofilm (cianòfits, fongs i líquens endo i epilítics), com sobre els organismes brostejadors (pegellides, petits gastròpodes), fet que augmenta la densitat i biomassa a la base del perfil. D'aquesta manera els factors biòtics i els abiòtics (humitejament, acció mecànica de les onades i aportació de sals) es reforcen, maximitzant l'erosió del rocam arran de mar.

A mesoescala també resulta important el paper de la textura i les diferències entre els components de les fàcies, resultat dels seus ambients de deposició.

Entre litologies, val a dir que els materials plegats i recristallitzats del Retià i del Cretaci, a la Cala d'en Guixar i la Punta des Faralló respectivament, no permeten el desenvolupament dels pinacles. El mateix passa amb les calcilitites del Miocè Superior, però en aquest cas no es tracta de la resistència de la roca, sinó de tot el contrari, del seu ràpid desmanegament.

De les litologies estudiades, també en resulta destacable el fet que és sobre les calcàries del Miocè Superior on trobam les formes de *karren* litoral més ben desenvolupades i de majors dimensions (Fig. 5.15). Fet i fet, la textura i la porositat d'algunes de les fàcies de les calcarenites del Miocè Superior i la de les eolianites quaternàries no és tan diferent. Ara bé, el grau de cimentació és distint. Així l'evolució de les formes és més ràpida a les eolianites quaternàries. La naturalesa de la roca facilita la destrucció dels envans dels cocons i dels pinacles, desplaçant el sistema terra endins. En canvi, les calcarenites ben cimentades del Miocè Superior permeten el desenvolupament de les formes i n'alentitzen la destrucció. No obstant això, entre les mateixes calcarenites del Miocè Superior, s'acusa un control de l'ambient deposicional en el desenvolupament del microrelleu. Així les fàcies de rodòlits afavoriran l'erosió diferencial i el resultat d'un relleu ruïniforme i rugós, mentre que ambients amb un grau de classificació major i textura més fina permetran el desenvolupament dels microsols i una aparença de la superfície del rocam més suau. En aquest sentit, Taboroši *et al.* (2004), en referència a l'exocarst litoral de l'illa de Guam, parlen de formes exocàrstiques eogèniques, atès que la seva forma i

evolució depenen de la naturalesa de la roca en les fases primerenques de la seva diagènesi.

### 5.8.3

#### *Controls a microescala*

Les observacions de microscopi electrònic de rastreig posen de manifest la importància a microescala dels processos biològics al llarg dels perfils amb formes de *karren* litoral de Mallorca i Menorca. L'abundància relativa de les formes lligades a l'activitat erosiva dels cianòfits afecten tant els grans de la roca com el ciment, especialment a les zones  $\alpha$  i  $\beta$ , on augmenta la porositat de la roca i la superfície d'atac per a altres processos com la meteorització per sals, o bé per l'impacte de les onades. De fet, la colonització dels cianòfits pot explicar la microrugositat de les superfícies i formes properes al mar. L'atac diferencial, pel que fa a la dissolució dels grans o del ciment, ajuda a la remoció dels fragments de roca per l'impacte de l'aigua de mar, el vent o les precipitacions, i fa que resultin depressions sobre la superfície de la roca. Terra endins, a les zones  $\delta$  i  $\Omega$ , l'acció biològica correspon a l'acció dels líquens i fongs epi i endolítics. Alguns d'ells actuen com a protectors de la superfície de la roca i d'altres desenvolupen una acció erosiva arran de la pressió que exerceixen les seves hifes a la porositat i als buits que hi ha entre els grans de la roca. Les nanoformes típiques de dissolució evidencien un increment de la importància d'aquest factor terra endins, bé per processos inorgànics o bioinduits. De fet, l'arrodoniment dels grans és força més acusat a les superfícies entre cocons que no pas a la zona dels pinacles. Aquest fet està relacionat amb la patina biològica i amb l'abast de la dissolució inorgànica que actua de forma més homogènia i anisòtropa sobre la superfície de la roca, que no l'atac dels cianòfits. Així, hi ha una correspondència entre suavitat de les superfícies a nanoescala i la textura de l'escala a un ordre mil·limètric.

## 5.9

### **Processos, zonació i evolució del *karren* litoral**

Les evidències de formes "clàssiques" de dissolució a les zones d'estudi es restringeixen a les superfícies d'aparença suau i als conductes de subsòl. Aquestes formes estan relacionades amb la dissolució estrictament química que es produeix per sota de la cobertora edàfica (Ginés, 1999). Arran de l'erosió del sòl, aquestes formes queden exposades a l'acció dels agents de meteorització subaèria que, a poc a poc, accentuen la rugositat de la superfície (p.e. desenvolupament de microrills, microalvèols). A partir del moment en què la superfície de la roca s'ha exhumat, llavors s'inicia la colonització per líquens,

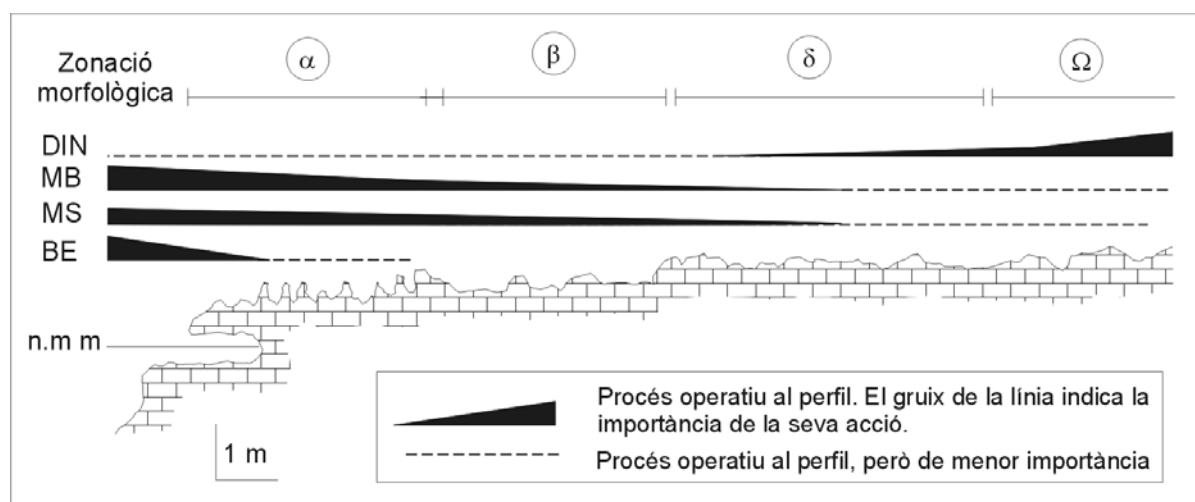


Fig. 5.20 Abast espacial dels processos actius als perfils amb *karren* litoral de Mallorca i Menorca, d'acord amb les observacions de microscopi electrònic de rastreig (SEM) i la zonació morfològica. DIN: Dissolució inorgànica, MB: Meteorització biològica o induïda pels organismes, MS: Meteorització per sals, BE: Bioerosió.

fongs i cianòfits, que arriben a entapissar la roca i a protegir-la de l'acció física de les gotes d'aigua de pluja, o dels esquits i el ruixim de les onades. A la vegada, la textura rugosa dels líquens crustacis afavoreix una major retenció de les pel·lícules d'aigua, que contribueixen d'una manera homogènia i gradual a la meteorització química de la roca. El biofilm també desenvolupa la seva pròpia acció fisicoquímica (Chen et al., 2000; Viles, 1987).

Els cocons també es consideren com a formes típiques de dissolució (Trudgill, 1987), tot i que cal fer-ne alguns matisos. Encara que aquestes depressions poden, en algunes ocasions, estar reomplertes d'aigua de precipitació o bé d'escolament, amb prou agressivitat química per iniciar la dissolució del rocam carbonatat, aquesta no és la situació més habitual. En la majoria de les ocasions, els cocons recullen aigua marina que per composició està sobresaturada de carbonat càlcic. Per tant, no és possible que produeixi la dissolució, en termes clàssics, de la roca. Schneider (1976) i Trudgill (1979) posen de manifest que durant el vespre, amb la foscor, l'aigua marina retinguda als cocons experimenta un procés de desaturació respecte del carbonat càlcic. L'activitat fisiològica del biofilm que habita sobre i dins la roca, n'és la responsable. Durant el dia, el biofilm consumeix  $\text{CO}_2$  arran de la seva activitat fotosintètica quan disminueix la intensitat de la llum, fins al punt que no hi ha els nivells suficients per realitzar la fotosíntesi; llavors, el contingut en  $\text{CO}_2$  de l'aigua retinguda al cocó augmenta, de manera que l'aigua deixa d'estar sobresaturada de  $\text{CaCO}_3$  i n'augmenta la capacitat agressiva. Així doncs, la dissolució inorgànica –entesa com la solució dels carbonats estrictament per la reacció amb aigua dolça– s'ha de descartar com a mecanisme genètic dels cocons. El procés de dissolució és bioinduït, té

una marcada component biològica, i també és el responsable de la formació de microalvèols, alvèols i pinacles, tot i que no es pot menystenir l'acció de la meteorització per sals (Moses, 2003; Moses i Smith, 1994) i el propi atac bioquímico dels cianòfits (Jones, 1989). A les zones properes al mar on s'han registrat les majors densitats i accions erosives associades als macroorganismes brostejadors, l'acció bioerosiva i biocorrosiva juga un paper prou important que, juntament amb l'acció física de les onades, contribueix a l'erosió del rocam.

Així doncs, un mínim de quatre vectors de meteorització i/o d'erosió poden diferenciar-se sobre els sistemes del *karren* litoral, en funció de la distribució de les formes (a meso, micro i nanoescala) i el control de l'estructura, la història geològica i el gradient hidrodinàmic (Fig. 5.20). El primer vector es correspon a la dissolució entesa com a procés estrictament inorgànic. Aquesta component disminueix de terra cap a mar i té la seva expressió més important en els conductes de subsòl exhumats i en algunes depressions de subsòl que un cop retreballades passaran a funcionar com a cocons. La dissolució inorgànica és especialment important a la zona  $\Omega$  i en menor mesura a la zona  $\delta$ . La meteorització biològica o la dissolució bioinduïda és el segon vector i el procés de meteorització més important en el *karren* litoral, bé pel control de l'agressivitat de l'aigua retinguda als cocons, bé per l'atac químic directe sobre la roca de cianòfits i organismes brostejadors. Aquest vector és especialment important a les zones morfològiques  $\alpha$  i  $\beta$ . A la zona  $\delta$  disminueix. En aquesta mateixa línia, el tercer vector considera l'acció bioerosiva desenvolupada pels organismes brostejadors que, en termes absoluts, és trascendental a la plataforma litoral i a la zona  $\alpha$ , que disminueix progressivament

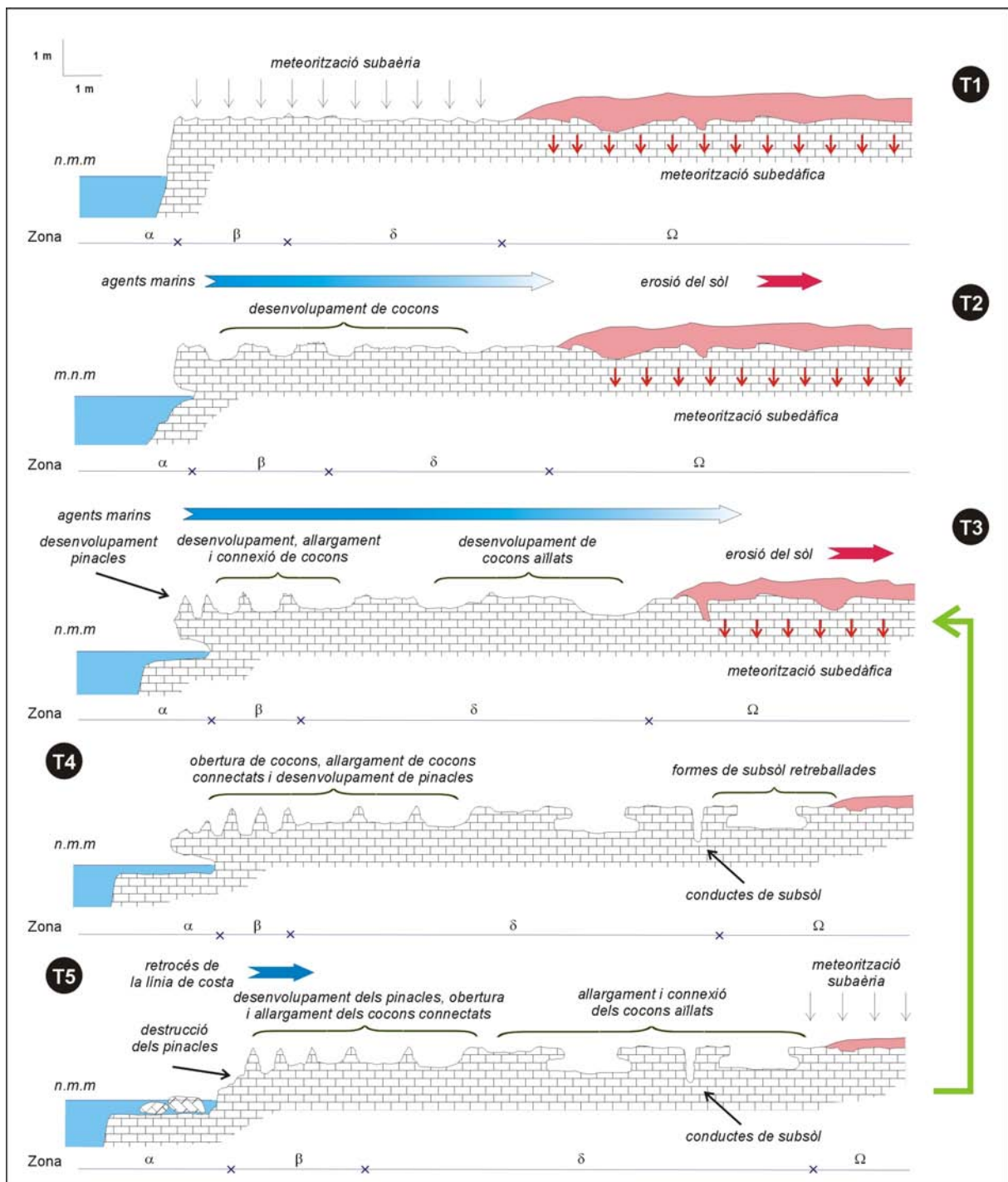


Fig. 5.21 Model evolutiu pel karren litoral de Mallorca i Menorca.

terra endins. Finalment, el quart vector, la meteorització per sals, juntament amb l'acció mecànica de l'aigua són importants a la zona  $\alpha$  i disminueixen progressivament d'acord amb l'extensió dels dominis hidrodinàmics dels esquits i del ruixim.

A partir del conjunt de localitats estudiades, de les observacions a diferents escales i de la consideració dels controls sobre les formes, es pot establir una distribució general dels processos sobre el perfil i un

model evolutiu per al karren litoral de Mallorca i Menorca.

El primer estadi del model evolutiu es correspondria amb un escenari on la superfície de la roca no es veuria afectada pels agents i processos marins. A partir de la presència de paleoformes de subsòl entre els cocons als perfils actuals, s'infereix el retrocés d'un cobertura edàfica que augmentaria la superfície de rocam exposada a l'acció dels agents marins i la

meteorització subaèria a l'estadi primigeni (Fig. 5.21 T1).

El segon estadi el representaria el desenvolupament dels cocons, aprofitant les debilitats litològiques i estructurals de la roca, a partir de l'acció conjunta de la dissolució inorgànica i la bioinduïda per la microflora que colonitzaria la roca. Els processos marins guanyen protagonisme i, aprofitant les línies de debilitat de la roca, amb la contribució de la bioerosió, es començaria a llavorar un *notch* a la façana del penya-segat. (Fig. 5.21 T2).

El tercer estadi ja implicaria una organització completa del perfil de *karren* litoral. El sòl segueix retrocedint i deixa nous espais per a la colonització biològica i el remanegament de les formes de subsòl que poden retenir l'aigua aportada pels esquits i el ruixim. A la vegada, s'eixamplarien els antics cocons, tornarien més profunds i, en alguns casos, arribarien a compartir envans arran del seu eixamplament. Els més propers a la vorera de mar patirien l'estopeig de les onades durant les tempestes i podrien arribar a trencar-se les seves parets més primes. En funció de la densitat de la fracturació i les propietats de les roques, alguns envans dels cocons són més resistents, no es desmantellen amb l'atac de l'onatge i romanen com a cossos piramidals que suposen l'inici de la presència dels pinacles al perfil (Fig. 5.21 T3). Les superfícies més properes al mar presenten una colonització més important de cianòfits que alteren la roca augmentant-ne la microrugositat que, juntament amb la meteorització per sals, donarien als pinacles una aparença esponjosa. Es començaria a desenvolupar una plataforma litoral sobre la qual s'instal·laria una comunitat de macroalgues i algues coral·lines que entapissarien la seva superfície. Els bogamarins brostejarien aquesta comunitat per sobre i perforarien la roca per instal·lar-s'hi i romandre protegits de les onades.

El quart estadi (Fig. 5.21T4) correspondria amb l'eixamplament dels cocons de la zona  $\beta$  fins al punt de convertir-se en pinacles aïllats. Aquells cocons que inicialment estaven aïllats i tancats, ara comparteixen envans i els més propers al mar són desventrats. La coalescència és dominant i les plantes el·líptiques inicials esdevenen més complexes. Terra endins els cocons isolats s'eixamplen. El sòl retrocedeix fins a permetre la interferència entre les formes de subsòl i les marines. Els antics pinacles han estat parcialment desmantellats i ara apareixen com a irregularitats en la topografia. La plataforma litoral s'eixampla a favor de la mossa del *notch*, perquè la comunitat d'algues i la pàtina de concrecions calcàries que l'entapissa, a la vegada que redueix l'energia de les onades, les desplaça cap a l'interior del perfil.

El cinquè estadi (Fig. 5.21 T5) coincideix amb el trencament del *notch* i la caiguda del seu sostre.

Aquest fet implica, d'alguna manera, l'augment de l'amplària de la plataforma i el desplaçament de la influència dels agents marins terra endins. A partir d'aquest punt, l'evolució del *karren* litoral segueix una estructura cíclica en què es reprenen situacions com les descrites per a l'estadi segon o tercer.

No és gens senzill considerar quina és la posició temporal de l'estadi primer. Per a la costa meridional de Mallorca, Fornós *et al.* (2005) daten la formació del penya-segat arran d'una falla normal entre el Plistocè Mitjà i el Superior (275 a 40 ka). El nivell marí ha estat força mudadís fins a 6.000 anys enrere (Vesica *et al.*, 2000).

Si per als afloraments corresponents a les eolianites quaternàries, la fita dels 6.000 anys serviria per recolzar l'estadi inicial per a les localitats llavorades a les calcàries del Miocè o als afloraments plegats mesozoics, la presència de marmites, cocons i *notchs* fossilitzats en dificultaria acotar l'inici del desenvolupament del sistema, perquè entre d'altres raons Vesica *et al.* (2000) descriuen posicions del nivell marí similars a l'actual per a diferents estadis isotòpics.

A mode de conclusió, cal destacar dos aspectes del model proposat arran de la combinació de la zonació morfològica i els controls sobre el *karren* litoral a diferents escales:

- El primer aspecte és el fet que els pinacles i el seu desenvolupament no són una forma o un element, *sensu stricto*, del *karren* litoral perquè resulten del desmantellament dels cocons. De fet, són l'única forma de relleu positiva de les descrites a l'inventari de formes associades al microrelleu dels litorals calcaris.
- El segon dels aspectes per considerar està relacionat amb el paper de la biologia en l'evolució i organització del *karren* litoral. De fet, tot i els controls relatius a la història geològica, al control estructural i a la forma del perfil, el *karren* litoral s'organitza d'acord amb la combinació d'un gradient biològic i un d'hidrodinàmic, per tant en funció d'una zonació ecològica. L'ecosistema o els ecosistemes presents al llarg del perfil controlen, arran de la seva etologia, el desenvolupament de les formes de meteorització del rocam a diferents escales i ordres de magnitud, bé com a agents en el canvi del quimisme de l'aigua dels cocons que en permet l'eixamplament per dissolució, bé per l'erosió dels grans i el ciment de la roca, o per la fatiga a què està sotmesa la roca arran de la perforació de

---

cavitat i galeries que ofereixen una superfície major d'atac a processos, com l'acció mecànica de les onades o la meteorització per sals; així com també a l'acció de la dissolució química. Així doncs, el *karren* litoral no es pot entendre com un tipus de

modelat exocàrstic "clàssic", perquè la dissolució, tot i ser el procés dominant sobre el rocam carbonatat, està bioinduïda. Per tant, el *karren* litoral cal que sigui considerat com un exemple complex de biocàrst d'acord amb la definició de Viles (1984).





---

## 6 Conclusions

Els diferents treballs que componen la present memòria permeten extreure algunes conclusions relatives als tipus, la magnitud i l'eficiència dels processos i agents que operen a les costes carbonatades de Mallorca i la comparació amb altres localitats de Menorca i la costa sud-oriental d'Austràlia.

Per aconseguir una exposició més clara, les conclusions s'estructuren en cinc apartats, els quals segueixen els pertinents capítols en què s'ha dividit la memòria, per acabar amb un seguit de consideracions de caràcter transversal de tot el contingut de la memòria. Els primers quatre blocs temàtics i el final fan referència a:

- a) les taxes i els patrons d'erosió-meteorització de la costa rocosa i la quantificació, mitjançant diferents tècniques instrumentals;
- b) la contribució de la component biològica en la destrucció de la costa rocosa, en especial en referència al paper dels organismes brostejadors;
- c) l'abast temporal i espacial dels agents i els processos de meteorització, en el marc d'una de les localitats d'estudi, i les seves implicacions en el debat dels processos marins respecte dels subaeris en el modelat de costes rocoses;
- d) les formes de meteorització i erosió de les costes carbonatades, amb especial referència al *karren* litoral;
- e) un bloc de conclusions generals que integren la informació de cada un dels apartats anteriors en referència al model general d'evolució de les costes rocoses, així com també un seguit de consideracions de cara a futurs treballs.

### 6.1

#### Dinàmica erosiva de les costes rocoses

El primer apartat de la memòria persegueix identificar quins són els principals agents que intervenen en el

binomi meteorització-erosió de les costes rocoses carbonatades i avaluar la possibilitat d'aclarir-ne la contribució en el desmanegament de la costa mitjançant tècniques instrumentals.

D'entre altres aspectes, aquells que es considera necessari destacar són els següents:

- S'han assajat diferents tècniques instrumentals per al càlcul del rebaixament de la superfície de la roca sobre diferents textures de roques carbonatades (bretxes i calcarenites): micròmetre de dial mòbil, (TMEM); escàner làser, test d'exposició de roca, i profunditat d'alveolització de superfícies històriques.
- Existeixen una sèrie de problemes de tipus metodològic arran de la capacitat de mostreig espacial i temporal de cada una de les tècniques, la resolució i la naturalesa i significat de les taxes de denudació. Ara per ara, la tècnica instrumental que, per volum de dades, resolució i facilitat en la instal·lació, és més aconsellable per al treball de camp és el micròmetre de dial mòbil. No obstant això, el seu principal entrebanc és el biaix que suposa el fet de treballar amb superfícies més o menys horitzontals, deixant de banda esquerdes i altres superfícies de parets verticals per qüestions tècniques. Per tant, s'han d'entendre les taxes calculades amb el TMEM com els valors mínims de denudació a les zones d'estudi.
- L'escàner làser es presenta com una eina amb força possibilitats per als estudis de meteorització i erosió de la costa rocosa. Ara per ara, però, les dificultats en el transport i la instal·lació en el camp, de més a més de la resolució de registre en la vertical, fan que l'estudi, mitjançant altres tècniques instrumentals, sigui més factible.
- Els tests d'exposició s'han revelat com una tècnica senzilla i econòmica, amb moltes possibilitats per a la caracterització dels patrons d'erosió de les costes rocoses. No obstant això, cal no oblidar el reduccionisme que suposa treballar amb roca "fresca" i amb superfícies poc rugoses, netes i sense

---

colonitzar. L'ús de la xarxa de niló permet separar la contribució d'alguns dels processos i agents que hi operen. Encara que considerar que amb els tests d'exposició de peces de roca es pot calcular la contribució de la meteorització química, no deixa de ser reduccionista.

- Les profunditats dels alvèols sobre superfícies datades i els carreus de les torres de defensa del litoral en el nostre cas, també han resultat un indicador força útil tant per tenir un ordre de magnitud de les taxes de denudació, com per identificar-ne alguns dels patrons espacials. D'aquí la contribució d'agents com la meteorització per sals.
- Prèvia a la interpretació de les dades de les taxes de denudació, les diferents tècniques utilitzades permeten el contrast d'unes amb les altres i avaluen si hi ha diferències importants en la capacitat de mesura. Parell a parell, és a dir, el micròmetre de dial mòbil respecte de l'escàner làser i els tests d'exposició respecte de la profunditat dels alvèols a superfícies datades, les taxes de denudació aboquen resultats complementaris (Fig. 2.36). No hi ha diferències en els ordres de magnitud de les taxes d'erosió, excepció feta d'aquells que es deriven del registre temporal dels aparells, en especial de les taxes de denudació o acreció horàries respecte de les anuals, calculades amb el TMEM. Aquesta circumstància, mentre no hi hagi un desenvolupament tècnic millor, permet considerar amb certa confiança els resultats de cada una de les tècniques. En aquest sentit, i com a precaució, cal posar més èmfasi en els ordres de magnitud que no pas en la taxa d'erosió per ella mateixa.

#### *Patrons i taxes d'erosió calculades amb TMEM*

- Per a la localitat d'estudi de s'Alavern, al sud de Mallorca, sobre un rocam de calcarenites del Miocè Superior, a 0,75 m d'alçària respecte del nivell mitjà marí i a 11 m de la línia de costa, s'ha estudiat el rebaixament de quatre superfícies rocoses entre el 18 de maig de 2004 i el 7 de juny de 2005. Les taxes d'erosió de les superfícies estudiades, calculades com a diferència d'altura relativa entre registres, oscil·la de  $-1,819$  a  $-0,478$   $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ . Tot i que també es constata l'existència de punts de la superfície rocosa que experimenten tendències d'ascens amb ràtios de  $0,782$  a  $1,183$   $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$  arran del paper dels agents biològics.

- De les quatre superfícies caracteritzades, cada una segueix un patró més o menys diferent, tot i estar localitzades al domini hidrodinàmic del ruixim i mantenir distàncies de poc més de cinc metres d'una a l'altra. Així doncs, mentre que hi ha superfícies que no experimenten canvis significatius en la seva microtopografia (un 81,18% de les cotes romanen a la mateixa posició o per sota de la capacitat de mesura de l'aparell), d'altres experimenten canvis significatius, pel que fa al rebaixament o l'ascens de la microtopografia respecte dels registres inicials. Aquest fet anuncia una important variació espacial quant a l'acció i als processos de meteorització-erosió a les costes rocoses. I això només al domini del ruixim.
- Les taxes d'erosió anuals del TMEM evidencien l'existència d'una tendència d'ascens en els valors d'altura relativa. Aquest fenomen ha estat identificat per altres autors i es designa com a bombament de la superfície rocosa (*rock surface swelling*). Suposa un cicle de fluctuació de la superfície rocosa que se superposa a cicles temporals més llargs, de caràcter estacional i anual, d'erosió de substrat.
- S'ha desenvolupat un mostratge horari de les tendències d'ascens i descens de microtopografia de la superfície rocosa a s'Alavern, paral·lelament al control de les variables ambientals de temperatura i humitat i la temperatura en superfície a diferents profunditats de la roca. Canvis de  $5^{\circ}\text{C}$  de temperatura ambiental, 40 punts en la humitat relativa i  $1000$   $\text{lumen}\cdot\text{m}^{-2}$  són suficients perquè hi hagi variacions d'altura relativa de  $-0,303$  mm a  $0,355$  mm, respecte de registres previs.
- Aplicant un algorisme que classifica el comportament de la tendència dels punts entre registres d'altura relativa, s'hi observen tres categories de desplaçament: ascens, descens i estable. La distribució temporal d'aquestes tendències és esbiaixada. Així, durant les hores de màxima insolació domina la contracció de la superfície rocosa i, quan disminueix la incidència del Sol sobre la roca i augmenta la humitat ambiental, llavors dominen les tendències d'ascens de la roca.
- Els patrons de canvi de la superfície rocosa no són homogenis en termes espacials i contraris a allò que caldria esperar de l'expansió i contracció tèrmica de la roca. Estadísticament, s'ha demostrat que la

superfície de la roca té un comportament heterogeni i dinàmic al llarg del dia. De més a més, no existeix una variació significativa entre la composició mineral dels grans de la roca (98,10% carbonats), motiu pel qual tot apunta cap a un control biològic del bombament de la superfície rocosa a la zona d'estudi.

- L'exploració amb el SEM revela l'existència d'una important patina biològica amb una densitat d'hifes considerable entre els grans de la roca i dins els seus buits. La fisiologia de les hifes dels fongs i dels líquens, d'acord amb la bibliografia, pot explicar els episodis d'ascens i de descens, així com les magnituds de la superfície de la roca.
- Així doncs, el bombament de la superfície de la roca s'interpreta com un fenomen biogemorfològic, que contribueix a la fatiga de la làmina superficial (primers mil·límetres) de la roca, a la vegada que la debilita, alliberant-ne els grans, i afavoreix el rentat o l'acció de les onades durant les tempestes.
- El control biològic del fenomen de bombament de la superfície rocosa, a ambients supralitorals i en el domini del ruixim, també s'ha constatat instrumentalment sobre superfícies de roca, la naturalesa de les quals és completament diferent respecte de les de Mallorca. Així, a Marengo (Victòria, Austràlia), amb un substrat d'arenisques arcòsiques, canvis de 5°C en la temperatura i 40 punts en la humitat ambiental poden implicar canvis en la microtopografia entre registres horaris de -0,126 a 0,261 mm.

#### *Patrons i taxes d'erosió calculades amb escàner làser*

- Les taxes d'erosió, calculades a partir de la superposició de microtopografies obtingudes amb l'escàner làser, oscil·len entre un rebaixament mínim de 0,103 mm·a<sup>-1</sup> i un màxim d'1,234 mm·a<sup>-1</sup>. La microcartografia de les diferències posa de manifest que l'erosió de les superfícies es concentra en uns pocs punts, de la mateixa manera que, en funció de la naturalesa de la roca, hi ha un biaix considerable en la magnitud de la taxa d'erosió. En aquest sentit, tot i la duresa respecte d'altres substrats, les superfícies sobre les bretxes de la Cala d'en Guixar tenen taxes d'erosió majors, perquè quan bota un gra les seves dimensions impliquen

un volum més important que no a les calcarenites del Miocè Superior.

- Amb independència de la litologia, es constata una diferència del rebaixament de la superfície entre les microtopografies obtingudes al domini hidrodinàmic dels esquits i les que s'ubiquen al domini del ruixim. D'una a l'altra hi ha prop de 3 dècimes de mil·límetre de diferència. A s'Alavern, la zona d'esquits registra un descens de 0, 103 i la de ruixim de 0,411 mm·a<sup>-1</sup>. A la Punta des Sivinar l'interval és de 0,514 a 0,960 mm·a<sup>-1</sup>. Aquest fet implica un patró oposat a l'energia i a l'acció de les onades a les costes rocoses, d'acord amb els treballs d'Stephenson i Kirk (2000a). A la vegada, es deixa entreveure la importància dels processos subaeris i biològics (bombament de la superfície de la roca) al llarg del perfil.

#### *Patrons i taxes d'erosió calculades amb tests d'exposició de peces de roca*

- S'han dut a terme dos experiments de tests d'exposició de peces de roca a dues localitats, amb dues litologies diferents. A s'Alavern, amb peces de roca de biocalcarenites del Miocè Superior, s'hi han registrat taxes d'erosió mitjanes de 0,250 mm·a<sup>-1</sup>, amb mínims de 0,004 mm·a<sup>-1</sup> i màxims de 0,766 mm·a<sup>-1</sup>. A la Punta des Bauç, amb peces de roca d'eolianita quaternària, els valors mitjans d'erosió són de 0,95 mm·a<sup>-1</sup> amb un rang que abraça des de mínims de 0,38 mm·a<sup>-1</sup> a màxims de 2,10 mm·a<sup>-1</sup>.
- El mostratge espacial a ambdues localitats permet constatar l'existència d'un gradient espacial, que s'atribueix a l'acció conjunta de la meteorització per sals, la bioerosió i també la dissolució inorgànica. Aquest gradient disminueix de mar cap a terra, de manera que les taxes mitjanes entre les mostres més properes al nivell marí mitjà i les de posicions més terrestres són d'ordre de quatre a sis cops majors.
- El gradient identificat amb els tests d'exposició de roca no concorda amb els patrons que es deriven de l'escàner làser. Entre d'altres raons, cal considerar, d'una banda, la naturalesa i el procediment d'allò que es mesura i, de l'altra, el mostratge espacial. Les peces de roca no tenen una colonització biològica tan important com les de la superfície de les localitats d'estudi, i la

microrugositat és força menor. En aquest sentit hi ha un grau d'artificialització respecte de la situació real.

#### *Patrons i taxes d'erosió calculades a partir de l'alveolització del patrimoni històric*

- Finalment, a partir de l'estudi de l'alveolització dels contraforts de marès de la Torre d'en Beu, s'hi ha identificat un gradient de meteorització que accentua la meteorització i l'erosió dels contraforts orientats en la direcció d'arribada dels vents i de les onades dominants. La presència de sals i guixos a l'interior dels alvèols fa que les taxes d'erosió calculades, de 0,011 a 0,339 mm·a<sup>-1</sup>, s'atribueixin principalment a l'acció de la meteorització per sals, ajudada per la dissolució inorgànica.
- Les taxes mitjanes d'erosió, calculades a partir de les profunditats d'alveolització, (0,328 mm·a<sup>-1</sup>) a carreus de marès, concorden amb els valors dels tests d'exposició de peces de roca (0,35 mm·a<sup>-1</sup>), per a les mostres ubicades als dispositius més terrestres del mostratge amb peces de roca d'eolianites quaternàries a la Punta des Bauç.

## 6.2

### La contribució biològica en l'erosió de la costa rocosa

El segon apartat persegueix delimitar quin és el paper de la contribució biològica en l'erosió de la costa rocosa. En aquest sentit, s'ha dut a terme l'inventari de les espècies de macroorganismes presents a les costes rocoses de Mallorca i s'ha quantificat l'erosió que se'n deriva.

- Els principals macroorganismes bioerosius de les costes rocoses de Mallorca són els gastròpodes *Patella rustica*, *Patella caerulea*, *Patella ullysiponensis*, *Monodonta turbinata*, *Monodonta articulata*, *Chiton Olivaceous*, *Lepidochitona corrugata*, *Melaraphe neritoides*, *Melaraphe punctata* i els equinoderms *Arbacia lixula* i *Paracentrotus lividus*. També cal posar de manifest que, amb un comportament dual, atès que tant poden efectuar una acció de protecció, com afavorir l'erosió, destaquen per l'acció de protecció que exerceixen sobre les costes rocoses de Mallorca els bioherms de *Chthamalus stellatus*, *Chthamallus depressus* i *Mytilus edulis*. També hi desenvolupen una funció de protecció el conjunt de macroalgues del grup de

*Cystoceira* sp., així com el conjunt de vermètids i algues incrustants calcàries que constitueixen el *trottoir* que es disposa sobre la plataforma litoral o a mode de balda adossada a la paret del penya-segat.

- La presència dels organismes no és homogènia al llarg del perfil. Se'n poden diferenciar tres zones en funció de les abundàncies relatives. La primera (*Zona A*) correspon a l'extensió on les pegellides són l'organisme més representatiu, especialment *Patella rustica*. Aquesta zona coincideix amb les parets verticals que segueixen la plataforma litoral en avançar cap al segment terrestre del perfil de costa. També hi són presents individus, tot i que amb menor importància, de *Monodonta turbinata*, *Mytilus edulis*, *Melaraphe neritoides* i, ocasionalment hi apareixen els polioplacòfors. La segona de les zones (*Zona B*) ve definida per la presència dels cirrípedes *Chthamalus stellatus* i *Chthamallus depressus*, especialment a esquerdes i a superfícies d'impacte de l'onatge. El tercer domini (*Zona C*), que coincideix amb l'abast del ruixim, es correspon amb la presència quasi exclusiva de *Melaraphe neritoides* i, puntualment, de *Melaraphe punctata*.
- L'anàlisi estadística posa de manifest l'existència d'un control del substrat (litologia i heretatge) i un altre d'hidrodinàmic sobre la distribució dels organismes en el perfil de costa. La forma del perfil (és a dir, el paper de la fracturació, el modelat del perfil) explica quasi bé un 32% de la variabilitat de la distribució de la biomassa –presència dels individus i les densitats– al qual s'afegeix un 25% del resultat de la combinació entre exposició dels perfils i litologia. Així, els perfils exposats tendeixen a presentar un nombre major d'espècies i una colonització més important a les zones baixes del perfil. Als perfils més arrecerats, les densitats majors i el factor de biomassa s'accentuen en els segments més terrestres.
- Explicacions tan baixes de la variabilitat, poden estar relacionades amb la distribució a mode de pegats dels organismes, que es concentren preferentment a esquerdes i a depressions respecte de superfícies planes. Aquest patró coincidiria amb la distribució del factor nutrients –cianòfits– que, a mode de pegat, cobreix la roca (Vidal *et al.*, 2001)
- S'ha quantificat la capacitat erosiva i les taxes d'erosió de *Patella rustica* i *Melaraphe*

*neritoides*, atès que són els dos organismes més abundants en els perfils estudiats. Per a *Patella rustica*, les capacitats erosives fluctuen entre 7,81 i 11,41 g·ind<sup>-1</sup>·dia<sup>-1</sup>, amb taxes d'erosió de 0,324 a 2,095 mm·a<sup>-1</sup>. Per a aquest gastròpode, el paper de la litologia, com a control de l'erosió, no és tan transcendent com altres variables de caràcter biològic i ecològic (estructura de la població, competència per l'aliment, importància dels biofilms i els cianòfits que consumeixen). Per a *Melaraphe neritoides*, la capacitat erosiva té valors mínims de 0,013 g·ind<sup>-1</sup>·dia<sup>-1</sup> i màxims de 0,099 g·ind<sup>-1</sup>·dia<sup>-1</sup>. Les taxes d'erosió oscil·len de 0,008 a 0,510 mm·a<sup>-1</sup> tot i que la variabilitat entre localitats d'estudis i zonacions biològiques del perfil és considerable. Els valors de les taxes acostumen a ser majors a la zona B del perfil. La capacitat erosiva de *Melaraphe neritoides* augmenta amb l'edat i les dimensions dels individus, per la qual cosa acostumen a ser majors els valors de la zona C respecte de les altres zones. S'identifica un control de la litologia en la capacitat bioerosiva de *Melaraphe neritoides*. Pel que fa a les taxes de bioerosió, de més a més del control litològic, també depenen dels paràmetres ecològics que en determinen el volum i les dimensions de les poblacions.

- Per a les costes rocoses de Mallorca, l'agent bioerosiu més important és *Patella rustica* amb valors mitjans d'erosió de 0,60 mm·a<sup>-1</sup>.
- La capacitat bioerosiva de *Melaraphe neritoides* és deu cops menor, un ordre de magnitud, que les de *Patella*. Per a *Patella rustica*, tot i que les característiques de textura, duresa i porositat de la roca juguen un paper important, altres factors de caràcter biològic i ecològic poden explicar millor les variacions en la capacitat bioerosiva i les taxes d'erosió. En canvi, per a *Melaraphe neritoides*, amb valors mitjans de taxa d'erosió de 0,010 mm·a<sup>-1</sup>, també se'n pot apreciar el control biològic i ecològic, tot i que es fa més palesa la incidència del rocam en els patrons i les taxes d'erosió d'aquests organismes.
- Es constata la importància de la distribució dels cianòfits en les taxes de bioerosió, motiu pel qual, de cara a futurs estudis, es fa necessari tenir-ne un coneixement sòlid per poder explicar i justificar les taxes de bioerosió dels organismes brostejadors.

### 6.3

#### Freqüència, magnitud i escala en la morfodinàmica de les costes rocoses

El tercer apartat es dedica a integrar la informació disponible a l'entorn de l'erosió de la costa rocosa a la localitat de s'Alavern, per tal d'assajar-ne l'encaix, de les taxes obtingudes, la naturalesa i el significat.

- A la costa de s'Alavern, s'hi han quantificat dos grups de processos erosius d'acord amb els patrons temporals i la magnitud de la seva acció. L'erosió relacionada amb l'acció biològica, la meteorització fisicoquímica i la desintegració granular de les façanes dels penya-segats oscil·len entre la centèsima del mil·límetre i el mil·límetre anual de denudació, i actuen d'una forma contínua en una escala temporal diària o mensual. En canvi, l'erosió quantificada a partir dels moviments de masses o l'acció hidràulica de l'onatge, tot i implicar ordres de magnitud força majors que els descrits anteriorment (de l'ordre de deu i cent vegades majors), no tenen un abast temporal tan continu i el comportament és més episòdic.
- La representació sobre els eixos de freqüència (escala temporal operativa) i magnitud (volum) de cada un dels grups de dades permet traçar un vector negatiu, des de les taxes de denudació freqüents i poc importants, fins a les taxes de denudació de processos poc freqüents, però molt importants (Fig. 4.4). Aquest vector serveix com a excusa per relacionar les aproximacions dinàmiques amb les evolutives en l'estudi de la geomorfologia de les costes rocoses. Si es considera l'estudi de les costes rocoses des d'un punt de vista dinàmic, posant èmfasi en la quantificació instrumental, llavors aquells agents i processos que destaquen en la morfodinàmica de les costes rocoses són els que operen en intervals de temps curts i continus, com la meteorització per sals, la bioerosió... En canvi, si l'aproximació és de caràcter evolutiu, i s'hi consideren els esdeveniments més dilatats en el temps, tot i que posen en moviment grans volums de masses, llavors els moviments de masses o l'arrabassament per l'acció hidràulica són els processos claus. En certa manera, aquest vector posa en entredit el debat nominal entre la preponderància dels processos marins vs. els terrestres, o bé la dicotomia meteorització-acció de les onades en l'estudi de les costes rocoses. De fet, el pes relatiu de cada un dels elements dels binomis dependrà de la posició de l'investigador en aquest

vector. En aquest sentit, és necessari acotar l'escala temporal i espacial en la qual es fa feina a l'hora de decantar-se pel paper d'uns o altres processos, sense oblidar les relacions i la influència dels uns amb els altres.

- A la zona d'atac de l'onatge i acció dels esquits, la bioerosió de *Patella sp.* assoleix taxes semblants a les dels tests d'exposició de peces de roca (0,369 i 0,495 mm·a<sup>-1</sup>), o a les de denudació del rocam calculades mitjançant l'escàner làser (0,310 mm·a<sup>-1</sup>). Les taxes mitjanes de rebaixament de la roca a la zona afectada pel ruixim són en alguns casos, prou baixes com per ser iguals que les taxes d'erosió de *Melaraphe neritoides*, mentre que en altres casos són força majors. D'altra banda, els valors de desintegració granular es corresponen amb els intervals de les taxes d'erosió calculades amb els tests d'exposició de peces de roca. Trudgill (1976a) integra els valors de les diferents tècniques i assigna el pes de cada component en la morfodinàmica de les costes rocoses, sense avaluar-ne les implicacions. A s'Alavern, les diferents tècniques utilitzades posen de manifest la necessitat de gestionar les taxes obtingudes amb certa cura, i de considerar més l'ordre de magnitud de la taxa d'erosió que no el valor per ell mateix. Dit d'una altra manera, tenim força informació respecte la importància dels diferents agents d'erosió i meteorització al llarg del perfil de costa per separat. Integrar les dades resulta, com a mínim, arriscat perquè el mostratge espacial no és prou extens ni complet en el temps, així com les tècniques instrumentals no permeten una avaluació senzilla del que passa a les parets verticals de la costa, on es troba la major concentració d'organismes.

#### 6.4

##### Formes de meteorització i erosió a les costes rocoses carbonatades

El quart apartat recull un inventari de les formes de meteorització i erosió presents a les costes rocoses de Mallorca i Menorca. En considera l'organització i la gènesi de les formes i n'estudia diferents aspectes a diferents escales. De tot plegat, en resulten les següents consideracions:

- Per **karren litoral** s'entén tot aquell seguit de formes de meteorització que es desenvolupen sobre la roca calcària als ambients litorals i en les quals la dissolució juga un paper important. Queden fora d'aquesta definició,

entre d'altres, formes com les marmites, les plataformes litorals o les construccions organògenes. Totes elles, tan estretament lligades als ambients que es consideren.

- El **karren** litoral presenta una organització i una gradació interna molt acusada. La gradació de les formes, la fauna i la flora és una de les característiques més destriables de les costes rocoses que està associada al grau d'humidificació, derivat de l'onatge, i a la forma del perfil de costa.
- En termes d'abundància relativa de les formes s'ha dividit cada un dels perfils en cinc mòduls:

La **plataforma litoral** és el primer mòdul, és una superfície subhoritzontal de 2 a 12 m d'amplària, entapissada per algues calcàries, vermèdids i mates de macroalgues del grup de la *Cystoceira*. Formes com marmites i alvèols, lligats a l'activitat biològica dels bogamarins, en són característiques.

El segon dels mòduls, la **zona α**, coincideix amb l'abast de la rompuda de l'onatge sobre el perfil de costa. Aquest abraça des de la part superior del *notch* o de l'esglaó, fins allà on arriben els esquits amb major intensitat. Hi són presents, amb caràcter dominant, els pinacles amb tot el reguitzell de microalvèols superposats. El color de la superfície de la roca és fosc, arran de la intensa colonització per cianòfits i líquens (*Rivularia sp.*, *Pynerocollema sp.*). Hi comencen a aparèixer els primers individus de *Melaraphe neritoides* o *Melaraphe punctata*. Les pegellides (*Patella rustica* i *P. caerulea*) són relativament abundants a les superfícies horitzontals entre pinacles, o bé a les parets verticals. Les esquerdes i fractures eixamplades –*splitkarren*–, que apareixen a la zona α, acostumen a estar intensament colonitzades per crustacis filtradors (*Chthamalus depressus* i *Chthamalus stellatus*). La superfície de la roca és rugosa i durant els episodis secs queda coberta d'eflorescències salines.

Coincidint amb la zona més intensa d'esquits, hi tenim el tercer mòdul (**zona β**). Hi apareixen els pinacles, en alguns casos amb les seves unides per petites crestes, tot i que la forma dominant són els cocons. En aquesta zona, els cocons mostren un alt grau de connexió, del 70% al 90% dels casos, i la majoria presenten sobreploms.

Ja dins els dominis del ruixim (**zona  $\delta$** ), quan l'aportació de l'aigua de mar ve en forma d'aerosol, els cocons continuen essent les formes més característiques. Aquest cop, però, es troben aïllats els uns dels altres (entre el 35% i el 100% de les observacions), i en pocs casos presenten sobreploms. Les superfícies entre cocons estan microalveolitzades, tot i que, com passa amb la cobertura de cianòfits, la densitat de microalvèols disminueix terra endins. Comencen a aparèixer alguns líquens crustacis a la superfície de la roca i el gastròpode *Melaraphe neritoides* assoleix densitats importants. En aquesta zona del perfil, s'hi poden localitzar microsolcs quan apareixen pegats de roca de textura fina i homogènia, així com conductes de subsòl desenterrats i lleugerament remanegats.

Rere el domini del ruixim, allà on l'acció dels processos marins és més confosa (**zona  $\Omega$** ), encara s'hi troben alguns cocons aïllats d'aspecte suau, amb parets i fons arrodonits. Es pot apreciar sobre les superfícies subhoritzontals tot un seguit de formes lineals controlades per la fracturació. La superfície entre cocons és menys rugosa que en el mòdul anterior i arriben a donar-se aparences suaus o arrodonides quan els líquens hi són presents (especialment *Verrucaria* sp.). Els microsolcs hi apareixen de forma intermitent, quan la textura de la roca ho permet. Es pot avaluar la transició dels conductes de subsòl a formes del *karren* litoral.

- L'estudi de les nanoformes, a partir de les imatges de SEM, indiquen l'existència d'un gradient en el qual s'identifica el domini dels processos responsables del desenvolupament del microrelleu a les costes rocoses carbonatades. A la zona de pinacles –zona  $\alpha$ – hi destaca la importància de l'acció de les sals i l'erosió i meteorització biològiques. Aquestes s'atenuen al domini dels cocons –zona  $\beta$ – i comencen a cedir representativitat a la dissolució per processos inorgànics un cop que s'avança en la component terrestre del perfil.
- S'identifiquen diferents controls sobre el modelat del *karren* litoral en funció de l'escala. A macroescala es fa palès el control estructural i la fracturació, així com la influència de la història geològica pel que fa a la forma del perfil. També en aquest ordre de magnitud és important la litologia. A mesoescala, l'exposició del perfil i l'abast del domini hidrodinàmic juntament amb la

textura i les fàcies de la roca determinen el segon grup de condicionants d'aquest tipus de microrelleu. A microescala, la component biològica i la seva acció tenen un pes transcendental, tant en la gènesi de les formes, com en el control de l'erosió i l'evolució del perfil de costa.

- Un mínim de quatre vectors de meteorització i/o d'erosió poden diferenciar-se sobre els sistemes del *karren* litoral, en funció de la distribució de les formes (a meso, micro i nanoescala) i del control de l'estructura, la història geològica i el gradient hidrodinàmic. El primer vector es correspon a la dissolució entesa com a procés estrictament inorgànic. Aquesta component disminueix de terra cap a mar i té la seva expressió més important en els conductes de subsòl exhumats i en algunes depressions de subsòl que, un cop retreballades, passaran a funcionar com a cocons. La dissolució inorgànica és especialment important a la zona  $\Omega$  i en menor mesura a la zona  $\delta$ . La meteorització biològica o la dissolució bioinduïda és el segon vector i el procés de meteorització més important en el *karren* litoral, bé pel control de l'agressivitat de l'aigua retinguda als cocons, bé per l'atac químic directe sobre la roca de cianòfits i organismes brostejadors. Aquest vector és especialment important a les zones morfològiques  $\alpha$  i  $\beta$ . A la zona  $\delta$  disminueix. En aquesta mateixa línia, el tercer vector considera l'acció bioerosiva desenvolupada pels organismes brostejadors que, en termes absoluts, és transcendental a la plataforma litoral i a la zona  $\alpha$ , que disminueix progressivament terra endins. Finalment, el quart vector, la meteorització per sals, juntament amb l'acció mecànica de l'aigua, són importants a la zona  $\alpha$  i disminueixen progressivament d'acord amb l'extensió dels dominis hidrodinàmics dels esquits i del ruixim.
- Els pinacles i el seu desenvolupament són una forma que resulta del desmantellament dels cocons. De fet, són l'única forma de relleu positiva de les descrites a l'inventari de formes associades al microrelleu dels litorals calcaris.
- Tot i els controls relatius a la història geològica, al control estructural i a la forma del perfil, el *karren* litoral s'organitza d'acord amb la combinació d'un gradient biològic i un d'hidrodinàmic; per tant, en funció d'una zonació ecològica. L'ecosistema o els ecosistemes presents al



---

llarg del perfil controlen, arran de les seves relacions ecològiques o funcionals, el desenvolupament de les formes de meteorització del rocam a diferents escales i ordres de magnitud, bé com a agents en el canvi del quimisme de l'aigua dels cocons, que en permet l'eixamplament per dissolució, bé per l'erosió dels grans i el ciment de la roca, o per la fatiga a què està sotmesa la roca arran de la perforació de cavitats i galeries que ofereixen una superfície major d'atac a altres processos, com l'acció mecànica de les onades, la dissolució o la meteorització per sals.

- El *karren litoral* és un exemple complex de biocarst perquè la dissolució, tot i ser el procés dominant sobre el rocam carbonatat, és bioinduïda.

## 6.5

### Conclusions generals

La present memòria combina dues línies de treball. D'una banda, es vol aclarir quins agents i processos juguen un paper important en la dinàmica erosiva de les costes rocoses carbonatades, i com desenvolupen aquesta acció; i, d'altra banda, es persegueix comprendre de quina manera els elements identificats a l'apartat previ generen el micromodelat que hem vengut a designar com a *karren litoral*. Així doncs, des d'aquest punt de vista es poden fer algunes consideracions de caràcter transversal a tota la memòria i marcar les línies cap a on haurien d'evolucionar futurs treballs:

- A una escala temporal curta, diària, i considerant aquells processos més continus en la dinàmica erosiva de les costes rocoses, la component biològica juga un paper capital en l'erosió, i també en la protecció del rocam carbonatat a les costes rocoses. Bé com a element que afavoreix el desmantellament de la roca amollant-ne els grans lentament (bombament de la superfície rocosa), bé per l'atac químic i físic dels organismes sobre el ciment i els grans de la roca, o perquè poden canviar el quimisme de les aigües que, en un principi, no són agressives, la component biològica és important.
- L'estudi dels cianòfits, la seva sistemàtica i distribució, és essencial de cara a comprendre completament la dinàmica

erosiva de la costa rocosa en el marc de les escales temporals i de recurrència que hem plantejat. Les anàlisis estadístiques indiquen que els cianòfits determinen la distribució dels organismes i l'estudi de les nanoformes com són d'importants els cianòfits en el desgast intern de la roca. Explicar les causes finals dels processos a les costes carbonatades passa per conèixer amb solidesa l'estructura dels biofilms de la roca.

- En aquest sentit, i incidint una vegada més en la importància de l'escala temporal i espacial, les experiències d'aquesta memòria conviden a no considerar el rocam de les costes rocoses com un element passiu sobre el qual actuen diferents processos i agents, sinó com a quelcom "viu" i dinàmic, en el sentit que la component biològica mediatitza el desmanegament de la roca afavorint l'erosió o reduint-la.
- Es fa necessari un mostratge espacial més dilatat en el temps, amb una major cobertura espacial, per tal d'aclarir el pes de cada un dels agents i processos identificats. Tot i que amb xifres grosseres es poden obtenir pesos relatius, la prudència aconsella, ara per ara, seguir considerant els processos aïlladament. El desenvolupament d'un escàner làser de dimensions més reduïdes que en faciliti el transport i l'estudi d'un nombre de superfícies majors per localitat, de més a més d'una major resolució vertical, seria un gran avenç. Si s'afegís un espectòmetre, llavors es podria lligar les taxes d'erosió a la densitat de cianòfits, o a la geometria del biofilm sobre la roca, a partir de la coloració de la roca que és un efecte ben clar de la presència i densitat dels cianòfits.
- El fenomen del bombament de la superfície rocosa obre un ventall molt ample de possibilitats i línies de treball a seguir. Des de la seva simulació al laboratori, avaluant el paper de diferents espècies de fongs i líquens, o bé ampliant el marc temàtic i avaluant-ne l'acció a medis terrestres, l'alta muntanya o el patrimoni arquitectònic històric, per exemple.

---

## Bibliografia

- ABENSPERG-TRAUN, M., WHEATIN, G.A. & ELIOT, I.G. 1990. Bioerosion, notch formation and micromorphology in the intertidal and supratidal zones of a calcareous sandstone stack. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, **73**: 47-56.
- AGUILÓ, C. 1981. Topografia submarina i talassonímia en el Migjorn de Mallorca. *Randa*, **12**: 73-82.
- AGUILÓ, C. 1991. *La toponímia de la costa de Felanitx*. Ajuntament de Felanitx. Felanitx.
- AGUILÓ, C. 1996. *La toponímia de la costa de Llucmajor*. Institut d'Estudis Catalans. Barcelona.
- ALLAN, J., STEPHENSON, W.J., KIRK, R.M. & TAYLOR, A. 2002. Lacustrine shore platform at Lake Waikaremoana, North Island, New Zealand. *Earth Surface Processes and Landforms*, **27**: 207-220.
- ALONSO-ZARZA, A.M., ARMENTEROS, I., BRAGA, J.C., MUÑOZ, A.; PUJALTE, C., RAMOS, E., AGUIRRE, J., ALONSO-GAVILÁM, G., ARENAS, C., BACETA, J.I., CARBALLEIRA, J., CALVO, J.P., CORROCHANO, A., FORNÓS, J.J., GONZÁLEZ, A., LUZÓN, A., MARTÍN, J.M., PARDO, G., PAYROS, A., PÉREZ, A., POMAR, L., RODRÍGUEZ, J.M. & VILLENA, J. 2002. Tertiary. In W. Gibbons & T. Moreno (eds.), *The Geology of Spain*, 293-334. The Geological Society, London.
- ALZINA, J., LE-SENNE, A., BLANES, C., LIMONGI, A., FIOL, P. & VIDAL, P. 1982. *Història de Mallorca*. Vol. 2. Editorial Moll, Palma.
- ANDRADE, C., MARQUES, F., FREITAS, M.C., CARDOSO, R., MADUREIRA, P. 2002. Shore platform downwearing and cliff retreat in the Portuguese west coast. In: Pozar-Domac, A. (Ed.). *Littoral, 2000: The changing coast*: 423-431. EUROCOAST/EUCC. Porto.
- ANDREWS, C. & WILLIAMS, R.B.G. 2000. Limpet erosion on chalk shore platforms in southeast England. *Earth Surface Processes and Landforms*, **25**: 1371-1381.
- ASCASO, C., GALVAN, J. & RODRÍGUEZ-PASCUAL, C. 1982. The weathering of calcareous rocks by lichens. *Pedobiologia*, **24**: 219-229.
- ASCASO, C. & WIERZCHOS, J. 1994. Structural aspects of the lichen-rock interface using back-scattered electron imaging. *Botanica Acta*, **108**: 474-481.
- AUGIER, H. 1982. *Inventaire et classification des biocénoses marines benthiques de la Méditerranée*. Comité Européen pour la sauvegarde de la nature et des ressources Naturels. Conseil de l'Europe.
- BAK, R.P.M. 1990. Patterns of echinoid bioerosion in two Pacific coral reef lagoons. *Marine Ecology Progress Series*, **66**: 267-272.
- BALAGUER, P. 2002. El coneixement científic de les costes rocoses de Mallorca (Illes Balears): estudi bibliomètric. *Bolletí de Geografia Aplicada*, **3-4**: 75-92.
- BALAGUER, P. 2006. *Tipus i evolució de les costes rocoses de Mallorca*. Tesi Doctoral inèdita. Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. Palma. 373 pp.
- BALAGUER, P. & FORNÓS, J.J. 2003. Processos erosius als penya-segats costaners del SE de Mallorca (Illes Balears, Mediterrània occidental): dades preliminars de l'erosió contínua per disgregació granular. *Bolletí de la Societat d'Història Natural de Balears*, **46**: 37-50.
- BALAGUER, P., FORNÓS, J.J. & GÓMEZ-PUJOL, L. 2002. Retroceso de los acantilados del Mioceno Superior en la costa del sureste de Mallorca: los casos de Estret des Temps y S'Alavern. In Serrano, E., García de Celis, A., Guerra, J.C., Morales, C.G. & Ortega, M.T. (eds). *Estudios recientes (2000-2002) en Geomorfología. Patrimonio, Montaña, Dinámica Territorial*: 341-350. SEG, Universidad de Valladolid. Valladolid.
- BALLESTEROS, E., ZABALA, M., URIZ, M.J., GARCÍA-RUBIES, A. & TURON, X. 1993. El bentos: les comunitats. In Alcover, J.A., Ballesteros, E. & Fornós, J.J. (eds). *Història Natural de l'Arxipèlag de Cabrera*. CSIC-Moll., *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, **2**: 687-730.
- BARCELÓ, R., FLEXAS, J., GULÍAS, J. & MORENO, J.L. 1999. Contribució al coneixement de la flora i la fauna del fons marí de Cala Refeubetx (SW de Mallorca, Illes Balears). *Bolletí de la Societat d'Història Natural de Balears*, **42**: 15-26.
- BARRADO, M. & FLEXAS, J. 1997. Nota sobre la distribució actual i hàbitat de *Melaraphe punctatata* (Gmelin, 1789) (Mollusca, Gastropoda) a Mallorca. *Bolletí de la Societat d'Història Natural de Balears*, **40**: 41-49.
- BARRENO, E. 1997. Hongos simbios: líquenes, micoficobiosis y micorrizas. In Izco, J., Barreno, E., Brugués, M., Costa, M., Devesa, J., Fernández, F., Gallardo, T., Llimona, X., Salvo, E., Talavera, S., Valdés, B. (eds.). *Botánica*: 309-340. McGraw Hill. Madrid.
- BASTERRETXEA, G., ORFILA, A., JORDI, A., CASAS, B., LYNETT, P., DUARTE, C.M. & TINTORÉ, J. 2004. Seasonal dynamics of a microtidal pocket beach with *Posidonia oceanica* seabeds (Mallorca, Spain). *Journal of Coastal Research*, **20**: 133-142.

- BATTISTINI, R. 1981. La morphogenese des plateformes de corrosion littorale dans les gres calcaires (plateforme a vasques) et le probleme des vasques d'apres des observations faites a Madagascar. *Révue Géomorphologie Dynamique*, **30**: 81-94.
- BERNER, R.A. 1978. Rate control of mineral dissolution under earth surface conditions. *American Journal of Science*, **278**: 1235-1252.
- BOAVENTURA, D., ALEXANDER, M., DELLA SANTINA, P., SMITH, N., RÉ, P., CANCELA DA FONSECA, L. & HAWKINS, S.J. 2002. The effects of grazing on the distribution and composition of low-shore algal communities on the central coast of Portugal and on the southern coast of Britain. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **267**: 185-206.
- BOSCH, M. & MORENO, I. 1986. Contribución al conocimiento del género *Patella* Linné 1758, en la isla de Mallorca. *Bolletí de la Societat d'Història Natural de Balears*, **30**: 127-135.
- BIRD, E.C.F. 1993a. Cliff hazards and coastal management. *Journal of Coastal Research, Special Issue*, **12**: 299-309.
- BIRD, E.C.F. 1993b. *The Coast of Victoria: the Shapping of Scenary*. Melbourne University Press. Carlton.
- BLACKMORE, P.A. & HEWSON, P.J. 1984. Experiments on full-scale wave impact pressures. *Coastal Engineering*, **8**: 331-346.
- BLANCO, R. 2001. Procesos de erosión en costas rocosas. *Xeográfica*, **1**: 39-59.
- BLANCO, R. & PÉREZ-ALBERTI, A. 1996. Los procesos de inestabilidad de los acantilados como factores del retroceso reciente de la costa en Galicia: Montes da Lagoa (Narón) y Ría de Ortigueira (Cariño-Ortigueira): In Pérez-Alberti, A., Martini, P., Chesworth, W. & Martínez, A. (eds). *Dinámica y Evolución de Medios Cuaternarios*: 405-415. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago.
- BLANCO, R., COSTA, M., MARTÍNEZ, A., PÉREZ-ALBERTI, A. & TRENHAILE, A.S. 2003. Evolution and inheritance of a rock coasts: western Galicia, northwestern Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, **28**: 757-775.
- BLAND, W. & ROLLS, D. 1998. *Weathering, an Introduction to the Scientific Principles*. Arnold. London.
- BOGLI, A. 1980. *Karst Hydrology and Physical Speleology*. Berlin. Springer.
- BRUNDSSEN, D. 2001. A critical assessment of the sensitivity concept in geomorphology. *Catena*, **42**: 99-123.
- BRUNDSSEN, D. & JONES, D.K.C. 1980. Relative time scales and formative events in coastal landslide systems. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Suppl. Bd.*, **34**: 1-19.
- BULL, P.A. & LAVERTY, M. 1982. Observations on phytokarst. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, **26**: 437-457.
- BUTZER, K.W. 1962. Coastal geomorphology of Majorca. *Annals of the Association of American Geographers*, **52**: 191-212.
- BUTZER, K.W. 1975. Pleistocene littoral-sedimentary cycles of the Mediterranean basin: a mallorquin view. In Butzer, K.W. & Isaac, G.L. (eds.). *After the Australopithecines: stratigraphy, ecology and culture change in the Middle Pleistocene*: 25-73. Mouton, The Haghe.
- BUTZER, K.W. 1985. La estratigrafía del nivel marino en Mallorca en una perspectiva mundial. In *Geomorfología litoral y Cuaternario. Homenaje a Juan Cuerda*: 17-33. Universitat de València, Zurich Eidgenössische Technische Hochschule, Universitat de Palma de Mallorca. València.
- BUTZER, K.W. & CUERDA, J. 1962. Coastal stratigraphy of southern Mallorca and its implications for the Pleistocene chronology of the Mediterranean Sea. *Journal of Geology*, **70**: 398-416.
- CARANDELL, J. 1927. Movimientos lentos en el litoral Este de Mallorca. *Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural*, **27**: 468-473.
- CARBONELL, M. 1999. *Conservación y restauración de fachadas antiguas de Baleares*. Col·legi Oficial d'Arquitectes de Balears. Palma.
- CARTER, N.E.A. & VILES, H.A. 2003. Experimental investigations into the interactions between moisture, rock surface temperatures and an epilithic lichen cover in the bioprotection of limestone. *Building and Environment*, **38**: 1225-1234.
- CARTER, N.E.A. & VILES, H.A. 2004. Lichen hotspots: raised rock temperatures beneath *Verrucaria nigrescens* on limestone. *Geomorphology*, **69**: 273-281.
- CARTER, N.E.A. & VILES, H.A. 2003. Bioprotection explored: the story of a little known earth surface process. *Geomorphology*, **71**: 237-245.
- CARTER, R.W.G. 1988. *Coastal environments, an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines*. Academic Press. London.
- CARTER, R.W.G. & WOODROFFE, C.D. 1994. *Coastal evolution: late Quaternary shoreline morphodynamics*. Cambridge University Press. Cambridge.
- CHABAS, A. & JEANNETE, D. 2001. Weathering of marbles and granites in marine environment: petrophysical properties and special role of atmospheric salts. *Environmental Geology*, **40**: 359-368.

- CHELAZZI, G., SERRA, G., BUCCIARELLI, G. 1997. Zonal recovery after experimental displacement in two sea urchins co-occurring in the Mediterranean. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **212**: 1-17.
- CHEN, J., BLUME, H.P. & BEYER, L. 2000. Weathering of rocks induced by lichen colonization, a review. *Catena*, **39**: 121-146.
- CINQUE, A., DE PIPPO, T. & ROMANO, P. 1995. Coastal slope terracing and relative sea-level changes: deductions based on computer simulations. *Earth Surface Processes and Landforms*, **20**: 87-103.
- CLEMMENSEN, L.B., LISBORG, T., FORNÓS, J.J. & BROMLEY, R.G. 2001. Cliff-front aeolian and colluvial deposits, Mallorca, Western Mediterranean: a record of climatic and environmental change during the last glacial period. *Bull. Soc. Geol. Denmark*, **48**: 217-232.
- COLMAN, S.M. 1981. Rock weathering rates as functions of time. *Quaternary Research*, **15**: 250-264.
- CONAND, C. & HEEB, M., PEYROT-CLAUSADE, M. & FONTAINE, M.F. 1998. Bioerosion by the sea urchin *Echinometra* on La Reunion reefs (Indian ocean) and comparison with Tiahua reefs (French Polynesia). In Mooi, R. & Telford, M. (eds.), *Echinoderms*: 609-615. Balkema, Rotterdam.
- COOKE, R.U. 1994. Salt weathering and the urban water table in deserts. In Robinson, D.A. & Williams, R.G.B. (eds). *Rock weathering and landform evolution*: 193-205. John Wiley & Sons. Chichester.
- COOKS, J. & OTTO, E. 1990. The weathering effects of the lichen *Lecidea Aff. Sarcogynoides* (Koerb.) on Magaliesberg quartzite. *Earth Surface Processes and Landforms* **15**: 491-500.
- CORBEL, J. 1952. Les lapiaz marins. *Revue Géographique de Lyon*, **37**: 379-380.
- COROMINES, J. 1986. *Diccionari etimològic i complementari de la llengua catalana*. Curial. Barcelona.
- CRABTREE, R.W. & TRUDGILL, S.T. 1985. Chemical denudation on a magnesian limestone hillslope, fiels evidence and implications for modelling. *Earth Surface Processes and Landforms*, **10**: 331-341.
- CUERDA, J. 1975. *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Instituto de Estudios Baleáricos. Palma.
- CUERDA, J. 1989. *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Govern de les Illes Balears. Palma. 2a. edició.
- CUERDA, J. & SACARÈS, J. 1992. *El Quaternari al Migjorn de Mallorca*. Govern Balear. Palma.
- DALONGEVILLE, M. 1977. Formes littorales de corrosion dans les roches carbonates au Liban. Etude morphologique. *Méditerranée*, **3**: 21-33.
- DALONGEVILLE, R. 1995. Le rôle des organismes constructeurs dans la morphologie des littoraux de la mer méditerranée: algues calcaires et vermetidés. *Noroi*, **42**: 73-88.
- DALONGEVILLE, R. & LE CAMPION, TH. 1982. Aperçu sur l'érosion littorale en roches carbonatées. L'exemple de la Méditerranée. *Bull. Lab. Rhod. de Géom.*, **11-12**: 3-12.
- DALONGEVILLE, R., LE CAMPION, TH. & FONTAINE, M.F. 1994. Bilan bioconstruction-biodestruction dans les roches carbonatées en mer Méditerranée: étude expérimentale et implications géomorphologiques. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, **38**: 457-474.
- DALY, R.A. 1925. Pleistocene changes of level. *American Journal of Science*, **10**: 281-313.
- DANIN, A. 1983. Weathering of limestone in Jerusalem by cyanobacteria. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, **27**: 413-421.
- DANIN, A. 1990. Deterioration of limestone walls and marble monuments in Rome caused by cyanobacteria and cyanophilous lichens. *International Biodeterioration*, **26**: 397-417.
- DAVIES, J.L. 1972. *Geographical variation in coastal development*. Oliver & Boyd. Edimburgh. 204 pp.
- DAVIES, R.A. 1985. Beach and nearshore zone. In Davies, R.A. (ed). *Coastal sedimentary environments*: 379-444. Springer-Verlag. New York.
- DAVIS, R.A. & FITZGERALD, D.M. 2003. *Beaches and coasts*. Blackwell publishing. Malden.
- DAVIS, W.M. 1899. The geographical cycle. *Geographical Journal*, **14**: 481-504.
- DAY, M.J. 1980. Rock hardness: field assessment and geomorphic importance. *Professional Geographer*, **32**: 72-81.
- DE BOER, D.H. 1992. Hierarchies and spatial scale in process geomorphology: a review. *Geomorphology*, **4**: 303-318.
- DEBRAT, J.M. 1974. Etude d'un karst calcaire littoral méditerranéen. Exemple du littoral de Nice a Menton. *Méditerranée*, **2**: 63-85.
- DE LANGE, W.P. & MOON, V.G. 2005. Estimating long-term cliff recession rates from shore platform widths. *Engineering Geology*, **80**: 292-301.
- DE MARTONNE, E. 1906. La péninsule et les côtes Bretonnes. *Annales de Géographie*, **15**: 299-328.
- DE MARTONNE, E. 1909. *Traité de Géographie Physique*. Armand Colin. Paris.
- DENIZOT, G. 1930. *Sur un rivage quaternaire de l'île Majorque et sur les derniers changements de la Méditerranée occidentale*. Association Française pour l'Avancement des Sciences. Alger.
- DEYÀ, M. & OLIVER, M. 2000. La Mediterrània bipolar: el regne de Mallorca en Alarma, l'Ordre de Malta en guàrdia. In Oliver, M. (coord). *L'Ordre de Malta a Mallorca i la Mediterrània*: 47-66. Sobirà Ordre de Malta, Delegació de Balears, Palma.

- DIBB, T.E., HUGHES, D.W. & POOLE, A.B. 1983. The identification of critical factors affecting rock durability in marine environments. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, **16**: 149-161.
- DICKSON, M.E. En premsa. Shore platform development around Lord Howe Island, southwest Pacific. *Geomorphology*.
- DICKSON, M.E., KENNEDY, D.M., & WOODROFFE, C.D. 2004. The influence of rock resistance on coastal morphology around Lord Howe Island, Southwest Pacific. *Earth Surface Processes and Landforms*, **29**: 629-643.
- DICKSON, M.E. & WOODROFFE, C.D. 2005. Rock coast morphology in relation to lithology and wave exposure, Lord Howe Island, southwest Pacific. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, **49**: 239-251.
- DIEC. 1998. *Diccionari de la Llengua Catalana*. Institut d'Estudis Catalans. Barcelona.
- DONN, T.F. & BOARDMAN, M.F. 1988. Bioerosion of rocky carbonate coastlines on Andros Island, Bahamas. *Journal of Coastal Research*, **4**: 381-394.
- DROSSOS, S. 1989. *The sedimentology and structure of the Early Cretaceous Moonlight Head Member, Moonlight Head region. Southwest Victoria*. Bachelor of Science (Honours) thesis, Latrobe University, Melbourne.
- DRYSDALE, R. & GILLIESON, D. 1997. Micro-erosion meter measurements of travertine deposition rates: a case study from Louie Creek, Northwest Queensland Australia. *Earth Surface Processes and Landforms*, **22**: 1037-1051.
- DUANE, M.J., AL-MISHWAT, A.T. & RAFIQUE, M. 2003. Weathering and biokarst development on Marine terraces, Northwest Morocco. *Earth Surface Processes and Landforms*, **28**: 1439-1449.
- DUPERRET, A., GENTER, A., MORTIMORE, R.N., DELACOURT, B., DE POMERAI, M.R. 2002. Coastal rock cliff erosion by collapse at Puys, France: The role of impervious marl seams within chalk of NW Europe. *Journal of Coastal Research*, **18**: 52-61.
- DYE, A.H. 1998. Dynamics of rocky intertidal communities: analyses of long time series from South African shores. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **46**: 287-305.
- EMERY, K.O. 1941. Rates of surface retreat of sea cliffs based on dated inscriptions. *Science*, **93**: 617-618.
- EMERY, K.O. 1946. Marine solution basins. *Journal of Geology*, **54**: 209-228.
- EMERY, K.O. & KHUN, G.G. 1982. Sea cliffs: their processes, profiles and classification. *Geological Society of America Bulletin*, **93**: 644-654.
- FAIRBRIDGE, R.W. 2004. Classification of coasts. *Journal of Coastal Research*, **20**: 155-165.
- FALLOT, P. 1923. Esquisse morphologique des îles Baléares. *Revue de Géographie Alpine*, **9**: 421-448.
- FELDMANN, J. & DAVY DE VIRVILLE, A. 1933. Les conditions physiques et la végétation des flaques littorales de la côte des Albères. *Rev. Gén. de Botanique*, **45**: 621-654.
- FINKL, C.W. 2004. Coastal classification: systematic approaches to consider in the development of a comprehensive scheme. *Journal of Coastal Research*, **20**: 166-213.
- FIOL, L., FORNÓS, J.J. & GINÉS, A. 1992. El rillenkarrén: un tipus particular de biocarst?. *Primeres dades. Endins*, **17-18**: 43-49.
- FIOL, L., FORNÓS, J.J. & GINÉS, A. 1996. Effect of biokarstic processes on the development of solutional rillenkarrén in limestone rocks. *Earth Surface Processes and Landforms*, **21**: 447-452.
- FOCKE, J.W. 1978. Limestone cliff morphology on Curaçao (Netherlands Antilles), with special attention to the origin of notches and vermetid/coralline algal surf benches ("cornices", "trottoirs"). *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, **22**: 329-349.
- FOLK, R.L., ROBERTS, H.H. & MOORE, C.H. 1973. Black phytokarst from Hell, Cayman Islands, British West Indies. *Geological Society of America Bulletin*, **84**: 2351-2360.
- FOLK, R.L. & CHAFETX, H.S. 2000. Bacterially induced microscale and nanoscale carbonate precipitates. In: Riding, R.E. & Awramik, S.M. (eds). *Microbial sediments*: 40-49. Springer. Berlin.
- FOOKES, P.G., GOURLEY, C.S. & OHIKERE, C. 1988. Rock weathering in engineering time. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, **21**: 33-57.
- FOOTE, Y., PLESSIS, E. & ROBINSON, D.A. 2001. Rates and pattern of cliff erosion and downwearing of chalk shore platforms: comparison between France and England. *European Rock Coasts 2001 Conference*: 24-25. Brighton, England.
- FORD, D.C. 1971. Research methods in karst geomorphology. In: Yatsu, E., Dahms, F.A., Falconer, A., Ward, A.J. & Wolf, J.S. (Eds.). *Research methods in Geomorphology*: 23-48. Science Research Associates Press. Ontario.
- FORD, D.C. & LUNDBERG, J.C. 1987. A review of dissolutional rills in limestone and other soluble rocks. *Catena Supplement*, **8**: 119-140.

- FORD, D.C. & WILLIAMS, P.W. 1989. *Karst Geomorphology and Hydrology*. Unwin Hyman. London. 601 pp.
- FORNÓS, J.J. 1983. *Estudi sedimentològic del Miocè Terminal de l'illa de Mallorca*. Tesi de Llicenciatura. Universitat de Barcelona. Barcelona.
- FORNÓS, J.J. 2000. Karren. In Hannock, P. & Skinner, B. (eds.): *The Oxford Companion to the Earth*: 575-576. Oxford University Press. Oxford.
- FORNÓS, J.J. 2003. El karst y la evolución del litoral del Migjorn de Menorca. In Rosselló, V.M., Fornós, J.J. & Gómez-Pujol, L. (eds.). *Introducción a la Geografía Física de Menorca. Monografía Societat d'Història Natural de Balears*, **10**: 101-110.
- FORNÓS, J.J. 2004. Morfologia costanera i processos litorals. El paper de la fracturació i el karst. In Fornós, J.J., Obrador, A. & Rosselló, V.M. (eds). *Història Natural del Migjorn de Menorca: el medi físic i l'influx humà. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, **11**: 201-212.
- FORNÓS, J.J. & GÓMEZ-PUJOL, L. 2002. Estudio integrado del lapiaz costero de Mallorca dentro del proyecto ESPED: metodología y resultados preliminares. *Boletín de la Sociedad Española de Espeleología y Ciencias del Karst*, **3**: 106-115.
- FORNÓS, J.J. & POMAR, L. 1983. Mioceno superior de Mallorca: Unidad Calizas de Santanyí (Complejo Terminal). In Pomar, L., Obrador, A., Fornós, J.J. & Rodríguez-Perea, A. (eds). *El Terciario de las Baleares. Guía de las Excursiones del X Congreso de Sedimentología*: 177-206. Institut d'Estudis Balearics, Universitat de les Illes Balears. Palma.
- FORNÓS, J.J., BALAGUER, P., GELABERT, B. & GÓMEZ-PUJOL, L. 2005. Pleistocene formation, evolution, retreat rates and processes in carbonate coastal cliff (Mallorca Is., Western Mediterranean). *Journal of Coastal Research. Special Issue.*, **49**: 15-21.
- FORNÓS, J.J., FUMANAL, P., PONS, G.X., BARÓN, A., FORNÉS, A., PARDO, J.E., RODRÍGUEZ-PEREA, A., ROSSELLÓ, V.M., SEGURA, F. & SERVERA, J. 1998. Rebliment holocènic a la vall incisa del barranc d'Algendar (Cala Galdana, sud de Menorca, Mediterrània Occidental). *Bolletí Societat Història Natural de Balears*, **41**: 173-189.
- FORNÓS, J.J., GELABERT, B., GINÉS, A., GINÉS, J., TUCCIMEI, P. & VESICA, P. 2002. Phreatic overgrowths on speleothems: a useful tool in structural geology in littoral karstic landscapes. The example of eastern mallorca (Balearic Islands). *Geodinamica Acta*, **15**:113-125.
- FRY, E.J. 1924. A suggested explanation of the mechanical action of lithophytic lichens on rocks (shale). *Annals of Botany*, **38**: 175-196
- GAYLORD, B. 1999. Detailing agents of physical disturbance: wave-induced velocities and accelerations on a rocky shore. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **239**: 85-124.
- GEHRMANN, C.K., KRUMBEIN, W.E. & PETERSEN, K. 1992. Endolithic lichens and the corrosion of carbonate rocks, a study of biopitting. *International Journal of Mycology and Lichenology*, **5**: 37-48.
- GELABERT, B. 1998. *La Estructura Geològica de la Mitad Occidental de la Isla de Mallorca*. ITGE. Madrid.
- GELABERT, B. 2003. La estructura geològica de Menorca: las zonas de Tramuntana y Migjorn. In V. Rosselló, J.J. Fornós & L. Gómez-Pujol (eds.), *Introducción a la Geografía Física de Menorca. Monografía de la Societat d'Història Natural de Balears*, **10**: 39-48.
- GELABERT, B., FORNÓS, J.J., PARDO, J.W., ROSSELLÓ, V.M. & SEGURA, F. 2005. Structurally controlled drainage basin development in the south of Menorca (Western Mediterranean). *Geomorphology*, **65**: 139-155.
- GELABERT, B., SÀBAT, F. & RODRÍGUEZ-PEREA, A. 1992. A structural outline of the Serra de Tramuntana of Mallorca (Balearic Islands). *Tectonophysics*, **203**: 167-183.
- GILL, E.D. 1973. Rate and mode of retrogradation on rocky coasts in Victoria, Australia, and their relationship to sea level changes. *Boreas*, **2**: 143-171.
- GILL, E.D. & LANG, J.G. 1983. Micro-erosion meter measurements of rock wear on the Otway coast of southeast Australia. *Marine Geology*, **52**: 141-156.
- GILLOT, J.E. 1978. The effect of deicing agents and sulphate solutions on concrete aggregate. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, **11**: 177-192.
- GINÉS, A. 1993. Morfologies exocàrsticas. In Alcover, J.A., Ballesteros, E. & Fornós, J.J. (eds.): *Història natural de l'arxipèlag de Cabrera*: 153-160. CSIC, Societat d'Història Natural, Moll. Palma.
- GINÉS, A. 1996. Quantitative data as a base for the morphometrics definition of rillenkarren features found on limestones. In Fornós, J.J. & Ginés, A. (eds.). *Karren landforms*: 177-191. Universitat de les Illes Balears. Palma.
- GINÉS, A. 1999. *Morfología kárstica y vegetación en la Serra de Tramuntana. Una aproximación ecológica*. Tesi Doctoral. Universitat de les Illes Balears. Palma. 581 pp.

- GINÉS, J. 2000. *El karst litoral en el levante de Mallorca: una aproximación al conocimiento de su morfogénesis y cronología*. Tesi doctoral inèdita. Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. Palma. 595 pp.
- GOBULIC, S., FRIEDMANN, I. & SCHNEIDER, J. 1981. The lithobiontic ecological niche, with special reference to microorganisms. *Journal of Sedimentary Petrology*, **51**: 475-478.
- GÓMEZ, J. 1894. Resúmen de los trabajos de la comisión hidrográfica de España en la isla de Mallorca en los años 1889 a 1893. *Anales Hidrográficos*, **1** (94). 368 pp.
- GÓMEZ-PUJOL, L. 2001. *Rugositat i meteorització: estudi comparatiu a les costes carbonatades de Mallorca*. Memòria d'Investigació del Diploma en Estudis Avançats en Geografia Física. Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. 56 pp.
- GÓMEZ-PUJOL, L., BALAGUER, P., BALDO, M., FORNÓS, J.J., PONS, G.X. & VILLANUEVA, G. 2002a. Patrones y tasas de erosión de *Melaraphe neritoides* (Linneo, 1875) en el litoral rocoso de Mallorca: resultados preliminares. In Pérez-González, A., Vegas, J. & Machado, M. (eds). *Aportaciones a la Geomorfología de España en el Inicio del Tercer Milenio*: 351-354. ITGME. Madrid.
- GÓMEZ-PUJOL, L., BALAGUER, P., BALDO, M., FORNÓS, J.J., PONS, G.X. & VILLANUEVA, G. 2002b. Técnicas instrumentales para el estudio de la meteorización y la erosión de las costas rocosas. In Pérez-González, A., Vegas, J. & Machado, M. (eds). *Aportaciones a la Geomorfología de España en el Inicio del Tercer Milenio*: 345-350. ITGME. Madrid.
- GÓMEZ-PUJOL, L., BALAGUER, P. & FORNÓS, J.J. 2002a. Meteorización del patrimonio histórico en ambientes costeros marinos: el caso de la Torre d'en Beu (Santanyí, Mallorca). In Serrano, E., García de Celis, A., Guerra, J.C., Morales, C.G. & Ortega, M.T. (eds). *Estudios recientes (2000-2002) en Geomorfología. Patrimonio, Montaña, Dinámica Territorial*: 403-413. SEG, Universidad de Valladolid. Valladolid.
- GÓMEZ-PUJOL, L. & FORNÓS, J.J. 2001. Les microformes de meteorització del litoral calcari de Mallorca: aproximació a la seva sistematització. *Endins*, **24**: 169-185.
- GÓMEZ-PUJOL, L. & FORNÓS, J.J. 2004a. Forma, procesos y zonación en el lapiaz –karren- litoral del sur de Menorca, 1: aproximación morfométrica. In Benito, G. & Díez Herrero, A. (eds). *Contribuciones recientes sobre Geomorfología*: 347-355. Sociedad Española de Geomorfología – Centro Superior de Invesitgaciones Científicas. Madrid.
- GÓMEZ-PUJOL, L. & FORNÓS, J.J. 2004b. Forma, procesos y zonación en el lapiaz –karren- litoral del sur de Menorca, 2: observaciones mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). In Benito, G. & Díez Herrero, A. (eds). *Contribuciones recientes sobre Geomorfología*: 357-364. Sociedad Española de Geomorfología – Centro Superior de Invesitgaciones Científicas. Madrid.
- GÓMEZ-PUJOL, L. & FORNÓS, J.J. 2004c. Tasas de meteorización química en la costa carbonatada de Mallorca. Evaluación preliminar mediante tests de exposición (weight-loss rock tablets). In Blanco, R., Pérez, A. & López, J. (eds). *Procesos geomorfológicos y evolución costera. Actas de la II Reunión de Geomorfología Litoral*: 405-414. Universidad de Santiago de Compostela. SEG. Santiago de Compostela.
- GÓMEZ-PUJOL, L., STEPHENSON, W.J. & FORNÓS, J.J. En premsa. Two hourly rock surface change in supratidal rock (Marengo, Victoria, Australia). *Earth Surface Processes and Landforms*.
- GONZÁLEZ DE CHAVES, J. 1986. *Fortificaciones costeras de Mallorca*. Colegio Oficial de Arquitectos de Baleares. Palma..
- GOUDIE, A.S. (ed.). 1990. *Geomorphological techniques*. Unwin Hyman. London.
- GOUDIE, A.S. 1994. Salt attack on buildings and other structures in arid lands. In Fookes, P.G. & Parry, R.H.G. (eds). *Engineering Characteristics of Arid Soils*: 15-28. Bakelma. Rotterdam.
- GOUDIE, A.S. 2000. Experimental physical weathering. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Suppl. Bd.*, **120**: 133-144.
- GOUDIE, A.S. & VILES, H.A. 1997. *Salt Weathering Hazards*. John Wiley & Sons, Chichester.
- GOUDIE, A.S. & VILES, H.A. 1999. The frequency and magnitude concept in relation to rock weathering. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Suppl. Bd.* **115**: 175-189.
- GRACIA, F. & VICENS, D. 1998. Aspectes geomorfològics quaternaris del litoral de Mallorca. In Fornós, J.J. (ed). *Aspectes geològics de les Balears*: 307-329. Universitat de les Illes Balears. Palma.
- GRACIA, F., CLAMOR, B., LANDRECH, R., VICENS, D. & WATKINSON, P. 2001. Evidències geomorfològiques dels canvis del nivell marí. In Pons, G.X. & Guijaroo, J.A. (eds.). *El canvi climàtic: passat, present i futur*. *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, **9**: 91-119.
- GRAFEN, A. & HAILS, R. 2002. *Modern statistics for the life sciences*. Oxford University Press. Oxford.
- GRASSET DE SAINT-SAUVEUR, M. 1807. *Voyage dans les îles Baléares et Pithiuses fait dans les années 1801, 1802, 1803, 1804 et 1805*. L. Collin. Paris.
- GRIGGS, G.B. & TRENHAILE, A.S. 1994. Coastal cliffs and platforms. In Carter, R.W.G. & Woodroffe, C.D. (eds). *Coastal Evolution. Late Quaternary shoreline morphodynamics*: 425-450. Cambridge University Press. Cambridge.

- GUIJARRO, A. 1986. *Contribución a la bioclimatología de las Baleares*. Tesi de Doctorat. Universitat de les Illes Balears. Palma.
- GUILCHER, A. 1953. Essai sur la zonation et la distribution des formes littorales de dissolution du calcaire. *Annales de Géographie*, **331**: 161-179.
- GUILCHER, A. 1958. *Coastal and submarine geomorphology*. Methuen. London.
- GUILCHER, A. & PONT, P. 1957. Étude expérimentale de la corrosion littorale des calcaires. *Bull. Assoc. Géogr. Franç.*, **265-266**: 48-62.
- GÜNTHER, H., HASSELMAN, S. & JANSSEN, P. 1991. "Wamodel Cycle 4", Technical Report No .4, Deutsches KlimaRechenZentrum, Germany.
- HALL, K. 1988. A laboratory simulation of rock breakdown due to freeze-thaw in maritime Antarctic environment. *Earth Surface Processes and Landforms*, **13**: 369-382.
- HALL, K. & HALL, A. 1991. Thermal gradients and rock weathering at low temperatures: some simulation data. *Permafrost and Periglacial Processes*, **2**: 103-112.
- HALL, K. & HALL, A. 1996. Weathering by wetting and drying: some experimental results. *Earth Surface Processes and Landforms*, **21**: 365-376.
- HAUSBURG-LORENA, L.S. 1884-91. *Die Balearen in Wort un Bild geschildert*. Brockhaus. Leipzig. 7 volums.
- HERNÁNDEZ-PACHECO, E. 1932. Las costas de la Península Hispánica y sus movimientos. *Asociación Española para el Progreso de las Ciencias. Congreso de Lisboa*, **5-2**: 89-120.
- HIGGINS, C.G. 1980. Nips, notches, and the solution of coastal limestone: an overview of the problem with examples from Greece. *Estuarine and Coastal Marine Science*, **10**: 15-30.
- HIGH, C.J. & HANNA, F.K. 1970. A method for the direct measurement of erosion on rock surfaces. *Brit. Geomorph. Res. Group. Tech. Bull.*, **5**: 1-25.
- HODGKIN, E.P. 1964. Rate of erosion on intertidal limestone. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, **8**: 385-392.
- HODGKIN, E.P. 1970. Geomorphology and biological erosion of limestone coasts in Malaysia. *Geological Society of Malaysia Bulletin*, **3**: 27-51.
- HOLBYE, U. 1989. Bowl-karren in the littoral karst of Nord-Arnøy, Norway. *Cave Science*, **16**: 19-26.
- HUTCHINGS, P.A. & PEYROT-CLAUSADE, M. 2002. The distribution and abundance of boring species of polychaetes and sipunculans in coral substrates in French Polynesia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **269**: 101-121.
- INKPEN, R.J. 1995. Errors in measuring the percentage dry weight change of stone tablets. *Earth Surface Processes and Landforms*, **20**: 783-793.
- INKPEN, R.J., COLLIER, P. & FONTANA, D. 2000. Close-range photogrammetric analysis of rock surfaces. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Suppl.-Bd.*, **120**: 67-81.
- INKPEN, R.J., TEIGG, L. & STEPHENSON, W.J. 2004. The use of multilevel modeling in evaluating controls on erosion rates on inter-tidal shore platforms, Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand. *Geomorphology*, **57**: 29-39.
- JENKIN, J.J. 1991. Geomorphology. In Cochrane, G.W., Quick, G.W. & Spicer-Jones, D. (eds). *Introducing Victorian geology*: 57-96. Geological Society of Australia. Melbourne.
- JENNINGS, J.N. 1981. Further results from limestone tablet experiments at Coleman Plain. *Australian Geographical Studies*, **19**: 224-227.
- JENNINGS, J.N. 1985. *Karst geomorphology*. Blackwell. Oxford.
- JOHANSON, M., MIGON, P. & OLVMO, M. 2001. Development of joint-controlled rock basins in Bohus granites, SW Sweden. *Geomorphology*, **40**: 145-161.
- JOHNSON, D.W. 1919. *Shore processes and shoreline development*. Prentice Hall. New York.
- JONES, B. 1989. The role of microorganisms in phytokarst development on dolostones and limestones, Grand Cayman, British West Indies. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **26**: 2204-2213.
- JONES, B. & HUNTER, I.G. 1995. Vermetid buildups from Grand Cayman, British West Indies. *Journal of Coastal Research*, **11**: 973-983.
- JONES, B. & KAHLE, C.F. 1985. Lichen and algae: agents of diagenesis in karst breccia from Grand Cayman Island. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, **33**: 446-461.
- JONES, D.G. & WILLIAMS, A.T. 1991. Statistical analysis of factors influencing cliff erosion along a section of the West Wales coast, UK. *Earth Surface Processes and Landforms*, **16**: 95-111.



- KANYAYA, J.I. & TRENHAILE, A.S. 2005. Tidal wetting and drying on shore platforms: an experimental assessment. *Geomorphology*, **70**: 129-146.
- KAY, R. & ALDER, J. 1999. *Coastal planning and management*. Routledge. London.
- KAYE, C.A. 1957. The effect of solvent motion on limestone solution. *Journal of Geology*, **65**: 35-46.
- KELLETAT, D.H. 1980. Formenschatz und prozessgefüge des "Biokarstes" and der küeste von Nordost-Mallorca (Cala Guya). *Berliner Geographische Studien*, **7**: 99-113.
- KELLETAT, D.H. 1985. Bio-destruktive und bio-konstruktive formelemente an den spanischen mittelmeeerküsten. *Geoökodynamic*, **6**: 1-20.
- KELLETAT, D.H. 1997. Mediterranean coastal biogeomorphology: processes, forms and sea levels indicators. *Bulletin de l'Institute Océanographique de Monaco*, **18**: 209-225.
- KERSHAW, S. 2000. Quaternary reefs of Northeastern Sicily: structure and growth controls in an unstable tectonic setting. *Journal of Coastal Research*, **16**: 1037-1062.
- KERR, A., SMITH, B.J., WHALLEY, W.B. & MCGREEVY, J.P. 1984. Rock temperatures from southeast Morocco an their significance for experimental rock weathering studies. *Geology* **12**: 306-309.
- KING, C.A.M. 1930. Raised beaches and other features of the south-east coast of the North Island of New Zealand. *Transactions of the New Zealand Institute*, **61**: 498-523.
- KING, C.A.M. 1972. *Beaches and Coasts*. Arnold. London.
- KIRK, R.M. 1977. Rates and forms of erosion on intertidal platforms at Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, **20**: 571-613.
- KOMAR, P.D. 1998. *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice Hall.
- LAGEAT, Y., SELLIER, D. & TWIDALE, C.R. 1994. Mégalithes et météorisation des granites en Bretagne littorale, France du nord-ouest. *Géographie physique et Quaternaire*, **48**: 107-113.
- LAHOUSSE, P. & PIERRE, G. 2003a. The retreat of chalk cliffs at Cape Blanc-Nez (France): autopsy of a erosional crisis. *Journal of Coastal Research*, **19**: 431-440.
- LAHOUSSE, P. & PIERRE, G. 2003b. Vitesse, rythme et modalités du recul des falaises crayeuses du cap Blanc-Nez (Pas de Calais, France). *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, **47**: 215-234.
- LANE, S.N., RICHARDS, K.S. & CHANDLER, J.H. 1993. Developments in photogrammetry; the geomorphological potential. *Progress in Physical Geography*, **17**: 306-328.
- LANG, R.C., BRITTON, J.C. & METZ, T. 1998. What to do when there is nothing to do: the ecology of Jamaican intertidal Littorinidae (Gastropoda: Prosobranchia) in repose. *Hydrobiologia*, **378**: 161-185.
- LANGE, O.L. 1992. *Pflanzenleben unter stress: flechten als pioniere der vegetation an extremstandorten der erde*. Universität Würzburg: Würzburg.
- LARSON, D.W. 1987. The absorption and release of water by lichens. In Peveling, E.J. (ed.). *Progress and problems in lichenology in the eighties*: 351-360. Cramer. Berlin.
- LE CAMPION-ALSUMARD, T. 1979. Les cyanophycées endolithes marines. Systématique, ultrastructure, écologie et biodestruction. *Oceanologica Acta*, **2**: 143-156.
- LE CAMPION-ALSUMARD, T., ROMANO, J.C., PEYROT-CLAUDE, M., LE CAMPION, J. & PAUL, R. 1993. Influence of some coral reef communities on the calcium carbonate budget of Tiahura reef (Moorea, French Polynesia). *Marine Biology*, **115**: 685-693.
- LEGENDRE, P. & LEGENDRE, L. 1998. *Numerical Ecology*. Elsevier. Amsterdam.
- LEWIS, J.R. 1964. *The ecology of rocky shores*. English Universities Press. London.
- LEWIS, J.R. 1976. Long-term ecological surveillance: practical realities in the rocky littoral. *Oceanography and Marine Biology Annals Reviews*, **14**: 371-390.
- LEY, R.G. 1979. The development of marine karren along the Bristol channels coastline. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Suppl. Bd.*, **32**: 75-89.
- LITTLE, C. & KITCHING, J.A. *The biology of rocky shores*. Oxford University Press. Oxford.
- LLIMONA, X. 1991. Fongs i Líquens. In Folch, R. (Dir.). *Història Natural dels Països Catalans*. Vol. 5. Enciclopèdia Catalana. Barcelona.
- LONG, A. 2000. Late Holocene sea-level change and climate. *Progress in Physical Geography*, **24**: 415-423.
- LONG, A. 2001. Mid-Holocene sea-level change and coastal evolution. *Progress in Physical Geography*, **25**: 399-408.
- LÓPEZ-BERMÚDEZ, F. 1979. Formas y procesos kársticos en el litoral murciano. In Barceló, B. (dir.): *Actas del VI coloquio de Geografía*: 57-64. AGE, Universidad de Palma de Mallorca. Palma.
- LUNDBERG, J. *En premsa*. Coastal karren. In Dreybrodt, W., Ginés, A. Knez, M. & Slabe, T. (eds). *Karst Rock Features. Karren Sculpturing*. ZRC SAZU. Postojna.
- LUNDBERG, J. 1977. Karren of the littoral zone. Burren District, Co. Clare, Ireland. In *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Speleological Congress*: 191-293. British Cave Research Association. Sheffield.

- 
- LUNDBERG, J. & LAURITZEN, S.E. 2002. The search for an arctic coastal karren model in Norway and Spitzbergen. In K. Hewitt et al. (eds.), *Landscapes of Transition*, 185-203. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- MATSUKURA, Y. 1988. Cliff instability in pumice flow deposits due to notch formation on the Asama mountain slope, Japan. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, **32**: 129-141.
- MATSUKURA, Y. & HIROSE, T. 1999. Five year measurements of rock tablet weathering on a forested hillslope in a humid temperate region. *Engineering Geology*, **55**: 69-76.
- MATSUKURA, Y., MATSUOKA, N. & YANO, N. 1989. A preliminary study on tafoni and honeycombs in Nojimazaki, Boso Peninsula, Japan. *Ann. Rep. Inst. Geosci. Univ. Tsukuba*, **15**: 29-32.
- MATTHEWS, J.A. 1981. *Quantitative and Statistical Approaches to Geography*. Pergamon Press: Oxford.
- MAZZANTI, R. & PAREA, G.C. 1979. Erosione della "panchina" sui litorali di Livorno e di Rosignano. *Bolletino Società Geologica Italiana*, **96**: 457-489.
- MCGREEVY, J.P. 1985. A preliminary scanning electron microscope study of honeycomb weathering of sandstone in a coastal environment. *Earth Surface Processes and Landforms*, **10**: 509-518.
- MCLEAN, R.F. 1967. Measurement of beach rock erosion by some tropical marine gastropods. *Bulletin of Marine Science*, **17**: 551-561.
- MENGEL, O. 1934. Mouvements quaternaires dans l'île de Majorque. *Comptes Rendus Sommaires. Société de Géologie de France*, **6**:84-86
- MII, H. 1962. Coastal geology of Tanabe bay. *Sci. Rept. Tohoku University*, **34**: 1-93.
- MILLER, W.R. & MASON, T.R. 1994. Erosional features of coastal beachrock and aeolianite outcrops in Natal and Zululand, South Africa. *Journal of Coastal Research*, **10**: 374-394.
- MILLERO, F.J., HUANG, F. & LAFERIERE, A.L. 2002. The solubility of oxygen in the major sea salts and their mixtures at 25°C. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **66**: 2349-2359.
- MITCHELL, D.J. & HALSEY, D.P. 2000. Monitoring climatic conditions and rock weathering studies. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Suppl. Bd.*, **120**: 97-114.
- MOSES, C.A. 1996. Methods for investigating stone decay mechanisms in polluted and 'clean' environments. Northern Ireland. In: Smith, B.J., & Warke, P.A. (eds). *Processes of Urban Stone Decay*: 212-217. Donhead. London.
- MOSES, C.A. 2000. Field rock block exposure trials. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Suppl. Bd.*, **120**: 33-50.
- MOSES, C.A. 2003. Observations on coastal biokarst, Hells Gate, Lord Howe Island, Australia.. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, **47**: 83-100.
- MOSES, C.A. & SMITH, B.J. 1993. A note on the role of the lichen *Collema Auriforma* in solution basin development on a carboniferous limestone substrate. *Earth Surface Processes and Landforms*, **18**: 363-368.
- MOSES, C.A. & SMITH, B.J. 1994. Limestone weathering in the supra-tidal zones: an example from Mallorca. In Robinson, D.A. & Williams, R.B.G. (eds.), *Rock weathering and landform evolution*: 433-451. Wiley. Chichester.
- MOSES, C.A., SPATE, A.P., SMITH, D.I. & GREENAWAY, M.A. 1995. Limestone weathering in eastern Australia. Part 2: Surface micromorphology study. *Earth Surface Processes and Landforms*, **20**: 501-514.
- MOSES, C.A. & VILES, H.A. 1996. Nanoscale morphologies and their role in the development of karren. In Fornós, J.J. & Ginés, A. (eds.), *Karren landforms*: 85-96. Universitat de les Illes Balears. Palma.
- MOTTERSHEAD, D.N. 1982. Coastal spray weathering of bedrock in the supratidal zone at East Prawle, South Devon. *Field studies*, **5**: 663-684.
- MOTTERSHEAD, D.N. 1989. Rates and patterns of bedrock denudation by coastal salt spray weathering: a seven year record. *Earth Surface Processes and Landforms*, **14**: 383-398.
- MOTTERSHEAD, D.N. 2000. Identification and mapping of rock weathering surface forms and features. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Suppl. Bd.*, **120**: 5-22.
- MOTTERSHEAD, D.N. & LUCAS, G. 2000. The role of lichens in inhibiting erosion of a soluble rock. *The Lichenologist*, **32**: 601-609.
- MOTTERSHEAD, D.N. & PYE, K. 1994. Tafoni on coastal slopes, South Devon, UK. *Earth Surface Processes and Landforms*, **19**: 543-563.
- MUNTANER, A. 1957. Las formaciones cuaternarias de la Bahía de Palma. *Boletín de la Sociedad de Historia Natural de Baleares*, **3**: 77-118.
- NAYLOR, L.A., VILES, H.A. 2002. A new technique for evaluating short-term rates of coastal bioerosion and bioprotection. *Geomorphology*, **47**: 31-44.
- NAYLOR, L.A., VILES, H.A. & CARTER, N.E.A. 2002. Biogeomorphology revisited: looking towards the future. *Geomorphology*, **47**: 3-14.
- NEVES, M., PEREIRA, M.A., LARANJEIRA, M. & TRINIDADE, J. 2001. Desenvolvimento de um microerosómetro do tipo TMEM para a aplicação em plataformas rochosas litorais. *Finisterra*, **71**: 83-101

- NIELSEN, K.A., CLEMMENSEN, L.B. & FORNÓS, J.J. 2004. Middle Pleistocene magnetostratigraphy and susceptibility stratigraphy: data from a carbonate aeolian system, Mallorca, Western Mediterranean. *Quaternary Science Reviews*, **23**: 1733-1756.
- NOORMETS, R., CROOK, K.A.W. & FELTON, E.A. 2004. Sedimentology of rocky shorelines, 3: Hydrodynamics of megaclasts emplacement and transport on a shore platform, Oahu, Hawaii. *Sedimentary Geology*, **172**: 41-65.
- NORTH, W. 1954. Size distribution, erosive activities and gross metabolic efficiency of the marine intertidal snails *Littorina planaxis* and *L. scutulata*. *Biological Bulletin of The Marine Biological Laboratory, Woods Hole*, **106**: 187-197.
- NOTT, J.F. 1990. The role of sub-aerial processes in a sea cliff retreat, a south east Australia example. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, **34**: 75-85.
- NUNN, P.D. 1993. Role of Porolithon algal-ridge growth in the development of the windward coast of Tongatapu Island, Toga, South Pacific. *Earth Surface Processes and Landforms*, **18**: 427-439.
- ORDINES, A. 2001. *Geografia i toponímia a les Illes Balears. La terminologia geogràfica en els noms de lloc*. Editorial Moll. Palma.
- ORDINES, A. 2004. Els ensenyaments fisiogràfics de la toponímia. Genèrics orogràfics del Migjorn. In Fornós, J.J., Obrador, A. & Rosselló, V.M. (eds): *Història natural del Migjorn de Menorca: el medi físic i l'influx humà*. *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, **11**: 315-326.
- PALMER, M., FORNÓS, J.J., BALAGUER, P., GÓMEZ-PUJOL, L., PONS, G.X. & VILLANUEVA, G. 2003. Spatial and seasonal variability of the macro-invertebrate community of a rocky coast in Mallorca (Balearic Islands): implications for bioerosion. *Hydrobiologia*, **501**: 13-21.
- PANNACCIULLI, F.G. & RELINI, G. 2000. The vertical distribution of *Chthamalus montagui* and *Chthamalus stellatus* (Crustacea, Cirripeda) in two areas of the NW Mediterranean Sea. *Hydrobiologia*, **426**: 105-112.
- PANAREDA, J.M. & ROSSELLÓ, V.M. 2003. *Diccionari de Geografia Física*. TERMCAT, Centre de Terminologia. Generalitat de Catalunya.
- PARDO, J.E. & ROSSELLÓ, V.M. 2001. El medio litoral en una perspectiva geogràfica y aplicada. In Pérez-Alerti et al. (eds.). *Los espacios litorales y emergentes: lectura geográfica*. XV Congreso de Geógrafos Españoles: 15- 37. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela.
- PEDRAZA, J. 1996. *Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones*. Editorial Rueda. Madrid.
- PEJON, O.S. & ZUQUETTE, L.V. 2002. Analysis of cyclic swelling of mudrocks. *Engineering Geology*, **67**: 97-108.
- PENCK, A. 1894. *Morphologie der Erdoberfläche*. Engelhorn. Stuttgart. 2 volums.
- PÉREZ-CUEVA, A. 1979. Karst marino en el sector litoral Alacant-Torreveija. In Barceló, B. (dir.). *Actas del VI coloquio de Geografía*: 81-88. AGE, Universidad de Palma de Mallorca. Palma.
- PERKINS, R.D. & TSENTAS, C.I. 1976. Microbial infestation of carbonate substrates planted on the St. Croix Shelf, West Indies. *Geological Society of America Bulletin*, **87**: 1615-1628.
- PETHICK, J. 1984. *An introduction to coastal Geomorphology*. Arnold. London.
- PEYROT-CLAUDE, M. & BRUNEL, J.F. 1990. Distribution patterns of macroboring organisms on Tuléar reef flats (SW Madagascar). *Marine Ecology Progress Series*, **61**: 133-144.
- PEYROT-CLAUDE, M., LE CAMPION-ALSUMARD, T., HARMELIN-VIVIEN, M., ROMANO, J.D., CHAZOTTES, V., PARI, N. & LE CAMPION, J. 1995. La bioérosion dans le cycle des carbonates: essais de quantification des processus en Polynésie française. *Bulletin Société Géologique de France*, **166**: 85-94.
- PEYROT-CLAUDE, M., CHABANEET, P., CONAND, C., FONTAINE, M.F., LETOURNEUR, Y. & HARMELIN-VIVIEN, M. 2000. Sea urchin and fish bioerosion on La Réunion and Moorea reefs. *Bulletin of Marine Science*, **66**: 477-485.
- PIRAZZOLI, P.A. 1986. Marine notches. In van de Plassche, O. (ed.). *Sea level research: a manual for collection data*: 361-400. Geobooks. Norwich.
- PIRAZZOLI, P.A. & SALVAT, B. 1992. Ancient shorelines and quaternary vertical movements on Rurutu and Tubuai (Austral Isles, French Polynesia). *Z. Geomorph. N.F.*, **36**: 431-451.
- POHL, W. & SCHNEIDER, J. 2002. Impact of endolithic biofilms on a carbonate rock surfaces. In Siegesmund, S., Weiss, T. & Vollbrecht, A. (eds). *Natural Stone, Weathering Phenomena, Conservation Strategies and Case Studies*. *Geological Society, London. Special Publications*, **205**: 177-194.
- POMAR, L. 1976. *Procesos telodiagenéticos en rocas carbonatadas del litoral catalán y Baleares: su relación con microorganismos*. Tesi doctoral inèdita. Universitat Central de Barcelona.
- POMAR, L. 1991. Reef geometries, erosion surfaces and high-frequency sea level changes, Upper Miocene Reef Complex, Mallorca, Spain. *Sedimentology*, **38**: 243-269.

- POMAR, L. & CALVET, F. 1974. Nota previa sobre el análisis comparativo de elementos traza en las aguas de escorrentía superficial, como indicadores de la acción alternante de microorganismos. *Boletín de la Sociedad de Historia Natural de Baleares*, **18**: 115-138.
- POMAR, L., ESTEBAN, M., LLIMONA, X., FONTARNAU, R. 1975. Acción de líquenes, algas y hongos en la telodiagénesis de las rocas carbonatadas de la zona litoral prelitoral Catalana. *Instituto de Investigaciones Geológicas de Barcelona*, **30**: 83-117.
- POMAR, L., OBRADOR, A. & WESTPHAL, H. 2002. Sub-wavebase cross-bedded grainstones on a distally steepened carbonate ramp, Upper Miocene, Menorca, Spain. *Sedimentology*, **49**: 139-169.
- POMAR, L. & WARD, W.C. 1999. Reservoir-scale heterogeneity in depositional packages and diagenetic patterns on a reef-rimmed platform, Upper Miocene, Mallorca, Spain. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, **83**: 1579-1773.
- RAFFAELLI, D. & HAWKINS, S. 1996. *Intertidal ecology*. Chapman and Hall. London. 356 pp.
- RASMUSSEN, K.A. & FRANKENBERG, E.W. 1990. Intertidal bioerosion by the chiton *Acanthopleura granulata*, San Salvador, Bahamas. *Bulletin of Marine Science*, **47**: 680-695.
- REVELLE, R. & EMERY, K.O. 1957. Chemical erosion of Beach rock and exposed reef rock. *US Geological Survey Professional Paper*, **260T**: 699-709.
- RIBA, O. (Dir). 1997. *Diccionari de Geologia*. Enciclopèdia Catalana, Institut d'Estudis Catalans. Barcelona.
- RIBERA, M.A. & GÓMEZ, A. 1985. Catálogo de la flora bentónica marina de las Islas Baleares, II (Phaeophyceae, Chlorophyceae). *Collecta Botanica*, **16**: 25-41.
- ROBINSON, L.A. 1977a. The morphology and development of the northeast Yorkshire shore platform. *Marine Geology*, **22**: 51-58.
- ROBINSON, L.A. 1977b. Marine erosive processes at the cliff foot. *Marine Geology*, **23**: 257-271.
- ROBINSON, L.A. 1977c. Erosive processes on the shore platform of northeast Yorkshire. *Marine Geology*, **23**: 339-361.
- RODRÍGUEZ-NAVARRO, C., DOEHNE, E. & SEBASTIAN, E. 1999. Origins of honeycomb weathering: the role of salts and wind. *Geological Society of America Bulletin*, **111**: 1250-1255.
- ROSSELLÓ, V.M. 1962. *Mallorca, el sur y sureste*. Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación de Palma de Mallorca. Palma.
- ROSSELLÓ, V.M. 1975. El litoral de Mallorca, assaig de genètica i classificació. *Mayurqa*, **14**: 5-19.
- ROSSELLÓ, V.M. 1979. Algunas formas kársticas litorales de Mallorca. In Barceló, B. (ed.), *Actas del VI Coloquio de Geografía*: 115-121. AGE. Palma de Mallorca.
- ROSSELLÓ, V.M. 1995. Les cales, un fet geomòrfic epònim de Mallorca. *Bolletí Societat d'Història Natural de Balears*, **38**: 167-180.
- ROSSELLÓ, V.M. 1998. Torrents i cales de Mallorca: aspectes geomorfològics. In Fornós, J.J. (eds.). *Aspectes geològics de les Balears*: 331-360. Universitat de les Illes Balears. Palma.
- ROSSELLÓ, V.M. 2003. Las calas y la costa del Migjorn. In Rosselló, V.M., Fornós, J.J. & Gómez-Pujol, L. (eds.). Introducción a la Geografía Física de Menorca. *Monografía Societat d'Història Natural de Balears*, **10**: 87-100.
- ROSSELLÓ, V.M. 2004. El terme grau i la nomenclatura dels estanyos litorals. In Rosselló, V.M. *Toponímia, geografia i cartografia*: 15-22. Universitat de València. València.
- ROSSELLÓ, V.M., FORNÓS, J.J., FUMANAL, P., PARDO, J.E. & RODRÍGUEZ-PEREA, A. 1997. Elementos morfogenéticos de calas y barrancos del Sur de Menorca. *Actas del XV Congreso de Geógrafos Españoles*: 245-256. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela.
- ROSSELLÓ, V.M., FORNÓS, J.J., GELABERT, B., GIMÉNEZ, J., GINÉS, J., PARDO, J. & SEGURA, F. 2002. El papel del karst en el macromodelado litoral: el ejemplo de las calas de las Islas Baleares. In Carrasco, F., Durán, J.J. y Andreo, B. (eds.). *Karst and Environment*: 329-335. Fundación Cueva de Nerja. Nerja.
- ROSSELLÓ, V.M. & FUMANAL, M.P. 1999. Climbing dunes and interbedded rubble fans. Quaternary patterns of Serra Gelada (Spanish mediterranean littoral). *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, **43**: 235-254.
- ROSSELLÓ, V.M., PANAREDA, J.M., PÉREZ, A. 1998. *Manual de Geografía Física*. Universitat de València. València.
- RUITON, S., FRANCOUR, P. AND BOUDORESQUE, C.F. 2000. Relationships between algae, benthic herbivorous, invertebrates and fishes in rocky sublittoral communities of a temperate sea (Mediterranean). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **50**: 216-230.
- RUST, D. & KERSHAW, S. 2000. Holocene tectonic uplift patterns in northeastern Sicily: evidence from marine notches in coastal outcrops. *Marine Geology*, **167**: 105-126.

- SANJAUME, E. 1979. Karst marino en el litoral del norte de Alacant. In Barceló, B. (dir.). *Actas del VI coloquio de Geografía*: 123-129. AGE, Universidad de Palma de Mallorca. Palma.
- SANJAUME, E. 1985. *Las Costas Valencianas. Sedimentología y Morfología*. Universitat de València. València. 505 pp.
- SARTORETTO, S. 1998. Bioérosion des concrétions coralligènes de Méditerranée par les organismes perforants: essai de quantification des processus. *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planètes*, **327**: 839-844.
- SAYLES, R.W. 1931. Bermuda during the ice age. *Proceedings of American Academy of Arts and Sciences*, **66**: 381-467.
- SCHNEIDER, J. 1976. Biological and inorganic factors in the destruction of limestones coasts. *Contribution to Sedimentology*, **6**: 1-112.
- SCHNEIDER, J. & LE CAMPION-ALSUMARD, T. 1999. Construction and destruction of carbonates by marine and freshwater cyanobacteria. *European Journal of Phycology*, **34**: 417-426.
- SCHNEIDER, J. & TORUNSKI, H. 1983. Biokarst on limestone coasts, morphogenesis and sediment production. *Marine Ecology*, **4**: 45-63.
- SELBY, M.J. 1982. *Hillslope Materials and Processes*. Oxford University Press. Oxford.
- SERVERA, J. & RODRÍGUEZ-PEREA, A. 1999. Geomorfologia costanera de s'Estalella. *L'entorn de Lluçmajor: estudis i comentaris*, **1**: 9-30.
- SHACKLETON, M.J. 1987. Oxygen isotopes, ice volume and sea level. *Quaternary Science Reviews*, **6**: 183-190.
- SHACKLETON, M.J. & OPDYKE, M.D. 1973. Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V28-238: Oxygen isotope temperature and ice volumes on a 105 and 10 6 year scale. *Quaternary Research*, **3**: 39-55.
- SMITH, D.I., GREENAWAY, M.A., MOSES, C., SPATE, A.P. 1995. Limestone weathering in Eastern Australia, Part 1: erosion rates. *Earth Surface Processes and Landforms*, **14**: 383-398.
- SMITH, B.J. & MCALLISTER, J.J. 1986. Observations on the occurrence and origins of salt weathering phenomena near lake Magadi, Southern Kenya. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, **30**: 445-460.
- SMITH, B.J. & MCGREEVY, J.P. 1983. A simulation study of salt weathering in hot deserts. *Geografiska Annaler* **65A**: 127-133.
- SMITH, J.M.B. & SYLISS-SMITH, T.P. 1998. Kelp-plucking: coastal erosion facilitated by bull-kelp *Durvillaea antarctica* at subantarctic Macquarie Islands. *Antarctic Science*, **10**: 431-438.
- SOLÉ, L. 1962. Le Quaternaire marin des Baléares et ses rapports avec les côtes méditerranéennes de la Péninsule Ibérique. *Quaternaria*, **6**: 309-342.
- SOUZA-EGIPSY, V., VALLADARES, F. & ASCASO, C. 2000. Water distribution in foliose lichen species: interactions between method of hydration, lichen substances and thallus anatomy. *Annals of Botany*, **86**: 595-601.
- SPATE, A.P., JENNINGS, J.N., SMITH, D.O. & GREENAWAY, M.A. 1985. The micro-erosion meter: use and limitations. *Earth Surface Processes and Landforms*, **10**: 427-440.
- SPENCER, T. 1981. Microtopographic change on calcarenites, Grand Cayman Island, West Indies. *Earth Surface Processes and Landforms*, **6**: 85-94.
- SPENCER, T. 1985. Weathering rates on a Caribbean reef limestone: results and implications. *Marine Geology*, **69**: 195-201.
- SPENCER, T. 1988. Limestone coastal geomorphology: the biological contribution. *Progress in Physical Geography*, **12**: 66-101.
- SPENCER, T. & VILES, H. 2002. Bioconstruction, bioerosion and disturbance on tropical coasts: coral reefs and rocky limestone shores. *Geomorphology*, **48**: 23-50.
- STEARNS, C.E. & THURBER, D.L. 1965. Th<sup>230</sup>/U<sup>234</sup> dates of late Pleistocene marine fossils from the Mediterranean and Moroccan littorals. *Quaternaria*, **7**: 29-42.
- STEPHENSON, T.A. & STEPHENSON, A. 1949. The universal features of zonation between tide marks on rocky coasts. *Journal of Ecology*, **38**: 280-305.
- STEPHENSON, T.A. & STEPHENSON, A. 1972. *Life between tide marks on rocky shores*. W.H. Freeman. San Francisco.
- STEPHENSON, W.J. 1997. Improving the traversing micro-erosion meter. *Journal of Coastal Research*, **13**:
- STEPHENSON, W.J. 2000. Shore platforms: a neglected coastal feature?. *Progress in Physical Geography*, **24**: 311-327.
- STEPHENSON, W.J. & BRANDER, R.W. 2003. Coastal geomorphology into the twenty-first century. *Progress in Physical Geography*, **27**: 607-623.
- STEPHENSON, W.J. & KIRK, R.M. 1996. Measuring erosion rates using the micro-erosion meter: 20 years of data from shore platforms, Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand. *Marine Geology*, **131**: 209-218.
- STEPHENSON, W.J. & KIRK, R.M. 1998. Rates and patterns of erosion on inter-tidal shore platforms, Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand. *Earth Surface Processes and Landforms*, **23**: 1071-1085.

- STEPHENSON, W.J. & KIRK, R.M. 2000a. Development of shore platforms on Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand. Part one: the role of waves. *Geomorphology*, **32**: 21-41.
- STEPHENSON, W.J. & KIRK, R.M. 2000b. Development of shore platforms on Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand, 2: the role of subaerial weathering. *Geomorphology*, **32**: 43-56.
- STEPHENSON, W.J. & KIRK, R.M. 2001. Surface swelling of coastal bedrock on inter-tidal shore platforms, Kaikoura Peninsula, South Island, New Zealand. *Geomorphology*, **41**: 5-21.
- STEPHENSON, W.J., TAYLOR, A.J., HEMMINGSEN, M.A., TSUJIMOTO, H. & KIRK, R.M. 2004. Short-term microscale topographic changes of coastal bedrock on shore platforms. *Earth Surface Processes and Landforms*, **29**: 1663-1673.
- STOLZ, J.F. 2000. Structure of microbial mats and biofilms. In Riding, R.E. & Awramik, S.M. (eds.), *Microbial sediments*: 1-8. Springer-Verlag. Berlin.
- STRETCH, R.C. & VILES, H.A. 2002. The nature and rate of weathering by lichens on lava flows on Lanzarote. *Geomorphology*, **47**: 87-94.
- STRUCKMEYER, H.I.M. & FELTON, E.A. 1990. The use of organic facies for refining palaeoenvironmental interpretations: a case study from the Otway Basin, Australia. *Australian Journal of Earth Sciences* **37**: 351-364.
- SUNAMURA, T. 1978. Mechanisms of shore platform formation on the southeastern coast of the Izu Peninsula, Japan. *Journal of Geology*, **86**: 211-222.
- SUNAMURA, T. 1982. A wave tank experiment on the erosional mechanism at a cliff base. *Earth Surface Processes and Landforms*, **7**: 333-343.
- SUNAMURA, T. 1992. *Geomorphology of Rocky Coasts*. Wiley. Chichester.
- SUNAMURA, T. 1994. Rock control in coastal geomorphic processes. *Japanese Geomorphological Union Transactions*, **15**: 253-272.
- SWANTESSON, J.O.H. 1992. A method for the study of the first steps in weathering. *Kieler Geographische Schriften*, **85**: 74-85.
- SWANTESSON, J.O.H. 1994. Micro-mapping as a tool for the study of weathered rock surfaces. In Robinson, D.A. & Williams, R.G.B. (eds). *Rock weathering and landform evolution*: 209-222. Wiley. Chichester.
- SWANTESSON, J.O.H. 2005. Weathering and erosion of rock carvings in Sweden during the period 1994-2003. Micromapping with laser scanner for assessment of breakdown rates. *Karlstad University Studies*, **29**: 1-99.
- SWANTESSON, J.O.H., GÓMEZ-PUJOL, L., CRUSLOCK, E., FORNÓS, J.J. & BALAGUER, P. *En prensa*. Processes and patterns of erosion and downwearing on micro-tidal rock coasts in Sweden and the Western Mediterranean. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Suppl. Bd.*
- TABOROŠI, D., JENSON, J.W. & MYLROIE, J.E. 2004. Karren features in island karst: Guam, Mariana Islands. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, **48**: 369-389.
- TAKAHASHI, T. 1975. Recent trends in geomorphological studies of shore platforms in Japan. *Bulletin of School of Education, Okayama University*, **41**: 161-173.
- TAKAHASHI, K., SUZUKI, T. & MATSUKLURA, Y. 1994. Erosion rates of a sandstone used for a masonry bridge pier in the coastal spray zone. In Robinson, D.A. & Williams, R.G.B. (eds.), *Rock weathering and landform evolution*, John Wiley & Sons, Chichester, pp. 175-192.
- TAYLOR, J.D. & WAY, K. 1976. Erosive activities of chitons at Aldabra Atoll. *Journal of Sedimentary Petrology*, **46**: 974-977.
- TAYLOR, M.P. & VILES, H.A. 2000. Improving the use of microscopy in the study of weathering : sampling issues. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Suppl. Bd.*, **120**: 145-158.
- TER BRAAK, C.J.F. & SMILAUER, P. 1998. *CANOCO Reference manual and User's Guide to Canoco for Windows: Software for Canonical Community ordination (version 4)*. Microcomputer Power, Ithaca, NY, USA.
- THORNTON, L.E. & STEPHENSON, W.J. 2006. Rock strength: a control of shore platform elevation. *Journal of Coastal Research*, **22**: 224-231.
- TICKELL, S.J., EDWARDS, J. & ABELE C. 1992. Port Campbell Embayment, 1:100.000 map geological report. *Geological Survey Report*, **95**: 5-45.
- TINTORE, J., WANG, D. & LA VIOLETTE, P.E. 1990. Eddies and thermohaline intrusions of the shelf/slope front off the northeast Spanish coast. *Journal of Geophysical Research*, **95**: 1627-1633.
- TORUNSKI, H. 1979. Biological erosion and its significance for the morphogenesis of limestone coasts and for nearshore sedimentation (Northern Adriatic). *Senckenbergiana Maritima*, **11**: 193-265.
- TRENHAILE, A.S. 1980. Shore platforms: a neglected coastal feature. *Progress in Physical Geography*, **4**: 1-23.
- TRENHAILE, A.S. 1987. *The Geomorphology of Rock Coasts*. Oxford University Press. Oxford.
- TRENHAILE, A.S. 1997. *Coastal Dynamics and Landforms*. Oxford University Press. Oxford.
- TRENHAILE, A.S. 2000. Modelling the development of wave-cut shore platforms. *Marine Geology*, **172**: 205-223.

- TRENHAILE, A.S. 2001a. Modelling the effect of weathering on the evolution and morphology of shore platforms. *Journal of Coastal Research*, **17**: 398-406.
- TRENHAILE, A.S. 2001b. Modelling the Quaternary evolution of shore platforms and erosional continental shelves. *Earth Surface Processes and Landforms*, **26**: 163-178.
- TRENHAILE, A.S. 2002. Rock coast, with particular emphasis on shore platforms. *Geomorphology*, **48**: 7-22.
- TRENHAILE, A.S. 2004a. Lacustrine shore platform in southwestern Ontario, Canada. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, **48**: 441-459.
- TRENHAILE, A.S. 2004b. Shore platform research: a progress report. In Blanco, R., López, J. & Pérez-Alberti, A. (Eds.). *Procesos geomorfológicos y evolución costera*: 13-36. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela.
- TRENHAILE, A.S. 2005. Modelling the effect of waves, weathering and beach development on shore platform development. *Earth Surface Processes and Landforms*, **30**: 613-634.
- TRENHAILE, A.S. & LAYZELL, M.G.J. 1981. Shore platform morphology and the tidal duration factor. *Transactions of the Institute of British Geographers N.S.*, **6**: 82-102.
- TRENHAILE, A.S., PEPPER, D.A., TRENHAILE, R.W. & DALIMONTE, M. 1998. Stacks and notches at Hopewell rocks, New Brunswick, Canada. *Earth Surface Processes and Landforms*, **23**: 975-988.
- TRENHAILE, A.S., PÉREZ-ALBERTI, A., MARTÍNEZ, A., COSTA, M. & BLANCO, R. 1999. Rock coast inheritance: an example from Galicia, Northwestern Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, **24**: 605-621.
- TRICART, J. 1977. Précis de géomorphologie, 2: géomorphologie dynamique generale. Sedes. Paris. 344 pp.
- TRUDGILL, S.T. 1975. Measurement of erosional weight-loss rock tablets. *Brittish Geomorphological Research Group Technical Bulletin*, **17**: 13-19.
- TRUDGILL, S.T. 1976a. The marine erosion of limestone on Aldabra atoll, Indian Ocean. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Suppl. Bd.*, **26**: 164-200.
- TRUDGILL, S.T. 1976b. The subaerial and subsoil erosion of limestone on Aldabra atoll, Indian Ocean. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Suppl. Bd.*, **26**: 201-210.
- TRUDGILL, S.T. 1977. Problems in the estimation of short-term variations in limestone erosion processes. *Earth Surface Processes and Landforms*, **2**: 251-256.
- TRUDGILL, S.T. 1979. Spitzkarren on calcarenites, Aldabra Atoll, Indian Ocean. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Suppl. Bd.*, **32**: 67-74.
- TRUDGILL, S.T. 1983. Preliminary estimates of intertidal limestone erosion, One Tree Islands, Southern Great Barrier Reef, Australia. *Earth Surface Processes and Landforms*, **8**: 189-193.
- TRUDGILL, S.T. 1985. *Limestone Geomorphology*. Longman. London.
- TRUDGILL, S.T. 1987. Bioerosion on intertidal limestone, Co. Clare, Eire — 3: zonation, process and form. *Marine Geology*, **74**: 85-89.
- TRUDGILL, S.T. 1988. Integrated geomorphological and ecological studies on rocky shores in southern Britain. *Field Studies*, **7**: 239-279.
- TRUDGILL, S.T. 2000. Weathering overview: measurement and modelling. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Suppl. Bd.*, **120**: 187-193.
- TRUDGILL, S.T. & CRABTREE, R.W. 1987. Bioerosion of intertidal limestone, Co. Clare, Eire — 2: *Hiattella arctica*. *Marine Geology*, **74**: 99-109.
- TRUDGILL, S.T., HIGH, C.J. & HANNA, F.K. 1981. Improvements to the micro-erosion meter. *Brittish Geomorphological Research Group Technical Bulletin*, **29**: 3-17.
- TRUDGILL, S.T., SMART, P.L., FRIEDERICH, H. & CRABTREE, R.W. 1987. Bioerosion of intertidal limestone, Co. Clare, Eire — 1: *Paracentrotus lividus*. *Marine Geology*, **74**: 85-98.
- TRUDGILL, S.T. & VILES, H.A. 1998. Field and laboratory approaches to limestone weathering. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, **31**: 333-341.
- TRUDGILL, S.T., VILES, H.A., COOKE, R.U. & INKPEN, R. 1990. Rate of stone loss at St. Paul's Cathedral, London. *Atmospheric Environment*, **24B**: 361-363.
- TRUDGILL, S.T., VILES, H.A., INKPEN, R., MOSES, C., GOSLING, W., YATES, T., COLLIER, P., SMITH, D.I. & COOKE, R.U. 2001. Twenty-year weathering remeasurements at St. Paul's Cathedral, London. *Earth Surface Processes and Landforms*, **26**: 1129-1142.
- TUCCIMEI, P., GINÉS, J., GINÉS, A., FORNÓS, J.J., VESICA, P. 1998. Dataciones, Th/U de espeleotemas freáticos controlados por el nivel marino, procedentes de cuevas costeras de Mallorca (España). *Endins*, **22**: 99-107.
- TUCCIMEI, P., GINÉS, J., DELITALA, C., PAZZELLI, L., TADDEUCCI, A., CLAMOR, B., FORNÓS, J.J., GINÉS, A. & GRÀCIA, F. 2000. Dataciones Th/u de espeleotemas freáticos recolectados a cotas inferiores al actual nivel marino en cuevas costeras de Mallorca (España): aportaciones a la construcción de una curva eustática detallada de los últimos 300ka para el Mediterráneo occidental. *Endins*, **23**: 59-71.
- TUCCIMEI, P., GINÉS, J., GINÉS, A., GRÀCIA, F. & FORNÓS, J. 2006. U-series ages of phreatic overgrowths on speleothems in coastal caves of Mallorca (Spain). New ICP-ME data for the construction of a sea level

- changes curve for the Last Interglacial in the Western Mediterranean. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, **50**: 1-21.
- TUDHOPE, A.L. & RISK, M.J. 1985. Rate of dissolution of carbonate sediments by microboring organisms, Davies Reef, Australia. *Journal of Sedimentary Petrology*, **55**: 440-447.
- UZUN, A. 1998. Weathering forms on sandstone directly exposed to sea effects in Gelincikburnu and its surroundings (south coast of the Black Sea. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, **42**: 233-244.
- VARGAS, J. 1787. *Descripciones de las islas Pithusas y Baleares*. Ibarra. Madrid.
- VESICA, P.L., TUCCIMEI, P., TURI, B., FORNÓS, J.J., GINÉS, A. & GINÉS, J. 2000. Late Pleistocene Paleoclimates and sea-level change in the Mediterranean as inferred from stable isotope and U-series studies of overgrowths on speleothems, Mallorca, Spain. *Quaternary Science Reviews*, **19**: 865-879.
- VICENS, D. GRÀCIA, F., MC.MINN, M. & CUERDA, J. 1998. El Plistocè Superior del Frontó d'es Molar (Manacor, Mallorca). *Bolletí Societat d'Història Natural de Balears*, **41**: 125-152.
- VICENS, D. & GRÀCIA, F. 1989. Nuevo yacimiento del Pleistoceno superior marino en la playa de "Sa Font Salada" (Balears). *Bolletí Societat d'Història Natural de Balears*, **35**: 61-66.
- VICENS, D. & GRÀCIA, F. 1998. Aspectes paleontològics i estratigràfics del Plistocè superior de Mallorca. In Fornós, J.J. (ed.). *Aspectes geològics de les Balears*: 191-220. Universitat de les Illes Balears. Palma de Mallorca.
- VICENS, D., PONS, G.X., BOVER, P. & GRACIA, P. 2001. Els tàxons amb valor biogeogràfic i cronoestratigràfic: bioindicadors climàtics del Quaternari de les illes Balears. In Pons, G.X. & Guijaroo, J.A. (eds.). *El canvi climàtic: passat, present i futur. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, **9**: 121-146.
- VIDAL, M., FORNÓS, J.J., MOYÀ, G., PALMER, M. & PONS, G.X. 2001a. Relació entre les variacions en biomassa de les comunitats epi- i endolítiques rocoses supralitorals i la distribució dels gastròpodes herbívors costaners del litoral de Mallorca. In Pons, G.X. (ed.), III Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears: 79. Societat d'Història Natural de les Illes Balears, Palma.
- VIDAL, M., FORNÓS, J.J., PALMER, M. & PONS, G.X. 2001b. Quantificació de la capacitat erosiva de *Melaraphe neritoides* (Linnaeus, 1758). In Pons, G.X. (ed.), III Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears: 78. Societat d'Història Natural de les Illes Balears, Palma.
- VIDAL, M., FORNÓS, J.J., PALMER, M. & PONS, G.X. 2001c. Quantificació de la capacitat erosiva i determinació del patró erosiu en un període d'alimentació de 24 hores de *Monodonta turbinata* (Born, 1780) i *Monodonta articulata* (Lamarck, 1822). In Pons, G.X. (ed.), III Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears: 79. Societat d'Història Natural de les Illes Balears, Palma.
- VILES, H.A. 1984. Biokarst: review and prospect. *Progress in Physical Geography*, **8**: 523-542.
- VILES, H.A. 1987a. A quantitative scanning electron microscope study of evidence for lichen weathering of limestone, Mendip Hills, Somerset. *Earth Surface Processes and Landforms*, **12**: 467-473.
- VILES, H.A. 1987b. Blue-green algae and terrestrial limestone weathering on Aldabra atoll: an SEM and light microscope study. *Earth Surface Processes and Landforms*, **12**: 319-330.
- VILES, H.A. 1988a. Cyanobacterial and other biological influence on terrestrial limestone weathering on Aldabra: implications for landform development. *Biological Society of Washington Bulletin*, **8**: 5-13.
- VILES, H.A. 1988b. Organisms and karst geomorphology. In Viles, H.A. (ed.), *Biogeomorphology*: 319-350. Basil Blackman. Oxford.
- VILES, H.A. 1990. The early stages of building stone decay in an urban environment. *Atmospheric Environment*, **24A**: 229-232.
- VILES, H.A. 1995. Ecological perspectives on rock surface weathering: towards a conceptual model. *Geomorphology*, **13**: 21-35.
- VILES, H.A. 2001. Scale issues in weathering studies. *Geomorphology*, **41**: 63-72.
- VILES, H.A. 2004. Implications of future climate change for stone deterioration. In Siegesmund, S., Weiss, T. & Vollbrecht, A. (eds). *Natural Stone, Weathering Phenomena, Conservations and Case Studies. Geological Society, London, Special publications*, **205**: 407-418.
- VILES, H.A. & GOUDIE, A.S. 2003. Interannual, decadal and multidecadal scale climatic variability and geomorphology. *Earth-Science Reviews*, **61**: 105-131.
- VILES, H.A. & GOUDIE, A.S. 2004. Biofilms and case hardening on sandstones from Al-quwayra, Jordan. *Earth Surface Processes and Landforms*, **29**: 1473-1485.
- VILES, H.A. & MOSES, C.A. 1998. Experimental production of weathering nanomorphologies on carbonate stone. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, **31**: 347-357.



- VILES, H.A. & PENTECOST, A. 1994. Problems in assessing the weathering action of lichens with an example of epiliths on sandstone. In Robinson, D.A. & Williams, R.B.G. (eds.). *Rock weathering and landform evolution*: 99-116. John Wiley & Sons. Chichester.
- VILES, H.A., SPENCER, T., TELEKI, K. & COX, C. 2000. Observations on 16 years of microfloral recolonization from limestone surfaces, Aldabra Atoll, Indian Ocean: Implications for biological weathering. *Earth Surface Processes and Landforms*, **25**: 1355-1370.
- VILES, H.A. & TRUDGILL, S.T. 1984. Long term remeasurements of micro-erosion meter rates, Aldabra Atoll, Indian Ocean. *Earth Surface Processes and Landforms*, **9**: 89-94.
- VILLANUEVA, G., BALAGUER, P., BALDO, M., FORNÓS, J.J., GÓMEZ-PUJOL, L. & PONS, G.X. 2000. Importancia de la bioerosión en la evolución del litoral rocoso: efecto de *Melaraphe neritoides* y *Monodonta turbinata* en el litoral de Mallorca y Norte de Catalunya. *Geotemas*, **1**: 299-302.
- VILLANUEVA, G., PONS, G.X., FORNÓS, J.J., BALAGUER, P. & GÓMEZ-PUJOL, L. 2001. Anàlisi de l'activitat bioerosiva de *Patella rustica* (Linnaeus, 1758), *Monodonta turbinata* (Born, 1870) i *Melaraphe neritoides* (Linnaeus, 1758) (Mollusca, Gastropoda) del litoral rocos de Mallorca (Mediterrània occidental). In Pons, G.X. (ed.), III Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears: 81-83. Societat d'Història Natural de les Illes Balears, Palma.
- VON ROHDENBERG, H. & SABELBERG, U. 1973. *Quartäre klimazyulen im Weslichen Mediterragebiet ihse auswirkungen auf die relief un bodenentwicklung*. Catena, **1**: 71-180.
- WALTER-LEVY, L., FRÉCAUT, R. & STRAUSS, R. 1958. Contribution à l'étude de la zone littorale des îles Baléares. Biologie et chimie des algues calcaires. Formes du relief qui leur sont liées. *Revue algologique*, **3**: 202-228.
- WARKE, P.A. Micro-environmental conditions and rock weathering in hot, arid regions. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Suppl. Bd.*, **120**: 83-95.
- WENTWORTH, C.K. 1939. Marine bench-forming processes II, solution benching. *Journal of Geomorphology*, **2**: 3-25.
- WEYLER, F. 1854. *Topografía Física Médica de las Islas Baleares y en Particular de la de Mallorca*. Imprenta Gelabert. Palma.
- WILLIAMS, A.T. & ROBERTS, T.G. 1995. The measurement of pebble impacts and wave action on shore platforms and beaches: the swash force transducer (swashometer). *Marine Geology*, **129**: 137-143.
- WILLIAMS, R.G.B. & ROBINSON, D.A. 2000. Effects of aspect on weathering: anomalous behaviour of sandstone gravestone in southeast england. *Earth Surface Processes and Landforms*, **25**: 135-144.
- WILLIAMS, R.B.G., SWANTESSON, J.O.H. & ROBINSON, D.A. 2000. Measuring rates of surface downwearing and mapping microtopography: the use of micro-erosion meters and laser scanners in rock weathering studies. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Suppl. Bd.*, **120**: 51-66.
- WILSON, M.J. & JONES, D. 1982. Lichen weathering of minerals: implications for pedogenesis. In Wilson, R.C.L. (ed.), *Residual deposits, surface related weathering and material*: 5-12. Special Publication of the Geological Society. Blackwell, London.
- WINKLER, E.M. 1997. *Stone in Architecture. Properties, Durability*. Springer: Berlin.
- WOODROFFE, C.D. 2003. *Coasts. Form, Process and Evolution*. Cambridge University Press. Cambridge.
- YÉBENES, A., ALFARO, P., DELGADO, J., ESTÉVEZ, A. & SORIA, J.M. 2002. Sea cliffs resulting from late Miocene extensional tectonics: the Serra Gelada case study (Betic Cordillera, Spain). *Geomorphology*, **42**: 197-211.
- YOUNG, R.W. 1988. Quartz etching and sandstone karst. Examples from the East Kimberleys, Northwestern Australia. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, **32**: 409-423.
- ZAZO, C., GOY, J.L., DABRIO, C.J., BARDAJÍ, T., HILLARIE-MARCEL, C., GHALEB, B., GONZÁLEZ-DELGADO, J.A. & SOLER, V. 2003. Pleistocene raised marine terraces of the Spanish Mediterranean and Atlantic ocasts: records of coastal uplift, sea-level highstands and climate change. *Marine Geology*, **194**: 103-133.
- ZENCKOVICH, V.P. 1967. *Processes of Coastal Development*. Oliver & Boyd. Edinburgh..

**ANNEX 1:**  
Dades TMEM

**Annex 1.1** Registres d'altura relativa i taxes d'erosió a les superfícies SA TMEM 1 i SA TMEM 2 de s'Alavern (Mallorca)

Coordenada	SA TMEM 1			Coordenada	SA TMEM 2		
	18.05.04	07.06.04	Diferència		18.05.04	07.06.04	Diferència
A1 - B8 - C8	13,021	12,593	-0,428	A1 - B8 - C8	5,783	5,775	-0,008
A1 - B9 - C7	12,922	12,669	-0,253	A1 - B9 - C7	6,379	6,417	0,038
A2 - B6 - C9	11,216	10,791	-0,425	A2 - B6 - C9	4,612	4,534	-0,078
A2 - B7 - C8	12,172	11,92	-0,252	A2 - B7 - C8	5,563	5,45	-0,113
A2 - B8 - C7	11,883	11,87	-0,013	A2 - B8 - C7	4,883	4,883	0,000
A2 - B9 - C6	10,800	10,557	-0,243	A2 - B9 - C6	8,095	8,095	0,000
A2 - B10 - C5	12,030	12,103	0,073	A2 - B10 - C5	8,156	8,27	0,114
A3 - B5 - C9	11,398	11,291	-0,107	A3 - B5 - C9	5,074	5,11	0,036
A3 - B6 - C8	11,431	11,029	-0,402	A3 - B6 - C8	6,280	6,394	0,114
A3 - B7 - C7	10,802	10,876	0,074	A3 - B7 - C7	4,286	4,398	0,112
A3 - B8 - C6	11,456	10,948	-0,508	A3 - B8 - C6	6,696	6,65	-0,046
A3 - B9 - C5	11,539	11,31	-0,229	A3 - B9 - C5	7,716	7,749	0,033
A3 - B10 - C4	11,186	10,716	-0,470	A3 - B10 - C4	6,747	6,805	0,058
A4 - B5 - C8	11,193	10,985	-0,208	A4 - B5 - C8	3,606	3,616	0,010
A4 - B6 - C7	10,127	11,141	1,014	A4 - B6 - C7	4,880	4,929	0,049
A4 - B7 - C6	10,957	10,989	0,032	A4 - B7 - C6	2,882	2,909	0,027
A4 - B8 - C5	10,531	10,579	0,048	A4 - B8 - C5	5,608	5,619	0,011
A4 - B9 - C4	12,260	12,423	0,163	A4 - B9 - C4	6,660	6,65	-0,010
A4 - B10 - C3	12,794	12,991	0,197	A4 - B10 - C3	4,975	4,939	-0,036
A5 - B4 - C8	11,010	11,795	0,785	A5 - B4 - C8	1,417	1,39	-0,027
A5 - B5 - C7	8,654	9,051	0,397	A5 - B5 - C7	2,505	2,456	-0,049
A5 - B6 - C6	10,470	10,409	-0,061	A5 - B6 - C6	3,075	3,027	-0,048
A5 - B7 - C5	10,887	10,486	-0,401	A5 - B7 - C5	4,462	4,384	-0,078
A5 - B8 - C4	11,070	11,142	0,072	A5 - B8 - C4	5,150	5,125	-0,025
A5 - B9 - C3	10,816	11,508	0,692	A5 - B9 - C3	6,009	6,057	0,048
A5 - B10 - C2	10,843	11,068	0,225	A5 - B10 - C2	4,412	4,511	0,099
A6 - B4 - C7	10,463	10,54	0,077	A6 - B4 - C7	1,936	1,889	-0,047
A6 - B5 - C6	10,223	10,404	0,181	A6 - B5 - C6	3,223	3,215	-0,008
A6 - B6 - C5	8,863	8,896	0,033	A6 - B6 - C5	3,759	3,717	-0,042
A6 - B7 - C4	8,387	8,578	0,191	A6 - B7 - C4	5,025	4,951	-0,074
A6 - B8 - C3	10,436	10,578	0,142	A6 - B8 - C3	6,826	6,795	-0,031
A6 - B9 - C2	8,079	8,686	0,607	A6 - B9 - C2	5,318	5,283	-0,035
A6 - B10 - C1	11,421	11,415	-0,006	A6 - B10 - C1	5,202	5,218	0,016
A7 - B3 - C7	12,170	12,397	0,227	A7 - B4 - C6	2,654	2,609	-0,045
A7 - B4 - C6	10,939	11,18	0,241	A7 - B5 - C5	5,204	5,148	-0,056
A7 - B5 - C5	9,331	9,4	0,069	A7 - B6 - C4	1,903	1,877	-0,026
A7 - B6 - C4	8,508	8,786	0,278	A7 - B7 - C3	5,416	5,402	-0,014
A7 - B7 - C3	7,484	7,841	0,357	A7 - B8 - C2	7,319	7,31	-0,009
A7 - B8 - C2	7,876	8,107	0,231	A7 - B9 - C1	3,818	3,859	0,041
A7 - B9 - C1	9,756	10,254	0,498	A8 - B3 - C6	2,176	2,111	-0,065
A8 - B3 - C6	9,359	9,541	0,182	A8 - B4 - C5	3,882	3,878	-0,004
A8 - B4 - C5	8,358	8,829	0,471	A8 - B5 - C4	1,385	1,324	-0,061
A8 - B5 - C4	7,699	7,782	0,083	A8 - B6 - C3	4,010	4,017	0,007
A8 - B6 - C3	6,769	6,806	0,037	A8 - B7 - C2	5,655	5,637	-0,018
A8 - B7 - C2	8,656	9,012	0,356	A8 - B8 - C1	5,980	5,944	-0,036
A8 - B8 - C1	9,354	9,799	0,445	A9 - B2 - C6	4,572	4,486	-0,086
A9 - B2 - C6	10,653	10,78	0,127	A9 - B3 - C5	3,442	3,473	0,031
A9 - B3 - C5	8,953	9,571	0,618	A9 - B4 - C4	3,333	3,213	-0,120
A9 - B4 - C4	7,786	8,821	1,035	A9 - B5 - C3	0,618	0,588	-0,030
A9 - B5 - C3	7,985	8,361	0,376	A9 - B6 - C2	0,961	0,913	-0,048
A9 - B6 - C2	9,398	9,583	0,185	A10 - B3 - C4	3,224	3,223	-0,001
A10 - B3 - C4	7,138	7,446	0,308	A10 - B4 - C3	3,163	3,168	0,005
A10 - B4 - C3	7,901	8,453	0,552	B3 - A10 - C4	3,724	3,68	-0,044
B3 - A10 - C4	10,239	10,651	0,412	B3 - A9 - C5	2,164	2,21	0,046
B3 - A9 - C5	11,307	12,152	0,845	B3 - A8 - C6	1,290	1,237	-0,053
B3 - A8 - C6	12,357	12,677	0,320	B4 - A10 - C3	3,024	2,997	-0,027
B4 - A10 - C3	8,293	8,674	0,381	B4 - A7 - C6	3,457	3,451	-0,006
B4 - A9 - C4	9,957	10,064	0,107	B4 - A6 - C7	2,849	2,912	0,063
B4 - A8 - C5	12,924	13,06	0,136	B5 - A10 - C2	3,542	3,53	-0,012
B4 - A7 - C6	12,201	12,386	0,185	B5 - A9 - C3	3,449	3,391	-0,058
B4 - A6 - C7	12,841	13,071	0,230	B5 - A8 - C4	1,661	1,579	-0,082
B5 - A10 - C2	8,282	8,54	0,258	B5 - A7 - C5	2,887	2,876	-0,011
B5 - A9 - C3	8,754	8,672	-0,082	B5 - A6 - C6	1,126	1,101	-0,025
B5 - A8 - C4	10,756	11,197	0,441	B5 - A5 - C7	3,987	4,032	0,045
B5 - A7 - C5	11,741	11,741	0,000	B5 - A4 - C8	3,038	3,087	0,049
B5 - A6 - C6	12,483	12,475	-0,008	B6 - A9 - C2	2,866	2,804	-0,062
B5 - A5 - C7	12,074	11,932	-0,142	B6 - A8 - C3	3,666	3,641	-0,025
B5 - A4 - C8	12,439	12,431	-0,008	B6 - A7 - C4	4,282	4,355	0,073
B6 - A9 - C2	7,958	8,565	0,607	B6 - A6 - C5	1,933	1,862	-0,071
B6 - A8 - C3	9,999	10,309	0,310	B6 - A5 - C6	5,417	5,433	0,016
B6 - A7 - C4	10,660	10,965	0,305	B6 - A4 - C7	5,654	6,658	1,004

Coordenada	SA TMEM 1			Coordenada	SA TMEM 2		
	18.05.04	07.06.04	Diferència		18.05.04	07.06.04	Diferència
B6 - A6 - C5	9,257	9,632	0,375	B6 - A3 - C8	2,372	2,366	-0,006
B6 - A5 - C6	11,636	11,669	0,033	B6 - A2 - C9	4,998	4,981	-0,017
B6 - A4 - C7	12,136	12,156	0,020	B7 - A9 - C1	3,913	2,838	-1,075
B6 - A3 - C8	11,918	11,865	-0,053	B7 - A8 - C2	2,394	2,39	-0,004
B6 - A2 - C9	12,323	12,187	-0,136	B7 - A7 - C3	2,932	2,861	-0,071
B7 - A9 - C1	7,832	8,159	0,327	B7 - A6 - C4	5,025	4,994	-0,031
B7 - A8 - C2	8,134	8,392	0,258	B7 - A5 - C5	5,731	5,371	-0,360
B7 - A7 - C3	9,711	9,945	0,234	B7 - A4 - C6	6,624	6,675	0,051
B7 - A6 - C4	10,704	10,683	-0,021	B7 - A3 - C7	4,520	4,385	-0,135
B7 - A5 - C5	10,622	10,619	-0,003	B7 - A2 - C8	5,082	5,135	0,053
B7 - A4 - C6	10,605	11,052	0,447	B8 - A8 - C1	5,928	5,883	-0,045
B7 - A3 - C7	11,920	12,327	0,407	B8 - A7 - C2	4,167	4,115	-0,052
B7 - A2 - C8	12,656	12,128	-0,528	B8 - A6 - C3	3,826	3,814	-0,012
B8 - A8 - C1	6,456	7,017	0,561	B8 - A5 - C4	3,119	3,191	0,072
B8 - A7 - C2	9,441	9,652	0,211	B8 - A4 - C5	5,698	5,37	-0,328
B8 - A6 - C3	10,760	10,55	-0,210	B8 - A3 - C6	4,847	4,835	-0,012
B8 - A5 - C4	10,458	10,784	0,326	B8 - A2 - C7	5,330	5,305	-0,025
B8 - A4 - C5	12,570	12,07	-0,500	B8 - A1 - C8	5,683	5,693	0,010
B8 - A3 - C6	12,274	11,625	-0,649	B9 - A7 - C1	6,604	6,586	-0,018
B8 - A2 - C7	13,483	13,076	-0,407	B9 - A6 - C2	4,069	4,008	-0,061
B8 - A1 - C8	12,253	11,423	-0,830	B9 - A5 - C3	6,503	6,543	0,040
B9 - A7 - C1	10,309	10,64	0,331	B9 - A4 - C4	5,412	5,43	0,018
B9 - A6 - C2	10,373	10,688	0,315	B9 - A3 - C5	5,065	5,023	-0,042
B9 - A5 - C3	11,140	10,938	-0,202	B9 - A2 - C6	5,710	5,719	0,009
B9 - A4 - C4	11,504	11,668	0,164	B9 - A1 - C7	4,599	4,608	0,009
B9 - A3 - C5	12,277	12,017	-0,260	B10 - A6 - C1	7,331	7,326	-0,005
B9 - A2 - C6	12,692	12,539	-0,153	B10 - A5 - C2	7,699	7,668	-0,031
B9 - A1 - C7	11,818	11,153	-0,665	B10 - A4 - C3	7,514	7,603	0,089
B10 - A6 - C1	11,490	11,881	0,391	B10 - A3 - C4	7,315	7,353	0,038
B10 - A5 - C2	12,443	12,469	0,026	B10 - A2 - C5	6,332	6,328	-0,004
B10 - A4 - C3	10,870	10,786	-0,084	C1 - B10 - A6	6,564	6,576	0,012
B10 - A3 - C4	11,568	11,287	-0,281	C1 - B9 - A7	4,341	4,569	0,228
B10 - A2 - C5	12,994	12,705	-0,289	C1 - B8 - A8	2,309	2,297	-0,012
C1 - B10 - A6	8,014	8,049	0,035	C2 - B10 - A5	6,291	6,327	0,036
C1 - B9 - A7	8,577	9,118	0,541	C2 - B9 - A6	5,870	5,873	0,003
C1 - B8 - A8	8,705	9,383	0,678	C2 - B8 - A7	3,692	3,703	0,011
C2 - B10 - A5	9,387	9,773	0,386	C2 - B7 - A8	1,847	1,912	0,065
C2 - B9 - A6	7,220	7,736	0,516	C2 - B6 - A9	3,695	3,678	-0,017
C2 - B8 - A7	7,632	7,352	-0,280	C3 - B10 - A4	5,512	5,578	0,066
C2 - B7 - A8	7,906	8,3	0,394	C3 - B9 - A5	5,609	3,996	-1,613
C2 - B6 - A9	7,686	8,397	0,711	C3 - B8 - A6	3,364	3,446	0,082
C3 - B10 - A4	9,886	10,15	0,264	C3 - B7 - A7	2,522	2,487	-0,035
C3 - B9 - A5	7,975	8,269	0,294	C3 - B6 - A8	3,518	3,548	0,030
C3 - B8 - A6	8,705	9,174	0,469	C3 - B5 - A9	3,184	3,247	0,063
C3 - B7 - A7	8,169	8,473	0,304	C3 - B4 - A10	3,570	3,49	-0,080
C3 - B6 - A8	8,263	8,535	0,272	C4 - B10 - A3	4,206	5,454	1,248
C3 - B5 - A9	7,187	7,516	0,329	C4 - B9 - A4	5,477	5,471	-0,006
C3 - B4 - A10	7,635	8,35	0,715	C4 - B8 - A5	3,163	3,6	0,437
C4 - B10 - A3	11,078	10,98	-0,098	C4 - B7 - A6	3,237	3,234	-0,003
C4 - B9 - A4	10,776	10,929	0,153	C4 - B6 - A7	4,360	4,357	-0,003
C4 - B8 - A5	9,182	9,506	0,324	C4 - B5 - A8	2,727	2,651	-0,076
C4 - B7 - A6	9,409	9,681	0,272	C4 - B4 - A9	3,632	3,631	-0,001
C4 - B6 - A7	9,568	9,667	0,099	C4 - B3 - A10	3,276	3,262	-0,014
C4 - B5 - A8	9,423	9,955	0,532	C5 - B10 - A2	5,974	5,975	0,001
C4 - B4 - A9	8,850	9,714	0,864	C5 - B9 - A3	3,011	2,99	-0,021
C4 - B3 - A10	9,516	10,065	0,549	C5 - B8 - A4	3,716	3,698	-0,018
C5 - B10 - A2	11,149	11,127	-0,022	C5 - B7 - A5	3,478	3,468	-0,010
C5 - B9 - A3	10,635	10,769	0,134	C5 - B5 - A7	1,671	1,647	-0,024
C5 - B8 - A4	10,150	10,298	0,148	C5 - B4 - A8	5,004	4,932	-0,072
C5 - B7 - A5	10,459	10,676	0,217	C5 - B3 - A9	4,447	4,475	0,028
C5 - B6 - A6	10,804	11,322	0,518	C6 - B9 - A2	4,668	4,848	0,180
C5 - B5 - A7	9,642	9,993	0,351	C6 - B8 - A3	4,015	4,015	0,000
C5 - B4 - A8	10,814	11,451	0,637	C6 - B7 - A4	1,733	1,706	-0,027
C5 - B3 - A9	11,258	11,86	0,602	C6 - B6 - A5	0,792	0,838	0,046
C6 - B9 - A2	11,004	10,904	-0,100	C6 - B4 - A7	4,261	4,296	0,035
C6 - B8 - A3	11,034	11,078	0,044	C7 - B9 - A1	5,045	5,078	0,033
C6 - B7 - A4	9,622	9,505	-0,117	C7 - B8 - A2	7,341	7,365	0,024
C6 - B6 - A5	11,676	11,733	0,057	C7 - B7 - A3	3,332	3,371	0,039
C6 - B5 - A6	12,779	13,038	0,259	C7 - B6 - A4	2,016	2,025	0,009
C6 - B4 - A7	10,033	11,094	1,061	C7 - B5 - A5	2,933	2,968	0,035
C7 - B9 - A1	12,113	11,738	-0,375	C8 - B7 - A1	4,593	4,622	0,029
C7 - B8 - A2	11,256	11,42	0,164	C8 - B6 - A2	4,711	4,683	-0,028
C7 - B7 - A3	11,338	11,339	0,001				

Coordenada	SA TMEM 1			Coordenada	SA TMEM 2		
	18.05.04	07.06.04	Diferència		18.05.04	07.06.04	Diferència
C7 - B6 - A4	13,572	13,591	0,019				
C7 - B5 - A5	12,116	12,677	0,561				
C8 - B7 - A1	12,243	11,929	-0,314				
C8 - B6 - A2	12,657	12,97	0,313				

**Annex 1.2** Registres d'altura relativa i taxes d'erosió a les superfícies SA TMEM 3 i SA TMEM 4 de s'Alavern (Mallorca)

Coordenada	SA TMEM 3			Coordenada	SA TMEM 4		
	18.05.04	07.06.04	Diferència		18.05.04	07.06.04	Diferència
A1 - B8 - C8	11,484	11,683	0,199	A1 - B8 - C8	8,452	8,175	-0,277
A1 - B9 - C7	9,756	10,146	0,390	A1 - B9 - C7	9,837	9,464	-0,373
A2 - B6 - C9	9,710	9,76	0,050	A2 - B6 - C9	8,560	8,964	0,404
A2 - B7 - C8	10,170	10,671	0,501	A2 - B7 - C8	10,496	9,249	-1,247
A2 - B8 - C7	10,848	11,124	0,276	A2 - B8 - C7	10,773	11,029	0,256
A2 - B9 - C6	10,280	10,569	0,289	A2 - B9 - C6	10,939	10,647	-0,292
A2 - B10 - C5	9,719	9,704	-0,015	A2 - B10 - C5	11,111	11,018	-0,093
A3 - B5 - C9	8,728	9,14	0,412	A3 - B5 - C9	9,357	9,173	-0,184
A3 - B6 - C8	10,127	10,866	0,739	A3 - B6 - C8	10,171	10,298	0,127
A3 - B7 - C7	8,573	8,643	0,070	A3 - B7 - C7	11,955	11,766	-0,189
A3 - B8 - C6	7,766	8,354	0,588	A3 - B8 - C6	12,995	12,894	-0,101
A3 - B9 - C5	10,613	10,848	0,235	A3 - B9 - C5	13,806	13,592	-0,214
A3 - B10 - C4	10,519	10,407	-0,112	A3 - B10 - C4	11,115	10,815	-0,300
A4 - B5 - C8	11,128	11,399	0,271	A4 - B5 - C8	10,667	10,457	-0,210
A4 - B6 - C7	3,746	3,995	0,249	A4 - B6 - C7	9,772	9,602	-0,170
A4 - B7 - C6	7,401	7,774	0,373	A4 - B7 - C6	11,562	11,486	-0,076
A4 - B8 - C5	9,494	9,975	0,481	A4 - B8 - C5	13,248	13,088	-0,160
A4 - B9 - C4	10,035	10,254	0,219	A4 - B9 - C4	12,792	12,728	-0,064
A4 - B10 - C3	8,926	9,064	0,138	A5 - B4 - C8	10,097	10,064	-0,033
A5 - B4 - C8	7,619	8,118	0,499	A5 - B5 - C7	11,076	11,019	-0,057
A5 - B5 - C7	2,634	2,169	-0,465	A5 - B6 - C6	12,645	12,625	-0,020
A5 - B6 - C6	4,158	4,246	0,088	A5 - B7 - C5	13,447	13,42	-0,027
A5 - B7 - C5	5,097	5,263	0,166	A5 - B8 - C4	13,181	13,077	-0,104
A5 - B8 - C4	6,396	6,633	0,237	A5 - B9 - C3	13,701	13,637	-0,064
A5 - B9 - C3	8,704	8,727	0,023	A6 - B5 - C6	3,737	3,852	0,115
A5 - B10 - C2	8,656	8,411	-0,245	A6 - B6 - C5	4,011	4,058	0,047
A6 - B4 - C7	9,982	10,008	0,026	A6 - B7 - C4	4,408	4,44	0,032
A6 - B5 - C6	3,448	3,531	0,083	A6 - B8 - C3	4,753	4,797	0,044
A6 - B7 - C4	4,114	4,402	0,288	A6 - B9 - C2	4,336	4,327	-0,009
A6 - B8 - C3	8,304	8,425	0,121	A6 - B10 - C1	5,469	5,507	0,038
A6 - B9 - C2	9,591	9,698	0,107	A7 - B3 - C7	4,794	4,905	0,111
A6 - B10 - C1	9,082	9,46	0,378	A7 - B4 - C6	3,638	3,692	0,054
A7 - B3 - C7	10,912	11,131	0,219	A7 - B5 - C5	3,847	3,888	0,041
A7 - B4 - C6	9,065	9,257	0,192	A7 - B6 - C4	4,375	4,53	0,155
A7 - B5 - C5	3,095	3,432	0,337	A7 - B7 - C3	4,858	4,855	-0,003
A7 - B6 - C4	6,587	6,791	0,204	A7 - B8 - C2	4,822	4,945	0,123
A7 - B7 - C3	3,560	3,567	0,007	A7 - B9 - C1	6,428	6,558	0,130
A7 - B8 - C2	9,368	9,577	0,209	A8 - B3 - C6	4,695	4,685	-0,010
A7 - B9 - C1	9,377	9,465	0,088	A8 - B4 - C5	1,998	1,822	-0,176
A8 - B3 - C6	8,730	8,732	0,002	A8 - B5 - C4	2,804	2,834	0,030
A8 - B4 - C5	6,952	7,136	0,184	A8 - B6 - C3	5,715	5,876	0,161
A8 - B5 - C4	7,759	8,041	0,282	A8 - B7 - C2	5,777	5,936	0,159
A8 - B6 - C3	7,018	7,11	0,092	A8 - B8 - C1	6,611	6,573	-0,038
A8 - B7 - C2	5,501	5,79	0,289	A9 - B2 - C6	3,971	4,24	0,269
A8 - B8 - C1	6,447	6,793	0,346	A9 - B3 - C5	6,165	6,207	0,042
A9 - B2 - C6	8,095	8,379	0,284	A9 - B4 - C4	3,393	4,03	0,637
A9 - B3 - C5	9,211	9,541	0,330	A9 - B5 - C3	3,752	3,818	0,066
A9 - B4 - C4	7,977	8,157	0,180	A9 - B6 - C2	6,013	6,162	0,149
A9 - B5 - C3	8,908	9,186	0,278	A10 - B3 - C4	8,670	8,873	0,203
A9 - B6 - C2	9,544	9,248	-0,296	A10 - B4 - C3	5,708	5,754	0,046
A10 - B3 - C4	8,793	9,175	0,382	B3 - A10 - C4	4,534	4,521	-0,013
A10 - B4 - C3	7,568	7,785	0,217	B3 - A9 - C5	4,729	4,716	-0,013
B3 - A10 - C4	6,147	5,633	-0,514	B3 - A8 - C6	6,934	6,881	-0,053
B3 - A9 - C5	10,727	11,049	0,322	B4 - A10 - C3	5,724	5,689	-0,035
B3 - A8 - C6	8,213	8,159	-0,054	B4 - A9 - C4	6,112	6,085	-0,027
B4 - A10 - C3	8,855	8,953	0,098	B4 - A8 - C5	3,952	4,014	0,062
B4 - A9 - C4	8,959	9,169	0,210	B4 - A7 - C6	4,636	4,663	0,027
B4 - A8 - C5	10,661	10,895	0,234	B4 - A6 - C7	1,760	1,803	0,043
B4 - A7 - C6	6,596	7,421	0,825	B5 - A10 - C2	2,529	2,451	-0,078
B4 - A6 - C7	11,480	11,776	0,296	B5 - A9 - C3	3,555	3,584	0,029
B5 - A10 - C2	7,029	7,205	0,176	B5 - A8 - C4	2,157	2,22	0,063
B5 - A9 - C3	6,383	6,533	0,150	B5 - A7 - C5	2,949	2,978	0,029
B5 - A8 - C4	9,679	9,954	0,275	B5 - A6 - C6	0,391	0,401	0,010
B5 - A7 - C5	6,144	6,098	-0,046	B5 - A5 - C7	0,205	0,139	-0,066
B5 - A6 - C6	10,922	11,372	0,450	B5 - A4 - C8	4,986	4,922	-0,064
B5 - A5 - C7	11,265	11,674	0,409	B6 - A9 - C2	3,316	3,348	0,032
B5 - A4 - C8	9,031	9,359	0,328	B6 - A8 - C3	3,344	3,391	0,047
B6 - A9 - C2	7,483	8,005	0,522	B6 - A7 - C4	3,692	3,693	0,001
B6 - A8 - C3	0,663	0,998	0,335	B6 - A4 - C7	1,343	1,265	-0,078
B6 - A7 - C4	3,703	3,63	-0,073	B6 - A3 - C8	0,495	0,676	0,181
B6 - A6 - C5	0,476	0,768	0,292	B6 - A2 - C9	0,016	0,003	-0,013

Coordenada	SA TMEM 3			Coordenada	SA TMEM 4		
	18.05.04	07.06.04	Diferència		18.05.04	07.06.04	Diferència
B6 - A5 - C6	10,339	10,6	0,261	B7 - A9 - C1	5,832	5,936	0,104
B6 - A4 - C7	9,253	9,54	0,287	B7 - A8 - C2	4,629	4,671	0,042
B6 - A3 - C8	9,420	9,885	0,465	B7 - A7 - C3	2,874	2,825	-0,049
B6 - A2 - C9	8,426	8,629	0,203	B7 - A6 - C4	0,347	0,414	0,067
B7 - A9 - C1	7,750	8,041	0,291	B7 - A5 - C5	0,004	0,003	-0,001
B7 - A8 - C2	3,589	3,7	0,111	B7 - A4 - C6	0,229	0,114	-0,115
B7 - A7 - C3	2,512	2,943	0,431	B8 - A8 - C1	4,556	4,578	0,022
B7 - A6 - C4	3,312	3,597	0,285	B8 - A7 - C2	4,457	4,458	0,001
B7 - A5 - C5	5,116	5,418	0,302	B8 - A6 - C3	2,613	2,636	0,023
B7 - A4 - C6	10,780	11,3	0,520	B8 - A5 - C4	0,556	1,817	1,261
B7 - A3 - C7	8,191	8,624	0,433	B9 - A7 - C1	2,390	2,542	0,152
B7 - A2 - C8	9,994	10,533	0,539	B9 - A6 - C2	3,963	3,953	-0,010
B8 - A8 - C1	2,838	3,164	0,326	B9 - A5 - C3	2,980	2,936	-0,044
B8 - A7 - C2	4,503	5,16	0,657	B9 - A4 - C4	0,037	0,046	0,009
B8 - A6 - C3	5,720	6,088	0,368	B9 - A3 - C5	0,463	0,437	-0,026
B8 - A5 - C4	6,752	7,192	0,440	B9 - A2 - C6	0,456	0,407	-0,049
B8 - A4 - C5	8,611	8,909	0,298	B9 - A1 - C7	0,008	0,007	-0,001
B8 - A3 - C6	10,876	11,163	0,287	B10 - A6 - C1	3,979	4,322	0,343
B8 - A2 - C7	11,938	12,279	0,341	B10 - A5 - C2	2,275	2,848	0,573
B8 - A1 - C8	8,221	8,643	0,422	B10 - A4 - C3	3,114	3,109	-0,005
B9 - A7 - C1	8,105	8,321	0,216	B10 - A3 - C4	1,212	1,163	-0,049
B9 - A6 - C2	6,863	7,281	0,418	B10 - A2 - C5	1,107	1,068	-0,039
B9 - A5 - C3	9,951	10,372	0,421	C1 - B10 - A6	5,638	5,713	0,075
B9 - A4 - C4	9,919	10,296	0,377	C1 - B9 - A7	5,736	5,913	0,177
B9 - A3 - C5	11,387	11,711	0,324	C1 - B8 - A8	5,899	5,962	0,063
B9 - A2 - C6	11,318	11,608	0,290	C2 - B10 - A5	3,846	3,923	0,077
B9 - A1 - C7	8,459	8,667	0,208	C2 - B9 - A6	4,557	4,637	0,080
B10 - A6 - C1	9,267	9,499	0,232	C2 - B8 - A7	5,843	5,913	0,070
B10 - A5 - C2	10,105	10,677	0,572	C2 - B7 - A8	4,338	4,406	0,068
B10 - A4 - C3	11,393	11,642	0,249	C2 - B6 - A9	5,554	5,68	0,126
B10 - A3 - C4	10,184	10,541	0,357	C3 - B10 - A4	5,640	3,731	-1,909
B10 - A2 - C5	10,679	11,068	0,389	C3 - B9 - A5	4,478	4,549	0,071
C1 - B10 - A6	7,793	7,978	0,185	C3 - B8 - A6	5,443	5,512	0,069
C1 - B9 - A7	5,014	4,889	-0,125	C3 - B7 - A7	2,167	1,939	-0,228
C1 - B8 - A8	7,842	8,309	0,467	C3 - B6 - A8	2,372	2,525	0,153
C2 - B10 - A5	8,459	8,682	0,223	C3 - B5 - A9	8,210	8,374	0,164
C2 - B9 - A6	5,669	5,745	0,076	C3 - B4 - A10	3,116	3,531	0,415
C2 - B8 - A7	6,845	7,093	0,248	C4 - B10 - A3	2,557	2,558	0,001
C2 - B7 - A8	8,162	8,496	0,334	C4 - B9 - A4	2,978	3,027	0,049
C2 - B6 - A9	6,611	6,918	0,307	C4 - B8 - A5	3,302	3,415	0,113
C3 - B10 - A4	5,875	6,277	0,402	C4 - B7 - A6	3,728	3,82	0,092
C3 - B9 - A5	2,871	2,984	0,113	C4 - B6 - A7	3,928	4,045	0,117
C3 - B8 - A6	6,743	6,628	-0,115	C4 - B5 - A8	4,587	4,712	0,125
C3 - B7 - A7	7,490	7,696	0,206	C4 - B4 - A9	6,762	7,043	0,281
C3 - B6 - A8	8,748	9,075	0,327	C4 - B3 - A10	5,261	5,548	0,287
C3 - B5 - A9	10,339	10,652	0,313	C5 - B10 - A2	2,861	2,995	0,134
C3 - B4 - A10	9,850	10,016	0,166	C5 - B9 - A3	0,643	0,692	0,049
C4 - B10 - A3	8,731	8,804	0,073	C5 - B8 - A4	2,578	2,654	0,076
C4 - B9 - A4	3,761	4,209	0,448	C5 - B7 - A5	3,608	3,702	0,094
C4 - B8 - A5	2,786	3,142	0,356	C5 - B6 - A6	3,173	3,345	0,172
C4 - B7 - A6	2,406	2,4	-0,006	C5 - B5 - A7	4,984	5,066	0,082
C4 - B6 - A7	6,415	6,561	0,146	C5 - B4 - A8	3,539	3,617	0,078
C4 - B5 - A8	8,435	8,71	0,275	C5 - B3 - A9	5,921	5,906	-0,015
C4 - B4 - A9	9,043	9,23	0,187	C6 - B7 - A4	0,007	0,005	-0,002
C4 - B3 - A10	10,271	10,471	0,200	C6 - B6 - A5	2,671	2,654	-0,017
C5 - B10 - A2	7,198	7,527	0,329	C6 - B5 - A6	5,660	5,537	-0,123
C5 - B9 - A3	6,291	6,523	0,232	C6 - B4 - A7	5,746	5,795	0,049
C5 - B8 - A4	2,194	2,511	0,317	C7 - B8 - A2	1,320	1,36	0,040
C5 - B7 - A5	4,827	5,03	0,203	C7 - B7 - A3	0,002	0,006	0,004
C5 - B6 - A6	10,148	10,471	0,323	C7 - B6 - A4	1,348	1,387	0,039
C5 - B5 - A7	9,786	10,179	0,393	C7 - B5 - A5	6,322	6,385	0,063
C5 - B4 - A8	8,783	8,947	0,164	C8 - B7 - A1	0,543	0,6	0,057
C5 - B3 - A9	11,730	12,204	0,474	C8 - B6 - A2	1,044	1,028	-0,016
C6 - B9 - A2	9,434	9,908	0,474				
C6 - B8 - A3	4,541	5,175	0,634				
C6 - B7 - A4	4,767	5,046	0,279				
C6 - B6 - A5	7,959	8,509	0,550				
C6 - B5 - A6	10,742	11,091	0,349				
C6 - B4 - A7	9,976	10,365	0,389				
C7 - B9 - A1	10,879	11,236	0,357				
C7 - B8 - A2	10,707	10,791	0,084				
C7 - B7 - A3	10,570	10,869	0,299				
C7 - B6 - A4	9,737	10,264	0,527				

Coordenada	SA TMEM 3			Coordenada	SA TMEM 4		
	18.05.04	07.06.04	Diferència		18.05.04	07.06.04	Diferència
C7 - B5 - A5	7,723	8,114	0,391				
C8 - B7 - A1	7,703	8,143	0,440				
C8 - B6 - A2	10,236	10,521	0,285				



**Annex 1.3** Registres horaris d'altura relativa a la superfícies SA TMEM 2 de s'Alavern (Mallorca)

Coordenada	08:00 h	10:00 h	12:00 h	14:00 h	16:00 h	18:00 h	20:00 h	22:00 h
A1 - B8 - C8	5,798	5,807	5,85	5,811	5,849	5,802	5,823	5,83
A1 - B9 - C7	6,836	6,884	6,895	6,87	6,927	6,874	6,894	6,906
A2 - B6 - C9	5,246	5,256	5,306	5,302	5,35	5,306	5,34	5,355
A2 - B7 - C8	5,762	5,755	5,812	5,794	5,884	5,837	5,849	5,878
A2 - B8 - C7	4,612	4,609	4,636	4,554	4,581	4,544	4,568	4,604
A2 - B9 - C6	8,342	8,365	8,424	8,406	8,458	8,411	8,428	8,449
A2 - B10 - C5	8,291	8,284	8,326	8,299	8,325	8,282	8,308	8,327
A3 - B5 - C9	4,939	4,917	4,902	4,87	4,861	4,868	4,896	4,922
A3 - B6 - C8	6,15	6,135	6,175	6,139	6,133	6,135	6,147	6,156
A3 - B7 - C7	4,529	4,532	4,628	4,596	4,59	4,592	4,603	4,677
A3 - B8 - C6	6,022	5,984	5,952	5,88	5,858	5,871	5,909	5,964
A3 - B9 - C5	7,676	7,636	7,653	7,586	7,562	7,57	7,602	7,623
A3 - B10 - C4	6,624	6,598	6,68	6,633	6,627	6,619	6,639	6,681
A4 - B5 - C8	3,354	3,365	3,409	3,404	3,402	3,41	3,461	3,428
A4 - B6 - C7	4,621	4,596	4,611	4,55	4,528	4,532	4,596	4,599
A4 - B7 - C6	3,061	3,037	3,102	3,045	3,046	3,044	3,096	3,1
A4 - B8 - C5	6,158	6,194	6,24	6,205	6,207	6,204	6,247	6,199
A4 - B9 - C4	6,629	6,618	6,662	6,611	6,602	6,602	6,66	6,628
A4 - B10 - C3	3,962	3,943	3,987	3,95	3,942	3,941	3,989	3,992
A5 - B4 - C8	1,345	1,319	1,327	1,289	1,28	1,286	1,34	1,338
A5 - B5 - C7	2,752	2,737	2,765	2,676	2,746	2,749	2,801	2,856
A5 - B6 - C6	3,191	3,173	3,224	3,143	3,171	3,175	3,232	3,272
A5 - B7 - C5	4,354	4,334	4,342	4,305	4,303	4,304	4,363	4,358
A5 - B8 - C4	5,022	5	4,994	4,956	4,96	4,965	5,025	5,03
A5 - B9 - C3	5,917	5,889	5,901	5,836	5,827	5,831	5,899	5,889
A5 - B10 - C2	5,885	5,888	5,97	5,959	5,962	5,94	5,996	5,995
A6 - B4 - C7	1,996	1,693	2,028	1,977	1,977	1,977	2,032	1,996
A6 - B5 - C6	3,324	3,304	3,325	3,299	3,297	3,303	3,355	3,359
A6 - B6 - C5	3,267	3,235	3,246	3,213	3,2	3,209	3,258	3,254
A6 - B7 - C4	5,241	5,221	5,234	5,21	5,21	5,219	5,27	5,274
A6 - B8 - C3	6,767	6,755	6,78	6,755	6,754	6,758	6,816	6,799
A6 - B9 - C2	5,494	5,424	5,51	5,466	5,457	5,45	5,499	5,5
A6 - B10 - C1	5,119	5,088	5,12	5,079	5,087	5,107	5,151	5,151
A7 - B4 - C6	2,996	2,982	2,972	2,99	2,982	2,985	3,046	3,056
A7 - B5 - C5	5,008	4,991	4,982	4,982	4,977	4,984	5,042	5,042
A7 - B6 - C4	2,336	2,35	2,358	2,348	2,336	2,34	2,405	2,399
A7 - B7 - C3	5,814	5,793	5,822	5,807	5,792	5,797	5,868	5,863
A7 - B8 - C2	7,228	7,216	7,226	7,221	7,213	7,218	7,28	7,283
A7 - B9 - C1	1,906	4,888	4,929	4,955	4,947	4,933	5,001	4,999
A8 - B3 - C6	1,69	1,668	1,679	1,66	1,657	1,658	1,72	1,71
A8 - B4 - C5	4,127	4,119	4,17	4,136	4,136	4,138	4,199	4,197
A8 - B5 - C4	1,253	1,267	1,347	1,304	1,294	1,303	1,365	1,368
A8 - B6 - C3	4,215	4,208	4,267	4,207	4,199	4,206	4,245	4,243
A8 - B7 - C2	5,533	5,519	5,573	5,517	5,51	5,511	5,548	5,548
A8 - B8 - C1	5,323	5,302	5,286	5,232	5,227	5,239	5,285	5,318
A9 - B2 - C6	3,655	3,526	3,534	3,489	3,48	3,481	3,539	3,546
A9 - B3 - C5	3,152	3,136	3,215	3,163	3,151	3,16	3,22	3,17
A9 - B4 - C4	3,048	3,026	3,059	3,006	3,001	3,004	3,064	3,059
A9 - B6 - C2	1,527	1,535	1,609	1,598	1,548	1,557	1,634	1,629
A10 - B3 - C4	2,858	2,848	2,884	2,862	2,812	2,817	2,891	2,889
A10 - B4 - C3	2,716	2,688	2,71	2,697	2,65	2,655	2,725	2,724
B3 - A10 - C4	3,264	3,24	3,373	3,4	3,423	3,421	3,419	3,423
B3 - A9 - C5	1,01	0,988	1,088	1,094	1,11	1,107	1,119	1,113
B3 - A8 - C6	0,987	0,948	0,946	0,953	0,947	0,96	0,985	0,939
B4 - A10 - C3	3,191	3,159	3,239	3,234	3,204	3,204	3,259	3,276
B4 - A7 - C6	3,22	3,198	3,263	3,242	3,206	3,205	3,272	3,269
B4 - A6 - C7	2,613	2,589	2,652	2,647	2,615	2,615	2,681	2,687
B5 - A10 - C2	2,657	2,621	2,727	2,699	2,673	2,67	2,729	2,726
B5 - A9 - C3	3,066	3,027	3,104	3,095	3,076	3,062	3,114	3,034
B5 - A8 - C4	1,858	1,808	1,88	1,874	1,844	1,836	1,893	1,893
B5 - A7 - C5	2,514	2,47	2,52	2,497	2,459	2,457	2,522	2,556
B5 - A6 - C6	0,919	0,873	0,917	0,9	0,867	0,864	0,931	0,936
B5 - A5 - C7	4,328	4,275	4,283	4,285	4,262	4,263	4,318	4,325
B5 - A4 - C8	3,06	3,017	3,054	3,043	3	2,999	3,046	2,999
B6 - A9 - C2	2,417	2,376	2,456	2,438	2,406	2,406	2,156	2,154
B6 - A8 - C3	3,848	3,798	3,819	3,799	3,77	3,765	3,827	3,819
B6 - A7 - C4	3,523	3,505	3,604	3,503	3,461	3,465	3,528	3,518
B6 - A6 - C5	3,074	3,136	3,144	3,159	3,142	3,146	3,169	3,165
B6 - A5 - C6	5,432	5,393	5,438	5,432	5,419	5,4	5,446	5,487
B6 - A4 - C7	5,513	5,482	5,519	5,511	5,499	5,487	5,531	5,471
B6 - A3 - C8	2,351	2,328	2,294	2,316	2,326	2,32	2,308	2,302
B6 - A2 - C9	4,911	4,893	4,956	4,94	4,921	4,932	4,954	4,871

Coordenada	08:00 h	10:00 h	12:00 h	14:00 h	16:00 h	18:00 h	20:00 h	22:00 h
B7 - A9 - C1	4,089	4,079	4,165	4,162	4,159	4,163	4,176	4,174
B7 - A8 - C2	2,761	2,748	2,76	2,747	2,729	2,719	2,769	2,767
B7 - A7 - C3	2,419	2,43	2,508	2,472	2,451	2,454	2,498	2,489
B7 - A6 - C4	4,739	4,744	4,818	4,796	4,782	4,774	4,815	4,809
B7 - A5 - C5	5,78	5,77	5,802	5,785	5,77	5,795	5,804	5,799
B7 - A4 - C6	6,215	6,21	6,279	6,246	6,226	6,253	6,266	6,261
B7 - A3 - C7	3,973	3,961	4,072	4,064	4,041	4,073	4,082	3,999
B7 - A2 - C8	5,233	5,231	5,24	5,276	5,261	5,271	5,285	5,283
B8 - A8 - C1	5,522	5,52	5,582	5,559	5,54	5,57	5,59	5,494
B8 - A7 - C2	4,481	4,478	4,519	4,538	4,527	4,549	4,552	4,559
B8 - A6 - C3	3,729	3,73	3,768	3,78	3,711	3,785	3,749	3,771
B8 - A5 - C4	3,76	3,763	3,753	3,773	3,767	3,775	3,796	3,743
B8 - A4 - C5	5,978	5,976	6,008	6,022	6	6,021	6,034	6,031
B8 - A3 - C6	4,616	4,604	4,648	4,645	4,629	4,655	4,668	4,673
B8 - A2 - C7	5,263	5,247	5,268	5,288	5,271	5,293	5,303	5,299
B8 - A1 - C8	5,601	5,601	5,635	5,654	5,64	5,663	5,672	5,674
B9 - A7 - C1	6,784	6,774	6,8	6,814	6,795	6,821	6,831	6,851
B9 - A6 - C2	3,192	3,196	3,129	3,176	3,162	3,189	3,185	3,181
B9 - A5 - C3	6,483	6,447	6,495	6,517	6,5	6,524	6,526	6,547
B9 - A4 - C4	5,476	5,468	5,487	5,501	5,484	5,507	5,519	5,52
B9 - A3 - C5	5,175	5,181	5,184	5,209	5,194	5,215	5,226	5,214
B9 - A2 - C6	5,514	5,525	5,561	5,55	5,532	5,558	5,57	5,58
B9 - A1 - C7	4,382	4,345	4,391	4,386	4,359	4,382	4,406	4,398
B10 - A6 - C1	7,078	7,074	7,119	7,133	7,126	7,142	7,15	7,146
B10 - A5 - C2	7,256	7,257	7,257	7,293	7,283	7,297	7,301	7,298
B10 - A4 - C3	7,551	7,531	7,554	7,539	7,513	7,541	7,557	7,478
B10 - A3 - C4	7,626	7,632	7,625	7,653	7,633	7,658	7,667	7,609
B10 - A2 - C5	6,314	6,316	6,348	6,383	6,374	6,395	6,4	6,397
C1 - B10 - A6	7,113	7,106	7,216	7,235	7,222	7,224	7,236	7,229
C1 - B9 - A7	4,483	4,485	4,596	4,592	4,594	4,591	4,602	4,604
C1 - B8 - A8	1,343	1,334	1,364	1,329	1,329	1,341	1,364	1,376
C2 - B10 - A5	6,726	6,726	6,815	6,8	6,806	6,799	6,814	6,702
C2 - B9 - A6	5,798	5,878	5,841	5,81	5,804	5,799	5,826	5,816
C2 - B8 - A7	4,08	4,07	4,128	4,105	4,107	4,104	4,123	4,128
C2 - B7 - A8	1,956	1,947	2,019	2,002	2,003	2	2,007	2,03
C2 - B6 - A9	3,348	3,339	3,396	3,383	3,385	3,383	3,402	3,365
C3 - B10 - A4	5,438	5,431	5,526	5,524	5,525	5,521	5,539	5,543
C3 - B9 - A5	4,481	4,483	4,567	4,565	4,565	4,559	4,576	4,584
C3 - B8 - A6	2,509	2,49	2,528	2,488	2,496	2,49	2,509	2,511
C3 - B7 - A7	1,978	1,966	1,997	1,961	1,963	1,958	2,003	1,999
C3 - B6 - A8	2,883	2,871	2,929	2,901	2,904	2,9	2,921	2,912
C3 - B5 - A9	3,18	3,163	3,276	3,266	3,273	3,267	3,275	3,128
C3 - B4 - A10	2,885	2,873	2,898	2,888	2,899	2,896	2,885	2,882
C4 - B10 - A3	5,223	5,207	5,266	5,252	5,243	5,24	5,263	5,259
C4 - B9 - A4	5,376	5,368	5,426	5,411	5,408	5,401	5,417	5,336
C4 - B8 - A5	3,067	3,056	3,115	3,094	3,098	3,097	3,119	3,099
C4 - B7 - A6	3,54	3,66	3,743	3,74	3,771	3,696	3,752	3,765
C4 - B6 - A7	4,019	4,014	4,068	4,054	4,056	4,015	4,174	4,027
C4 - B5 - A8	3,014	3,023	3,141	3,142	3,154	3,132	3,159	3,153
C4 - B4 - A9	3,737	3,733	3,817	3,811	3,809	3,791	3,802	3,799
C4 - B3 - A10	3,245	3,242	3,35	3,364	3,559	3,337	3,369	3,385
C5 - B10 - A2	6,347	6,357	6,479	6,504	6,507	6,504	6,504	6,502
C5 - B9 - A3	3,429	3,431	3,531	3,558	3,562	3,564	3,57	3,579
C5 - B8 - A4	3,566	3,544	3,525	3,521	3,519	3,525	3,53	3,549
C5 - B7 - A5	3,565	3,558	3,601	3,61	3,585	3,587	3,601	3,598
C5 - B5 - A7	1,393	1,387	1,547	1,564	1,555	1,556	1,571	1,575
C5 - B4 - A8	4,921	4,913	4,973	4,978	4,983	4,985	4,995	4,989
C5 - B3 - A9	3,8	3,793	3,831	3,822	3,83	3,832	3,836	3,839
C6 - B9 - A2	4,178	4,158	4,211	4,217	4,22	4,218	4,23	4,152
C6 - B8 - A3	3,534	3,504	3,555	3,556	3,56	3,558	3,573	3,576
C6 - B7 - A4	1,811	1,802	1,902	1,9	1,914	1,912	1,925	1,946
C6 - B6 - A5	0,874	0,764	0,809	0,807	0,808	0,802	0,813	0,804
C6 - B4 - A7	3,956	3,946	3,991	3,987	3,993	3,991	4,008	3,998
C7 - B9 - A1	4,739	4,723	4,753	4,758	4,761	4,76	4,773	4,771
C7 - B8 - A2	7,255	7,248	7,298	7,291	7,298	7,299	7,304	7,298
C7 - B7 - A3	3,835	3,794	3,524	3,548	3,555	3,552	3,561	3,576
C7 - B6 - A4	1,707	1,686	1,689	1,691	1,699	1,698	1,715	1,714
C7 - B5 - A5	2,839	2,842	2,901	2,928	2,93	2,932	2,944	2,952
C8 - B7 - A1	4,282	4,277	4,353	4,38	4,388	4,387	4,401	4,399
C8 - B6 - A2	4,73	4,724	4,764	4,776	4,783	4,785	4,802	4,795

**Annex 1.4** Diferències horàriess d'altura relativa a la superfícies SA TMEM 2 de s'Alavern (Mallorca)

Coordenada	08 a 10 h	10 a 12 h	12 a 14 h	14 a 16 h	16 a 18 h	18 a 20 h	20 a 22 h
A1 - B8 - C8	0,009	0,043	-0,039	0,038	-0,047	0,021	0,007
A1 - B9 - C7	0,048	0,011	-0,025	0,057	-0,053	0,020	0,012
A2 - B6 - C9	0,010	0,050	-0,004	0,048	-0,044	0,034	0,015
A2 - B7 - C8	-0,007	0,057	-0,018	0,090	-0,047	0,012	0,029
A2 - B8 - C7	-0,003	0,027	-0,082	0,027	-0,037	0,024	0,036
A2 - B9 - C6	0,023	0,059	-0,018	0,052	-0,047	0,017	0,021
A2 - B10 - C5	-0,007	0,042	-0,027	0,026	-0,043	0,026	0,019
A3 - B5 - C9	-0,022	-0,015	-0,032	-0,009	0,007	0,028	0,026
A3 - B6 - C8	-0,015	0,040	-0,036	-0,006	0,002	0,012	0,009
A3 - B7 - C7	0,003	0,096	-0,032	-0,006	0,002	0,011	0,074
A3 - B8 - C6	-0,038	-0,032	-0,072	-0,022	0,013	0,038	0,055
A3 - B9 - C5	-0,040	0,017	-0,067	-0,024	0,008	0,032	0,021
A3 - B10 - C4	-0,026	0,082	-0,047	-0,006	-0,008	0,020	0,042
A4 - B5 - C8	0,011	0,044	-0,005	-0,002	0,008	0,051	-0,033
A4 - B6 - C7	-0,025	0,015	-0,061	-0,022	0,004	0,064	0,003
A4 - B7 - C6	-0,024	0,065	-0,057	0,001	-0,002	0,052	0,004
A4 - B8 - C5	0,036	0,046	-0,035	0,002	-0,003	0,043	-0,048
A4 - B9 - C4	-0,011	0,044	-0,051	-0,009	0,000	0,058	-0,032
A4 - B10 - C3	-0,019	0,044	-0,037	-0,008	-0,001	0,048	0,003
A5 - B4 - C8	-0,026	0,008	-0,038	-0,009	0,006	0,054	-0,002
A5 - B5 - C7	-0,015	0,028	-0,089	0,070	0,003	0,052	0,055
A5 - B6 - C6	-0,018	0,051	-0,081	0,028	0,004	0,057	0,040
A5 - B7 - C5	-0,020	0,008	-0,037	-0,002	0,001	0,059	-0,005
A5 - B8 - C4	-0,022	-0,006	-0,038	0,004	0,005	0,060	0,005
A5 - B9 - C3	-0,028	0,012	-0,065	-0,009	0,004	0,068	-0,010
A5 - B10 - C2	0,003	0,082	-0,011	0,003	-0,022	0,056	-0,001
A6 - B4 - C7	-0,303	0,335	-0,051	0,000	0,335	0,055	-0,036
A6 - B5 - C6	-0,020	0,021	-0,026	-0,002	0,006	0,052	0,004
A6 - B6 - C5	-0,032	0,011	-0,033	-0,013	0,009	0,049	-0,004
A6 - B7 - C4	-0,020	0,013	-0,024	0,000	0,009	0,051	0,004
A6 - B8 - C3	-0,012	0,025	-0,025	-0,001	0,004	0,058	-0,017
A6 - B9 - C2	-0,070	0,086	-0,044	-0,009	-0,007	0,049	0,001
A6 - B10 - C1	-0,031	0,032	-0,041	0,008	0,020	0,044	0,000
A7 - B4 - C6	-0,014	-0,010	0,018	-0,008	0,003	0,061	0,010
A7 - B5 - C5	-0,017	-0,009	0,000	-0,005	0,007	0,058	0,000
A7 - B6 - C4	0,014	0,008	-0,010	-0,012	0,004	0,065	-0,006
A7 - B7 - C3	-0,021	0,029	-0,015	-0,015	0,005	0,071	-0,005
A7 - B8 - C2	-0,012	0,010	-0,005	-0,008	0,005	0,062	0,003
A7 - B9 - C1	2,982	0,041	0,026	-0,008	-0,014	0,068	-0,002
A8 - B3 - C6	-0,022	0,011	-0,019	-0,003	0,001	0,062	-0,010
A8 - B4 - C5	-0,008	0,051	-0,034	0,000	0,002	0,061	-0,002
A8 - B5 - C4	0,014	0,080	-0,043	-0,010	0,009	0,062	0,003
A8 - B6 - C3	-0,007	0,059	-0,060	-0,008	0,007	0,039	-0,002
A8 - B7 - C2	-0,014	0,054	-0,056	-0,007	0,001	0,037	0,000
A8 - B8 - C1	-0,021	-0,016	-0,054	-0,005	0,012	0,046	0,033
A9 - B2 - C6	-0,129	0,008	-0,045	-0,009	0,001	0,058	0,007
A9 - B3 - C5	-0,016	0,079	-0,052	-0,012	0,009	0,060	-0,050
A9 - B4 - C4	-0,022	0,033	-0,053	-0,005	0,003	0,060	-0,005
A9 - B6 - C2	0,008	0,074	-0,011	-0,050	0,009	0,077	-0,005
A10 - B3 - C4	-0,010	0,036	-0,022	-0,050	0,005	0,074	-0,002
A10 - B4 - C3	-0,028	0,022	-0,013	-0,047	0,005	0,070	-0,001
B3 - A10 - C4	-0,024	0,133	0,027	0,023	-0,002	-0,002	0,004
B3 - A9 - C5	-0,022	0,100	0,006	0,016	-0,003	0,012	-0,006
B3 - A8 - C6	-0,039	-0,002	0,007	-0,006	0,013	0,025	-0,046
B4 - A10 - C3	-0,032	0,080	-0,005	-0,030	0,000	0,055	0,017
B4 - A7 - C6	-0,022	0,065	-0,021	-0,036	-0,001	0,067	-0,003
B4 - A6 - C7	-0,024	0,063	-0,005	-0,032	0,000	0,066	0,006
B5 - A10 - C2	-0,036	0,106	-0,028	-0,026	-0,003	0,059	-0,003
B5 - A9 - C3	-0,039	0,077	-0,009	-0,019	-0,014	0,052	-0,080
B5 - A8 - C4	-0,050	0,072	-0,006	-0,030	-0,008	0,057	0,000
B5 - A7 - C5	-0,044	0,050	-0,023	-0,038	-0,002	0,065	0,034
B5 - A6 - C6	-0,046	0,044	-0,017	-0,033	-0,003	0,067	0,005
B5 - A5 - C7	-0,053	0,008	0,002	-0,023	0,001	0,055	0,007
B5 - A4 - C8	-0,043	0,037	-0,011	-0,043	-0,001	0,047	-0,047
B6 - A9 - C2	-0,041	0,080	-0,018	-0,032	0,000	-0,250	-0,002
B6 - A8 - C3	-0,050	0,021	-0,020	-0,029	-0,005	0,062	-0,008
B6 - A7 - C4	-0,018	0,099	-0,101	-0,042	0,004	0,063	-0,010
B6 - A6 - C5	0,062	0,008	0,015	-0,017	0,004	0,023	-0,004
B6 - A5 - C6	-0,039	0,045	-0,006	-0,013	-0,019	0,046	0,041
B6 - A4 - C7	-0,031	0,037	-0,008	-0,012	-0,012	0,044	-0,060
B6 - A3 - C8	-0,023	-0,034	0,022	0,010	-0,006	-0,012	-0,006
B6 - A2 - C9	-0,018	0,063	-0,016	-0,019	0,011	0,022	-0,083

Coordenada	08 a 10 h	10 a 12 h	12 a 14 h	14 a 16 h	16 a 18 h	18 a 20 h	20 a 22 h
B7 - A9 - C1	-0,010	0,086	-0,003	-0,003	0,004	0,013	-0,002
B7 - A8 - C2	-0,013	0,012	-0,013	-0,018	-0,010	0,050	-0,002
B7 - A7 - C3	0,011	0,078	-0,036	-0,021	0,003	0,044	-0,009
B7 - A6 - C4	0,005	0,074	-0,022	-0,014	-0,008	0,041	-0,006
B7 - A5 - C5	-0,010	0,032	-0,017	-0,015	0,025	0,009	-0,005
B7 - A4 - C6	-0,005	0,069	-0,033	-0,020	0,027	0,013	-0,005
B7 - A3 - C7	-0,012	0,111	-0,008	-0,023	0,032	0,009	-0,083
B7 - A2 - C8	-0,002	0,009	0,036	-0,015	0,010	0,014	-0,002
B8 - A8 - C1	-0,002	0,062	-0,023	-0,019	0,030	0,020	-0,096
B8 - A7 - C2	-0,003	0,041	0,019	-0,011	0,022	0,003	0,007
B8 - A6 - C3	0,001	0,038	0,012	-0,069	0,074	-0,036	0,022
B8 - A5 - C4	0,003	-0,010	0,020	-0,006	0,008	0,021	-0,053
B8 - A4 - C5	-0,002	0,032	0,014	-0,022	0,021	0,013	-0,003
B8 - A3 - C6	-0,012	0,044	-0,003	-0,016	0,026	0,013	0,005
B8 - A2 - C7	-0,016	0,021	0,020	-0,017	0,022	0,010	-0,004
B8 - A1 - C8	0,000	0,034	0,019	-0,014	0,023	0,009	0,002
B9 - A7 - C1	-0,010	0,026	0,014	-0,019	0,026	0,010	0,020
B9 - A6 - C2	0,004	-0,067	0,047	-0,014	0,027	-0,004	-0,004
B9 - A5 - C3	-0,036	0,048	0,022	-0,017	0,024	0,002	0,021
B9 - A4 - C4	-0,008	0,019	0,014	-0,017	0,023	0,012	0,001
B9 - A3 - C5	0,006	0,003	0,025	-0,015	0,021	0,011	-0,012
B9 - A2 - C6	0,011	0,036	-0,011	-0,018	0,026	0,012	0,010
B9 - A1 - C7	-0,037	0,046	-0,005	-0,027	0,023	0,024	-0,008
B10 - A6 - C1	-0,004	0,045	0,014	-0,007	0,016	0,008	-0,004
B10 - A5 - C2	0,001	0,000	0,036	-0,010	0,014	0,004	-0,003
B10 - A4 - C3	-0,020	0,023	-0,015	-0,026	0,028	0,016	-0,079
B10 - A3 - C4	0,006	-0,007	0,028	-0,020	0,025	0,009	-0,058
B10 - A2 - C5	0,002	-2,968	3,035	-0,009	0,021	0,005	-0,003
C1 - B10 - A6	-0,007	0,110	0,019	-0,013	0,002	0,012	-0,007
C1 - B9 - A7	0,002	0,111	-0,004	0,002	-0,003	0,011	0,002
C1 - B8 - A8	-0,009	0,030	-0,035	0,000	0,012	0,023	0,012
C2 - B10 - A5	0,000	0,089	-0,015	0,006	-0,007	0,015	-0,112
C2 - B9 - A6	0,080	-0,037	-0,031	-0,006	-0,005	0,027	-0,010
C2 - B8 - A7	-0,010	0,058	-0,023	0,002	-0,003	0,019	0,005
C2 - B7 - A8	-0,009	0,072	-0,017	0,001	-0,003	0,007	0,023
C2 - B6 - A9	-0,009	0,057	-0,013	0,002	-0,002	0,019	-0,037
C3 - B10 - A4	-0,007	0,095	-0,002	0,001	-0,004	0,018	0,004
C3 - B9 - A5	0,002	0,084	-0,002	0,000	-0,006	0,017	0,008
C3 - B8 - A6	-0,019	0,038	-0,040	0,008	-0,006	0,019	0,002
C3 - B7 - A7	-0,012	0,031	-0,036	0,002	-0,005	0,045	-0,004
C3 - B6 - A8	-0,012	0,058	-0,028	0,003	-0,004	0,021	-0,009
C3 - B5 - A9	-0,017	0,113	-0,010	0,007	-0,006	0,008	-0,147
C3 - B4 - A10	-0,012	0,025	-0,010	0,011	-0,003	-0,011	-0,003
C4 - B10 - A3	-0,016	0,059	-0,014	-0,009	-0,003	0,023	-0,004
C4 - B9 - A4	-0,008	0,058	-0,015	-0,003	-0,007	0,016	-0,081
C4 - B8 - A5	-0,011	0,059	-0,021	0,004	-0,001	0,022	-0,020
C4 - B7 - A6	0,120	0,083	-0,003	0,031	-0,075	0,056	0,013
C4 - B6 - A7	-0,005	0,054	-0,014	0,002	-0,041	0,159	-0,147
C4 - B5 - A8	0,009	0,118	0,001	0,012	-0,022	0,027	-0,006
C4 - B4 - A9	-0,004	0,084	-0,006	-0,002	-0,018	0,011	-0,003
C4 - B3 - A10	-0,003	0,108	0,014	0,195	-0,222	0,032	0,016
C5 - B10 - A2	0,010	0,122	0,025	0,003	-0,003	0,000	-0,002
C5 - B9 - A3	0,002	0,100	0,027	0,004	0,002	0,006	0,009
C5 - B8 - A4	-0,022	-0,019	-0,004	-0,002	0,006	0,005	0,019
C5 - B7 - A5	-0,007	0,043	0,009	-0,025	0,002	0,014	-0,003
C5 - B5 - A7	-0,006	0,160	0,017	-0,009	0,001	0,015	0,004
C5 - B4 - A8	-0,008	0,060	0,005	0,005	0,002	0,010	-0,006
C5 - B3 - A9	-0,007	0,038	-0,009	0,008	0,002	0,004	0,003
C6 - B9 - A2	-0,020	0,053	0,006	0,003	-0,002	0,012	-0,078
C6 - B8 - A3	-0,030	0,051	0,001	0,004	-0,002	0,015	0,003
C6 - B7 - A4	-0,009	0,100	-0,002	0,014	-0,002	0,013	0,021
C6 - B6 - A5	-0,110	0,045	-0,002	0,001	-0,006	0,011	-0,009
C6 - B4 - A7	-0,010	0,045	-0,004	0,006	-0,002	0,017	-0,010
C7 - B9 - A1	-0,016	0,030	0,005	0,003	-0,001	0,013	-0,002
C7 - B8 - A2	-0,007	0,050	-0,007	0,007	0,001	0,005	-0,006
C7 - B7 - A3	-0,041	-0,270	0,024	0,007	-0,003	0,009	0,015
C7 - B6 - A4	-0,021	0,003	0,002	0,008	-0,001	0,017	-0,001
C7 - B5 - A5	0,003	0,059	0,027	0,002	0,002	0,012	0,008
C8 - B7 - A1	-0,005	0,076	0,027	0,008	-0,001	0,014	-0,002
C8 - B6 - A2	-0,006	0,040	0,012	0,007	0,002	0,017	-0,007

**Annex 1.5** Classificació desplaçament dels punts a la superfície SA TMEM 2 de s'Alavern (Mallorca)

Coordenada	08 a 10 h	10 a 12 h	12 a 14 h	14 a 16 h	16 a 18 h	18 a 20 h	20 a 22 h
A1 - B8 - C8	0	1	-1	1	-1	1	0
A1 - B9 - C7	1	1	-1	1	-1	1	1
A2 - B6 - C9	0	1	0	1	-1	1	1
A2 - B7 - C8	0	1	-1	1	-1	1	1
A2 - B8 - C7	0	1	-1	1	-1	1	1
A2 - B9 - C6	1	1	-1	1	-1	1	1
A2 - B10 - C5	0	1	-1	1	-1	1	1
A3 - B5 - C9	-1	-1	-1	0	0	1	1
A3 - B6 - C8	-1	1	-1	0	0	1	0
A3 - B7 - C7	0	1	-1	0	0	1	1
A3 - B8 - C6	-1	-1	-1	-1	1	1	1
A3 - B9 - C5	-1	1	-1	-1	0	1	1
A3 - B10 - C4	-1	1	-1	0	0	1	1
A4 - B5 - C8	1	1	0	0	0	1	-1
A4 - B6 - C7	-1	1	-1	-1	0	1	0
A4 - B7 - C6	-1	1	-1	0	0	1	0
A4 - B8 - C5	1	1	-1	0	0	1	-1
A4 - B9 - C4	-1	1	-1	0	0	1	-1
A4 - B10 - C3	-1	1	-1	0	0	1	0
A5 - B4 - C8	-1	0	-1	0	0	1	0
A5 - B5 - C7	-1	1	-1	1	0	1	1
A5 - B6 - C6	-1	1	-1	1	0	1	1
A5 - B7 - C5	-1	0	-1	0	0	1	0
A5 - B8 - C4	-1	0	-1	0	0	1	0
A5 - B9 - C3	-1	1	-1	0	0	1	0
A5 - B10 - C2	0	1	-1	0	-1	1	0
A6 - B4 - C7	-1	1	-1	0	0	1	-1
A6 - B5 - C6	-1	1	-1	0	0	1	0
A6 - B6 - C5	-1	1	-1	-1	0	1	0
A6 - B7 - C4	-1	1	-1	0	0	1	0
A6 - B8 - C3	-1	1	-1	0	0	1	-1
A6 - B9 - C2	-1	1	-1	0	0	1	0
A6 - B10 - C1	-1	1	-1	0	1	1	0
A7 - B4 - C6	-1	-1	1	0	0	1	1
A7 - B5 - C5	-1	0	0	0	0	1	0
A7 - B6 - C4	1	0	-1	-1	0	1	0
A7 - B7 - C3	-1	1	-1	-1	0	1	0
A7 - B8 - C2	-1	0	0	0	0	1	0
A7 - B9 - C1	1	1	1	0	-1	1	0
A8 - B3 - C6	-1	1	-1	0	0	1	0
A8 - B4 - C5	0	1	-1	0	0	1	0
A8 - B5 - C4	1	1	-1	0	0	1	0
A8 - B6 - C3	0	1	-1	0	0	1	0
A8 - B7 - C2	-1	1	-1	0	0	1	0
A8 - B8 - C1	-1	-1	-1	0	1	1	1
A9 - B2 - C6	-1	0	-1	0	0	1	0
A9 - B3 - C5	-1	1	-1	-1	0	1	-1
A9 - B4 - C4	-1	1	-1	0	0	1	0
A9 - B6 - C2	0	1	-1	-1	0	1	0
A10 - B3 - C4	-1	1	-1	-1	0	1	0
A10 - B4 - C3	-1	1	-1	-1	0	1	0
B3 - A10 - C4	-1	1	1	1	0	0	0
B3 - A9 - C5	-1	1	0	1	0	1	0
B3 - A8 - C6	-1	0	0	0	1	1	-1
B4 - A10 - C3	-1	1	0	-1	0	1	1
B4 - A7 - C6	-1	1	-1	-1	0	1	0
B4 - A6 - C7	-1	1	0	-1	0	1	0
B5 - A10 - C2	-1	1	-1	-1	0	1	0
B5 - A9 - C3	-1	1	0	-1	-1	1	-1
B5 - A8 - C4	-1	1	0	-1	0	1	0
B5 - A7 - C5	-1	1	-1	-1	0	1	1
B5 - A6 - C6	-1	1	-1	-1	0	1	0
B5 - A5 - C7	-1	0	0	-1	0	1	0
B5 - A4 - C8	-1	1	-1	-1	0	1	-1
B6 - A9 - C2	-1	1	-1	-1	0	-1	0
B6 - A8 - C3	-1	1	-1	-1	0	1	0
B6 - A7 - C4	-1	1	-1	-1	0	1	-1
B6 - A6 - C5	1	0	1	-1	0	1	0
B6 - A5 - C6	-1	1	0	-1	-1	1	1
B6 - A4 - C7	-1	1	0	-1	-1	1	-1
B6 - A3 - C8	-1	-1	1	1	0	-1	0
B6 - A2 - C9	-1	1	-1	-1	1	1	-1

Coordenada	08 a 10 h	10 a 12 h	12 a 14 h	14 a 16 h	16 a 18 h	18 a 20 h	20 a 22 h
B7 - A9 - C1	-1	1	0	0	0	1	0
B7 - A8 - C2	-1	1	-1	-1	-1	1	0
B7 - A7 - C3	1	1	-1	-1	0	1	0
B7 - A6 - C4	0	1	-1	-1	0	1	0
B7 - A5 - C5	-1	1	-1	-1	1	0	0
B7 - A4 - C6	0	1	-1	-1	1	1	0
B7 - A3 - C7	-1	1	0	-1	1	0	-1
B7 - A2 - C8	0	0	1	-1	0	1	0
B8 - A8 - C1	0	1	-1	-1	1	1	-1
B8 - A7 - C2	0	1	1	-1	1	0	0
B8 - A6 - C3	0	1	1	-1	1	-1	1
B8 - A5 - C4	0	0	1	0	0	1	-1
B8 - A4 - C5	0	1	1	-1	1	1	0
B8 - A3 - C6	-1	1	0	-1	1	1	0
B8 - A2 - C7	-1	1	1	-1	1	0	0
B8 - A1 - C8	0	1	1	-1	1	0	0
B9 - A7 - C1	0	1	1	-1	1	1	1
B9 - A6 - C2	0	-1	1	-1	1	0	0
B9 - A5 - C3	-1	1	1	-1	1	0	1
B9 - A4 - C4	0	1	1	-1	1	1	0
B9 - A3 - C5	0	0	1	-1	1	1	-1
B9 - A2 - C6	1	1	-1	-1	1	1	0
B9 - A1 - C7	-1	1	0	-1	1	1	0
B10 - A6 - C1	0	1	1	0	1	0	0
B10 - A5 - C2	0	0	1	0	1	0	0
B10 - A4 - C3	-1	1	-1	-1	1	1	-1
B10 - A3 - C4	0	0	1	-1	1	0	-1
B10 - A2 - C5	0	-1	1	0	1	0	0
C1 - B10 - A6	0	1	1	-1	0	1	0
C1 - B9 - A7	0	1	0	0	0	1	0
C1 - B8 - A8	0	1	-1	0	1	1	1
C2 - B10 - A5	0	1	-1	0	0	1	-1
C2 - B9 - A6	1	-1	-1	0	0	1	0
C2 - B8 - A7	0	1	-1	0	0	1	0
C2 - B7 - A8	0	1	-1	0	0	0	1
C2 - B6 - A9	0	1	-1	0	0	1	-1
C3 - B10 - A4	0	1	0	0	0	1	0
C3 - B9 - A5	0	1	0	0	0	1	0
C3 - B8 - A6	-1	1	-1	0	0	1	0
C3 - B7 - A7	-1	1	-1	0	0	1	0
C3 - B6 - A8	-1	1	-1	0	0	1	0
C3 - B5 - A9	-1	1	0	0	0	0	-1
C3 - B4 - A10	-1	1	-1	1	0	-1	0
C4 - B10 - A3	-1	1	-1	0	0	1	0
C4 - B9 - A4	0	1	-1	0	0	1	-1
C4 - B8 - A5	-1	1	-1	0	0	1	-1
C4 - B7 - A6	1	1	0	1	-1	1	1
C4 - B6 - A7	0	1	-1	0	-1	1	-1
C4 - B5 - A8	0	1	0	1	-1	1	0
C4 - B4 - A9	0	1	0	0	-1	1	0
C4 - B3 - A10	0	1	1	1	-1	1	1
C5 - B10 - A2	0	1	1	0	0	0	0
C5 - B9 - A3	0	1	1	0	0	0	0
C5 - B8 - A4	-1	-1	0	0	0	0	1
C5 - B7 - A5	0	1	0	-1	0	1	0
C5 - B5 - A7	0	1	1	0	0	1	0
C5 - B4 - A8	0	1	0	0	0	0	0
C5 - B3 - A9	0	1	0	0	0	0	0
C6 - B9 - A2	-1	1	0	0	0	1	-1
C6 - B8 - A3	-1	1	0	0	0	1	0
C6 - B7 - A4	0	1	0	1	0	1	1
C6 - B6 - A5	-1	1	0	0	0	1	0
C6 - B4 - A7	0	1	0	0	0	1	0
C7 - B9 - A1	-1	1	0	0	0	1	0
C7 - B8 - A2	0	1	0	0	0	0	0
C7 - B7 - A3	-1	-1	1	0	0	0	1
C7 - B6 - A4	-1	0	0	0	0	1	0
C7 - B5 - A5	0	1	1	0	0	1	0
C8 - B7 - A1	0	1	1	0	0	1	0
C8 - B6 - A2	0	1	1	0	0	1	0

**Annex 1.6** Registres d'altura relativa i taxes d'erosió a la superfície MA TMEM 1 de Marengo (Marengo, Austràlia)

Coordenada	MA TMEM 1			Coordenada	MA TMEM 1		
	31.10.02	13.11.03	Diferència		31.10.02	13.11.03	Diferència
A3/B8/C13	5,790	5,662	-0,128	B5/C7/A12	2,826	2,741	-0,085
A3/B9/C12	6,780	6,705	-0,075	B5/C8/A11	4,067	3,967	-0,100
A3/B10/C11	6,988	6,924	-0,064	B5/C9/A10	4,436	4,353	-0,083
A3/B11/C10	6,606	6,527	-0,079	B5/C10/A9	5,160	5,065	-0,095
A4/B7/C13	7,397	7,253	-0,144	B5/C11/A8	6,696	6,645	-0,051
A4/B8/C12	8,176	8,027	-0,149	B6/C6/A12	3,405	3,168	-0,237
A4/B9/C11	7,903	7,793	-0,110	B6/C7/A11	2,298	2,230	-0,068
A4/B10/C10	7,683	7,576	-0,107	B6/C8/A10	3,014	2,933	-0,081
A5/B7/C12	9,394	9,277	-0,117	B6/C9/A9	3,817	3,784	-0,033
A5/B8/C11	8,630	8,606	-0,024	B6/C10/A8	5,018	5,087	0,069
A5/B9/C10	8,819	8,813	-0,006	B6/C11/A7	5,931	5,814	-0,117
A5/B10/C9	7,381	7,287	-0,094	B6/C12/A6	6,286	6,280	-0,006
A5/B11/C8	5,785	5,710	-0,075	B7/C6/A11	2,921	2,719	-0,202
A6/B6/C12	9,413	9,349	-0,064	B7/C7/A10	1,971	1,971	0,000
A6/B7/C11	9,390	9,350	-0,040	B7/C8/A9	2,578	2,534	-0,044
A6/B8/C10	8,826	8,784	-0,042	B7/C9/A8	3,599	3,485	-0,114
A6/B9/C9	8,454	8,387	-0,067	B7/C10/A7	4,270	4,234	-0,036
A6/B10/C8	6,568	6,375	-0,193	B7/C11/A6	5,404	5,017	-0,387
A6/B11/C7	4,871	4,755	-0,116	B7/C12/A5	5,873	5,803	-0,070
A6/B12/C6	3,455	3,370	-0,085	B7/13/A4	6,241	6,199	-0,042
A7/B6/C11	8,902	8,881	-0,021	B8/C5/A11	2,642	2,576	-0,066
A7/B7/C10	8,638	8,618	-0,020	B8/C6/A10	1,800	1,647	-0,153
A7/B8/C9	7,359	7,254	-0,105	B8/C7/A9	1,972	1,924	-0,048
A7/B9/C8	6,373	6,158	-0,215	B8/C8/A8	2,123	2,033	-0,090
A7/B10/C7	5,035	4,999	-0,036	B8/C9/A7	2,658	2,644	-0,014
A7/B11/C6	3,541	3,448	-0,093	B8/C10/A6	3,547	3,548	0,001
A7/B12/C5	2,091	2,009	-0,082	B8/C11/A5	4,560	4,507	-0,053
A7/B13/C4	2,300	1,992	-0,308	B8/C12/A4	5,311	5,162	-0,149
A8/B5/C11	9,828	9,787	-0,041	B8/C13/A3	5,501	5,413	-0,088
A8/B6/C10	8,746	8,681	-0,065	B9/C5/A10	1,756	1,617	-0,139
A8/B7/C9	7,113	7,046	-0,067	B9/C6/A9	1,544	1,266	-0,278
A8/B8/C8	6,050	5,954	-0,096	B9/C7/A8	1,450	1,377	-0,073
A8/B9/C7	5,160	5,122	-0,038	B9/C8/A7	2,034	1,929	-0,105
A8/B10/C6	4,425	4,384	-0,041	B9/C9/A6	2,640	2,472	-0,168
A8/B11/C5	3,124	3,103	-0,021	B9/C10/A5	3,366	3,205	-0,161
A8/B12/C4	2,169	2,166	-0,003	B9/C11/A4	4,058	3,949	-0,109
A8/B13/C3	1,907	1,750	-0,157	B9/C12/A3	5,059	4,784	-0,275
A9/B5/C10	8,036	7,983	-0,053	B10/C4/A10	2,708	2,671	-0,037
A9/B6/C9	7,136	7,024	-0,112	B10/C5/A9	1,252	1,485	0,233
A9/B7/C8	5,749	5,675	-0,074	B10/C6/A8	1,322	1,305	-0,017
A9/B8/C7	5,472	5,411	-0,061	B10/C7/A7	1,364	1,325	-0,039
A9/B9/C6	4,900	4,800	-0,100	B10/C8/A6	1,806	1,654	-0,152
A9/B10/C5	3,571	3,486	-0,085	B10/C9/A5	1,745	1,672	-0,073
A9/B11/C4	2,229	2,122	-0,107	B10/C10/A4	2,320	2,228	-0,092
A9/B12/C3	3,143	2,984	-0,159	B11/C4/A9	2,471	2,418	-0,053
A10/B4/C10	8,172	8,064	-0,108	B11/C5/A8	1,338	1,266	-0,072
A10/B5/C9	7,008	6,933	-0,075	B11/C6/A7	1,298	1,267	-0,031
A10/B6/C8	5,916	5,726	-0,190	B11/C7/A6	1,016	0,874	-0,142
A10/B7/C7	4,707	4,655	-0,052	B11/C8/A5	1,056	0,891	-0,165
A10/B8/C6	4,872	4,836	-0,036	B12/C3/A9	2,592	2,534	-0,058
A10/B9/C5	3,883	3,788	-0,095	B12/C4/A8	1,957	1,893	-0,064
A10/B10/C4	3,243	3,303	0,060	B12/C5/A7	0,774	0,735	-0,039
A11/B4/C9	7,363	7,338	-0,025	B12/C6/A6	0,579	0,452	-0,127
A11/B5/C8	6,212	6,114	-0,098	B13/C3/A8	2,166	2,110	-0,056
A11/B6/C7	5,458	5,386	-0,072	B13/C4/A7	1,153	1,132	-0,021
A11/B7/C6	4,747	4,688	-0,059	C3/A8/B13	1,430	1,345	-0,085
A11/B8/C5	4,251	4,037	-0,214	C3/A9/B12	2,122	2,025	-0,097
A12/B3/C9	7,597	7,543	-0,054	C3/A10/B11	1,991	1,919	-0,072
A12/B4/C8	7,130	7,030	-0,100	C3/A11/B110	2,641	2,537	-0,104
A12/B5/C7	6,199	6,161	-0,038	C4/A7/B13	1,751	1,630	-0,121
A12/B6/C6	5,374	5,246	-0,128	C4/A8/B12	2,541	2,383	-0,158
A13/B3/C8	6,492	6,351	-0,141	C4/A9/B11	2,953	2,917	-0,036
A13/B4/C7	6,553	6,438	-0,115	C4/A10/B10	3,858	3,322	-0,536
B3/C8/A13	3,981	4,040	0,059	C5/A7/B12	3,037	3,198	0,161
B3/C9/A12	4,684	5,081	0,397	C5/A8/B11	3,701	3,642	-0,059
B3/C10/A11	5,527	5,631	0,104	C5/A9/B10	4,146	4,083	-0,063
B3/C11/A10	6,108	6,461	0,353	C5/A10/B9	4,918	4,905	-0,013
B4/C7/A13	3,523	3,389	-0,134	C5/A11/B8	5,510	5,312	-0,198
B4/C8/A12	4,214	4,166	-0,048	C6/A6/B12	3,708	3,583	-0,125
B4/C9/A11	4,746	4,676	-0,070	C6/A7/B11	4,568	4,499	-0,069
B4/C10/A10	5,266	5,085	-0,181	C6/A8/B10	5,270	5,206	-0,064

Coordenada	MA TMEM 1			Coordenada	MA TMEM 1		
	31.10.02	13.11.03	Diferència		31.10.02	13.11.03	Diferència
C6/A11/B7	7,613	7,535	-0,078	C9/A9/B6	7,679	7,558	-0,121
C6/A12/B6	7,206	7,060	-0,146	C9/A10/B5	8,777	8,690	-0,087
C7/A6/B11	5,273	5,218	-0,055	C9/A11/B4	9,382	9,326	-0,056
C7/A7/B10	5,762	5,703	-0,059	C9/A12/B3	9,116	9,007	-0,109
C7/A8/B9	6,406	6,188	-0,218	C10/A4/B10	5,688	5,679	-0,009
C7/A9/B8	6,867	6,807	-0,060	C10/A5/B9	5,793	5,707	-0,086
C7/A10/B7	8,205	8,118	-0,087	C10/A6/B8	5,287	5,219	-0,068
C7/A11/B6	8,913	8,869	-0,044	C10/A7/B7	4,763	4,591	-0,172
C7/A12/B5	8,268	8,200	-0,068	C10/A8/B6	5,874	5,811	-0,063
C7/A13/B4	8,132	8,044	-0,088	C10/A9/B5	7,191	7,171	-0,020
C8/A5/B11	5,209	5,155	-0,054	C10/A10/B4	9,100	9,048	-0,052
C8/A6/B10	5,815	5,703	-0,112	C11/A4/B9	5,506	5,440	-0,066
C8/A7/B9	6,376	6,331	-0,045	C11/A5/B8	5,374	5,299	-0,075
C8/A8/B8	6,587	6,547	-0,040	C11/A6/B7	4,919	4,766	-0,153
C8/A9/B7	7,541	7,509	-0,032	C11/A7/B6	4,256	4,034	-0,222
C8/A10/B6	8,645	8,560	-0,085	C11/A8/B5	5,133	5,071	-0,062
C8/A11/B5	9,195	9,103	-0,092	C12/A3/B9	4,864	4,804	-0,060
C8/A12/B4	8,949	8,891	-0,058	C12/A4/B8	5,659	5,522	-0,137
C8/A13/B3	9,399	9,241	-0,158	C12/A5/B7	4,705	4,664	-0,041
C9/A5/B10	5,719	5,578	-0,141	C12/A6/B6	4,017	3,851	-0,166
C9/A6/B9	5,889	5,835	-0,054	C13/A3/B8	5,224	5,197	-0,027
C9/A7/B8	6,101	5,987	-0,114	C13/A4/B7	5,843	5,793	-0,050
C9/A8/B7	6,929	6,901	-0,028				



**Annex 1.7** Registres horaris d'altura relativa a la superfícies MA TMEM 1 de Marengo (Victoria, Austràlia)

<b>Coordenada</b>	<b>06:00 h</b>	<b>08:00 h</b>	<b>10:00 h</b>	<b>12:00 h</b>	<b>14:00 h</b>	<b>16:00 h</b>	<b>18:00 h</b>	<b>20:00 h</b>	<b>22:00 h</b>
A3/B8/C13	5,677	5,688	5,659	5,662	5,662	5,662	5,661	5,658	5,671
A3/B9/C12	6,709	6,720	6,704	6,705	6,706	6,706	6,701	6,706	6,704
A3/B10/C11	6,927	6,937	6,924	6,924	6,926	6,925	6,923	6,932	6,930
A3/B11/C10	6,531	6,538	6,527	6,527	6,530	6,530	6,526	6,532	6,531
A4/B7/C13	7,265	7,276	7,249	7,253	7,223	7,225	7,217	7,227	7,230
A4/B8/C12	8,030	8,040	8,026	8,027	8,026	8,027	8,024	8,036	8,035
A4/B9/C11	7,792	7,801	7,791	7,793	7,793	7,794	7,786	7,777	7,772
A4/B10/C10	7,573	7,585	7,575	7,576	7,578	7,579	7,574	7,586	7,586
A5/B7/C12	9,278	9,244	9,274	9,277	9,274	9,275	9,272	9,267	9,285
A5/B8/C11	8,608	8,617	8,605	8,606	8,604	8,605	8,604	8,617	8,617
A5/B9/C10	8,816	8,825	8,810	8,813	8,811	8,811	8,810	8,821	8,824
A5/B10/C9	7,287	7,298	7,285	7,287	7,290	7,291	7,286	7,295	7,294
A5/B11/C8	5,715	5,721	5,710	5,710	5,711	5,712	5,709	5,717	5,715
A6/B6/C12	9,355	9,363	9,351	9,349	9,349	9,350	9,349	9,358	9,357
A6/B7/C11	9,356	9,363	9,350	9,350	9,350	9,352	9,349	9,361	9,360
A6/B8/C10	8,785	8,791	8,782	8,784	8,780	8,782	8,778	8,771	8,769
A6/B9/C9	8,393	8,397	8,387	8,387	8,388	8,391	8,386	8,394	8,393
A6/B10/C8	6,375	6,383	6,373	6,375	6,376	6,380	6,374	6,377	6,377
A6/B11/C7	4,756	4,765	4,753	4,755	4,758	4,760	4,754	4,768	4,766
A6/B12/C6	3,370	3,379	3,366	3,370	3,374	3,377	3,369	3,379	3,381
A7/B6/C11	8,879	8,891	8,880	8,881	8,880	8,882	8,879	8,887	8,889
A7/B7/C10	8,619	8,628	8,619	8,618	8,620	8,622	8,618	8,618	8,629
A7/B8/C9	7,254	7,263	7,253	7,254	7,250	7,253	7,249	7,255	7,259
A7/B9/C8	6,159	6,169	6,156	6,158	6,160	6,163	6,157	6,157	6,169
A7/B10/C7	5,002	5,004	5,001	4,999	5,003	5,006	4,997	4,973	5,010
A7/B11/C6	3,450	3,456	3,448	3,448	3,451	3,453	3,448	3,424	3,458
A7/B12/C5	2,011	2,019	2,008	2,009	2,012	2,013	2,009	2,024	2,020
A7/B13/C4	1,995	2,002	1,992	1,992	1,994	1,994	1,992	1,998	2,002
A8/B5/C11	9,793	9,800	9,787	9,787	9,787	9,788	9,785	9,799	9,794
A8/B6/C10	8,689	8,695	8,683	8,681	8,682	8,686	8,673	8,683	8,680
A8/B7/C9	7,047	7,055	7,045	7,046	7,052	7,057	7,049	7,042	7,058
A8/B8/C8	5,957	5,963	5,953	5,954	5,954	5,955	5,953	5,964	5,963
A8/B9/C7	5,124	5,132	5,121	5,122	5,126	5,130	5,122	5,105	5,133
A8/B10/C6	4,386	4,395	4,383	4,384	4,385	4,386	4,382	4,396	4,395
A8/B11/C5	3,103	3,111	3,103	3,103	3,106	3,108	3,103	3,108	3,105
A8/B12/C4	2,203	2,212	2,193	2,166	2,166	2,162	2,152	2,144	2,143
A8/B13/C3	1,751	1,759	1,749	1,750	1,753	1,753	1,750	1,734	1,761
A9/B5/C10	7,969	7,977	7,968	7,983	7,970	7,972	7,968	7,970	7,981
A9/B6/C9	7,021	7,031	7,022	7,024	7,026	7,029	7,023	7,024	7,038
A9/B7/C8	5,673	5,682	5,674	5,675	5,676	5,679	5,675	5,679	5,686
A9/B8/C7	5,414	5,422	5,411	5,411	5,411	5,408	5,406	5,423	5,418
A9/B9/C6	4,807	4,812	4,801	4,800	4,801	4,799	4,794	4,805	4,804
A9/B10/C5	3,487	3,491	3,483	3,486	3,493	3,493	3,488	3,385	3,496
A9/B11/C4	2,129	2,136	2,124	2,122	2,120	2,124	2,115	2,175	2,137
A9/B12/C3	2,988	2,996	2,984	2,984	2,986	2,986	2,984	2,992	2,997
A10/B4/C10	8,047	8,051	8,040	8,064	8,043	8,047	8,042	8,061	8,053
A10/B5/C9	6,932	6,943	6,931	6,933	6,937	6,936	6,929	6,938	6,939
A10/B6/C8	5,724	5,735	5,724	5,726	5,751	5,726	5,721	5,735	5,731
A10/B7/C7	4,653	4,664	4,654	4,655	4,647	4,653	4,653	4,667	4,663
A10/B8/C6	4,836	4,778	4,833	4,836	4,803	4,840	4,834	4,839	4,841
A10/B9/C5	3,794	3,797	3,788	3,788	3,809	3,794	3,784	3,793	3,974
A10/B10/C4	3,303	3,312	3,301	3,303	3,302	3,302	3,290	3,307	3,302
A11/B4/C9	7,334	7,342	7,330	7,338	7,335	7,337	7,331	7,342	7,340
A11/B5/C8	6,120	6,124	6,117	6,114	6,117	6,119	6,111	6,119	6,120
A11/B6/C7	5,352	5,407	5,387	5,386	5,391	5,393	5,382	5,360	5,337
A11/B7/C6	4,689	4,712	4,687	4,688	4,691	4,694	4,680	4,694	4,690
A11/B8/C5	4,044	4,048	4,034	4,037	4,040	4,040	4,036	4,034	4,047
A12/B3/C9	7,543	7,544	7,543	7,543	7,544	7,542	7,540	7,551	7,550
A12/B4/C8	7,012	7,043	7,034	7,030	7,033	7,032	7,030	7,043	7,041
A12/B5/C7	6,157	6,152	6,152	6,161	6,159	6,166	6,154	6,164	6,167
A12/B6/C6	5,243	5,246	5,237	5,246	5,243	5,246	5,241	5,253	5,249
A13/B3/C8	6,357	6,383	6,397	6,351	6,344	6,324	6,320	6,330	6,336
A13/B4/C7	6,442	6,451	6,441	6,438	6,439	6,432	6,435	6,443	6,443
B3/C8/A13	4,049	4,050	4,040	4,040	4,041	4,035	4,022	4,065	4,226
B3/C9/A12	5,081	5,090	5,082	5,081	5,082	5,077	5,091	5,091	5,089
B3/C10/A11	5,630	5,639	5,630	5,631	5,633	5,631	5,643	5,641	5,629
B3/C11/A10	6,464	6,473	6,463	6,461	6,461	6,456	6,466	6,468	6,465
B4/C7/A13	3,392	3,400	3,390	3,389	3,392	3,386	3,401	3,407	3,401
B4/C8/A12	4,166	4,175	4,165	4,166	4,168	4,164	4,168	4,166	4,171
B4/C9/A11	4,679	4,686	4,676	4,676	4,678	4,674	4,687	4,684	4,688
B4/C10/A10	5,086	5,092	5,086	5,085	5,087	5,084	5,097	5,074	5,083
B5/C7/A12	2,737	2,743	2,739	2,741	2,742	2,739	2,753	2,743	2,748

Coordenada	06:00 h	08:00 h	10:00 h	12:00 h	14:00 h	16:00 h	18:00 h	20:00 h	22:00 h
B5/C8/A11	3,977	3,979	3,967	3,967	3,969	3,963	3,979	3,974	3,974
B5/C9/A10	4,354	4,362	4,354	4,353	4,355	4,351	4,365	4,364	4,365
B5/C10/A9	5,067	5,074	5,065	5,065	5,065	5,061	5,076	5,056	5,055
B5/C11/A8	6,646	6,652	6,647	6,645	6,648	6,643	6,657	6,654	6,654
B6/C6/A12	3,171	3,181	7,122	3,168	3,169	3,167	3,106	3,177	3,243
B6/C7/A11	2,249	2,236	2,232	2,230	2,233	2,230	2,246	2,250	2,239
B6/C8/A10	2,933	2,942	2,936	2,933	2,936	2,932	2,947	2,932	2,934
B6/C9/A9	3,798	3,807	3,782	3,784	3,784	3,781	3,796	3,792	3,791
B6/C10/A8	5,095	5,090	5,087	5,087	5,088	5,082	5,095	5,080	5,074
B6/C11/A7	5,818	5,819	5,815	5,814	5,814	5,807	5,822	5,820	5,818
B6/C12/A6	6,277	6,284	6,283	6,280	6,284	6,280	6,296	6,290	6,289
B7/C6/A11	2,722	2,729	2,711	2,719	2,717	2,715	2,726	2,719	2,716
B7/C7/A10	1,973	1,981	1,974	1,971	1,972	1,968	1,992	1,978	1,978
B7/C8/A9	2,533	2,538	2,556	2,534	2,536	2,527	2,537	2,536	2,535
B7/C9/A8	3,485	3,490	3,489	3,485	3,487	3,484	3,497	3,492	3,490
B7/C10/A7	4,237	4,239	4,232	4,234	4,234	4,230	4,244	4,240	4,239
B7/C11/A6	5,015	5,025	5,026	5,017	5,022	5,015	5,030	5,027	5,027
B7/C12/A5	5,807	5,815	5,797	5,803	5,800	5,799	5,813	5,806	5,803
B7/13/A4	6,201	6,207	6,194	6,199	6,197	6,195	6,210	6,207	6,206
B8/C5/A11	2,599	2,605	2,568	2,576	2,570	2,571	2,574	2,593	2,585
B8/C6/A10	1,655	1,655	1,645	1,647	1,642	1,640	1,649	1,644	1,643
B8/C7/A9	1,929	1,933	1,924	1,924	1,925	1,922	1,936	1,931	1,931
B8/C8/A8	2,037	2,040	2,034	2,033	2,034	2,034	2,044	2,040	2,037
B8/C9/A7	2,644	2,650	2,644	2,644	2,646	2,645	2,655	2,649	2,647
B8/C10/A6	3,545	3,551	3,548	3,548	3,548	3,548	3,558	3,537	3,535
B8/C11/A5	4,509	4,516	4,508	4,507	4,507	4,507	4,521	4,500	4,502
B8/C12/A4	5,164	5,171	5,165	5,162	5,164	5,162	5,175	5,173	5,171
B8/C13/A3	5,424	5,422	5,413	5,413	5,410	5,410	5,423	5,411	5,415
B9/C5/A10	1,619	1,629	1,609	1,617	1,604	1,609	1,628	1,624	1,616
B9/C6/A9	1,273	1,275	1,269	1,266	1,270	1,270	1,277	1,290	1,280
B9/C7/A8	1,380	1,389	1,380	1,377	1,379	1,378	1,362	1,388	1,390
B9/C8/A7	1,929	1,935	1,927	1,929	1,931	1,928	1,942	1,932	1,930
B9/C9/A6	2,476	2,485	2,471	2,472	2,471	2,470	2,483	2,479	2,479
B9/C10/A5	3,207	3,213	3,205	3,205	3,205	3,205	3,218	3,209	3,211
B9/C11/A4	3,955	3,962	3,950	3,949	3,950	3,949	3,962	3,955	3,955
B9/C12/A3	4,789	4,794	4,785	4,784	4,784	4,782	4,796	4,790	4,790
B10/C4/A10	2,681	2,689	2,669	2,671	2,674	2,670	2,688	2,682	2,681
B10/C5/A9	1,488	1,496	1,490	1,485	1,488	1,484	1,486	1,473	1,469
B10/C6/A8	1,302	1,312	1,306	1,305	1,305	1,300	1,306	1,304	1,300
B10/C7/A7	1,329	1,333	1,325	1,325	1,323	1,323	1,333	1,332	1,334
B10/C8/A6	1,654	1,662	1,653	1,654	1,654	1,653	1,666	1,658	1,659
B10/C9/A5	1,674	1,676	1,674	1,672	1,676	1,677	1,800	1,674	1,676
B10/C10/A4	2,229	2,234	2,230	2,228	2,228	2,227	2,239	2,234	2,235
B11/C4/A9	2,427	2,429	2,418	2,418	2,417	2,413	2,426	2,420	2,426
B11/C5/A8	1,270	1,278	1,268	1,266	1,267	1,266	1,277	1,275	1,280
B11/C6/A7	1,297	1,299	1,292	1,267	1,268	1,268	1,278	1,271	1,277
B11/C7/A6	0,873	0,880	0,876	0,874	0,839	0,874	0,884	0,886	0,878
B11/C8/A5	0,894	0,898	0,892	0,891	0,891	0,890	0,926	0,895	0,900
B12/C3/A9	2,541	2,547	2,534	2,534	2,535	2,533	2,547	2,543	2,541
B12/C4/A8	1,905	1,906	1,893	1,893	1,892	1,889	1,904	1,901	1,905
B12/C5/A7	0,740	0,746	0,736	0,735	0,737	0,731	0,747	0,747	0,748
B12/C6/A6	0,455	0,459	0,452	0,452	0,454	0,454	0,465	0,472	0,469
B13/C3/A8	2,113	2,118	2,109	2,110	2,112	2,110	2,124	2,120	2,119
B13/C4/A7	1,144	1,140	1,130	1,132	1,132	1,132	1,144	1,144	1,138
C3/A8/B13	1,351	1,353	1,347	1,345	1,348	1,345	1,352	1,347	1,349
C3/A9/B12	2,027	2,032	2,022	2,025	2,027	2,026	2,037	2,038	2,035
C3/A10/B11	1,924	1,928	1,916	1,919	1,920	1,919	1,930	1,927	1,933
C3/A11/B110	2,541	2,544	2,525	2,537	2,539	2,538	2,535	2,540	2,537
C4/A7/B13	1,627	1,631	1,628	1,630	1,631	1,628	1,638	1,626	1,636
C4/A8/B12	2,381	2,385	2,367	2,383	2,384	2,381	2,387	2,377	2,390
C4/A9/B11	2,916	2,919	2,907	2,917	2,917	2,909	2,918	2,913	2,920
C4/A10/B10	3,326	3,331	3,312	3,322	3,322	3,317	3,327	3,327	3,330
C5/A7/B12	3,223	3,225	3,196	3,198	3,198	3,196	3,206	3,194	3,205
C5/A8/B11	3,644	3,648	3,641	3,642	3,643	3,640	3,648	3,639	3,651
C5/A9/B10	4,081	4,084	4,084	4,083	4,085	4,085	4,086	4,047	4,054
C5/A10/B9	4,833	4,834	4,832	4,905	4,902	4,898	4,844	4,847	4,841
C5/A11/B8	5,331	5,333	5,311	5,312	5,313	5,311	5,316	5,320	5,314
C6/A6/B12	3,615	3,617	3,616	3,583	3,616	3,614	3,620	3,623	3,635
C6/A7/B11	4,502	4,502	4,499	4,499	4,501	4,497	4,506	4,509	4,506
C6/A8/B10	5,209	5,208	5,206	5,206	5,208	5,206	5,217	5,217	5,217
C6/A9/B9	5,690	5,696	5,695	5,694	5,694	5,692	5,697	5,662	5,697
C6/A10/B8	6,249	6,255	6,254	6,253	6,257	6,254	6,262	6,250	6,262
C6/A11/B7	7,536	7,542	7,536	7,535	7,537	7,535	7,543	7,522	7,546
C6/A12/B6	7,063	7,065	7,061	7,060	7,060	7,058	7,065	7,056	7,069

Coordenada	06:00 h	08:00 h	10:00 h	12:00 h	14:00 h	16:00 h	18:00 h	20:00 h	22:00 h
C7/A6/B11	5,220	5,221	5,218	5,218	5,220	5,217	5,227	5,218	5,228
C7/A7/B10	5,705	5,707	5,704	5,703	5,703	5,701	5,709	5,698	5,710
C7/A8/B9	6,191	6,193	6,188	6,188	6,191	6,187	6,198	6,189	6,199
C7/A9/B8	6,808	6,808	6,808	6,807	6,807	6,807	6,814	6,813	6,816
C7/A10/B7	8,119	8,123	8,119	8,118	8,118	8,111	8,120	8,121	8,121
C7/A11/B6	8,872	8,873	8,870	8,869	8,871	8,871	8,880	8,882	8,881
C7/A12/B5	8,202	8,204	8,201	8,200	8,202	8,203	8,209	8,210	8,211
C7/A13/B4	8,046	8,049	8,048	8,044	8,042	8,045	8,053	8,056	8,055
C8/A5/B11	5,158	5,159	5,155	5,155	5,155	5,148	5,156	5,149	5,147
C8/A6/B10	5,706	5,705	5,704	5,703	5,705	5,705	5,709	5,701	5,710
C8/A7/B9	6,331	6,333	6,331	6,331	6,333	6,329	6,339	6,340	6,336
C8/A8/B8	6,549	6,549	6,549	6,547	6,550	6,548	6,557	6,557	6,555
C8/A9/B7	7,520	7,510	7,509	7,509	7,513	7,509	7,520	7,521	7,521
C8/A10/B6	8,564	8,564	8,561	8,560	8,563	8,561	8,571	8,573	8,568
C8/A11/B5	9,109	9,109	9,105	9,103	9,106	9,104	9,114	9,119	9,116
C8/A12/B4	8,894	8,897	8,891	8,891	8,893	8,889	8,900	8,903	8,900
C8/A13/B3	9,250	9,245	9,241	9,241	9,243	9,241	9,252	9,255	9,254
C9/A5/B10	5,585	5,618	5,577	5,578	5,580	5,575	5,588	5,584	5,590
C9/A6/B9	5,840	5,841	5,835	5,835	5,837	5,833	5,846	5,840	5,849
C9/A7/B8	6,010	6,007	5,983	5,987	5,990	5,987	5,999	5,987	6,001
C9/A8/B7	6,910	6,907	6,900	6,901	6,903	6,900	6,910	6,903	6,906
C9/A9/B6	7,566	7,565	7,558	7,558	7,561	7,559	7,569	7,567	7,576
C9/A10/B5	8,702	8,693	8,690	8,690	8,693	8,692	8,702	8,703	8,701
C9/A11/B4	9,331	9,334	9,325	9,326	9,316	9,316	9,328	9,329	9,327
C9/A12/B3	9,028	9,015	9,013	9,007	9,010	9,008	9,019	9,019	9,012
C10/A4/B10	5,671	5,662	5,645	5,679	5,644	5,645	5,652	5,656	5,655
C10/A5/B9	5,716	5,716	5,708	5,707	5,665	5,666	5,679	5,677	5,678
C10/A6/B8	5,231	5,226	5,220	5,219	5,206	5,206	5,218	5,218	5,218
C10/A7/B7	4,596	4,598	4,593	4,591	4,589	4,588	4,595	4,856	4,860
C10/A8/B6	5,828	5,820	5,809	5,811	5,806	5,810	5,823	5,822	5,837
C10/A9/B5	7,183	7,181	7,171	7,171	7,169	7,164	7,183	7,175	7,172
C10/A10/B4	9,060	9,052	9,049	9,048	9,048	9,047	9,058	9,060	9,059
C11/A4/B9	5,419	5,418	5,408	5,440	5,408	5,406	5,418	5,415	5,413
C11/A5/B8	5,299	5,301	5,300	5,299	5,295	5,295	5,303	5,295	5,287
C11/A6/B7	4,780	4,778	4,767	4,766	4,764	4,762	4,781	4,774	4,778
C11/A7/B6	4,042	4,039	4,034	4,034	4,031	4,032	4,044	4,042	4,037
C11/A8/B5	5,081	5,076	5,071	5,071	5,071	5,070	5,087	5,087	5,093
C12/A3/B9	4,814	4,811	4,797	4,804	5,514	4,982	4,924	4,913	4,893
C12/A4/B8	5,504	5,521	5,525	5,522	5,515	5,515	5,511	5,510	5,512
C12/A5/B7	4,675	4,671	4,669	4,664	4,664	4,664	4,674	4,674	4,670
C12/A6/B6	3,861	3,863	3,851	3,851	3,850	3,847	3,860	3,858	3,862
C13/A3/B8	5,204	5,205	5,198	5,197	5,195	5,196	5,206	5,208	5,209
C13/A4/B7	5,800	5,808	5,798	5,793	5,787	5,788	5,797	5,793	5,794

**Annex 1.8** Diferència d'altura relativa entre registres horaris MA TMEM 1 de Marengo (Victoria, Austràlia)

Coordenada	06 a 08 h	08 a 10 h	10 a 12 h	12 a 14 h	14 a 16 h	16 a 18 h	18 a 20 h	20 a 22 h
A3/B8/C13	0,011	-0,029	0,003	0,000	0,000	-0,001	-0,003	0,013
A3/B9/C12	0,011	-0,016	0,001	0,001	0,000	-0,005	0,005	-0,002
A3/B10/C11	0,010	-0,013	0,000	0,002	-0,001	-0,002	0,009	-0,002
A3/B11/C10	0,007	-0,011	0,000	0,003	0,000	-0,004	0,006	-0,001
A4/B7/C13	0,011	-0,027	0,004	-0,030	0,002	-0,008	0,010	0,003
A4/B8/C12	0,010	-0,014	0,001	-0,001	0,001	-0,003	0,012	-0,001
A4/B9/C11	0,009	-0,010	0,002	0,000	0,001	-0,008	-0,009	-0,005
A4/B10/C10	0,012	-0,010	0,001	0,002	0,001	-0,005	0,012	0,000
A5/B7/C12	-0,034	0,030	0,003	-0,003	0,001	-0,003	-0,005	0,018
A5/B8/C11	0,009	-0,012	0,001	-0,002	0,001	-0,001	0,013	0,000
A5/B9/C10	0,009	-0,015	0,003	-0,002	0,000	-0,001	0,011	0,003
A5/B10/C9	0,011	-0,013	0,002	0,003	0,001	-0,005	0,009	-0,001
A5/B11/C8	0,006	-0,011	0,000	0,001	0,001	-0,003	0,008	-0,002
A6/B6/C12	0,008	-0,012	-0,002	0,000	0,001	-0,001	0,009	-0,001
A6/B7/C11	0,007	-0,013	0,000	0,000	0,002	-0,003	0,012	-0,001
A6/B8/C10	0,006	-0,009	0,002	-0,004	0,002	-0,004	-0,007	-0,002
A6/B9/C9	0,004	-0,010	0,000	0,001	0,003	-0,005	0,008	-0,001
A6/B10/C8	0,008	-0,010	0,002	0,001	0,004	-0,006	0,003	0,000
A6/B11/C7	0,009	-0,012	0,002	0,003	0,002	-0,006	0,014	-0,002
A6/B12/C6	0,009	-0,013	0,004	0,004	0,003	-0,008	0,010	0,002
A7/B6/C11	0,012	-0,011	0,001	-0,001	0,002	-0,003	0,008	0,002
A7/B7/C10	0,009	-0,009	-0,001	0,002	0,002	-0,004	0,000	0,011
A7/B8/C9	0,009	-0,010	0,001	-0,004	0,003	-0,004	0,006	0,004
A7/B9/C8	0,010	-0,013	0,002	0,002	0,003	-0,006	0,000	0,012
A7/B10/C7	0,002	-0,003	-0,002	0,004	0,003	-0,009	-0,024	0,037
A7/B11/C6	0,006	-0,008	0,000	0,003	0,002	-0,005	-0,024	0,034
A7/B12/C5	0,008	-0,011	0,001	0,003	0,001	-0,004	0,015	-0,004
A7/B13/C4	0,007	-0,010	0,000	0,002	0,000	-0,002	0,006	0,004
A8/B5/C11	0,007	-0,013	0,000	0,000	0,001	-0,003	0,014	-0,005
A8/B6/C10	0,006	-0,012	-0,002	0,001	0,004	-0,013	0,010	-0,003
A8/B7/C9	0,008	-0,010	0,001	0,006	0,005	-0,008	-0,007	0,016
A8/B8/C8	0,006	-0,010	0,001	0,000	0,001	-0,002	0,011	-0,001
A8/B9/C7	0,008	-0,011	0,001	0,004	0,004	-0,008	-0,017	0,028
A8/B10/C6	0,009	-0,012	0,001	0,001	0,001	-0,004	0,014	-0,001
A8/B11/C5	0,008	-0,008	0,000	0,003	0,002	-0,005	0,005	-0,003
A8/B12/C4	0,009	-0,019	-0,027	0,000	-0,004	-0,010	-0,008	-0,001
A8/B13/C3	0,008	-0,010	0,001	0,003	0,000	-0,003	-0,016	0,027
A9/B5/C10	0,008	-0,009	0,015	-0,013	0,002	-0,004	0,002	0,011
A9/B6/C9	0,010	-0,009	0,002	0,002	0,003	-0,006	0,001	0,014
A9/B7/C8	0,009	-0,008	0,001	0,001	0,003	-0,004	0,004	0,007
A9/B8/C7	0,008	-0,011	0,000	0,000	-0,003	-0,002	0,017	-0,005
A9/B9/C6	0,005	-0,011	-0,001	0,001	-0,002	-0,005	0,011	-0,001
A9/B10/C5	0,004	-0,008	0,003	0,007	0,000	-0,005	-0,103	0,111
A9/B11/C4	0,007	-0,012	-0,002	-0,002	0,004	-0,009	0,060	-0,038
A9/B12/C3	0,008	-0,012	0,000	0,002	0,000	-0,002	0,008	0,005
A10/B4/C10	0,004	-0,011	0,024	-0,021	0,004	-0,005	0,019	-0,008
A10/B5/C9	0,011	-0,012	0,002	0,004	-0,001	-0,007	0,009	0,001
A10/B6/C8	0,011	-0,011	0,002	0,025	-0,025	-0,005	0,014	-0,004
A10/B7/C7	0,011	-0,010	0,001	-0,008	0,006	0,000	0,014	-0,004
A10/B8/C6	-0,058	0,055	0,003	-0,033	0,037	-0,006	0,005	0,002
A10/B9/C5	0,003	-0,009	0,000	0,021	-0,015	-0,010	0,009	0,181
A10/B10/C4	0,009	-0,011	0,002	-0,001	0,000	-0,012	0,017	-0,005
A11/B4/C9	0,008	-0,012	0,008	-0,003	0,002	-0,006	0,011	-0,002
A11/B5/C8	0,004	-0,007	-0,003	0,003	0,002	-0,008	0,008	0,001
A11/B6/C7	0,055	-0,020	-0,001	0,005	0,002	-0,011	-0,022	-0,023
A11/B7/C6	0,023	-0,025	0,001	0,003	0,003	-0,014	0,014	-0,004
A11/B8/C5	0,004	-0,014	0,003	0,003	0,000	-0,004	-0,002	0,013
A12/B3/C9	0,001	-0,001	0,000	0,001	-0,002	-0,002	0,011	-0,001
A12/B4/C8	0,031	-0,009	-0,004	0,003	-0,001	-0,002	0,013	-0,002
A12/B5/C7	-0,005	0,000	0,009	-0,002	0,007	-0,012	0,010	0,003
A12/B6/C6	0,003	-0,009	0,009	-0,003	0,003	-0,005	0,012	-0,004
A13/B3/C8	0,026	0,014	-0,046	-0,007	-0,020	-0,004	0,010	0,006
A13/B4/C7	0,009	-0,010	-0,003	0,001	-0,007	0,003	0,008	0,000
B3/C8/A13	0,001	-0,010	0,000	0,001	-0,006	-0,013	0,043	0,161
B3/C9/A12	0,009	-0,008	-0,001	0,001	-0,005	0,014	0,000	-0,002
B3/C10/A11	0,009	-0,009	0,001	0,002	-0,002	0,012	-0,002	-0,012
B3/C11/A10	0,009	-0,010	-0,002	0,000	-0,005	0,010	0,002	-0,003
B4/C7/A13	0,008	-0,010	-0,001	0,003	-0,006	0,015	0,006	-0,006
B4/C8/A12	0,009	-0,010	0,001	0,002	-0,004	0,004	-0,002	0,005
B4/C9/A11	0,007	-0,010	0,000	0,002	-0,004	0,013	-0,003	0,004
B4/C10/A10	0,006	-0,006	-0,001	0,002	-0,003	0,013	-0,023	0,009
B5/C7/A12	0,006	-0,004	0,002	0,001	-0,003	0,014	-0,010	0,005

Coordenada	06 a 08 h	08 a 10 h	10 a 12 h	12 a 14 h	14 a 16 h	16 a 18 h	18 a 20 h	20 a 22 h
B5/C8/A11	0,002	-0,012	0,000	0,002	-0,006	0,016	-0,005	0,000
B5/C9/A10	0,008	-0,008	-0,001	0,002	-0,004	0,014	-0,001	0,001
B5/C10/A9	0,007	-0,009	0,000	0,000	-0,004	0,015	-0,020	-0,001
B5/C11/A8	0,006	-0,005	-0,002	0,003	-0,005	0,014	-0,003	0,000
B6/C6/A12	0,010	3,941	-3,954	0,001	-0,002	-0,061	0,071	0,066
B6/C7/A11	-0,013	-0,004	-0,002	0,003	-0,003	0,016	0,004	-0,011
B6/C8/A10	0,009	-0,006	-0,003	0,003	-0,004	0,015	-0,015	0,002
B6/C9/A9	0,009	-0,025	0,002	0,000	-0,003	0,015	-0,004	-0,001
B6/C10/A8	-0,005	-0,003	0,000	0,001	-0,006	0,013	-0,015	-0,006
B6/C11/A7	0,001	-0,004	-0,001	0,000	-0,007	0,015	-0,002	-0,002
B6/C12/A6	0,007	-0,001	-0,003	0,004	-0,004	0,016	-0,006	-0,001
B7/C6/A11	0,007	-0,018	0,008	-0,002	-0,002	0,011	-0,007	-0,003
B7/C7/A10	0,008	-0,007	-0,003	0,001	-0,004	0,024	-0,014	0,000
B7/C8/A9	0,005	0,018	-0,022	0,002	-0,009	0,010	-0,001	-0,001
B7/C9/A8	0,005	-0,001	-0,004	0,002	-0,003	0,013	-0,005	-0,002
B7/C10/A7	0,002	-0,007	0,002	0,000	-0,004	0,014	-0,004	-0,001
B7/C11/A6	0,010	0,001	-0,009	0,005	-0,007	0,015	-0,003	0,000
B7/C12/A5	0,008	-0,018	0,006	-0,003	-0,001	0,014	-0,007	-0,003
B7/13/A4	0,006	-0,013	0,005	-0,002	-0,002	0,015	-0,003	-0,001
B8/C5/A11	0,006	-0,037	0,008	-0,006	0,001	0,003	0,019	-0,008
B8/C6/A10	0,000	-0,010	0,002	-0,005	-0,002	0,009	-0,005	-0,001
B8/C7/A9	0,004	-0,009	0,000	0,001	-0,003	0,014	-0,005	0,000
B8/C8/A8	0,003	-0,006	-0,001	0,001	0,000	0,010	-0,004	-0,003
B8/C9/A7	0,006	-0,006	0,000	0,002	-0,001	0,010	-0,006	-0,002
B8/C10/A6	0,006	-0,003	0,000	0,000	0,000	0,010	-0,021	-0,002
B8/C11/A5	0,007	-0,008	-0,001	0,000	0,000	0,014	-0,021	0,002
B8/C12/A4	0,007	-0,006	-0,003	0,002	-0,002	0,013	-0,002	-0,002
B8/C13/A3	-0,002	-0,009	0,000	-0,003	0,000	0,013	-0,012	0,004
B9/C5/A10	0,010	-0,020	0,008	-0,013	0,005	0,019	-0,004	-0,008
B9/C6/A9	0,002	-0,006	-0,003	0,004	0,000	0,007	0,013	-0,010
B9/C7/A8	0,009	-0,009	-0,003	0,002	-0,001	-0,016	0,026	0,002
B9/C8/A7	0,006	-0,008	0,002	0,002	-0,003	0,014	-0,010	-0,002
B9/C9/A6	0,009	-0,014	0,001	-0,001	-0,001	0,013	-0,004	0,000
B9/C10/A5	0,006	-0,008	0,000	0,000	0,000	0,013	-0,009	0,002
B9/C11/A4	0,007	-0,012	-0,001	0,001	-0,001	0,013	-0,007	0,000
B9/C12/A3	0,005	-0,009	-0,001	0,000	-0,002	0,014	-0,006	0,000
B10/C4/A10	0,008	-0,020	0,002	0,003	-0,004	0,018	-0,006	-0,001
B10/C5/A9	0,008	-0,006	-0,005	0,003	-0,004	0,002	-0,013	-0,004
B10/C6/A8	0,010	-0,006	-0,001	0,000	-0,005	0,006	-0,002	-0,004
B10/C7/A7	0,004	-0,008	0,000	-0,002	0,000	0,010	-0,001	0,002
B10/C8/A6	0,008	-0,009	0,001	0,000	-0,001	0,013	-0,008	0,001
B10/C9/A5	0,002	-0,002	-0,002	0,004	0,001	0,123	-0,126	0,002
B10/C10/A4	0,005	-0,004	-0,002	0,000	-0,001	0,012	-0,005	0,001
B11/C4/A9	0,002	-0,011	0,000	-0,001	-0,004	0,013	-0,006	0,006
B11/C5/A8	0,008	-0,010	-0,002	0,001	-0,001	0,011	-0,002	0,005
B11/C6/A7	0,002	-0,007	-0,025	0,001	0,000	0,010	-0,007	0,006
B11/C7/A6	0,007	-0,004	-0,002	-0,035	0,035	0,010	0,002	-0,008
B11/C8/A5	0,004	-0,006	-0,001	0,000	-0,001	0,036	-0,031	0,005
B12/C3/A9	0,006	-0,013	0,000	0,001	-0,002	0,014	-0,004	-0,002
B12/C4/A8	0,001	-0,013	0,000	-0,001	-0,003	0,015	-0,003	0,004
B12/C5/A7	0,006	-0,010	-0,001	0,002	-0,006	0,016	0,000	0,001
B12/C6/A6	0,004	-0,007	0,000	0,002	0,000	0,011	0,007	-0,003
B13/C3/A8	0,005	-0,009	0,001	0,002	-0,002	0,014	-0,004	-0,001
B13/C4/A7	-0,004	-0,010	0,002	0,000	0,000	0,012	0,000	-0,006
C3/A8/B13	0,002	-0,006	-0,002	0,003	-0,003	0,007	-0,005	0,002
C3/A9/B12	0,005	-0,010	0,003	0,002	-0,001	0,011	0,001	-0,003
C3/A10/B11	0,004	-0,012	0,003	0,001	-0,001	0,011	-0,003	0,006
C3/A11/B110	0,003	-0,019	0,012	0,002	-0,001	-0,003	0,005	-0,003
C4/A7/B13	0,004	-0,003	0,002	0,001	-0,003	0,010	-0,012	0,010
C4/A8/B12	0,004	-0,018	0,016	0,001	-0,003	0,006	-0,010	0,013
C4/A9/B11	0,003	-0,012	0,010	0,000	-0,008	0,009	-0,005	0,007
C4/A10/B10	0,005	-0,019	0,010	0,000	-0,005	0,010	0,000	0,003
C5/A7/B12	0,002	-0,029	0,002	0,000	-0,002	0,010	-0,012	0,011
C5/A8/B11	0,004	-0,007	0,001	0,001	-0,003	0,008	-0,009	0,012
C5/A9/B10	0,003	0,000	-0,001	0,002	0,000	0,001	-0,039	0,007
C5/A10/B9	0,001	-0,002	0,073	-0,003	-0,004	-0,054	0,003	-0,006
C5/A11/B8	0,002	-0,022	0,001	0,001	-0,002	0,005	0,004	-0,006
C6/A6/B12	0,002	-0,001	-0,033	0,033	-0,002	0,006	0,003	0,012
C6/A7/B11	0,000	-0,003	0,000	0,002	-0,004	0,009	0,003	-0,003
C6/A8/B10	-0,001	-0,002	0,000	0,002	-0,002	0,011	0,000	0,000
C6/A9/B9	0,006	-0,001	-0,001	0,000	-0,002	0,005	-0,035	0,035
C6/A10/B8	0,006	-0,001	-0,001	0,004	-0,003	0,008	-0,012	0,012
C6/A11/B7	0,006	-0,006	-0,001	0,002	-0,002	0,008	-0,021	0,024
C6/A12/B6	0,002	-0,004	-0,001	0,000	-0,002	0,007	-0,009	0,013

Coordenada	06 a 08 h	08 a 10 h	10 a 12 h	12 a 14 h	14 a 16 h	16 a 18 h	18 a 20 h	20 a 22 h
C7/A6/B11	0,001	-0,003	0,000	0,002	-0,003	0,010	-0,009	0,010
C7/A7/B10	0,002	-0,003	-0,001	0,000	-0,002	0,008	-0,011	0,012
C7/A8/B9	0,002	-0,005	0,000	0,003	-0,004	0,011	-0,009	0,010
C7/A9/B8	0,000	0,000	-0,001	0,000	0,000	0,007	-0,001	0,003
C7/A10/B7	0,004	-0,004	-0,001	0,000	-0,007	0,009	0,001	0,000
C7/A11/B6	0,001	-0,003	-0,001	0,002	0,000	0,009	0,002	-0,001
C7/A12/B5	0,002	-0,003	-0,001	0,002	0,001	0,006	0,001	0,001
C7/A13/B4	0,003	-0,001	-0,004	-0,002	0,003	0,008	0,003	-0,001
C8/A5/B11	0,001	-0,004	0,000	0,000	-0,007	0,008	-0,007	-0,002
C8/A6/B10	-0,001	-0,001	-0,001	0,002	0,000	0,004	-0,008	0,009
C8/A7/B9	0,002	-0,002	0,000	0,002	-0,004	0,010	0,001	-0,004
C8/A8/B8	0,000	0,000	-0,002	0,003	-0,002	0,009	0,000	-0,002
C8/A9/B7	-0,010	-0,001	0,000	0,004	-0,004	0,011	0,001	0,000
C8/A10/B6	0,000	-0,003	-0,001	0,003	-0,002	0,010	0,002	-0,005
C8/A11/B5	0,000	-0,004	-0,002	0,003	-0,002	0,010	0,005	-0,003
C8/A12/B4	0,003	-0,006	0,000	0,002	-0,004	0,011	0,003	-0,003
C8/A13/B3	-0,005	-0,004	0,000	0,002	-0,002	0,011	0,003	-0,001
C9/A5/B10	0,033	-0,041	0,001	0,002	-0,005	0,013	-0,004	0,006
C9/A6/B9	0,001	-0,006	0,000	0,002	-0,004	0,013	-0,006	0,009
C9/A7/B8	-0,003	-0,024	0,004	0,003	-0,003	0,012	-0,012	0,014
C9/A8/B7	-0,003	-0,007	0,001	0,002	-0,003	0,010	-0,007	0,003
C9/A9/B6	-0,001	-0,007	0,000	0,003	-0,002	0,010	-0,002	0,009
C9/A10/B5	-0,009	-0,003	0,000	0,003	-0,001	0,010	0,001	-0,002
C9/A11/B4	0,003	-0,009	0,001	-0,010	0,000	0,012	0,001	-0,002
C9/A12/B3	-0,013	-0,002	-0,006	0,003	-0,002	0,011	0,000	-0,007
C10/A4/B10	-0,009	-0,017	0,034	-0,035	0,001	0,007	0,004	-0,001
C10/A5/B9	0,000	-0,008	-0,001	-0,042	0,001	0,013	-0,002	0,001
C10/A6/B8	-0,005	-0,006	-0,001	-0,013	0,000	0,012	0,000	0,000
C10/A7/B7	0,002	-0,005	-0,002	-0,002	-0,001	0,007	0,261	0,004
C10/A8/B6	-0,008	-0,011	0,002	-0,005	0,004	0,013	-0,001	0,015
C10/A9/B5	-0,002	-0,010	0,000	-0,002	-0,005	0,019	-0,008	-0,003
C10/A10/B4	-0,008	-0,003	-0,001	0,000	-0,001	0,011	0,002	-0,001
C11/A4/B9	-0,001	-0,010	0,032	-0,032	-0,002	0,012	-0,003	-0,002
C11/A5/B8	0,002	-0,001	-0,001	-0,004	0,000	0,008	-0,008	-0,008
C11/A6/B7	-0,002	-0,011	-0,001	-0,002	-0,002	0,019	-0,007	0,004
C11/A7/B6	-0,003	-0,005	0,000	-0,003	0,001	0,012	-0,002	-0,005
C11/A8/B5	-0,005	-0,005	0,000	0,000	-0,001	0,017	0,000	0,006
C12/A3/B9	-0,003	-0,014	0,007	0,710	-0,532	-0,058	-0,011	-0,020
C12/A4/B8	0,017	0,004	-0,003	-0,007	0,000	-0,004	-0,001	0,002
C12/A5/B7	-0,004	-0,002	-0,005	0,000	0,000	0,010	0,000	-0,004
C12/A6/B6	0,002	-0,012	0,000	-0,001	-0,003	0,013	-0,002	0,004
C13/A3/B8	0,001	-0,007	-0,001	-0,002	0,001	0,010	0,002	0,001
C13/A4/B7	0,008	-0,010	-0,005	-0,006	0,001	0,009	-0,004	0,001

**Annex 1.9** Classificació de les diferències d'altura relativa a la superfície MA TMEM 1 (Victoria, Austràlia)

Coordenada	06 a 08 h	08 a 10 h	10 a 12 h	12 a 14 h	14 a 16 h	16 a 18 h	18 a 20 h	20 a 22 h
A3/B8/C13	1	-1	0	0	0	0	0	1
A3/B9/C12	1	-1	0	0	0	-1	1	0
A3/B10/C11	1	-1	0	0	0	0	1	0
A3/B11/C10	1	-1	0	0	0	0	1	0
A4/B7/C13	1	-1	0	-1	0	-1	1	0
A4/B8/C12	1	-1	0	0	0	0	1	0
A4/B9/C11	1	-1	0	0	0	-1	-1	0
A4/B10/C10	1	-1	0	0	0	0	1	0
A5/B7/C12	-1	1	0	0	0	0	-1	1
A5/B8/C11	1	-1	0	0	0	0	1	0
A5/B9/C10	1	-1	0	0	0	0	1	0
A5/B10/C9	1	-1	0	0	0	-1	1	0
A5/B11/C8	1	-1	0	0	0	0	1	0
A6/B6/C12	1	-1	0	0	0	0	1	0
A6/B7/C11	1	-1	0	0	0	0	1	0
A6/B8/C10	1	-1	0	0	0	0	-1	0
A6/B9/C9	0	-1	0	0	0	-1	1	0
A6/B10/C8	1	-1	0	0	0	-1	0	0
A6/B11/C7	1	-1	0	0	0	-1	1	0
A6/B12/C6	1	-1	0	0	0	-1	1	0
A7/B6/C11	1	-1	0	0	0	0	1	0
A7/B7/C10	1	-1	0	0	0	0	0	1
A7/B8/C9	1	-1	0	0	0	0	1	0
A7/B9/C8	1	-1	0	0	0	-1	0	1
A7/B10/C7	0	0	0	0	0	-1	-1	1
A7/B11/C6	1	-1	0	0	0	0	-1	1
A7/B12/C5	1	-1	0	0	0	0	1	0
A7/B13/C4	1	-1	0	0	0	0	1	0
A8/B5/C11	1	-1	0	0	0	0	1	0
A8/B6/C10	1	-1	0	0	0	-1	1	0
A8/B7/C9	1	-1	0	1	1	-1	-1	1
A8/B8/C8	1	-1	0	0	0	0	1	0
A8/B9/C7	1	-1	0	0	0	-1	-1	1
A8/B10/C6	1	-1	0	0	0	0	1	0
A8/B11/C5	1	-1	0	0	0	0	0	0
A8/B12/C4	1	-1	-1	0	0	-1	-1	0
A8/B13/C3	1	-1	0	0	0	0	-1	1
A9/B5/C10	1	-1	1	-1	0	0	0	1
A9/B6/C9	1	-1	0	0	0	-1	0	1
A9/B7/C8	1	-1	0	0	0	0	0	1
A9/B8/C7	1	-1	0	0	0	0	1	0
A9/B9/C6	0	-1	0	0	0	-1	1	0
A9/B10/C5	0	-1	0	1	0	0	-1	1
A9/B11/C4	1	-1	0	0	0	-1	1	-1
A9/B12/C3	1	-1	0	0	0	0	1	0
A10/B4/C10	0	-1	1	-1	0	-1	1	-1
A10/B5/C9	1	-1	0	0	0	-1	1	0
A10/B6/C8	1	-1	0	1	-1	0	1	0
A10/B7/C7	1	-1	0	-1	1	0	1	0
A10/B8/C6	-1	1	0	-1	1	-1	1	0
A10/B9/C5	0	-1	0	1	-1	-1	1	1
A10/B10/C4	1	-1	0	0	0	-1	1	0
A11/B4/C9	1	-1	1	0	0	-1	1	0
A11/B5/C8	0	-1	0	0	0	-1	1	0
A11/B6/C7	1	-1	0	0	0	-1	-1	-1
A11/B7/C6	1	-1	0	0	0	-1	1	0
A11/B8/C5	0	-1	0	0	0	0	0	1
A12/B3/C9	0	0	0	0	0	0	1	0
A12/B4/C8	1	-1	0	0	0	0	1	0
A12/B5/C7	0	0	1	0	1	-1	1	0
A12/B6/C6	0	-1	1	0	0	-1	1	0
A13/B3/C8	1	1	-1	-1	-1	0	1	1
A13/B4/C7	1	-1	0	0	-1	0	1	0
B3/C8/A13	0	-1	0	0	-1	-1	1	1
B3/C9/A12	1	-1	0	0	0	1	0	0
B3/C10/A11	1	-1	0	0	0	1	0	-1
B3/C11/A10	1	-1	0	0	0	1	0	0
B4/C7/A13	1	-1	0	0	-1	1	1	-1
B4/C8/A12	1	-1	0	0	0	0	0	0
B4/C9/A11	1	-1	0	0	0	1	0	0
B4/C10/A10	1	-1	0	0	0	1	-1	1
B5/C7/A12	1	0	0	0	0	1	-1	1

Coordenada	06 a 08 h	08 a 10 h	10 a 12 h	12 a 14 h	14 a 16 h	16 a 18 h	18 a 20 h	20 a 22 h
B5/C8/A11	0	-1	0	0	-1	1	0	0
B5/C9/A10	1	-1	0	0	0	1	0	0
B5/C10/A9	1	-1	0	0	0	1	-1	0
B5/C11/A8	1	0	0	0	0	1	0	0
B6/C6/A12	1	1	-1	0	0	-1	1	1
B6/C7/A11	-1	0	0	0	0	1	0	-1
B6/C8/A10	1	-1	0	0	0	1	-1	0
B6/C9/A9	1	-1	0	0	0	1	0	0
B6/C10/A8	0	0	0	0	-1	1	-1	-1
B6/C11/A7	0	0	0	0	-1	1	0	0
B6/C12/A6	1	0	0	0	0	1	-1	0
B7/C6/A11	1	-1	1	0	0	1	-1	0
B7/C7/A10	1	-1	0	0	0	1	-1	0
B7/C8/A9	0	1	-1	0	-1	1	0	0
B7/C9/A8	1	0	0	0	0	1	0	0
B7/C10/A7	0	-1	0	0	0	1	0	0
B7/C11/A6	1	0	-1	0	-1	1	0	0
B7/C12/A5	1	-1	1	0	0	1	-1	0
B7/13/A4	1	-1	0	0	0	1	0	0
B8/C5/A11	1	-1	1	-1	0	0	1	-1
B8/C6/A10	0	-1	0	-1	0	1	-1	0
B8/C7/A9	0	-1	0	0	0	1	0	0
B8/C8/A8	0	-1	0	0	0	1	0	0
B8/C9/A7	1	-1	0	0	0	1	-1	0
B8/C10/A6	1	0	0	0	0	1	-1	0
B8/C11/A5	1	-1	0	0	0	1	-1	0
B8/C12/A4	1	-1	0	0	0	1	0	0
B8/C13/A3	0	-1	0	0	0	1	-1	0
B9/C5/A10	1	-1	1	-1	0	1	0	-1
B9/C6/A9	0	-1	0	0	0	1	1	-1
B9/C7/A8	1	-1	0	0	0	-1	1	0
B9/C8/A7	1	-1	0	0	0	1	-1	0
B9/C9/A6	1	-1	0	0	0	1	0	0
B9/C10/A5	1	-1	0	0	0	1	-1	0
B9/C11/A4	1	-1	0	0	0	1	-1	0
B9/C12/A3	0	-1	0	0	0	1	-1	0
B10/C4/A10	1	-1	0	0	0	1	-1	0
B10/C5/A9	1	-1	0	0	0	0	-1	0
B10/C6/A8	1	-1	0	0	0	1	0	0
B10/C7/A7	0	-1	0	0	0	1	0	0
B10/C8/A6	1	-1	0	0	0	1	-1	0
B10/C9/A5	0	0	0	0	0	1	-1	0
B10/C10/A4	0	0	0	0	0	1	0	0
B11/C4/A9	0	-1	0	0	0	1	-1	1
B11/C5/A8	1	-1	0	0	0	1	0	1
B11/C6/A7	0	-1	-1	0	0	1	-1	1
B11/C7/A6	1	0	0	-1	1	1	0	-1
B11/C8/A5	0	-1	0	0	0	1	-1	0
B12/C3/A9	1	-1	0	0	0	1	0	0
B12/C4/A8	0	-1	0	0	0	1	0	0
B12/C5/A7	1	-1	0	0	-1	1	0	0
B12/C6/A6	0	-1	0	0	0	1	1	0
B13/C3/A8	0	-1	0	0	0	1	0	0
B13/C4/A7	0	-1	0	0	0	1	0	-1
C3/A8/B13	0	-1	0	0	0	1	-1	0
C3/A9/B12	0	-1	0	0	0	1	0	0
C3/A10/B11	0	-1	0	0	0	1	0	1
C3/A11/B110	0	-1	1	0	0	0	0	0
C4/A7/B13	0	0	0	0	0	1	-1	1
C4/A8/B12	0	-1	1	0	0	1	-1	1
C4/A9/B11	0	-1	1	0	-1	1	-1	1
C4/A10/B10	0	-1	1	0	0	1	0	0
C5/A7/B12	0	-1	0	0	0	1	-1	1
C5/A8/B11	0	-1	0	0	0	1	-1	1
C5/A9/B10	0	0	0	0	0	0	-1	1
C5/A10/B9	0	0	1	0	0	-1	0	-1
C5/A11/B8	0	-1	0	0	0	0	0	-1
C6/A6/B12	0	0	-1	1	0	1	0	1
C6/A7/B11	0	0	0	0	0	1	0	0
C6/A8/B10	0	0	0	0	0	1	0	0
C6/A9/B9	1	0	0	0	0	0	-1	1
C6/A10/B8	1	0	0	0	0	1	-1	1
C6/A11/B7	1	-1	0	0	0	1	-1	1
C6/A12/B6	0	0	0	0	0	1	-1	1



Coordenada	06 a 08 h	08 a 10 h	10 a 12 h	12 a 14 h	14 a 16 h	16 a 18 h	18 a 20 h	20 a 22 h
C7/A6/B11	0	0	0	0	0	1	-1	1
C7/A7/B10	0	0	0	0	0	1	-1	1
C7/A8/B9	0	0	0	0	0	1	-1	1
C7/A9/B8	0	0	0	0	0	1	0	0
C7/A10/B7	0	0	0	0	-1	1	0	0
C7/A11/B6	0	0	0	0	0	1	0	0
C7/A12/B5	0	0	0	0	0	1	0	0
C7/A13/B4	0	0	0	0	0	1	0	0
C8/A5/B11	0	0	0	0	-1	1	-1	0
C8/A6/B10	0	0	0	0	0	0	-1	1
C8/A7/B9	0	0	0	0	0	1	0	0
C8/A8/B8	0	0	0	0	0	1	0	0
C8/A9/B7	-1	0	0	0	0	1	0	0
C8/A10/B6	0	0	0	0	0	1	0	-1
C8/A11/B5	0	0	0	0	0	1	0	0
C8/A12/B4	0	-1	0	0	0	1	0	0
C8/A13/B3	-1	0	0	0	0	1	0	0
C9/A5/B10	1	-1	0	0	0	1	0	1
C9/A6/B9	0	-1	0	0	0	1	-1	1
C9/A7/B8	0	-1	0	0	0	1	-1	1
C9/A8/B7	0	-1	0	0	0	1	-1	0
C9/A9/B6	0	-1	0	0	0	1	0	1
C9/A10/B5	-1	0	0	0	0	1	0	0
C9/A11/B4	0	-1	0	-1	0	1	0	0
C9/A12/B3	-1	0	-1	0	0	1	0	-1
C10/A4/B10	-1	-1	1	-1	0	1	0	0
C10/A5/B9	0	-1	0	-1	0	1	0	0
C10/A6/B8	0	-1	0	-1	0	1	0	0
C10/A7/B7	0	0	0	0	0	1	1	0
C10/A8/B6	-1	-1	0	0	0	1	0	1
C10/A9/B5	0	-1	0	0	0	1	-1	0
C10/A10/B4	-1	0	0	0	0	1	0	0
C11/A4/B9	0	-1	1	-1	0	1	0	0
C11/A5/B8	0	0	0	0	0	1	-1	-1
C11/A6/B7	0	-1	0	0	0	1	-1	0
C11/A7/B6	0	0	0	0	0	1	0	0
C11/A8/B5	-1	0	0	0	0	1	0	1
C12/A3/B9	0	-1	1	1	-1	-1	-1	-1
C12/A4/B8	1	0	0	-1	0	0	0	0
C12/A5/B7	0	0	0	0	0	1	0	0
C12/A6/B6	0	-1	0	0	0	1	0	0
C13/A3/B8	0	-1	0	0	0	1	0	0
C13/A4/B7	1	-1	0	-1	0	1	0	0

---

**ANNEX 2:**  
Inventaris fauna supralitoral

**FAUNAL ABUNDANCE**

SEASON : WINTER 1999

SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m

METHOD USED : COUNTING

SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE <sup>1</sup>	TOTAL ind / m <sup>2</sup>		BS ind / m <sup>2</sup>		VF ind / m <sup>2</sup>		BP ind / m <sup>2</sup>		C ind / m <sup>2</sup>			
				MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD
CG	1	A	2.00 m	<i>Pateella</i> sp.	269	335	741								
				<i>Monodonta</i> tl	556	262	370	741							
				<i>Serpulids</i> sp.	3704	0	3704	374							
				<i>Lepidochiton</i>	309	87	247	370							
				<i>Mytilus edulis</i>	247	0	247	987							
				<i>Chthamalus</i>	987	0	987	987							
				<i>Melargophe</i> sp.	5473	3547	2639	9866							
CG	1	B	5.60 m	<i>Chthamalus</i>	1104	577	1513	606	1513						
				<i>Melargophe</i> sp.	8257	9275	14815	1636	14815						
				<i>Melargophe</i> sp.	1365	2161	93	93	93	586	586	1	1495	2137	309

Note 1 : Biological zone width.

Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover.

BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE

SEASON : SPRING 1999

SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m

METHOD USED : COUNTING

SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE <sup>1</sup>	TOTAL ind / m <sup>2</sup>		BS ind / m <sup>2</sup>		VF ind / m <sup>2</sup>		BP ind / m <sup>2</sup>		C ind / m <sup>2</sup>				
				MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	
CG	1	A	2.00 m	<i>Pateella</i> sp.	100	247	370									
				<i>Monodonta</i> tl	56	26	31	93								
				<i>Serpulids</i> sp.	1354	1511	154	3906								
				<i>Lepidochiton</i>	77	93	31	216								
				<i>Mytilus edulis</i>	193	177	31	586								
				<i>Chthamalus</i>	9904	15063	124	54400								
				<i>Melargophe</i> sp.	340	321	31	864								
CG	1	B	5.60 m	<i>Chthamalus</i>	844	911	1883	185	185							
				<i>Melargophe</i> sp.	596	515	31	1512	31	710	628	537	216	1235	185	1512
				<i>Melargophe</i> sp.	213	283	31	1019	31	0	216	0	216	216	448	471

Note 1 : Biological zone width.

Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover.

BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE

SEASON : SUMMER 1999

SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m

METHOD USED : COUNTING

SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE <sup>1</sup>	TOTAL ind / m <sup>2</sup>		BS ind / m <sup>2</sup>		VF ind / m <sup>2</sup>		BP ind / m <sup>2</sup>		C ind / m <sup>2</sup>				
				MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	
CG	1	A	2.00 m	<i>Pateella</i> sp.	100	90	247									
				<i>Monodonta</i> tl	56	26	31	93								
				<i>Serpulids</i> sp.	1354	1511	154	3906								
				<i>Lepidochiton</i>	77	93	31	216								
				<i>Mytilus edulis</i>	193	177	31	586								
				<i>Chthamalus</i>	9904	15063	124	54400								
				<i>Melargophe</i> sp.	340	321	31	864								
CG	1	B	5.60 m	<i>Chthamalus</i>	370	413	31	1204	124	0	124	31	0	31	31	
				<i>Melargophe</i> sp.	568	342	124	1080	648	394	216	988	185	0	185	185
				<i>Melargophe</i> sp.	225	128	31	566	31	0	31	134	64	62	185	

Note 1 : Biological zone width.

Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover.

BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE

SEASON : AUTUMN 1999

SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m

METHOD USED : COUNTING

SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE <sup>1</sup>	TOTAL ind / m <sup>2</sup>		BS ind / m <sup>2</sup>		VF ind / m <sup>2</sup>		BP ind / m <sup>2</sup>		C ind / m <sup>2</sup>				
				MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	
SA	1	A	2.00 m	<i>Pateella</i> sp.	157	95	370									
				<i>Monodonta</i> tl	67	36	31	370								
				<i>Serpulids</i> sp.	2653	4632	62	11600								
				<i>Lepidochiton</i>	62	25	31	93								
				<i>Mytilus edulis</i>	179	70	93	247								
				<i>Chthamalus</i>	7636.09	9918.7	185	26800								
				<i>Melargophe</i> sp.	873.14	357.15	216	1296	864.33	244.92	679	1142	879.75	463.66	216	1296
SA	1	B	5.60 m	<i>Chthamalus</i>	975	1985	93	5465	93	0	93	93				
				<i>Melargophe</i> sp.	623	314	185	1574	391	195	185	586	432	305	216	648
				<i>Melargophe</i> sp.	172	143	31	586	108	37	62	154	170	64	93	247

Note 1 : Biological zone width.

Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover.

BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE

CG transect 1.

FAUNAL ABUNDANCE		SEASON : WINTER 1999		METHOD USED : COUNTING		SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m									
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE	SPECIES		TOTAL ind / m <sup>2</sup>		BS ind / m <sup>2</sup>		VF ind / m <sup>2</sup>		BP ind / m <sup>2</sup>		C ind / m <sup>2</sup>	
				MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM
CG	2	A	3,50 m	350	360	31	741								
				<i>Patella</i> sp.			216								
				<i>Monodonta turbinata</i>			216								
				<i>Senpulus</i> sp.			22								
				<i>Lepidochitona corrugata</i>			15271								
				<i>Mytilus edulis</i>			#								
				<i>Chthamalus depressus</i>			479								
				<i>Melaraghe neritoides</i>			153								
				<i>Seaweeds?</i>			309								
CG	2	B	2,10 m	7761	10845	93	15430								
				<i>Chthamalus depressus</i>			3956								
				<i>Melaraghe neritoides</i>			7562								
CG	2	C	26,50 m												
				Note 1 : Biological zone with.											
				Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover											
				BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE											
SEASON : SPRING 1999		SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m		METHOD USED : COUNTING		TOTAL ind / m <sup>2</sup>		BS ind / m <sup>2</sup>		VF ind / m <sup>2</sup>		BP ind / m <sup>2</sup>		C ind / m <sup>2</sup>	
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM
CG	2	A	3,50 m	118	68	31	216								
				<i>Patella</i> sp.			216								
				<i>Monodonta turbinata</i>			68								
				<i>Senpulus</i> sp.			6799								
				<i>Lepidochitona corrugata</i>			388								
				<i>Mytilus edulis</i>			339								
				<i>Chthamalus depressus</i>			9169								
				<i>Melaraghe neritoides</i>			575								
				<i>Seaweeds?</i>			409								
CG	2	B	2,10 m	895	673	278	1512								
				<i>Chthamalus depressus</i>			10651								
				<i>Melaraghe neritoides</i>			384								
CG	2	C	26,50 m												
				Note 1 : Biological zone with.											
				Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover											
				BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE											
SEASON : SUMMER 1999		SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m		METHOD USED : COUNTING		TOTAL ind / m <sup>2</sup>		BS ind / m <sup>2</sup>		VF ind / m <sup>2</sup>		BP ind / m <sup>2</sup>		C ind / m <sup>2</sup>	
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM
CG	2	A	3,50 m	531	347	31	1512								
				<i>Patella</i> sp.			63								
				<i>Monodonta turbinata</i>			1541								
				<i>Senpulus</i> sp.			2324								
				<i>Lepidochitona corrugata</i>			304								
				<i>Mytilus edulis</i>			25								
				<i>Chthamalus depressus</i>			518								
				<i>Melaraghe neritoides</i>			282								
				<i>Seaweeds?</i>			13								
CG	2	B	2,10 m	441	442	31	1790								
				<i>Chthamalus depressus</i>			540								
				<i>Melaraghe neritoides</i>			953								
CG	2	C	26,50 m												
				Note 1 : Biological zone with.											
				Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover											
				BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE											
SEASON : AUTUMN 1999		SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m		METHOD USED : COUNTING		TOTAL ind / m <sup>2</sup>		BS ind / m <sup>2</sup>		VF ind / m <sup>2</sup>		BP ind / m <sup>2</sup>		C ind / m <sup>2</sup>	
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM
CG	2	A	3,50 m	176	14	31	432								
				<i>Patella</i> sp.			17								
				<i>Monodonta turbinata</i>			14								
				<i>Senpulus</i> sp.			8008								
				<i>Lepidochitona corrugata</i>			10129								
				<i>Mytilus edulis</i>			123								
				<i>Chthamalus depressus</i>			459								
				<i>Melaraghe neritoides</i>			509								
				<i>Seaweeds?</i>			254								
CG	2	B	2,10 m	374	213	93	772								
				<i>Chthamalus depressus</i>			968								
				<i>Melaraghe neritoides</i>			494								
CG	2	C	26,50 m												
				Note 1 : Biological zone with.											
				Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover											
				BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE											

FAUNAL ABUNDANCE		METHOD USED : COUNTING		TOTAL ind / m <sup>2</sup>		BS ind / m <sup>2</sup>		VF ind / m <sup>2</sup>		BP ind / m <sup>2</sup>		C ind / m <sup>2</sup>						
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE <sup>1</sup>	SPECIES	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM		
SEASON : WINTER 1999																		
SELECTED SQUARE : 0,2 x 0,2 m																		
CG	3	A	1,80 m	<i>Patella</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulites</i> sp. <i>Leptocochlona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melaraphie neritoides</i> Seaweeds*	247		62	309										
CG	3	B	2,20 m	<i>Patella</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulites</i> sp. <i>Leptocochlona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melaraphie neritoides</i> Seaweeds*	2099	2573	31	6790	2593	3054	340	6790	31	93	6790	93		
CG	3	C	25,40 m	<i>Patella</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulites</i> sp. <i>Leptocochlona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melaraphie neritoides</i> Seaweeds*	1583	1522	62	4568	4074	1744	62	4568	1335	947	463	2593	216	
Note 1 : Biological zone width.																		
Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover																		
BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE																		
SEASON : SPRING 1999																		
SELECTED SQUARE : 0,2 x 0,2 m																		
CG	3	A	1,80 m	<i>Patella</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulites</i> sp. <i>Leptocochlona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melaraphie neritoides</i> Seaweeds*	175	124	62	309										
CG	3	B	2,20 m	<i>Patella</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulites</i> sp. <i>Leptocochlona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melaraphie neritoides</i> Seaweeds*	787	691	123	1728	787	691	123	1728	185	88	123	247		
CG	3	C	25,40 m	<i>Patella</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulites</i> sp. <i>Leptocochlona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melaraphie neritoides</i> Seaweeds*	1682	2067	401	6420	1682	2067	401	6420	405	280	154	926	494	926
CG	3	C	25,40 m	<i>Patella</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulites</i> sp. <i>Leptocochlona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melaraphie neritoides</i> Seaweeds*	196	224	31	741	216	252	31	596	31	93	174	401	216	248
Note 1 : Biological zone width.																		
Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover																		
BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE																		
SEASON : SUMMER 1999																		
SELECTED SQUARE : 0,2 x 0,2 m																		
CG	3	A	1,80 m	<i>Patella</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulites</i> sp. <i>Leptocochlona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melaraphie neritoides</i> Seaweeds*	160	90	62	309										
CG	3	B	2,20 m	<i>Patella</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulites</i> sp. <i>Leptocochlona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melaraphie neritoides</i> Seaweeds*	401	313	62	679	530	443	31	1111	530	443	31	1111	494	305
CG	3	C	25,40 m	<i>Patella</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulites</i> sp. <i>Leptocochlona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melaraphie neritoides</i> Seaweeds*	1583	1910	31	5185	1691	1977	31	5185	62	25	31	93	131	169
CG	3	C	25,40 m	<i>Patella</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulites</i> sp. <i>Leptocochlona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melaraphie neritoides</i> Seaweeds*	234	390	124	864	343	183	124	772	62	25	31	93	131	169
Note 1 : Biological zone width.																		
Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover																		
BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE																		
SEASON : AUTUMN 1999																		
SELECTED SQUARE : 0,2 x 0,2 m																		
CG	3	A	1,80 m	<i>Patella</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulites</i> sp. <i>Leptocochlona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melaraphie neritoides</i> Seaweeds*	148	68	31	309										
CG	3	B	2,20 m	<i>Patella</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulites</i> sp. <i>Leptocochlona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melaraphie neritoides</i> Seaweeds*	69	46	31	154	995	700	308	2657	93	93	2657	93	2344	
CG	3	C	25,40 m	<i>Patella</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulites</i> sp. <i>Leptocochlona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melaraphie neritoides</i> Seaweeds*	1726	3688	31	14321	1867	4027	31	14321	1010	1422	154	4634	55	93
CG	3	C	25,40 m	<i>Patella</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulites</i> sp. <i>Leptocochlona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melaraphie neritoides</i> Seaweeds*	239	279	31	1173	275	322	31	1111	131	124	31	401	478	381
Note 1 : Biological zone width.																		
Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover																		
BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE																		

FAUNAL ABUNDANCE		SEASON: WINTER 1989		METHOD USED: COUNTING		DISTANCE RANGE: 0.2 x 0.2 m		PROFILE		ZONE		TOTAL ind / m <sup>2</sup>		BS ind / m <sup>2</sup>		VF ind / m <sup>2</sup>		BP ind / m <sup>2</sup>		C ind / m <sup>2</sup>				
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE	SPECIES	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM
CG	4	A	2.00 m	<i>Fatella</i> sp.	319	251	31	772	1142															
				<i>Monodonta turbinata</i>	4105	4945	93	9630																
				<i>Serpulid</i> sp.	154	31	124	185																
				<i>Lepidochitona corrugata</i>	413	270	124	864																
				<i>Mytilus edulis</i>	571	410	124	1235																
				<i>Chthamalus depressus</i>	7	7	1	20																
				<i>Melarapha neritoides</i>	5021	6585	93	12500																
				Seaweeds <sup>2</sup>	2200	1937	55	4012																
CG	4	B	2.00 m	<i>Chthamalus depressus</i>	1132	777	31	2315																
				<i>Melarapha neritoides</i>																				
CG	4	C	12.00 m	<i>Melarapha neritoides</i>																				
Note 1: Biological zone width.																								
Notes 2: Seaweeds are expressed in % of cover.																								
BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE																								
SEASON: SPRING 1989																								
FAUNAL ABUNDANCE		SEASON: WINTER 1989		METHOD USED: COUNTING		DISTANCE RANGE: 0.2 x 0.2 m		PROFILE		ZONE		TOTAL ind / m <sup>2</sup>		BS ind / m <sup>2</sup>		VF ind / m <sup>2</sup>		BP ind / m <sup>2</sup>		C ind / m <sup>2</sup>				
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE	SPECIES	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM
CG	4	A	2.00 m	<i>Fatella</i> sp.	575	387	124	1142																
				<i>Monodonta turbinata</i>	100	49	31	154																
				<i>Serpulid</i> sp.	8318	12419	401	26563																
				<i>Lepidochitona corrugata</i>	350	315	124	710																
				<i>Mytilus edulis</i>	31	#	#	#																
				<i>Chthamalus depressus</i>	247	#	#	#																
				<i>Melarapha neritoides</i>																				
				Seaweeds <sup>2</sup>																				
CG	4	B	2.00 m	<i>Chthamalus depressus</i>	411	381	93	833																
				<i>Melarapha neritoides</i>	525	384	185	967																
CG	4	C	12.00 m	<i>Melarapha neritoides</i>	819	707	31	2389																
Note 1: Biological zone width.																								
Notes 2: Seaweeds are expressed in % of cover.																								
BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE																								
SEASON: SUMMER 1989																								
FAUNAL ABUNDANCE		SEASON: WINTER 1989		METHOD USED: COUNTING		DISTANCE RANGE: 0.2 x 0.2 m		PROFILE		ZONE		TOTAL ind / m <sup>2</sup>		BS ind / m <sup>2</sup>		VF ind / m <sup>2</sup>		BP ind / m <sup>2</sup>		C ind / m <sup>2</sup>				
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE	SPECIES	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM
CG	4	A	2.00 m	<i>Fatella</i> sp.	386	283	31	957																
				<i>Monodonta turbinata</i>	1032	1333	31	3281																
				<i>Serpulid</i> sp.	31	#	#	#																
				<i>Lepidochitona corrugata</i>	31	#	#	#																
				<i>Mytilus edulis</i>	275	183	31	556																
				<i>Chthamalus depressus</i>	585	359	93	1049																
				<i>Melarapha neritoides</i>	50	30	20	80																
				Seaweeds <sup>2</sup>																				
CG	4	B	2.00 m	<i>Chthamalus depressus</i>	826	722	124	2222																
				<i>Melarapha neritoides</i>	1853	929	802	4074																
CG	4	C	12.00 m	<i>Melarapha neritoides</i>	1593	1048	556	4383																
Note 1: Biological zone width.																								
Notes 2: Seaweeds are expressed in % of cover.																								
BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE																								
SEASON: AUTUMN 1989																								
FAUNAL ABUNDANCE		SEASON: WINTER 1989		METHOD USED: COUNTING		DISTANCE RANGE: 0.2 x 0.2 m		PROFILE		ZONE		TOTAL ind / m <sup>2</sup>		BS ind / m <sup>2</sup>		VF ind / m <sup>2</sup>		BP ind / m <sup>2</sup>		C ind / m <sup>2</sup>				
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE	SPECIES	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM
SA	1	A	2.00 m	<i>Fatella</i> sp.	216	217	29	643																
				<i>Monodonta turbinata</i>	51	28	29	88																
				<i>Serpulid</i> sp.																				
				<i>Lepidochitona corrugata</i>																				
				<i>Mytilus edulis</i>	142	59	88	295																
				<i>Chthamalus depressus</i>	646	449	205	1550																
				<i>Melarapha neritoides</i>																				
				Seaweeds <sup>2</sup>																				
SA	1	B	2.00 m	<i>Chthamalus depressus</i>	251	285	58	731																
				<i>Melarapha neritoides</i>	1032	416	526	2105																
SA	1	C	12.00 m	<i>Melarapha neritoides</i>	615	309	88	1257																
Note 1: Biological zone width.																								
Notes 2: Seaweeds are expressed in % of cover.																								
BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE																								



FAUNAL ABUNDANCE

SEASON : WINTER 1999

SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m

Table with columns: SITE, PROFILE, ZONE, DISTANCE RANGE, SPECIES, TOTAL ind / m², BS ind / m², VF ind / m², BP ind / m², C ind / m². Includes species like Patella sp., Monodonta turbinata, Lepidochitona corrugata, Mytilus edulis, Citharus depressus, Melarapha neritoides, Seaweeds.

Note 1 : Biological zone width. Measured in % of cover. BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE

SEASON : SPRING 1999

SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m

Table with columns: SITE, PROFILE, ZONE, DISTANCE RANGE, SPECIES, TOTAL ind / m², BS ind / m², VF ind / m², BP ind / m², C ind / m². Includes species like Patella sp., Monodonta turbinata, Serpulis sp., Lepidochitona corrugata, Mytilus edulis, Citharus depressus, Melarapha neritoides, Seaweeds.

Note 1 : Biological zone width. Measured in % of cover. BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE

SEASON : SUMMER 1999

SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m

Table with columns: SITE, PROFILE, ZONE, DISTANCE RANGE, SPECIES, TOTAL ind / m², BS ind / m², VF ind / m², BP ind / m², C ind / m². Includes species like Patella sp., Monodonta turbinata, Serpulis sp., Mytilus edulis, Citharus depressus, Melarapha neritoides, Seaweeds.

Note 1 : Biological zone width. Measured in % of cover. BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE

SEASON : AUTUMN 1999

SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m

Table with columns: SITE, PROFILE, ZONE, DISTANCE RANGE, SPECIES, TOTAL ind / m², BS ind / m², VF ind / m², BP ind / m², C ind / m². Includes species like Patella sp., Monodonta turbinata, Serpulis sp., Lepidochitona corrugata, Mytilus edulis, Citharus depressus, Melarapha neritoides, Seaweeds.

Note 1 : Biological zone width. Measured in % of cover. BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE

CG transect 6.



FAUNAL ABUNDANCE																							
SEASON : SPRING 1999																							
SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m																							
METHOD USED : COUNTING																							
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE <sup>1</sup>	SPECIES	TOTAL ind / m <sup>2</sup>			BS ind / m <sup>2</sup>			VF ind / m <sup>2</sup>			BP ind / m <sup>2</sup>			C ind / m <sup>2</sup>						
					MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM			
SA	1	A	6,00 m	<i>Patella</i> sp.	288	216	31	895															
				<i>Monodonta turbinata</i>	172	192	31	710															
				<i>Serpulids</i> sp.	1100	968	31	3438															
				<i>Lepidochitona corrugata</i>	119	106	31	313															
				<i>Mytilus edulis</i>	1399	2090	31	9844															
				<i>Ckhamalus depressus</i>	816	473	278	1451															
				<i>Metarapha neritoides</i>	195	118	31	340	195	118	31	340											
				Seaweeds <sup>2</sup>	21	26	2	80	21	26	2	80											
SA	1	B	2,30 m	<i>Ckhamalus depressus</i>	1903	1931	62	5000	1943	2029	62	5000	2218	3050	62	4375							
				<i>Metarapha neritoides</i>	2092	1980	340	6094	2725	2549	340	6094	1369	677	895	2346							
SA	1	C	8,30 m	<i>Metarapha neritoides</i>	345	258	31	804	212	192	31	804	576	217	370	802	586	0	586	481	292	62	772
Notes 1 : Biological zone width.																							
Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover																							
BS: BARE SURFACE; VF: VERTICAL FACE; BP: BASIN POOL; C: CREVICE																							
SEASON : SUMMER 1999																							
SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m																							
METHOD USED : COUNTING																							
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE <sup>1</sup>	SPECIES	TOTAL ind / m <sup>2</sup>			BS ind / m <sup>2</sup>			VF ind / m <sup>2</sup>			BP ind / m <sup>2</sup>			C ind / m <sup>2</sup>						
					MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM			
SA	1	A	6,00 m	<i>Patella</i> sp.	183	106	31	432															
				<i>Monodonta turbinata</i>	130	75	31	278															
				<i>Serpulids</i> sp.	250	232	31	648															
				<i>Lepidochitona corrugata</i>	54	27	31	93															
				<i>Mytilus edulis</i>	108	95	31	278															
				<i>Ckhamalus depressus</i>	75	77	31	216	123	109	31	278											
				<i>Metarapha neritoides</i>	231	357	1080	31	293	400	31	1080											
				Seaweeds <sup>2</sup>	2	1	1	2															
SA	1	B	2,30 m	<i>Ckhamalus depressus</i>	1379	4003	31	13438	1470	4207	31	13438											
				<i>Metarapha neritoides</i>	1152	1944	31	7292	1552	2252	31	7292	247	#	#	#	62	44	31	93	741	#	#
SA	1	C	8,30 m	<i>Metarapha neritoides</i>	293	360	31	1204	158	130	31	370	700	563	93	1204	62						
Notes 1 : Biological zone width.																							
Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover																							
BS: BARE SURFACE; VF: VERTICAL FACE; BP: BASIN POOL; C: CREVICE																							
SEASON : AUTUMN 1999																							
SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m																							
METHOD USED : COUNTING																							
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE <sup>1</sup>	SPECIES	TOTAL ind / m <sup>2</sup>			BS ind / m <sup>2</sup>			VF ind / m <sup>2</sup>			BP ind / m <sup>2</sup>			C ind / m <sup>2</sup>						
					MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM			
SA	1	A	6,00 m	<i>Patella</i> sp.	151	91	31	40															
				<i>Monodonta turbinata</i>	41	22	31	93															
				<i>Serpulids</i> sp.	308	242	123	679															
				<i>Lepidochitona corrugata</i>																			
				<i>Mytilus edulis</i>																			
				<i>Ckhamalus depressus</i>	129	59	93	247	129	59	93	247											
				<i>Metarapha neritoides</i>	113	72	216	31	113	72	216	31											
				Seaweeds <sup>2</sup>																			
SA	1	B	2,30 m	<i>Ckhamalus depressus</i>	199	230	62	648	199	230	62	648											
				<i>Metarapha neritoides</i>	1522	1075	123	3179	1522	1075	123	3179											
SA	1	C	8,30 m	<i>Metarapha neritoides</i>	335	205	31	957	334	189	93	957	957	225	31	957	586	#					#
Notes 1 : Biological zone width.																							
Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover																							
BS: BARE SURFACE; VF: VERTICAL FACE; BP: BASIN POOL; C: CREVICE																							

FAUNAL ABUNDANCE		SEASON : WINTER 1999		SEASON : SPRING 1999		SEASON : SUMMER 1999		SEASON : AUTUMN 1999																
SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m		SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m		SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m		SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m		SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m																
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE <sup>1</sup>	METHOD USED : COUNTING		METHOD USED : COUNTING		METHOD USED : COUNTING																
				SPECIES		SPECIES		SPECIES																
				TOTAL IND / m <sup>2</sup>	MEAN SD	MINIMUM	MAXIMUM	BS IND / m <sup>2</sup>	MEAN SD	MINIMUM	MAXIMUM	VF IND / m <sup>2</sup>	MEAN SD	MINIMUM	MAXIMUM	BP IND / m <sup>2</sup>	MEAN SD	MINIMUM	MAXIMUM	C IND / m <sup>2</sup>	MEAN SD	MINIMUM	MAXIMUM	
PS	1	A	3,20 m	1379	2124	32	3927	8426	11239	216	21235	1739	1934	370	3951	2562	869	536	123	1536	335	206	62	648
				<i>Pateula</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulids</i> sp. <i>Lepidochitona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melaraphie neritoides</i> Seaweeds <sup>2</sup>																				
PS	1	B	3,30 m	93	#	#	#	655	1898	93	1975	103	125	31	247	869	536	123	1536	335	206	62	648	
				<i>Chthamalus depressus</i> <i>Melaraphie neritoides</i>																				
PS	1	C	36,60 m	292	76	31	648	251	179	31	62	31	#	#	628	348	31	#	648	247	348	31	648	
				<i>Melaraphie neritoides</i>																				
Note 1 : Biological zone width. Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover. BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE																								
SEASON : SPRING 1999																								
SEASON : SUMMER 1999																								
SEASON : AUTUMN 1999																								
SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m																								
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE <sup>1</sup>	METHOD USED : COUNTING		METHOD USED : COUNTING		METHOD USED : COUNTING																
				TOTAL IND / m <sup>2</sup>	MEAN SD	MINIMUM	MAXIMUM	BS IND / m <sup>2</sup>	MEAN SD	MINIMUM	MAXIMUM	VF IND / m <sup>2</sup>	MEAN SD	MINIMUM	MAXIMUM	BP IND / m <sup>2</sup>	MEAN SD	MINIMUM	MAXIMUM	C IND / m <sup>2</sup>	MEAN SD	MINIMUM	MAXIMUM	
PS	1	A	3,20 m	916	459	340	1204	1111	694	308	2377	681	815	31	3395	247	250	577	926	154	332	129	427	
				<i>Pateula</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulids</i> sp. <i>Lepidochitona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melaraphie neritoides</i> Seaweeds <sup>2</sup>																				
PS	1	B	3,30 m	2622	7594	31	24800	618	524	247	988	103	125	31	247	869	536	123	1536	335	206	62	648	
				<i>Chthamalus depressus</i> <i>Melaraphie neritoides</i>																				
PS	1	C	36,60 m	264	185	31	833	237	155	93	401	247	#	#	305	216	31	#	833	223	137	62	525	
				<i>Melaraphie neritoides</i>																				
Note 1 : Biological zone width. Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover. BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE																								
SEASON : WINTER 1999																								
SEASON : SPRING 1999																								
SEASON : SUMMER 1999																								
SEASON : AUTUMN 1999																								
SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m																								
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE <sup>1</sup>	METHOD USED : COUNTING		METHOD USED : COUNTING		METHOD USED : COUNTING																
				TOTAL IND / m <sup>2</sup>	MEAN SD	MINIMUM	MAXIMUM	BS IND / m <sup>2</sup>	MEAN SD	MINIMUM	MAXIMUM	VF IND / m <sup>2</sup>	MEAN SD	MINIMUM	MAXIMUM	BP IND / m <sup>2</sup>	MEAN SD	MINIMUM	MAXIMUM	C IND / m <sup>2</sup>	MEAN SD	MINIMUM	MAXIMUM	
PS	1	A	3,20 m	4987	419	93	1481	1451	#	#	3395	688	526	123	1944	401	376	272	93	772	225	280	11	1235
				<i>Pateula</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulids</i> sp. <i>Lepidochitona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melaraphie neritoides</i> Seaweeds <sup>2</sup>																				
PS	1	B	3,30 m	2592	5666	31	21727	77	65	31	123	3249	6286	31	21727	401	376	272	93	772	225	280	11	1235
				<i>Chthamalus depressus</i> <i>Melaraphie neritoides</i>																				
PS	1	C	36,60 m	226	248	11	1235	131	116	31	525	326	272	62	957	279	288	31	926	225	280	11	1235	
				<i>Melaraphie neritoides</i>																				
Note 1 : Biological zone width. Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover. BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE																								

**PS transect 1**

FAUNAL ABUNDANCE		METHOD USED : COUNTING		TOTAL ind / m <sup>2</sup>		BS ind / m <sup>2</sup>		VF ind / m <sup>2</sup>		BP ind / m <sup>2</sup>		C ind / m <sup>2</sup>						
SEASON	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE <sup>1</sup>	SPECIES	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM		
WINTER 1999	1	A	2,00 m.	<i>Patella</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulids</i> <i>Lepidochitona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Cathamalus depressus</i> <i>Melaraphe neritoides</i> Seaweeds <sup>2</sup>	160	193	31	556	309	1481	93	1481	309	1481	31	2984	710	
	1	B	2,20 m.	<i>Cathamalus depressus</i> <i>Melaraphe neritoides</i>	950	711	31	2984	754	437	93	1481	309	1481	31	2984	710	
	1	C	21,10 m.	<i>Melaraphe neritoides</i>														
Notes 1 : Biological zone width. Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE																		
SEASON	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE <sup>1</sup>	SPECIES	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM		
WINTER 1999	1	A	2,00 m.	<i>Patella</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulids</i> <i>Lepidochitona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Cathamalus depressus</i> <i>Melaraphe neritoides</i> Seaweeds <sup>2</sup>	160	193	31	556	309	1481	93	1481	309	1481	31	2984	710	
	1	B	2,20 m.	<i>Cathamalus depressus</i> <i>Melaraphe neritoides</i>	950	711	31	2984	754	437	93	1481	309	1481	31	2984	710	
	1	C	21,10 m.	<i>Melaraphe neritoides</i>														
Notes 1 : Biological zone width. Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE																		
SEASON	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE <sup>1</sup>	SPECIES	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM		
SUMMER 1999	1	A	2,00 m.	<i>Patella</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulids</i> <i>Lepidochitona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Cathamalus depressus</i> <i>Melaraphe neritoides</i> Seaweeds <sup>2</sup>	700	943	31	2500	1729	1081	957	2500	325	22	309	340	31	2500
	1	B	2,20 m.	<i>Cathamalus depressus</i> <i>Melaraphe neritoides</i>	1867	1011	309	3333	3241	131	3148	3333	1534	494	1080	2068	309	1867
	1	C	21,10 m.	<i>Melaraphe neritoides</i>	540	859	31	3549	93	124	31	278	469	535	31	1111	683	1023
Notes 1 : Biological zone width. Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE																		
SEASON	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE <sup>1</sup>	SPECIES	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM		
SUMMER 1999	1	A	2,00 m.	<i>Patella</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulids</i> <i>Lepidochitona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Cathamalus depressus</i> <i>Melaraphe neritoides</i> Seaweeds <sup>2</sup>	459	398	31	132	327	292	37	988	93	43	62	123	724	554
	1	B	2,20 m.	<i>Cathamalus depressus</i> <i>Melaraphe neritoides</i>														
	1	C	21,10 m.	<i>Melaraphe neritoides</i>														
Notes 1 : Biological zone width. Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE																		
SEASON	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE <sup>1</sup>	SPECIES	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM		
AUTUMN 1999	1	A	2,00 m.	<i>Patella</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulids</i> <i>Lepidochitona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Cathamalus depressus</i> <i>Melaraphe neritoides</i> Seaweeds <sup>2</sup>	347	340	31	1420	256	117	93	432	242	121	31	401	646	493
	1	B	2,20 m.	<i>Cathamalus depressus</i> <i>Melaraphe neritoides</i>														
	1	C	21,10 m.	<i>Melaraphe neritoides</i>														
Notes 1 : Biological zone width. Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE																		

CM transect 1

FAUNAL ABUNDANCE		METHOD USED : COUNTING		TOTAL IND / m <sup>2</sup>		BS IND / m <sup>2</sup>		VF IND / m <sup>2</sup>		BP IND / m <sup>2</sup>		C IND / m <sup>2</sup>		
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE <sup>1</sup>	SPECIES	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD
SEASON : WINTER 1999														
SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m														
CM	2	A	2,00 m.	<i>Pateia</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulids</i> sp. <i>Lepidochitona corrugata</i> <i>Melospirax</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melastrophe neritoides</i> Seaweeds <sup>2</sup>	174	150	31	453						
CM	2	B	2,20 m.	<i>Chthamalus depressus</i> <i>Melastrophe neritoides</i>	752	785	31	2654	613	616	123	1914	691	507
CM	2	C	21,10 m.	<i>Melastrophe neritoides</i>										2654
Note 1 : Biological zone width. Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE														
SEASON : SPRING 1999														
SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m														
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE <sup>1</sup>	SPECIES	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD
CM	2	A	2,00 m.	<i>Pateia</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulids</i> sp. <i>Lepidochitona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melastrophe neritoides</i> Seaweeds <sup>2</sup>	174	150	31	453						
CM	2	B	2,20 m.	<i>Chthamalus depressus</i> <i>Melastrophe neritoides</i>	154	#	#	#	1327	154	1327			
CM	2	C	21,10 m.	<i>Melastrophe neritoides</i>	871	763	31	2191	1327	417	926	1759		
CM	2	C	21,10 m.	<i>Melastrophe neritoides</i>	205	248	31	958	47	22	31	62	123	#
Note 1 : Biological zone width. Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE														
SEASON : SUMMER 1999														
SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m														
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE <sup>1</sup>	SPECIES	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD
CM	2	A	2,00 m.	<i>Pateia</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulids</i> sp. <i>Lepidochitona corrugata</i> <i>Mytilus edulis</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melastrophe neritoides</i> Seaweeds <sup>2</sup>	580	906	31	5339	198	194	31	556	647	453
CM	2	B	2,20 m.	<i>Chthamalus depressus</i> <i>Melastrophe neritoides</i>										
CM	2	C	21,10 m.	<i>Melastrophe neritoides</i>										5339
CM	2	C	21,10 m.	<i>Melastrophe neritoides</i>										1147
Note 1 : Biological zone width. Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE														
SEASON : AUTUMN 1999														
SELECTED SQUARE : 0.2 x 0.2 m														
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE <sup>1</sup>	SPECIES	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD
CM	2	A	2,00 m.	<i>Pateia</i> sp. <i>Monodonta turbinata</i> <i>Serpulids</i> sp. <i>Lepidochitona corrugata</i> <i>Melospirax</i> <i>Chthamalus depressus</i> <i>Melastrophe neritoides</i> Seaweeds <sup>2</sup>	302	287	31	1574	273	208	31	679	173	161
CM	2	B	2,20 m.	<i>Chthamalus depressus</i> <i>Melastrophe neritoides</i>										
CM	2	C	21,10 m.	<i>Melastrophe neritoides</i>										1574
CM	2	C	21,10 m.	<i>Melastrophe neritoides</i>										31
Note 1 : Biological zone width. Notes 2 : Seaweeds are expressed in % of cover BS: BARE SURFACE, VF: VERTICAL FACE, BP: BASIN POOL, C: CREVICE														



FAUNAL ABUNDANCE		SEASON : WINTER 1989		SELECTED SQUARE : 0,2 x 0,2 m		METHOD USED : COUNTING		TOTAL Ind / m <sup>2</sup>		BS Ind / m <sup>2</sup>		VF Ind / m <sup>2</sup>		BP Ind / m <sup>2</sup>		C Ind / m <sup>2</sup>								
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE	SPECIES	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM				
PF	2	A	0,20 m	<i>Pateula</i> sp.	817	436	340	1790																
				<i>Morondonia turbinata</i>	753	621	62	1790																
				<i>Serpulidae</i> sp.	731	437	31	895																
				<i>Lepidochitona corrugata</i>	545	445	31	895																
				<i>Mytilus edulis</i>	278	#	#	#	278	#	#	#												
				<i>Cathamalus depressus</i>	93	#	#	#	93	#	#	#												
				<i>Melastrophe neritoides</i>																				
				Seaweeds <sup>2</sup>																				
PF	2	B	7,30 m	<i>Cathamalus depressus</i>	672	489	31	1790	721	501	31	1790	886	550	309	1790	731	437	463	1235	648	262	340	895
				<i>Melastrophe neritoides</i>																				
				<i>Melastrophe neritoides</i>																				
Note 1 : Biological zone width. Note 2 : Seaweeds are expressed in % of cover. BS : BARE SURFACE, VF : VERTICAL FACE, BP : BASIN POOL, C : CREVICE SEASON : SPRING 1999																								
FAUNAL ABUNDANCE		SEASON : SLIMMER 1989		SELECTED SQUARE : 0,2 x 0,2 m		METHOD USED : COUNTING		TOTAL Ind / m <sup>2</sup>		BS Ind / m <sup>2</sup>		VF Ind / m <sup>2</sup>		BP Ind / m <sup>2</sup>		C Ind / m <sup>2</sup>								
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE	SPECIES	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM				
PF	2	A	0,20 m	<i>Pateula</i> sp.	643	486	93	1790																
				<i>Morondonia turbinata</i>	175	177	17	1790																
				<i>Serpulidae</i> sp.	731	437	463	1235																
				<i>Lepidochitona corrugata</i>	803	131	710	895																
				<i>Mytilus edulis</i>	247	#	#	#	479	327	247	710												
				<i>Cathamalus depressus</i>	479	327	247	710																
				<i>Melastrophe neritoides</i>																				
				Seaweeds <sup>2</sup>	25	#	#	#																
PF	2	B	7,30 m	<i>Cathamalus depressus</i>	358	289	31	895	750	462	31	1790	895	540	340	1790	731	437	463	1235	340	321	62	895
				<i>Melastrophe neritoides</i>																				
				<i>Melastrophe neritoides</i>																				
Note 1 : Biological zone width. Note 2 : Seaweeds are expressed in % of cover. SEASON : SLIMMER 1989																								
FAUNAL ABUNDANCE		SEASON : AUTUMN 1989		SELECTED SQUARE : 0,2 x 0,2 m		METHOD USED : COUNTING		TOTAL Ind / m <sup>2</sup>		BS Ind / m <sup>2</sup>		VF Ind / m <sup>2</sup>		BP Ind / m <sup>2</sup>		C Ind / m <sup>2</sup>								
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE	SPECIES	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM				
PF	2	A	0,20 m	<i>Pateula</i> sp.	682	435	62	1790																
				<i>Morondonia turbinata</i>	504	393	185	1235																
				<i>Serpulidae</i> sp.	568	393	185	1235																
				<i>Lepidochitona corrugata</i>	440	426	62	895																
				<i>Mytilus edulis</i>	83	18	62	83	83	18	62	83												
				<i>Cathamalus depressus</i>	5	2	2	5																
				<i>Melastrophe neritoides</i>																				
				Seaweeds <sup>2</sup>	31	#	#	#	31	#	#	#	31	#	#	#								
PF	2	B	7,30 m	<i>Cathamalus depressus</i>	213	196	31	617	154	#	#	617	226	219	31	617								
				<i>Melastrophe neritoides</i>																				
				<i>Melastrophe neritoides</i>																				
Note 1 : Biological zone width. Note 2 : Seaweeds are expressed in % of cover. SEASON : AUTUMN 1989																								
FAUNAL ABUNDANCE		SEASON : WINTER 1989		SELECTED SQUARE : 0,2 x 0,2 m		METHOD USED : COUNTING		TOTAL Ind / m <sup>2</sup>		BS Ind / m <sup>2</sup>		VF Ind / m <sup>2</sup>		BP Ind / m <sup>2</sup>		C Ind / m <sup>2</sup>								
SITE	PROFILE	ZONE	DISTANCE RANGE	SPECIES	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	SD	MINIMUM	MAXIMUM				
PF	2	A	0,20 m	<i>Pateula</i> sp.	817	436	340	1790																
				<i>Morondonia turbinata</i>	753	621	62	1790																
				<i>Serpulidae</i> sp.	731	437	31	895																
				<i>Lepidochitona corrugata</i>	545	445	31	895																
				<i>Mytilus edulis</i>	278	#	#	#	278	#	#	#												
				<i>Cathamalus depressus</i>	93	#	#	#	93	#	#	#												
				<i>Melastrophe neritoides</i>																				
				Seaweeds <sup>2</sup>																				
PF	2	B	7,30 m	<i>Cathamalus depressus</i>	672	489	31	1790	721	501	31	1790	886	550	309	1790	731	437	463	1235	648	262	340	895
				<i>Melastrophe neritoides</i>																				
				<i>Melastrophe neritoides</i>																				
Note 1 : Biological zone width. Note 2 : Seaweeds are expressed in % of cover. SEASON : WINTER 1989																								