

## IX. MORFOLOGIES EXOCÀRSTIQUES

A. GINÉS

GINÉS, A. 1993. "Morfologies exocàrstiques", in ALCOVER, J.A., BALLESTEROS, E. & FORNÓS, J.J. (Eds.), *Història Natural de l'Arxipèlag de Cabrera*, CSIC-Edit.Moll, Mon.Soc.Hist.Nat.Balears 2: 153-160. Es presenta una visió general de l'exocarst de les illes de Cabrera. Les formes de *lapiaz* estan representades per morfologies produïdes per diferents processos, encara que hi predominen les formes de *lapiaz* subedàfic i les costaneres. Els tipus de *lapiaz* relacionats amb l'escorrentia de l'aigua de pluja són molt rars, probablement com a conseqüència de l'aridesa del clima. Els processos biocàrstics tenen certa importància tant a l'interior, a causa del poblament líquènic, com a la costa, on els organismes litorals afavoreixen l'erosió de la roca calcària.

EXOKARSTIC MORPHOLOGIES. Here is presented an overview on the main exokarst features of Cabrera Islands. As regards the karren landforms produced by different solutional mechanisms the subsoil and the coastal types are by far the most common. The scarcity of some runoff-controlled karren types can be explained as a result of arid climatic conditions. On the other hand, biokarstic processes seem to be important both inland and on the coast; the former by means of lichen weathering and the latter due to erosional activity from littoral organisms.

### CARACTERÍSTIQUES GENERALS DE L'EXOCARST DE CABRERA

Les illes de l'arxipèlag de Cabrera estan constituïdes en la seva major part per roques carbonatades i mostren, especialment en tota la seva costa, nombroses evidències de processos de carstificació. Les descripcions i topografies de diverses cavitats càrstiques han aparegut publicades a MONTORIOL-POUS (1961, 1971, 1972) i TRIAS (1974) i algunes d'elles han estat objecte d'estudis micropaleontològics (MATEU et al., 1979) i bioespeleològics (JAUME, 1990). Malgrat tot, les morfologies exocàrstiques són escasses i poc espectaculars a l'arxipèlag de Cabrera, tal i com ha estat indicat en anteriors publicacions per MONTORIOL-POUS (1961) i GINÉS & GINÉS (1989).

L'absència de dolines i altres depressions càrstiques és quasi total, però les formes de *lapiaz* estan representades en totes les illes i illots, encara que no destaquen en cap d'elles per la seva importància. Els tipus de morfologies de *lapiaz* més amplament distribuïts a Cabrera són els generats davall la cobertora



Fig. 1. Aspecte que presenta un aflorament de *criptolapiaz*, de superfícies llises i arrodonides, en el Puig de Na Picamosques.

edàfica (*criptolapiaz*) i els que estan associats amb la zona litoral (*lapiaz costaner*). Altres formes de *lapiaz* relacionades amb l'impacte i la circulació de l'aigua de pluja sobre la superfície de la roca (*estries i canals de lapiaz*) mostren un desenvolupament mínim i una distribució irregular, tal i com succeeix en el Puig de Na Picamosques.

Encara que localment hi ha amples extensions de roca esculpides pel *lapiaz*, les dimensions d'aquestes morfologies són modestes i no arriben en cap cas a destacar dins del conjunt del paisatge; a diferència d'allò que passa a la Serra de Tramuntana de Mallorca, en la qual els camps de *lapiaz* constitueixen un component fonamental del relleu. El modelat exocàrstic de Cabrera és, per tant, discret i sempre sembla quedar a un segon nivell en relació al modelat convencional dels vessants, on el control geomorfològic és degut a una xarxa hidrogràfica ben articulada.

Difícilment es pot magnificar la importància de l'exocarst de Cabrera, ja que no hi ha conjunts de dolines, ni camps de *lapiaz* intransitables, ni torrents abruptes, ni terrenys suficientment escarpats com per a interrompre la continuïtat dels suaus turons i tàlvegs que caracteritzen el paisatge de les principals illes de l'arxipèlag. Només la costa presenta penya-segats notables, com a resultat de l'erosió costanera sobre un material calcari relativament competent.

Els principals factors que condicionen el limitat desenvolupament de l'exocarst a Cabrera són la litologia, el clima i el context edafogenètic. Probablement ni la litologia ni el clima són òptims per al creixement de les principals morfologies de *lapiaz*. Però tampoc no sembla que la considerable continuïtat de la cobertura edàfica, tal i com s'observa a l'interior de l'illa major, hagi permès una llarga exposició a la intempèrie d'amples extensions calcàries capaç d'imprimir sobre la roca els tipus de *lapiaz* més representatius.

Quant a la litologia, si bé és cert que hi abunden els materials calcaris, molts d'ells són margocalcàries i dolomies que es meteoritzen amb facilitat, però que no afavoreixen el desenvolupament d'aquestes formes exocàrstiques. Les calcàries apareixen només en petits afloraments i estan fortament tectonitzades,





Fig. 2. Agulles de *lapiaz* sobresortint entre restes de sòl, a hores d'ara retirades per l'erosió dels vessants, al cim de Na Picamosques.

presentant un intens grau de fracturació. La dinàmica de vessants sembla imposar-se per sobre d'un substrat d'aquestes característiques.

Pel que fa referència al clima, és evident que, essent escassa la quantitat de precipitacions durant l'any, la roca resta poc temps en contacte amb l'aigua de pluja i per això la taxa de dissolució anual de roca calcària ha de ser necessàriament molt reduïda. L'ambient àrid i xèric no impedeix, malgrat tot, la colonització de la superfície rocosa per comunitats líquèniques, que potser constitueixen el principal control de l'erosió en el nivell de la interfàcies roca-aire.

L'evolució de la cobertura edàfica és fonamental per a comprendre la dinàmica dels vessants i el desenvolupament del *criptolapiaz* (és a dir, de les morfologies de *lapiaz* generades per dissolució en la interfàcies sòl-roca). Estudis recents han suggerit la possibilitat de reconèixer processos de deforestació i de pèrdua de sòl, mitjançant l'anàlisi de les morfologies relictas del *criptolapiaz* que queden al descobert després de la degradació de la cobertura vegetal (JAKUCS, 1977; GINÉS, 1990 i 1991). En el cas de l'illa de Cabrera el predomini de les formes de *criptolapiaz* és manifest. Probablement les principals causes d'aquest fet siguin l'elevada taxa de formació de sòl, a causa de l'abundància de materials margocalcaris, i una pèrdua de sòl moderada com a conseqüència de crisis ambientals encara recents.

## LES FORMES DE *LAPIAZ* EN L'EXOCARST DE CABRERA

Segurament la primera referència bibliogràfica que menciona el *lapiaz* de Cabrera correspon a DE BUEN (1905), que indica la presència de diverses morfologies de corrosió de les calcàries en les muntanyes de l'illa major.

La diversitat tipològica de les morfologies de *lapiaz* és molt gran i planteja seriosos problemes quan hom pretén realitzar-ne una classificació sistemàtica. Les majors dificultats apareixen en intentar integrar la morfometria i la morfogènesi de cada tipus, ja que són nombroses les formes de transició i, endemés, els

processos que intervenen en l'origen de moltes microformes són poc coneguts. En el present treball s'han seguit, en allò substancial, les classificacions del *lapiaz* elaborades per BÖGLI (1980), JENNINGS (1985) i FORD & WILLIAMS (1989), encara que s'han introduït alguns criteris personals, tant en la transcripció dels tipus com en la traducció dels termes (GINÉS, 1990).

En la major part de l'illa de Cabrera s'observa un clar predomini de les morfologies de *criptolapiaz* ("covered karren" de BÖGLI, 1980; "subsoil karren" de FORD et al., 1988), generades per corrosió química subedàfica. Es tracta de superfícies d'aspecte arrodonit (Fig. 1) i tacte suau, així com de tubs, buits i forats que presenten una geometria complexa, certament difícil de descriure. Freqüentment, encara que no sempre, aquestes formes de corrosió s'ajusten a les principals línies de fracturació. De qualsevol manera, les morfologies de *criptolapiaz* es distingeixen fàcilment de les morfologies de *lapiaz* subaeri ("free karren" de BÖGLI, 1980), ja que aquestes darreres mostren superfícies aspres i alguns cops tallants i tot. Els mecanismes de dissolució que actuen en ambdós casos són també molt diferents: mentre en el *lapiaz* subaeri l'aigua equilibra el seu contingut en diòxid de carboni amb l'aire atmosfèric i resta poc temps sobre la roca, en el *criptolapiaz* l'aigua del sòl queda retinguda molt de temps en contacte amb les altes concentracions de diòxid de carboni que caracteritzen l'aire edàfic.

Els afloraments de *criptolapiaz* conserven generalment vestigis de sòl entre els sortints de roca que queden al descobert (Fig. 2). En realitat són el resultat d'una seqüència de processos en els quals, a mesura que les partícules de sòl més fines van essent arrossegades per l'erosió dels vessants, les roques conformades sota el sòl emergeixen a la superfície del terreny i són retocades per noves microformes de *lapiaz* subaeri. Això es pot observar amb facilitat en les extensions de *lapiaz* del Puig de Na Picamosques, si bé és una constant que es repeteix a la majoria de les localitats. Allò més destacable del *criptolapiaz* de Cabrera és el marcat predomini que presenta dins del conjunt del paisatge exocàrstic de l'illa. Això pot estar relacionat amb l'excessiva aridesa del clima, que inhibeix la ràpida sobreimposició de morfologies de *lapiaz* subaeri i permet la persistència del *criptolapiaz* llarg temps després que el sòl hagi desaparegut. Però també és possible que la degradació de la cobertura vegetal sigui relativament recent a Cabrera, si se la compara amb la llarga actuació humana en l'illa de Mallorca.

Les morfologies de *lapiaz* lliure o subaeri ("free karren" de BÖGLI, 1980) són poc abundants i presenten una distribució discontinua, certament deguda a la escassetat de les precipitacions. També per aquesta causa predominen les formes de corrosió (en el sentit que dona WHITE 1988; a les quals denomina "etched forms") sobre les formes hidràuliques ("hydraulic forms" del mateix autor). Les cubetes ("kamenice") són molt rares i falten els canals estriats ("regenrinnenkarren"), els esglaons ("trittkarren"), les ondulacions ("wave karren"), les concavitats ("cockling patterns") i els grans canals de paret ("wandkarren"). Tan sols s'han pogut observar uns pocs petits canals ("rinnenkarren"), la majoria dels quals semblen haver-se format principalment sota sòl. Un poc més comú és, en les carenes de les muntanyes, el *lapiaz* de diàclasi ("kluftkarren"). Tot sembla indicar que la dissolució per flux d'aigua, ja sigui en làmina o canalitzat, és mínima en quasi totes les localitats prospeccionades.

Les estries de *lapiaz* ("rillenkarren") (Fig. 3), formades en el moment de l'impacte de les gotes de pluja, són poc freqüents. No obstant això, s'han pogut estudiar sis localitats amb estries: 1. camí cap a Na Picamosques; 2. cim de Na Picamosques; 3. camí de L'Olla; 4. camí que puja des de Can Feliu fins a l'Observatori; 5. Serra de sa Font, i 6. Ses Rotes, en els vessants que dominen el Port de Cabrera. Les dades morfomètriques obtingudes permeten comparar-les amb les nombroses localitats d'estries de *lapiaz* estudiades a la Serra de Tramuntana de Mallorca. La longitud màxima observada és de 16 cm i l'amplada oscil·la al voltant del valor mitjà de 20 mm. Es tracta d'estries curtes, però relativament amples. Estries més curtes del normal són també comunes a les localitats de la Serra de Tramuntana on no s'arriba als 800 mm de precipitació anual (Camp de Mar, Formentor, etc.), cosa que suggereix certa relació amb l'aridesa del clima. Les mesures d'amplada, realitzades per Lluís A. Fiol a la localitat de Ses Rotes, donen valors molt propers als d'una localitat de Lluc situada davall de dosser arbori, diferenciant-se netament de les altres localitats estudiades a GINÉS (1990) (Taula 1). És possible que les estries de *lapiaz* de l'illa de Cabrera mostrin valors d'amplada superiors al normal per haver-se format davall d'un dosser de vegetació més o menys degradat.

Molt més abundants que el *lapiaz* format per l'acció dissolvent de l'aigua de pluja són, en totes les illes de l'arxipèlag de Cabrera, les formes de *lapiaz* costaner. Es bastant considerable l'extensió de roques carbonatades que està sotmesa a la influència marina, especialment en una línia de costa tan complexa i retallada com la que presenten aquestes illes. Una prospecció sistemàtica de les seves morfologies de corrosió litoral requeriria un llarg treball de camp, que encara està per fer. La gran varietat de formes resultants està descrita a SWEETING (1972), TRUDGILL (1985) i FORD & WILLIAMS (1989): forats, pouets, concavitats rugoses, cubetes, entalladures horitzontals, pinacles, canals irregulars, entre d'altres. Les microformes característiques d'aquests ambients càrstic-costaners han estat atribuïdes a l'acció dissolvent i abrasiva de l'onatge i a la meteorització, però TRUDGILL (1985) les qualifica de *bioerosió* basant-se en els seus propis estudis i en els d'altres autors, els quals han demostrat la intensa acció erosiva dels organismes litorals i la zonació de microtopografies que aquests provoquen.

Els esquitxos i pulveritzacions de l'aigua de mar intervenen, terra endins, en la formació de certes microformes de *lapiaz* que estan encara poc estudiades. Entre elles s'han de destacar els canalicles (descrits com a "*microrills*" per FORD & LUNDBERG, 1987), que han estat trobats a l'istme de Punta de N'Ensiola i a l'illa des Conills (Fig. 4). Es tracta d'uns canalets fins, inferiors al mil·límetre d'amplada, que mostren trajectes rectilinis o sinuosos. Poden formar-se lluny de la costa, però les dades obtingudes a Mallorca i Cabrera semblen suggerir que les condicions de proximitat a la mar afavoreixen el seu desenvolupament.

De nou a l'interior, les observacions efectuades sobre el terreny permeten comprovar que, a semblança del que passa a les zones més àrides de la serra de Tramuntana de Mallorca, les superfícies de les roques calcàries estan ben colonitzades per líquens. Es tracta d'espècies característiques d'ambients xèrics, que arriben a ocupar cobertores quasi totals. Sembla com si la taxa de colonització líquènica fos capaç de superar la taxa d'ablació càrstica superficial atribuïble





Fig. 3. Estries de *lapiaz*, d'escassa longitud, en les crestes calcàries que dominen el Caló des Coll Roig.

a l'aigua d'origen atmosfèric. Això explicaria per què és tan freqüent a Cabrera la presència de morfologies de *criptolapiaz* ben poblades de líquens, però que amb prou feines es veuen retocades prèviament per les típiques formes de *lapiaz* subaeri.

GINÉS (1990) suggereix que, en condicions de escassetesa de precipitacions, es pot produir un tipus particular de biocarst xèric similar al que s'observa en la Serra de Na Burguesa (Mallorca). La cobertura líquènica podria actuar en localitats de clima àrid com el principal control dels processos de meteorització a nivell de la superfície rocosa, per la qual cosa el terme *biocarst* seria en aquest cas perfectament adequat (VILES, 1984).

En resum, el més destacable de l'exocarst de Cabrera són les seves morfologies de *lapiaz* (DE BUEN, 1905; MONTORIOL-POUS, 1961; GINÉS & GINÉS, 1989). Entre elles predomina l'herència d'abundant *criptolapiaz* relict, on la seva interpretació exigiria un major coneixement de les taxes d'edafogènesi i de pèrdua de sòl per erosió, tant en el passat més recent com en les circumstàncies actuals. Eventualment les roques calcàries, una vegada desprovistes de la cobertura edàfica, poden quedar sotmeses a la sobreimposició de formes de *lapiaz* subaeri, les quals semblen desenvolupar-se amb poca intensitat a causa de les exigües precipitacions anuals que s'enregistren a les illes de l'arxipèlag de Cabrera. Major importància arriben a tenir els fenòmens biocàrstics: en l'interior, mitjançant la colonització per líquens xèrics, i a la vora de la mar, on el *lapiaz* costaner (principalment d'origen biocàrstic) està ben representat.

Fig. 4. Canalicles rectilinis de considerable longitud en un aflorament costaner de l'Illa des Conills (foto Joan J. Fornós).



Taula 1. Comparació entre les mesures d'amplada d'estries de *lapiaz* ("rillenkarren") de cinc localitats mallorquines i les d'una localitat de l'illa de Cabrera: SRO, Ses Rotes (Cabrera); QLL, Manut (Escorca) davall de dosser arbori d'alzines; SCA (Selva) camp de lapiaz sense dosser vegetal, igual que les tres localitats següents; CMU (Escorca); SO2 (Alaró) i ORT (Andratx).

ampl./cm	SRO	QLL	SCA	CMU	SO2	ORT
0,0	0	0	0	0	0	0
0,2	0	0	0	0	0	0
0,4	0	0	0	0	0	0
0,6	0	0	0	2	0	0
0,8	0	0	2	2	1	4
1,0	0	0	11	6	16	5
1,2	1	1	22	17	11	15
1,4	6	5	13	17	17	19
1,6	5	2	24	29	27	26
1,8	7	2	15	7	6	12
2,0	8	2	11	6	18	10
2,2	1	9	12	7	0	4
2,4	5	4	5	2	0	3
2,6	5	4	4	3	3	2
2,8	3	1	0	0	0	0
3,0	3	3	0	1	1	0
3,2	1	5	0	0	0	0
3,4	1	0	0	0	0	0
3,6	1	1	0	1	0	0
3,8	1	0	0	0	0	0
4,0	0	1	0	0	0	0
4,2	2	0	0	0	0	0
4,4	0	0	0	0	0	0
4,6	0	0	1	0	0	0
4,8	0	0	0	0	0	0
5,0	0	0	0	0	0	0
	n=50	n=40	n=120	n=100	n=100	n=100
	X=2,22	X=2,32	X=1,60	X=1,53	X=1,50	X=1,52
	sd=0,73	sd=0,67	sd=0,51	sd=0,48	sd=0,40	sd=0,38

## BIBLIOGRAFIA

- BÖGLI, A. 1980. *Karst hydrology and physical speleology*. Springer Verlag. Berlín. 284 pp.
- DE BUEN, O. 1905. *Excursiones por Mallorca, indicaciones generales*. Imprenta de Pedro Toll. Valencia. 39 pp.
- FORD, D.C. & LUNDBERG, J.A. 1987. "A review of dissolutional rills in limestone and other soluble rocks". *Catena, Suppl.*, 8: 119-140.
- FORD, D.C., PALMER, A.N. & WHITE, W.B. 1988. "Landform development; Karst". In: *The Geology of North America, Vol. O-2, hydrogeology*. (BACK, W., ROSENSHEIN, J.S. & SEABER, P.R. eds.): 401-412. Geological Society of America. Boulder.
- FORD, D.C. & WILLIAMS, P.W. 1989. *Karst geomorphology and hydrology*. Unwin Hyman. Londres. 601 pp.
- GINÉS, A. 1990. "Utilización de las morfologías de lapiaz como geoindicadores ecológicos en la Serra de Tramuntana (Mallorca)". *Endins*, 16: 27-39.
- GINÉS, A. 1991. "Procesos de deforestación y desarrollo del lapiaz". In: *Libro de resúmenes, X Bienal de la Real Soc. Española de Hist. Nat.* Palma
- GINÉS, J. & GINÉS, A. 1989. "El karst en las Islas Baleares". In: DURÁN, J.J. & LÓPEZ, J. (eds.): *El karst en España*. 163-174. Sociedad Española de Geomorfología, monografía nº 4. Madrid.
- JAKUCS, L. 1977. *Morphogenetics of karst regions, variants of karst evolution*. Akadémiai Kiadó. Budapest. 284 pp.
- JAUME, D. 1990. "Estigofauna de les petites illes del Sud de Mallorca: Cabrera i Dragonera". *Endins*, 16: 41-46.
- JENNINGS, J.N. 1985. *Karst geomorphology*. Basil Blackwell. Oxford. 293 pp.
- MATEU, G., COLOM, G. & CUERDA, J. 1979. "Los foraminíferos plio-pleistocénicos de la isla de Cabrera (Baleares) y las condiciones paleoecológicas del antiguo mar balear". *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 23: 51-68.
- MONTORIOL-POUS, J. 1961. "El karst de la isla de Cabrera". *Speleon*, 12: 5-34.
- MONTORIOL-POUS, J. 1971. "Nota sobre la génesis de la Foradada (Conejera, Baleares)". *Karst*, 28: 17-19.
- MONTORIOL-POUS, J. 1972. "Estudio de una captura kárstico-marina en la isla de Cabrera". *Acta Geológica Hispánica*, 4: 89-91.
- SWEETING, M.M. 1972. *Karst landforms*. Macmillan. Londres. 362 pp.
- TRIAS, M. 1974. "Una campanya a les illes de Cabrera". *Endins*, 1: 33-40.
- TRUDGILL, S. 1985. *Limestone geomorphology*. Longman. Londres. 196 pp.
- VILES, H.A. 1984. "Biokarst: review and prospect". *Progress in physical geography*, 8(4): 523-542.
- WHITE, W.B. 1988. *Geomorphology and hydrology of karst terrains*. Oxford University Press. Oxford. 464 pp.