

LES FORMES EXOCÀRSTIQUES DE L'ILLA DE MALLORCA

THE EXOKARSTIC LANDFORMS OF MALLORCA ISLAND

Àngel GINÉS^{1 2} & Joaquín GINÉS^{1 3}

Resum

Les morfologies exocàrstiques estan molt ben representades en l'illa de Mallorca a causa de la dominància d'afloraments de roques calcàries. Són remarcables per la seva extensió i diversitat morfològica diferents tipologies de lapiaz, les quals es desenvolupen sobre àmplies extensions de terreny on arriben a formar, en ocasions, camps de lapiaz gairebé intransitables. Les dolines no són massa abundants, però algunes grans depressions càrstiques destaquen en el modelat de determinades àrees. Cal destacar la presència de notables canyons càrstics que solquen el sector septentrional de la Serra de Tramuntana, així com la plataforma costanera de la regió del Migjorn. Sense cap dubte, les morfologies exocàrstiques constitueixen per la seva espectacularitat i varietat un dels principals components del paisatge mallorquí.

Abstract

Exokarstic features are well-represented all through the island of Mallorca due to the dominance of limestone outcrops. Different types of karren are remarkable for their extension and morphological diversity, and they are present over wide terrains where karren spikes form almost impassable karrenfields. Dolines are not very abundant, but some huge karstic depressions stand out in the modelling of some areas. Spectacular karstic gorges furrow both the northern sector of Serra de Tramuntana and the coastal platform of Migjorn region. Exokarstic features are undoubtedly one of the main components of the Majorcan landscape.

Introducció

L'illa de Mallorca, així com les seves petites illes veïnes de sa Dragonera i el subarxipèlag de Cabrera, es caracteritza per una geomorfologia càrstica diversificada i abundant. Les formes càrstiques, tant subterrànies com superficials, constitueixen sens dubte un dels aspectes més característics de tot el conjunt geogràfic mallorquí.

En particular, el paisatge d'extensos sectors de Mallorca, especialment a la Serra de Tramuntana,

Introduction

The island of Mallorca together with its small surrounding isles of Sa Dragonera and the subarchipelago of Cabrera, are characterized by a diversified and abundant karstic geomorphology. The karstic features, both the subterranean and the superficial ones, certainly constitute one of the most characteristic aspects of the Majorcan geographical context.

In particular, the landscape of extensive areas of Mallorca, especially in Serra de Tramuntana, constitutes an exceptional range of exokarstic morphologies (Figure 1). In consequence, since the last century there have been plenty of bibliographical references that stress the relevance of karstic

1 Grup Espeleològic EST. Palma de Mallorca.

2 Museu Balear de Ciències Naturals. Ctra Palma - Port de Sóller km 30. E-07100 Sóller (Mallorca).

3 Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. Ctra de Valldemossa km 7,5. E-07071 Palma de Mallorca.

constitueix un excepcional repertori de morfologies exocàrstiques (Figura 1). Per això han estat nombroses les referències bibliogràfiques que des del segle passat destaquen la importància del modelat càrstic al sector central de la Serra (LOZANO, 1884; FALLOT, 1922; WINKLER, 1926; DARDER, 1930). Però fins i tot a les àrees on el modelat superficial no és tan espectacular, s'hi poden trobar interessants fenòmens exocàrstics.

landforms presence in the central zone of the Serra (LOZANO, 1884; FALLOT, 1922; WINKLER, 1926; DARDER, 1930). But even in those areas where the superficial shaping is not so spectacular, there can be found interesting exokarstic phenomena.

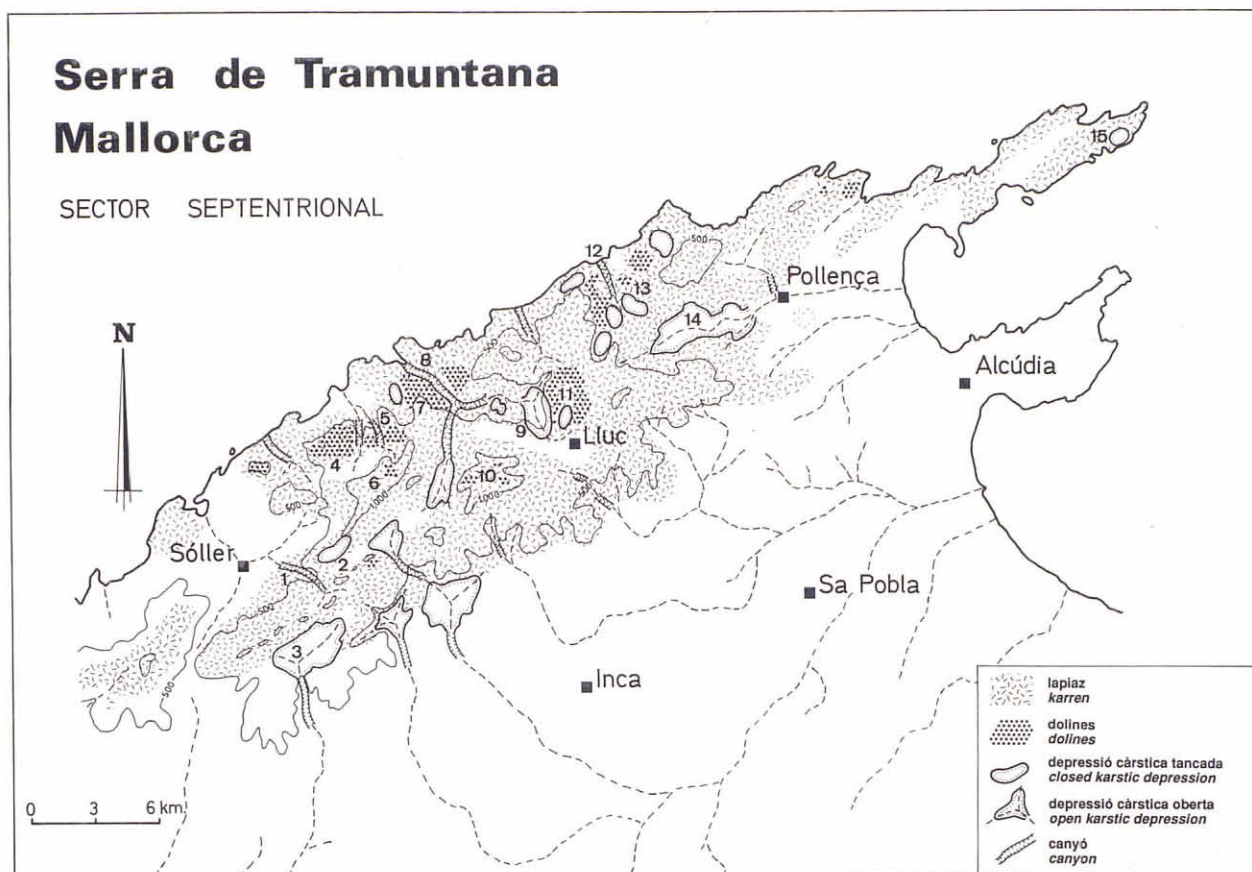


Figura 1: Cartografia esquemàtica del modelat exocàrstic en el sector septentrional de la Serra de Tramuntana. 1: Barranc de Biniaraix. 2: Coma de Son Torrella. 3: Vall d'Orient. 4: s'Esquetjar de Moncaire. 5: es Clots Carbons. 6: Puig Major. 7: es Castellots. 8: Torrent de Pareis. 9: Clot d'Albarca. 10: Puig de Massanella. 11: Terra de ses Olles / es Pixarells. 12: Torrent Fondo de Mortitx. 13: Coma de Mortitx. 14: Vall d'en Marc. 15: Pla de les Basses.

Figure 1: Simplified map of exokarstic landforms from northern area of Serra de Tramuntana mountain range. 1: Barranc de Biniaraix. 2: Coma de Son Torrella. 3: Vall d'Orient. 4: s'Esquetjar de Moncaire. 5: es Clots Carbons. 6: Puig Major. 7: es Castellots. 8: Torrent de Pareis. 9: Clot d'Albarca. 10: Puig de Massanella. 11: Terra de ses Olles / es Pixarells. 12: Torrent Fondo de Mortitx. 13: Coma de Mortitx. 14: Vall d'en Marc. 15: Pla de les Basses.

Condicionants litològics i evolució de l'exocarst

Les alineacions muntanyoses mallorquines, que constitueixen les Serres de Llevant i la Serra de Tramuntana, estan formades per materials plegats, fonamentalment calcaris i margosos, que abracen des del final del Paleozoic fins al Miocè inferior (Burdigalià). Els materials més ben carstificats són les calcàries massives i bretxes del Lias inferior, així com els conglomerats

Lithological conditionants and evolution of exokarst

The Majorcan mountain ranges, comprising Serres de Llevant and Serra de Tramuntana, are mainly formed by calcareous and marly folded materials, which span from the latter Paleozoic to the Lower Miocene (Burdigalian). Massive limestones and Lower Liasic breccias, as well as conglomerates and calcareous breccias from the Burdigalian,

i bretxes calcàries del Burdigalià. La majoria dels camps de lapiaz i grups de dolines es desenvolupen en aquestes litologies de calcàries micrítiques, resistents i molt pures. Les grans depressions càrstiques ocupen parcialment altres materials carbonatats, detrítics i fins i tot volcànics del Trias, que actuen de vegades com a substrat impermeable a les voreres o al fons de la depressió. Els afloraments de dolomies del Retià (Infralías) presenten alguns interessants exemples d'engolidors, que connecten amb cavitats importants.

Al voltant de les àrees muntanyoses mallorquines es diposità durant el Miocè superior (Tortonian i Messinià) una seqüència de calcàries esculloses, calcarenites i sediments fins associats, que inclouen estructures estromatolítiques. Aquests materials calcaris, inicialment molt porosos, han experimentat una intensa i complicada diagènesi al mateix temps que es carstificaven. Les principals morfologies exocàrstiques que caracteritzen la plataforma miocènica postorogènica consisteixen fonamentalment en criptolapiaz, generat davall sòl, i formes de lapiaz costaner relacionades amb processos de bioerosió.

Meteorització i microlapiaz

Les morfologies càrstiques més petites comprenen una considerable diversitat de microtopografies, originades mitjançant processos corrosius que tenen lloc en contactar la roca amb finíssimes pel·lícules d'aigua i, generalment, sota la intervenció directa o indirecta de microorganismes. A aquesta escala, que implica sempre mides inferiors al centímetre, la dissolució càrstica de la roca calcària és molt activa i es manifesta com un conjunt de formes de microlapiaz, que proporcionen una textura aspra a la superfície rocosa. Les textures i modalitats de corrosió resultants són realment difícils de sistematitzar. En part, això és degut a la necessitat d'utilitzar instruments d'observació microscòpica i, també, a causa del problema taxonòmic que suposa la identificació de molts dels microorganismes que colonitzen la superfície de la roca.

El desenvolupament de microlapiaz és una conseqüència directa dels processos de meteorització específics que afecten la roca calcària. En les condicions climàtiques de Mallorca sembla que les superfícies de microlapiaz més accentuades es produeixen a ambients àrids propers a la línia de costa, així com a aquells llocs on es repeteix periòdicament la formació de rosada. Recentment s'han descrit a Mallorca i Cabrera microformes de lapiaz d'aquesta classe, consistents en canalicles de trajecte sinuós o rectilini i d'una amplària que no sobrepassa els 0,8 mm (GINÉS, 1990a, 1993).

També els ambients que afavoreixen la colonització de molses, líquens, algues, fongs i cianobacteris presenten estructures de microlapiaz característiques. Investigacions en curs estan analitzant el paper

happen to be the best karstified materials. Most of the karrenfields and doline assemblages are developed within these hard and pure micritic limestone rocks. The large karstic depressions partially occupy other carbonated, detritic or even Triassic volcanic materials that sometimes act as an impermeable substratum at the edges or bottom of the depressions. The dolomitic outcrops from the Rhaetian (Infralías) present several interesting examples of swallow holes that are connected to important cavities.

During the Upper Miocene (Tortonian and Messinian) a sequence of reefal limestones, calcarenites and associated sediments, including stromatolitic structures, were settled down around the mountain areas of Mallorca. These calcareous materials, initially very porous, underwent an intense and complex diagenesis while they were being karstified. The main exokarstic features characterizing the post-orogenic Miocene platform are mostly subsoil karren, generated under the edaphic cover, and coastal karren forms related to bioerosion processes.

Weathering and microkarren

The smallest karstic features comprise a greatly diversified assemblage of microtopographies originated by corrosive processes undergone in contact with very thin water films and, generally, under direct or indirect microorganisms action. To this scale, which always involves sizes inferior to 1 centimeter, the karstic dissolution of limestone is highly active and it shows itself as a conjunct of microkarren forms that provide, in general, a coarse texture to the rock surface. The resulting corrosion textures and types are really hard to systematize. This difficult task is due to both the need of microscopic observation instruments and the added taxonomic identification problems inherent to many microorganisms that colonize the rock surface.

The microkarren development is a direct consequence of specific weathering processes that affect the limestone. Under the climatic conditions of Mallorca, it seems that the most outstanding microkarren surfaces are produced in arid environments close to the sea shore, as well as where the dew formation periodically takes place. Recently, some microkarren features of this type have been described from Mallorca and Cabrera, where it comprises meandering lineal microrunnels not wider than 0.8 mm (GINÉS, 1990a, 1993).

The environments favouring the colonization by mosses, lichens, algae, fungi and cyanobacteria show also characteristic structures of microkarren. Some researches in hand are analysing the role of microfungi in reference to the formation of tiny corrosional pits on xeric calcareous surfaces from several localities in Serra de Tramuntana. Likewise,

desenvolupat per microfongs en la formació d'alvèols de corrosió sobre les superfícies calcàries xèriques de varies localitats de la Serra de Tramuntana. Així mateix, FIOL *et al.* (1992), estudiant les morfologies de *rillenkarren* de la Serra, han demostrat que cèl·lules algals de *Chroococcus minutus* col·laboren, mitjançant el desenvolupament de microtopografies biocàrstiques fràgils, en el creixement de les estries de lapiaz.

Les morfologies de lapiaz

El lapiaz o *karren* (Foto 1) és indubtablement la morfologia exocàrstica més ben representada a Mallorca, tant en abundància com en varietat tipològica.

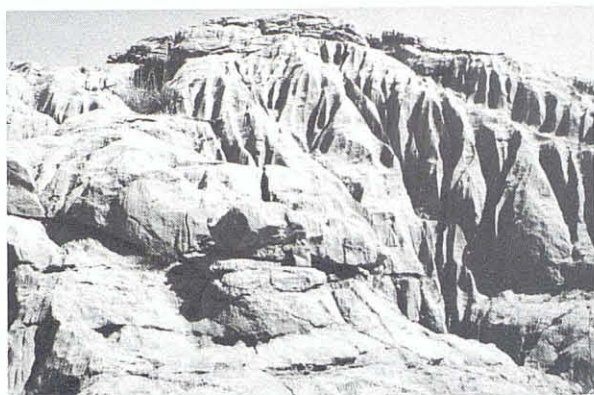


Foto 1: Aspecte d'un camp de lapiaz desenvolupat sobre les calcàries del Lias inferior, en els terrenys des Castellots (Escorca). A la Serra de Tramuntana de Mallorca, les extensions de roques solcades per canals i esclletxes de lapiaz són conegudes amb els noms de "rellar" i "esquetjar" respectivament.

Photo 1: Appearance of a karrenfield on Lower Lias limestones in Es Castellots area (Escorca). In Serra de Tramuntana, those rocky terrains furrowed by karren channels and cracks are known as "rellar" and "esquetjar" respectively.

Comprèn una amplíssima gamma de formes de dissolució, la mida de les quals va des d'1 cm fins a algunes desenes de metres. Les formes més abundants i fàcils de reconèixer tenen aspecte d'estries (Foto 2) i canals (Foto 3), que solquen els flancs de les roques a favor del pendent. Però també hi ha formes amb cavitats irregulars, pouets, cubetes, forats, tubs i superfícies arrodonides. Algunes formes delimiten escalons, ondulacions rítmiques o concavitats més o menys irregulars.

Els mecanismes implicats en la formació del lapiaz per dissolució són complicats i s'interfereixen entre si en condicions naturals. Els principals són: l'impacte directe de l'aigua de pluja, el flux d'aigua col·lectada en solcs sobre la roca, el flux laminar o turbulent de primes làmines d'aigua, l'aigua estanca sobre la roca, l'aigua adherida en fina pel·lícula sobre la superfície rocosa i l'aigua edàfica que contacta lentament amb el substrat durant la infiltració.

*FIOL et al. (1992) have demonstrated, by studying the rillenkarren of the Serra, that algal cells of **Chroococcus minutus** accelerate the growth of karren flutes by developing fragile biokarstic microtopographies.*

Karren features

Undoubtedly, karren features (Photo 1) are the best represented exokarstic landforms on Mallorca, both in abundance and typological variety. It comprises a great wide range of dissolution forms with sizes going from 1 cm to few tens of meters. The most abundant and recognizable forms are flutes (Photo 2) and runnels (Photo 3) that furrow the rock edges in favour of slope. But there are also irregular and hollow forms, rainpits, pans, pits, tubes and rounded surfaces. Some of these delineate heelprints, rhythmic undulations or more or less irregular concavities.



Foto 2: Estries de lapiaz (*rillenkarren*) esculpides sobre conglomerats del Miocè, en la zona de Turixant (Escorca). Observi's la incipient colonització de les estries per líquens epilítics i el relleu positiu que formen els còdols silíceis.

Photo 2: Rillenkarren modelled on Miocene conglomerates in Turixant area (Escorca). Note the developing colonization of epilithic lichens over the rills as well as the protruding features of siliceous cobbles.

Les primeres referències geològiques sobre la importància del lapiaz a la Serra de Tramuntana corresponen a LOZANO (1884), qui atribueix els camps de lapiaz dels voltants de Lluc als processos de dissolució de la roca causats per les aigües de pluja. Tant MARTEL (1903) com, més tard, WINKLER (1926) ja empen respectivament a les seves publicacions sobre el carst mallorquí els termes *lapiaz* i *karren*, que amb el temps serien adoptats en la bibliografia internacional per designar específicament aquestes morfologies. Encara que el predomini de les morfologies de lapiaz és molt apreciable als sectors septentrionals de la Serra, quasi tots els afloraments calcaris de l'illa mostren conjunts específics de formes de lapiaz, com ocorre al Migjorn de Mallorca (Foto 4) i a les zones costaneres.

Durant els darrers anys s'han publicat vàries notes en les quals apareixen resumides les principals característiques del lapiaz mallorquí (GINÉS *et al.*,

The mechanisms involved in the karren formation through dissolution are quite complex and, under natural conditions, they interfere with each other. The main ones are: direct impact of rainfall, flow of water collected in sharp grooves on the rock, laminar or turbulent flow of water films, stagnation of waters over the rock, water sticking as a very thin layer to the rock surface, and soil water that slowly contacts the rock interface during infiltration.

The first geological references about the importance of karren landforms from Serra de Tramuntana are those by LOZANO (1884) who ascribed the karrenfields surrounding the Sanctuary of Lluc to dissolution processes caused by rainfall. Not only MARTEL (1903) but also WINKLER (1926) already used in their publications on Majorcan karst the terms lapiaz and karren respectively, which have been afterwards adopted by the international bibliography to specifically designate these features. Despite the predominance of karren features being really obvious in the northern areas of the Serra, almost every limestone outcrop from Mallorca presents its specific karren forms, as it occurs in the Migjorn (Photo 4) and coastal areas of the island.

*During recent years some notes have been published in which the main characteristics of the Majorcan karren are resumed (GINÉS *et al.*, 1979; GINÉS & GINÉS, 1989). Morphometrical studies on the most simple typologies have also been initiated (BORDOY & GINÉS, 1990; GINÉS, 1990a; GINÉS & GINÉS, 1991) (Figure 2). On the other hand, great progress has been achieved in clarifying the terminology and description of the most common karren types from Mallorca and Cabrera (BÄR *et al.*, 1986; GINÉS, 1990a, 1993).*

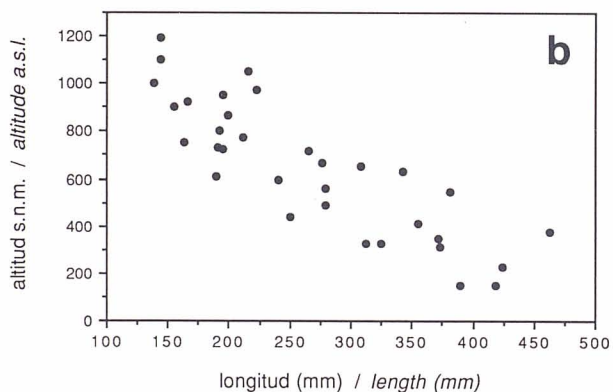
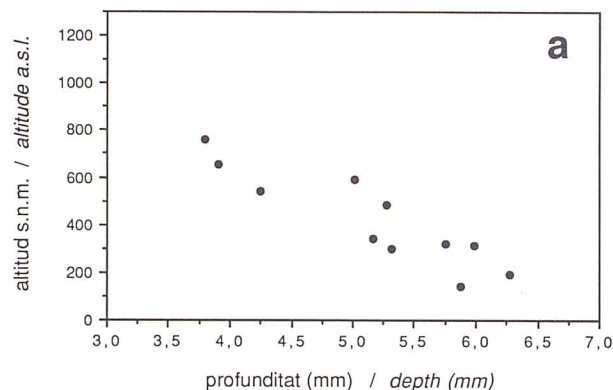


Figura 2: a: representació gràfica on es pot apreciar la relació entre altitud i profunditat d'estries de lapiaz (*rillenkarren*) a 11 localitats de la Serra de Tramuntana.
b: representació gràfica on es pot apreciar la relació entre altitud i longituds màximes d'estries de lapiaz (*rillenkarren*) a 33 localitats de la Serra de Tramuntana.

Figure 2: a: plot showing the relationship between altitude and rillenkarren depth in 11 localities from Serra de Tramuntana.
b: plot showing the relationship between altitude and maximum rillenkarren length in 33 localities from Serra de Tramuntana.

The karrenfields of Serra de Tramuntana

Under definite topographical conditions the karren features reach to cover large extensions of limestones lacking a soil covering, which are designated as karrenfields (in German, karrenfeld). Therefore, these assemblages happen to be important absorptional exokarstic macroforms that can occupy up to several square kilometers. If the karrenfield evolution takes place for long, the dissolution progress gives rise to almost impassable terrains, interrupted by sharp crests and spectacular rock pinnacles recalling some tropical karren morphologies (MENSCHING, 1955; BÖGLI, 1976). Such strong and complex topography, which also includes dolines in its interior, has been mapped by GINÉS (1990b) in Sa Mitjanía area (Escorca).

The most impressive karrenfields are located in Serra de Tramuntana mountains, on the NW slope of the northern sector and always at moderate heights.

1979; GINÉS & GINÉS, 1989). També s'han iniciat estudis morfològics de les tipologies més senzilles (BORDOY & GINÉS, 1990; GINÉS 1990a; GINÉS & GINÉS, 1991) (Figura 2). Per altra banda, s'ha progressat molt en la clarificació de la terminologia i en la descripció de les classes de lapiaz més freqüents a Mallorca i Cabrera (BÄR *et al.*, 1986; GINÉS, 1990a, 1993).

Els camps de lapiaz de la Serra de Tramuntana

En determinades condicions topogràfiques les morfologies de lapiaz poden ocupar grans extensions de roca calcària desprovista de sòl, que es coneixen com *camp de lapiaz* (*karrenfeld*). Aquests conjunts es converteixen així en importants macroformes exocàrstiques d'absorció, que arriben a abraçar varis quilòmetres quadrats de superfície. Si l'evolució dels camps de lapiaz es produeix al llarg de molt de temps, el progrés de la dissolució genera terrenys pràcticament intransitables, interromputs per crestes afilades i per espectaculars piràmides de roca que recorden certes morfologies del carst tropical (MENSCHING, 1955; BÖGLI, 1976). Aquesta enèrgica i complicada topografia, que també inclou dolines al seu interior, ha estat cartografiada per GINÉS (1990b) al sector de sa Mitjania (Escorca).

Els camps de lapiaz més impressionants es localitzen a la Serra de Tramuntana, al vessant NW del sector septentrional i sempre a altituds moderades. Entre 200 i 600 metres s.n.m., destaquen els de Bàlitz, s'Esquetjar de Moncaire, sa Mitjania, sa Calobra - Es Castellots, Turixant, Cocó de sa Murtera - Torre de Lluc, es Pixarells, Menut, Coma de les Truges, Mortitx i el Rellar de Son Marc (localitats situades als termes



Foto 3: Disposició típica "en espina de peix" de les estries de lapiaz (*rillenkarren*), desenvolupades entre canals (*rinnenkarren*) a l'interior dels quals s'han format alguns escalons (*trittkarren*). Aquests conjunts de formes són molt freqüents en el sector central de la Serra de Tramuntana.

Photo 3: Characteristic "herringbone" pattern of rillenkarren, developed between rinnenkarren that show several trittkarren features. These assemblages are very frequent in the central area of Serra de Tramuntana.



Foto 4: Perforacions i concavitats irregulars, generades parcialment sota coberta edàfica, en les calcarenites del Miocè superior de la costa de Cala Varques (Manacor).

Photo 4: Irregular borings and pits, partially formed under the soil, on Upper Miocene calcarenites from the coast of Cala Varques (Manacor).

Between 200 and 600 meters a.s.l. the most notable are the karrenfields of Bàlitz, S'Esquetjar de Moncaire, Sa Mitjania, Sa Calobra - Es Castellots, Turixant, Cocó de sa Murtera - Torre de Lluc, Es Pixarells, Menut, Coma de les Truges, Mortitx and El Rellar de Son Marc (all located in the districts of Fornalutx, Escorca and Pollença). Above 900 meters a.s.l. the main karrenfields are situated in Massís del Massanella and Puig Major summits (Escorca). In the periphery of the Serra, within a more xeric bioclimatic context, the best karrenfields are those in the coastal mountains of Pollença.

*The distribution of the karren features all through the topographical gradients of Serra de Tramuntana, between 0 and 1,400 meters a.s.l., reveals a certain altitudinal zonation which has been documented in: GINÉS *et al.* (1979), GINÉS & GINÉS (1989), GINÉS (1990a), and GINÉS & GINÉS (1991).*

At the mountain range ends, between 0 and 200 meters a.s.l., etched surfaces and rainpits are

municipals de Fornalutx, Escorca i Pollença). Per damunt de 900 metres d'altitud els principals camps de lapiaz es troben al massís del Massanella i al Puig Major (Escorca). A la perifèria de la Serra, en un context bioclimàtic més xèric, els millors camps de lapiaz corresponen a les muntanyes costaneres de Pollença.

La distribució de les morfologies de lapiaz al llarg dels gradients topogràfics de la Serra de Tramuntana, entre 0 i 1400 metres s.n.m., posa de manifest una clara zonació altitudinal que ha estat documentada a GINÉS *et al.* (1979), GINÉS & GINÉS (1989), GINÉS (1990a) i GINÉS & GINÉS (1991).

Als extrems de la serralada, entre 0 i 200 metres d'altitud predominen els pouets (*rainpits*) i les superfícies aspres, mentre que les estries de lapiaz (*rillenkarren*) són rares. Entre 200 i 700 metres abunden les piràmides de lapiaz (*spitzkarren*), els vessants de les quals estan esculpits per canals amb escalons (*rinnenkarren* i *trittkarren*) i per nombroses estries verticals fines (*rillenkarren*). A partir dels 800 m s.n.m. les estries de lapiaz es van extingint per esser substituïdes per canaletes (*decantation flutes*) més amples i sinuoses, al mateix temps que predominen el lapiaz de diàclasi (*kluftkarren*) i les superfícies llises amb ondulacions que semblen *ripples*. Segons GINÉS (1990), la zonació del lapiaz és conseqüència de la geografia de la serralada: relativament simètrica en direcció SW-NE i amb gradients tèrmics i pluviomètrics que quasi se superposen a les corbes de nivell.

Les dolines

Les *dolines* són fenòmens càrstics freqüents a alguns sectors septentrionals de la Serra de Tramuntana, encara que participen molt menys que els camps de lapiaz en la configuració del paisatge. A la resta de Mallorca la seva presència és tan sols ocasional, o fins i tot rara (GINÉS & GINÉS, 1989). Bàsicament es tracta de depressions o clotades de varis metres de diàmetre com a mínim.

Les principals agrupacions de dolines es localitzen a les àrees intensament carstificades del terme municipal d'Escorca (GINÉS *et al.*, 1989). Destaquen, entre les dolines més representatives, les de la Muntanya de Moncaire, les de Bini Petit, es Clots Carbons, sa Mitjania, les dolines des Castellots (ses Parades i es Clots Balladors), el conjunt de la Terra de ses Olles (a les immediacions de Lluc) i les dolines de Femenia i Mortitx. Les altituds en què es troben ubicades, juntament amb els impressionants camps de lapiaz que les rodegen, estan compreses preferentment entre 300 i 600 metres s.n.m.

Tal vegada com a conseqüència de l'homogeneïtat del seu entorn climàtic i topogràfic, aquestes depressions càrstiques mostren unes característiques geomorfològiques bastant semblants (GINÉS & GINÉS, 1989; GINÉS, 1990b). Són dolines de fons

predominant, whereas the rillenkarren features are scarce. Between 200 and 700 meters a.s.l. great spitzkarren, whose slopes are modelled by rinnenkarren and trittkarren as well as by plenty of thin vertical rillenkarren, are abundant. From 800 meters a.s.l. up the rillenkarren are replaced by wider and meandering decantation flutes; at the same time that kluftkarren and some characteristic smooth surfaces with undulations resembling ripples become predominant. According to GINÉS (1990), the karren zonation is caused by the geography of the mountain range: relatively symmetrical in SW-NE direction and with thermic and pluviometrical gradients that are nearly overlapped to the contour lines.

The dolines

Dolines are common karstic phenomena in a few northern zones of Serra de Tramuntana, although they are less prominent in the landscape settings than karrenfields are. In the rest of Mallorca their presence is occasional or even rare (GINÉS & GINÉS, 1989). Basically, they are surface depressions or hollows of at least several meters in diameter.

*Main dolines assemblages are located in those intensively karstified areas from Escorca district (GINÉS *et al.*, 1989). Among the most representative dolines the following are remarkable: those from Muntanya de Moncaire, Bini Petit ones, Es Clots Carbons, the dolines of Sa Mitjania, those of Es Castellots (Ses Parades and Es Clots Balladors), the Terra de ses Olles assemblage (nearby Lluc) and the ones of Femenia and Mortitx. The altitudes at which they occur, together with the karrenfields surrounding them, cover from 300 to 600 meters a.s.l.*

*Perhaps due to the homogeneity of their climatic and topographical environment, such karstic depressions show rather similar geomorphological characteristics (GINÉS & GINÉS, 1989; GINÉS, 1990b). These dolines present a rather flat floor although many swallets can be found in the deepest places. They show a typical bowl-like shape whose rocky edges slope between 5° and 30°; their bottom is occupied by a silty soil where an interesting plant community, dominated by heather (**Erica arborea**), may become established (GINÉS *et al.*, 1989). They are medium sized depressions characterized by oval or subcircular perimeter that can cover areas from 2,000 to 15,000 square meters, thus corresponding to major axis lengths between 20 and 150 meters (Photo 5).*

In the Pollença mountains dolines are very irregular in size, morphology and altitudinal distribution. Vegetation also indicates a more arid climatic context, as can be seen in the doline assemblages of La Malé and Coves Blanques. Apparently, they are young formations, barely

pla, poc profundes, però amb nombrosos engolidors a les zones més deprimides. Tenen típica forma de ribell, amb voreres rocoses inclinades entre 5° i 30°, el fons de les quals està ocupat per un sòl llimós on s'estableix una interessant comunitat vegetal dominada pel bruc (GINÉS *et al.*, 1989). Són depressions de mida mitjana, caracteritzades pels seus contorns ovalats o subcirculars, que poden abraçar superfícies compreses entre 2.000 i 15.000 m², que corresponen a longituds d'eix major que van des de 20 fins a 150 m (Foto 5).

A les muntanyes de Pollença les dolines són més irregulars quant a mida, morfologia i distribució al·timètrica. La vegetació també denota un context bioclimàtic més àrid, com s'aprecia als grups de dolines de la Malè i de Coves Blanques. Aparentment es tracta de formes joves, poc evolucionades, que estan experimentant en l'actualitat intensos processos de pèrdua de sòl.

Per damunt dels 600 metres d'altitud les dolines escassegen i només tornen a reaparèixer a les cotes altes dels principals cims de l'illa. Ses Clotades del Puig Major i les microdolines de la Serra de sa Ratea i del massís del Massanella constitueixen els millors exemples d'aquestes depressions càrstiques de muntanya. Són dolines poc profundes, que només excepcionalment superen els 20 metres de diàmetre i el fons de les quals sol ésser pla i pedregós. Una interessant excepció es pot observar prop del cim del Puig des Teix, on es localitza una dolina de grans dimensions.

A diferència del que succeeix al sector septentrional de la Serra de Tramuntana, les dolines són morfologies càrstiques bastant rares i infreqüents a la resta de l'illa. A les muntanyes del nord d'Artà, s'hi troben algunes dolines de mida mitjana, així com a l'extensa plataforma de calcarenites del Miocè, en la qual cal esmentar l'interessant dolina on s'obre la Cova des Xots (a Can Frasquet, Manacor).

Les grans depressions càrstiques

L'escassa bibliografia disponible sobre la geomorfologia de la Serra de Tramuntana inclou informacions molt confuses en relació a la presència de *poljes* a la principal serralada mallorquina. Segons MENSCHING (1955) les àmplies formes còncaves, sobretot *poljes*, són els fenòmens càrstics predominants a la Serra. Altres cites ocasionals mencionen diverses localitats concretes, qualificant-les de *poljes*, però sense aportar majors precisions sobre la seva mida i morfologia. Pel contrari, BÄR *et al.* (1986), i GINÉS & GINÉS (1989, 1991) eviten d'utilitzar aquest terme i s'hi refereixen com *karstbecken* (conques càrstiques) i *grans depressions càrstiques* respectivament.

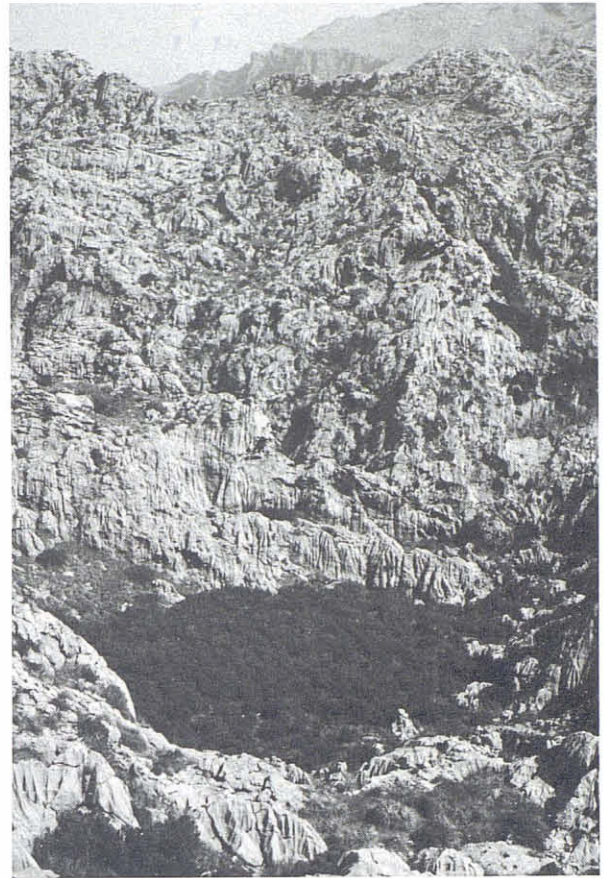


Foto 5: Dolina coneguda com el Clot de l'Infern, en el costat des Castellots que limita amb el Torrent de Pareis. La seva morfologia, dimensions i vegetació són representatives de les dolines d'altitud intermitja de la Serra de Tramuntana (entre 250 i 700 metres s.n.m.).

Photo 5: Doline known as Clot de l'Infern, located in the Es Castellots slope bordering Torrent de Pareis canyon. Its morphology, size and vegetation are representative of those middle altitude dolines of Serra de Tramuntana (between 250 and 700 meters a.s.l.).

evolved, which are at present undergoing intense soil loss processes.

Above an altitude of 600 meters dolines are scarce and only reappear at extreme heights in the main Majorcan peaks. Ses Clotades del Puig Major and the microdolines of Serra de sa Ratea and Massís del Massanella constitute the best examples of such mountain karstic depressions. They are shallow dolines that only exceptionally exceed 20 meters in diameter and whose bottom tends to be flat and cobbly. An interesting exception to them can be observed besides the Puig des Teix where a high dimension doline is situated.

In contrast to the frequent occurrence on the northern sector of Serra de Tramuntana, dolines are rather rare over the remainder of the island. In the mountains from the northern area of Artà district there are a number of medium-sized dolines, as in the extensive platform of calcarenites from the Upper

Atenent a les investigacions més recents, cap de les grans depressions càrstiques de la muntanya mallorquina es pot considerar rigorosament un polje. GINÉS & GINÉS (1989) afirmen que les grans depressions càrstiques estan ben representades al sector septentrional de la Serra, entre la vall de Sóller i la península de Formentor. Les seves dimensions rarament superen el quilòmetre i mig de longitud màxima, mentre que la seva morfologia es mostra condicionada, en la majoria dels casos, per les directrius estructurals dominants a la serralada.

Miocene; a notable example being the interesting doline where the Cova des Xots entrance is located (in Can Frasquet, Manacor).

The great karstic depressions

The scarce available bibliography on the geomorphology of Serra de Tramuntana includes conflicting references in relation to the presence of poljes along the main Majorcan range. According to

Foto 6:

Vista general de la Coma de Son Torrella (Escorca), a les rodalies del Puig Major. Es tracta d'una gran depressió càrstica completament tancada, en les voreres de la qual s'han explorat diversos avencs i coves.

Photo 6:

Panoramic view of Coma de Son Torrella (Escorca) nearby the Puig Major. It is a karstic depression, entirely closed, in which edges several caves and shafts have been explored.



Entre les depressions càrstiques més destacades cal citar la Coma de Son Torrella (Escorca), que està connectada hidrològicament amb la Font des Verger, i en la qual el seu fons pla, que amida 1.500 m de llarg per 250 m d'ample (Foto 6), apareix encaixat entre voreres escarpades que contenen profundes cavitats (GINÉS & GINÉS, 1991). Altres depressions càrstiques formen àmplies zones planes, no excessivament deprimides, en el fons de les quals s'ubiquen grans avencs i engolidors impenetrables. Aquest és el cas del Pla de les Basses (Pollença) i la Coma de Mortix (Escorca), descrites respectivament per DARDER (1930) i GINÉS & GINÉS (1972). Fora de la Serra de Tramuntana cal mencionar la depressió càrstica de ses Comes de Son Granada (Llucmajor), descrita per ROSSELLÓ-VERGER (1964) en el seu treball monogràfic sobre les comarques meridionals de Mallorca.

MENSCHING (1955) the wide concave forms, mainly poljes, are the predominant karstic phenomena in the Serra. Other sporadic reports mention poljes in diverse specific localities but without any precise information concerning size or morphology. However, BÄR et al. (1986) and GINÉS & GINÉS (1989, 1991) avoid using such term and denominate them as karstbecken and large karstic depressions respectively.

According to the most recent researches, none of the large karstic depressions of the Majorcan mountains can be rigorously considered as a polje. GINÉS & GINÉS (1989) state that large karstic depressions are well-represented on the northern sector of the Serra, between the Sóller valley and the Formentor peninsula. Their dimensions rarely exceed one kilometer and a half in maximum length while their morphology is, in most cases, conditioned by the structural directions which are dominant in the mountain range.

També algunes valls espaioses, actualment capturades per la profundització del jaç d'importants torrents, podrien estar relacionades genèticament amb antigues depressions càrstiques similars als poljes. Endemés de les valls altes de Cúber i Almallutx (Escorca), els principals exemples d'aquestes depressions càrstiques obertes són la Vall d'en Marc (Pollença), el Clot d'Almadrà (Alaró), la Vall d'Orient (Bunyola) i el Clot d'Albarca (Escorca). Una interpretació morfogenètica del Clot d'Albarca (Foto 7) i de les morfologies càrstiques del seu entorn es pot consultar a les recents publicacions de BÄR et al. (1986) i GINÉS & GINÉS (1991).

Among the most remarkable karstic depressions it should be mentioned the Coma de Son Torrella valley (Escorca), hydrologically connected to the Font des Verger spring, and whose plain bottom, 1,500 m long by 250 m wide (Photo 6), appears fitted between steep slopes containing deep cavities (GINÉS & GINÉS, 1991). Other karstic depressions cover extensive flat floored areas, usually not excessively deep, at the bottom of which huge shafts and impassable swallow holes have been hollowed out. This occurs in Pla de les Basses (Pollença) and



Foto 7:

Vista general del Clot d'Albarca (Escorca). Aquesta gran depressió càrstica està travessada actualment pel Torrent de Lluc, però conserva encara trets morfològics semblants als dels poljes.

Photo 7:

Panoramic view of Clot d'Albarca (Escorca). This great karstic depression, crossed nowadays by Torrent de Lluc stream, retains still morphological characters similar to the poljes ones.

Els engolidors i els avencs i dolines d'esfondrament

Són freqüents, en el fons de les dolines de muntanya, engolidors que focalitzen l'absorció de l'aigua col·lectada per aquestes depressions. No obstant, a les dolines mallorquines són rars els engolidors que connecten amb cavitats penetrables d'una certa envergadura. El cas més espectacular el constitueix l'Avenc de sa Mitjania, que actua com a engolidor d'una important dolina (GINÉS, 1990b). També la gran dolina del Pla de les Basses, a Formentor, presenta varis avencs de dimensions remarcables.

Les cavitats de la Coma de Son Torrella probablement funcionaren en altre temps com a engolidors actius, abans que es produís la sobreexcavació d'aquesta gran depressió càrstica. Més evident és l'emplaçament actual de l'Avenc de s'Aigo, situat a la zona més deprimida de l'àmplia Coma de Mortitx, fet que li permet de recollir l'aigua canalitzada pel petit torrentó que drena aquesta conca càrstica.

Endemés de l'Avenc d'en Corbera (Esporles), ubicat al fons d'una torrentera, l'Avenc des Gel (Escorca) és un excel·lent exemple d'engolidor que s'obre al llit d'un torrent de muntanya, als plujosos estrets nord-occidentals del Puig de Massanella.

Mentre que els engolidors estan més ben representats a la complexa topografia dels carsts de muntanya, els avencs i dolines d'esfondrament són fenòmens càrstics de distribució geogràfica més general a tota l'illa. L'Avenc de Son Pou (Santa Maria del Camí) és tal vegada l'exemple més destacat d'avenc d'esfondrament, mentre que l'entrada de l'Avenc des Llorer (Escorca) pot ésser qualificada de dolina d'esfondrament.

Així mateix, morfologies d'enfonsament molt notables es localitzen al carst costaner del Migjorn. Entre elles, la Cova des Serral i la Cova de sa Gleda (ambdues a Manacor) recorden les característiques típiques dels *cenotes* del Carib. De fet, ambdues ca-

Coma de Mortitx (Escorca), described by DARDER (1930) and GINÉS & GINÉS (1972) respectively. Apart from Serra de Tramuntana, the karstic depression of Ses Comes de Son Granada (Llucmajor) should be mentioned, first described by ROSSELLÓ-VERGER (1964) in his monographic work about the southern regions of Mallorca.

Moreover, some wide valleys, now captured by the downcutting of important stream beds, could be genetically related to karstic depressions similar to the poljes. In addition to the high valleys of Cúber and Almallutx (Escorca), the main examples of such opened karstic depressions are Vall d'en Marc (Pollença), Clot d'Almadrà (Alaró), Vall d'Orient (Bunyola) and Clot d'Albarca (Escorca). A morphogenetical interpretation of Clot d'Albarca (Photo 7) and its surrounding karstic features can be found in the recent publications by BÄR et al. (1986) and GINÉS & GINÉS (1991).

Swallow holes and collapse shafts and dolines

At the bottom of the mountain dolines there are frequent swallow holes that funnel the water collected by the depressions. However, in the Majorcan dolines, the swallets that connect with quite huge passable cavities are scarce. The most spectacular one is Avenc de sa Mitjania that acts as swallow hole of an important doline (GINÉS, 1990b). The great doline of Pla de les Basses, in Formentor, presents also some shafts of remarkable dimensions.

The cavities of Coma de Son Torrella probably functioned in the past as active swallets, before the over-deepening of this great karstic depression took place. The present setting of Avenc de s'Aigo is even more obvious, being placed in the lowest zone of the extensive Coma de Mortitx, what allows the collecting

vitats eren autèntics *cenotes* durant les etapes interglacials en què el nivell freàtic inundava la major part de la caverna.

Els canyons càrstics

Encara que els estrets i profunds canyons que solquen els sectors central i septentrional de la Serra de Tramuntana són morfologies fonamentalment fluvio-torrencials, constitueixen sens dubte un dels trets més típics de l'agrest paisatge calcari de la serralada (GINÉS *et al.*, 1979). L'acció abrasiva de l'aigua sobre la roca calcària i els processos de dissolució càrstica hi han actuat a favor de grans fractures d'origen tectònic formant angosts canyons, de llit abrupte i difícil accés.

El Torrent des Gorg Blau, amb el tram conegut com sa Fosca, i el Torrent de Pareis (ambdós a Escorca) són els exemples més espectaculars d'aquestes estructures fluvio-càrstiques, el trajecte rectilini de les quals denota un fort control estructural. Les parets verticals del Torrent de Pareis superen els 200 metres d'altària i el seu recorregut, que finalitza a la desembocadura de sa Calobra, totalitza més de 3 quilòmetres de longitud. Altres canyons càrstics destacables són el Torrent Fondo de Mortitx (Escorca), el Torrent de na Mora (Fornalutx), el Torrent de Coanegra (Santa Maria del Camí) i el Torrent des Guix (Selva). També són freqüents els trams, pertanyents a aparells torrencials més extensos, que formen congosts en travessar afloraments calcaris, com succeeix amb l'Estret de Ternelles (Pollença) i l'Estret de Valldemossa.

La presència de canyons càrstics poc profunds, que solquen la costa tabular miocènica de la comarca de Migjorn, i la seva relació amb la formació de cales i el desenvolupament de coves encara no ha estat estudiada amb el suficient deteniment. No obstant, l'obra de ROSSELLÓ-VERGER (1964) dedicada al sud i sud-est de Mallorca conté abundants dades descriptives.

Conclusions: caracterització de l'exocarst a Mallorca

Les morfologies exocàrstiques de Mallorca s'inscriuen en un context bioclimàtic i geomorfològic típicament mediterrani. Com que el rang d'altituds de l'illa comprèn des de 0 fins a 1.400 metres s.n.m., essent la major part de la seva superfície calcària, només els alts cims (per damunt dels 800 m) s'han vist afectats per climes freds durant les glaciacions i presenten formes típiques de carst de muntanya. Importants processos de deforestació i de pèrdua de sòl es perceben clarament als camps de lapiaz de la Serra de Tramuntana, ja que les microformes de lapiaz

of water channelized by the small stream bed which drains that karstic basin.

Both *Avenç d'en Corbera (Esporles)*, situated at the bottom of a creek, and *Avenç des Gel (Escorca)*, located on the northwestern side of Puig de Massanella, are excellent examples of swallow holes that open themselves in the bed of mountain streams.

While the swallow holes are better represented in the complex topography of the mountain karsts, collapse shafts and dolines are karstic phenomena more widespread throughout the island. Maybe, *Avenç de Son Pou (Santa Maria del Camí)* is the most remarkable example of a collapse shaft in Mallorca, whereas the entrance of *Avenç des Llorer (Escorca)* could be mentioned as a collapse doline.

Likewise, very notable collapse cave entrances are located on the coastal karst of Migjorn. Among them, *Cova des Serral* and *Cova de sa Gleda* (both in Manacor) resemble the typical characteristics of the Caribbean *cenotes*. In fact, both cavities were authentic *cenotes* during the interglacial periods, when the phreatic level drowned most of the cavern.

The karstic canyons

Although the narrow and deep canyons furrowing the central and northern sector of Serra de Tramuntana are mainly fluvial-torrencial features, they constitute undoubtedly one of the most typical aspects of the wild limestone landscape of this mountain range (GINÉS *et al.*, 1979). The abrasive action of water on limestone, together with the karstic dissolution processes, have acted upon large fractures of tectonic origin giving shape to gorges characterized by steep stream beds and difficult access.

Torrent des Gorg Blau, comprising the stretch known as *Sa Fosca*, and *Torrent de Pareis* (both in Escorca) happen to be the most spectacular examples of these fluvio-karstic structures, whose lineal way indicates a strong structural control. The vertical walls of *Torrent de Pareis* surpass 200 m in height and its path, ending in *Sa Calobra* outlet, is longer than 3 kilometers. Other outstanding karstic canyons are *Torrent Fondo de Mortitx (Escorca)*, *Torrent de na Mora (Fornalutx)*, *Torrent de Coanegra (Santa Maria del Camí)* and *Torrent des Guix (Selva)*. There are also frequent stretches, belonging to more extensive rushing streams, that form gorges when crossing over limestone outcrops, as it occurs with *Estret de Ternelles (Pollença)* and *Estret de Valldemossa*.

The presence of relatively shallow karstic canyons that furrow the tabular Miocene coast of Migjorn region, and their relation to the coves formation as well as to the main cave-development horizons, has not been yet studied thoroughly enough. Nevertheless, the book by ROSSELLÓ-

d'escorrentia es desenvolupen, com a norma general, sobre criptolapiaz prèviament format sota coberta edàfica.

VERGER (1964) about the South and Southeast of Mallorca contains plenty of descriptive data on the subject.

Conclusions: characterization of exokarst in Mallorca

The Majorcan exokarstic landforms are included in a typically Mediterranean bioclimatic and geomorphological context. In Mallorca, as the altitude range only covers from 0 to 1,400 m a.s.l., and being limestone most of its terrains, just the higher summits (those above 800 m) which were affected by cold climate during the glaciations period present today typical mountain karst features. Important deforestation processes and soil loss are certainly present in the karrenfields of Serra de Tramuntana, as the runoff-karren microforms are developed, in most cases, on subcutaneous karren features previously formed under soil covering.

Bibliografia / References

- BÄR, W.F.; FUCHS, F. & NAGEL, G. (1986): Lluc / Sierra Norte (Mallorca). Karst einer Mediterranen Insel mit Alpidischer Struktur. *Zeitschrift für Geomorphologie*. N.F., suppl. 59 : 27-48. Berlin.
- BÖGLI, A. (1976): Die wichtigsten Karrenformen der Kalkalpen. In: GAMS, I. (Ed.): *Karst processes and relevant landforms*. International Speleological Union, Symposium on karst denudation. 141-149. Ljubljana.
- BORDOY, M. & GINÉS, A. (1990): Observaciones morfométricas sobre la profundidad de estrías de lapiaz (Rillenkarrren) en Mallorca. *Endins*. 16 : 21-25. Palma de Mallorca.
- DARDER, B. (1930): Algunos fenómenos cársticos en la isla de Mallorca. *Ibérica*. 32 (818) : 154-156. Barcelona.
- FALLOT, P. (1922): *Étude géologique de la Sierra de Majorque*. Impr. Béranger. 480 pàgs. París.
- FIOL, L.A.; FORNÓS, J.J. & GINÉS, A. (1992): El Rillenkarrren: un tipus particular de Biocarst? Primeres dades. *Endins*. 17-18 : 43-49. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A. (1990): Utilización de las morfologías de lapiaz como geoindicadores ecológicos en la Serra de Tramuntana (Mallorca). *Endins*. 16 : 27-39. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A. (1993): Morfologies exocárstiques. In: ALCOVER, J.A.; BALLESTEROS, E. & FORNÓS, J.J. (Eds.): *Història Natural de l'arxipèlag de Cabrera*. C.S.I.C. - Editorial Moll. 153-160. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1972): Algunas observaciones sobre los fenómenos cársticos de sa Coma de Mortitx (Mallorca). *Geo y Bio Karst*. 32 : 22-24. Barcelona.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1991): Morfologías cársticas. In: GRIMALT, M. & RODRÍGUEZ-PEREA, A. (Eds.): *Libro-guía de las excursiones de las VII Jornadas de campo de Geografía Física*. U.I.B. 109-114, 119-132, 139-142. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A.; GINÉS, J.; POMAR, L. & SALVÀ, P.A. (1979): *La Serra de Tramuntana*. VI Coloquio de Geografía. Excursión 1. 38 pàgs. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A.; FIOL, L.A.; POL, A. & ROSSELLÓ, J.A. (1989): Morfologia i vegetació d'un grup de dolines de la Serra de Tramuntana (Mallorca). *Endins*. 14-15 : 43-52. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. (1990): El modelat cárstic de sa Mitjanía (Escorca, Mallorca). *Endins*. 16 : 17-20. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1989): El karst en las Islas Baleares. In: DURÁN, J.J. & LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. (Eds.): *El karst en España*. S.E.G. Monografía 4. 163-174. Madrid.
- LOZANO, R. (1884): *Anotaciones físicas y geológicas de la Isla de Mallorca*. Diputación Prov. Baleares. Casa de Misericordia. 68 pàgs. Palma de Mallorca.
- MARTEL, E.A. (1903): Les cavernes de Majorque. *Spelunca. Bull. et Mém. de la Société de Spéléologie*. 5 (32) : 1-32. París.
- MENSCHING, H. (1955): Karst und Terra Rossa auf Mallorca. *Erdkunde*. 9: 188-196. Bonn.
- ROSSELLÓ-VERGER, V.M. (1964): *Mallorca. El Sur y Sureste*. Càmara Oficial de Comercio, Industria y Navegación. Gráficas Miramar. 553 pàgs. Palma de Mallorca.
- WINKLER, A. (1926): Morphologisch-Geologische Beobachtungen auf Mallorca. *Zeitschrift für Geomorphologie*. 2 : 171-183. Leipzig.