

# L'altiplà de Pòrtol – Sa Cabaneta, una aproximació geomorfològica a l'exemple d'un massís càrstic de clima semiàrid (Mallorca, Illes Balears)

Jaume SERVERA

## SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA  
NATURAL DE LES BALEARS

Servera, J. 2021. L'altiplà de Pòrtol – Sa Cabaneta, una aproximació geomorfològica a l'exemple d'un massís càrstic de clima semiàrid (Mallorca, Illes Balears). In: Pons, G.X., Vicens D. i del Valle, L. (edit.). La Història Natural de les Balears i Andreu Muntaner Darder. *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 33: 139-174. ISBN 978-84-09-33509-1. Palma (Illes Balears).

La plataforma de Pòrtol-sa Cabaneta presenta una extensió d'uns 14 km<sup>2</sup> i està formada per materials postorogènics corresponents a la Formació de Calcarenites de Sant Jordi del Pliocè superior. El predomini calcari juntament amb els trets climàtics de la zona, implica que la morfogènesi que controla tot el modelat d'aquest territori sigui el carst. La important fracturació i diaclasament del material ha afavorit la circulació de l'aigua que percola, incentivant les possibilitats dels processos lligats a la dissolució. Així, la plataforma constitueix un excel·lent indret per a l'estudi del carst d'ambients semiàrids (< 500 mm de precipitació). No obstant, el carst analitzat ofereix molt poca espectacularitat, però sí que té una rica diversitat de formes. Com a exocarst de la zona destaquen, entre altres formes, els pouets o fosses de dissolució com a les més abundants i les estries associades que apareixen de forma molt subtil. Les cubetes de dissolució són una altra forma important a la nostra àrea d'estudi que, juntament amb la presència de formes de carst cavernós, posen en clara relació el seu origen subcutani baix el sòl i la seva evolució en condicions de carst lliure una vegada exhumades. Pel que fa a l'endocarst a la zona, aquest no té una importància espeleològica rellevant, igual que tampoc la tenen les formacions com dolines o uvaes que són totalment absents. La zona ha sofert un intens impacte humà, més del 50% de la seva superfície avui són camps de conreu o espais urbanitzats, on s'ha perdut l'exocarst encara que la carstificació del rocam persisteix de forma epidèrmica baix el sòl d'aquests espais antropitzats.

**Paraules clau:** *Geomorfologia, exocarst, carst de subsòl, endocarst, semiàrid, plataforma calcària, massís càrstic, Illes Balears, Mallorca, Pòrtol.*

THE PLATFORM OF PÒRTOL - SA CABANETA, A GEOMORPHOLOGICAL APPROACH TO THE EXAMPLE OF A KARSTIC MASSIF WITH A SEMI-ARID CLIMATE (MALLORCA, BALEARIC ISLANDS). The platform of Pòrtol-sa Cabaneta has an area of about 14 km<sup>2</sup> and is made of postorogenic materials corresponding to the formation of Calcarenites de Sant Jordi of the upper Pliocene. The limestone predominance along with the climatic features of the area implies that the karst is the morphogenesis that controls all the modeling of this territory. The significant fracturing and dipping of the material has favored the circulation of infiltrate water, encouraging the possibilities of the processes linked to the dissolution. Thus, the platform is an excellent place to study the karst of semi-arid environments (<500 mm of precipitation). However, the karst analyzed offers very little spectacularity, but it does have a rich diversity of forms. As an exocarst in the area, the dissolution wells or pits, as the most abundant, and the associated striae that appear in a very subtle way, stand out. Dissolution buckets are another important form in our area of study which, together with the presence of cavernous karst forms, make clear their subcutaneous origin beneath the soil and their evolution under free karst conditions once. exhumed. As for the endocarst in the area, it has no relevant

caving significance, as do formations such as dolines or uvals that are completely absent. The area has suffered an intense human impact, more than 50% of its surface today are cultivated fields or urbanized spaces, where the exocarst has been lost although the karstification of the rocam persists epidermally under the soil of these anthropized spaces.

**Keywords:** *Geomorphology, exocarst, subsoil karst, endocarst, semi-arid, limestone platform, karst massif, Balearic Islands, Mallorca, Pòrtol.*

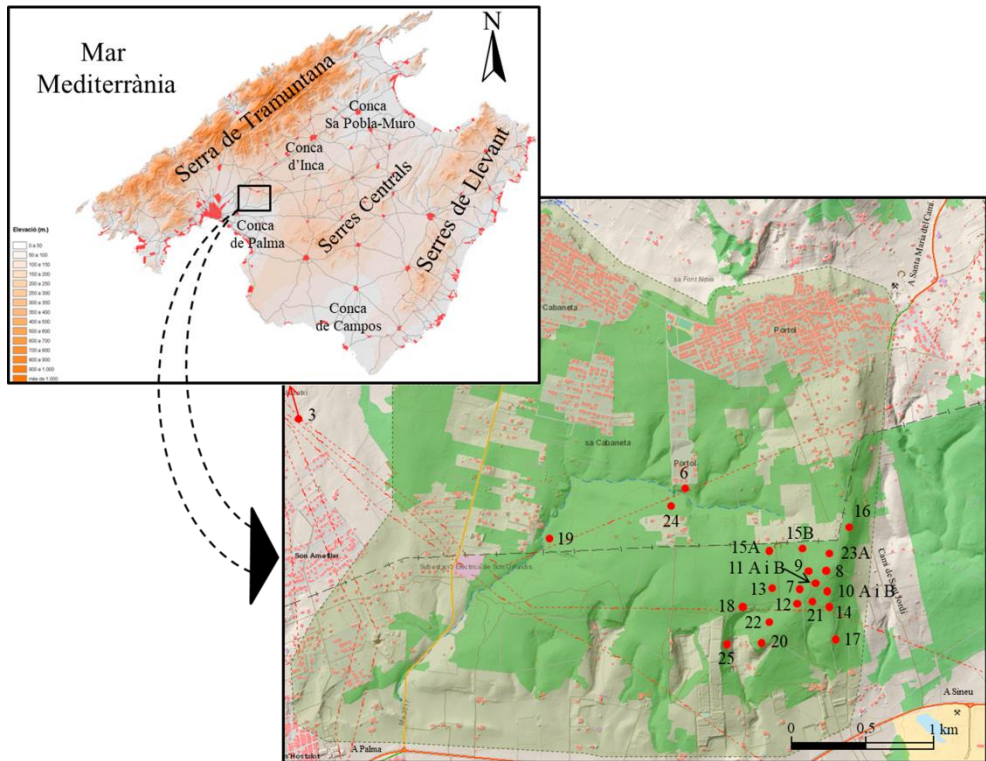
*Jaume SERVERA-NICOLAU, C/ La Garriga, 23. 07141 Pòrtol - Marratxí. E-mail: jaumeserveranicolau@gmail.com*

## **Introducció**

Qualsevol regió de la superfície terrestre està subjecte a constants processos de modelat amb més o menys complexitat i intensitat. No obstant això, cada un dels processos es defineixen per uns agents de modelat que, controlats per un conjunt d'elements externs, maximitzen o rellenteixen la seva efectivitat, donant-los una variabilitat temporal, que fan del modelat i les formes resultats de cada lloc la base d'un paisatge més aviat específic. El cas que ens ocupa de l'altiplà Pòrtol – sa Cabaneta (Fig. 1), no n'és una excepció, malgrat que el predomini del binomi corrosió i dissolució del rocam que és un important agent geomorfològic en aquest territori, no doni lloc a cap exclusivitat com a mostra espectacular de paisatge càrstic (*Karrenfield*), sinó més aviat al contrari. L'altiplà de Pòrtol no pot competir amb les formes càrstiques de *rillenkarr* o *runnenkarr* presents a la Serra de Tramuntana (Ginés, 1990, 1998, 1999; Ginés i Ginés, 2009, 2011, 2014; Ginés *et al.*, 2010) que, de forma molt meritòria, n'és el referent en l'espectacularitat dels resultats d'aquesta morfogènesi a Mallorca. Per aquesta raó, és valora, des d'un punt de vista del coneixement científic, un paisatge càrstic amb uns trets i unes condicions ambientals diferenciades a les de la Serra de Tramuntana, però si similars a altres àrees de l'Illa amb les que comparteix tipus de rocam, de vegetació o de clima, pot ser un exercici interessant per a compensar el desequilibri que hi ha entre el coneixement genètic del carst de muntanya i el carst del paisatge de marina. Així doncs, aquest treball té la modesta intenció de dur a terme la descripció del modelat d'un tipus de plataforma calcària, que té el seu homònim força estès per molts altres indrets de les Balears on els materials calcaris postorogènics fan acta de presència.

## **Àrea d'estudi**

L'àrea d'estudi que es proposa per a aquest treball té una extensió aproximada d'uns 14 km<sup>2</sup>. És un altiplà delimitat al Nord per un cantell topogràfic on s'assenta l'alineació de les poblacions de Pòrtol, sa Cabaneta, Sant marçal i Son Verí. A l'Est el delimita la carretera del Camí de Sant Jordi que segueix un recorregut N-S, igual que la falla normal (Fig. 2), que separa la nostra zona (llavi superior) de la plataforma de Pontiró (llavi inferior) i de l'antiforme del Puig de Son Seguí – Santa Eugènia (Del Olmo *et al.*, 1991); al sud, el límit el trobem a la Carretera Vella de Sineu, possiblement seguint el mateix recorregut que la falla de Son Sardina (Silva *et al.*, 1998) i a l'Oest, per l'eix fictici entre nuclis de s'Hostalot i es Figueral, la zona on l'àrea d'estudi contacte amb la conca de Palma.



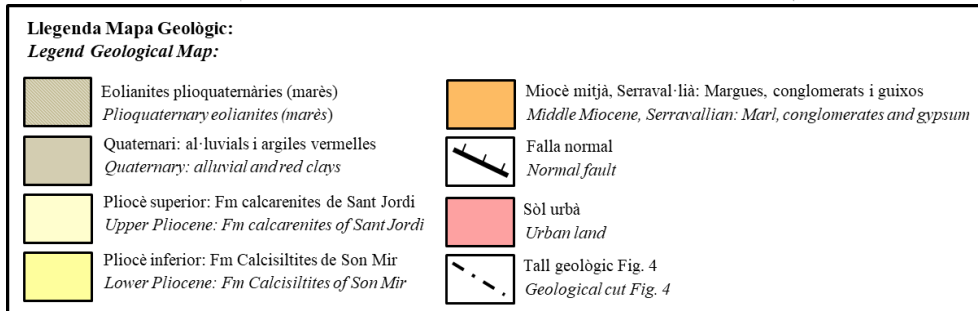
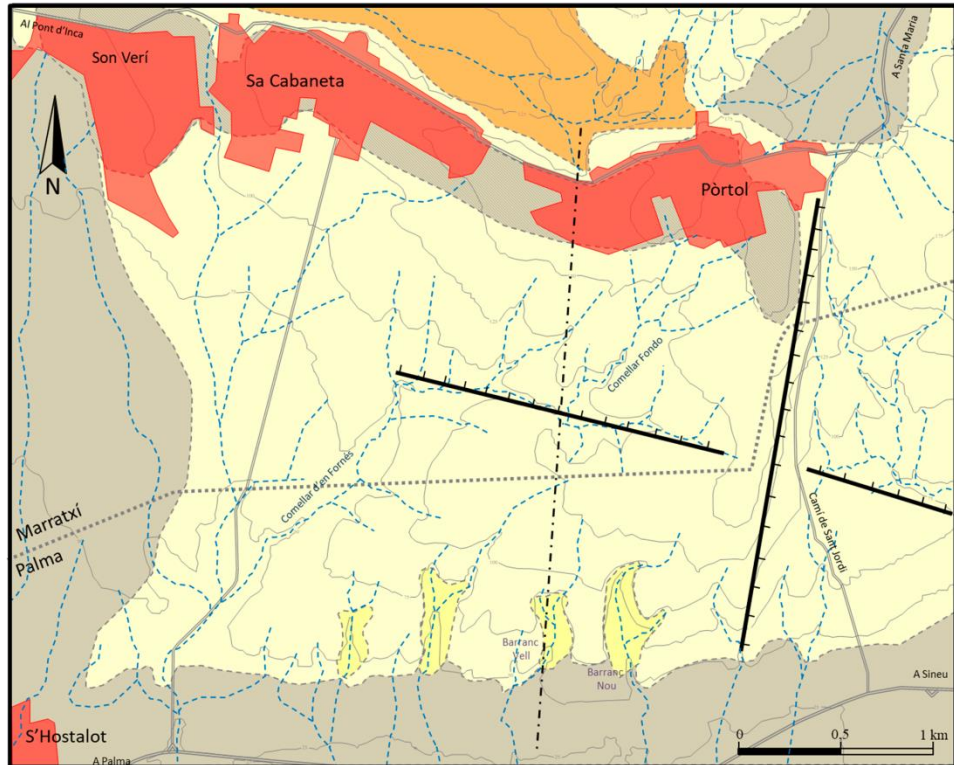
**Fig. 1.** Localització de l'àrea d'estudi i localització geogràfica de les fotografies citades en aquest treball.

**Fig. 1.** Location of the study area and geographical location of the photographs cited in this work.

Mentre que per quasi tots els vessants que defineixen la plataforma, aquests estan delimitats per cingleres que presenten alternants espadats de petites alçades, entre els 5 i 20 m, el vessant de ponent de la plataforma, seguint el cabussament general de tota ella, amb una topografia suau i progressiva, contacta amb el llinar nord-oriental de la Conca de Palma, passant els seus materials plio-quaternaris a estar superposats per dipòsits d'al·luvions quaternaris procedents del torrent de sa Mata o de Coanegra (Fig. 3).

L'altiplà constitueix un relleu monoclin (Fig. 4), una plataforma tabular que per ubicar-la en el seu context estructural actual cal recórrer una mica enrere la història geològica de la contrada. A l'illa de Mallorca, acabada la fase compressiva de l'orogènia Alpina la va succeir una fase extensiva que ha durat fins a gairebé l'actualitat. No obstant això, treballs com els de Giménez i Gelabert (2002), Giménez (2003) o Sánchez-Alzola *et al.* (2014) posen de manifest que la distensió neògena avui ha finalitzat i la deformació cortical ha passat a caracteritzar-se per un règim propi d'un camp d'esforços d'esqueix amb moviments de tipus més direccionals. En aquest context estructural d'inici de fase extensiva, a la frontera entre la Serra de Tramuntana i la depressió central de Mallorca, transcorre la formació i evolució del solc sedimentari Neogen-Quaternari que, amb una

direcció SW-NE paral·lela a la Serra de Tramuntana, va des de la Badia de Palma fins a la Badia d'Alcúdia. A finals del Pliocè principi del Quaternari, el solc que fins aleshores era un, es va compartimentar amb tres conques alineades: la de Palma, la d'Inca i la d'Alcúdia, interferint la sedimentació neògena, a conseqüència de l'emersió de dos complexos conjunts d'elevacions amb estructures orientades NW-SE (Silva *et al.*, 1998).



**Fig. 2.** Mapa geològic de l'àrea d'estudi.  
**Fig. 2.** Geological map of the study area.

Un d'aquests complexos conjunts de relleu d'edat plio-quadernària, constitueixen l'anticlinori que fa de llindar entre les conques de Palma i la d'Inca. Aquesta barrera topogràfica està constituïda per les estructures de l'antiforme de Marratxí al NW i el seu homòleg del puig Son Seguí-Santa Eugènia al SE (Benedicto *et al.*, 1993). Sense dubte, la configuració d'aquestes dues estructures amb la direcció dels seus eixos NW-SE, implica que han sigut esforços NE-SW els que han originat el seu aixecament vertical plio-quadernari, han d'haver gaudit d'una mateixa gènesi i una certa sincronia en el temps de la seva formació. Això no obstant, si hom centra la seva atenció en el grau de desmantellament de les dues estructures, pareix que l'antiforme marratxiner suggereix una certa avantatja temporal al seu homònim veí del Puig Son Seguí –Santa Eugènia. Malgrat tot, el que sí sembla bastant probable és que ambdues estructures pareixen ésser el resultat del canvi del comportament de la Falla de Sencelles, passant de falla normal a presentar un desplaçament direccional (Giménez i Gelabert, 2002; Giménez, 2003; Mas, 2012; 2013; 2014).

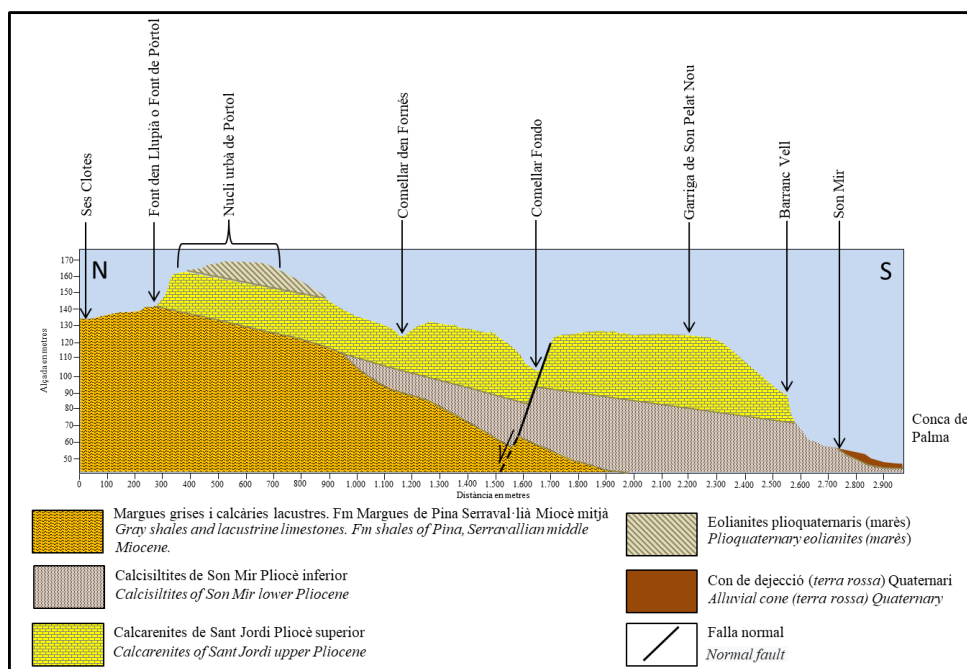


**Fig. 3.** A l'oest de l'àrea d'estudi la plataforma es cabussa baix potents dipòsits al·luvials corresponents al torrent de Coanegra.

**Fig. 3.** To the west of the study area the platform plunges under powerful alluvial deposits corresponding to the Coanegra stream.

El complex antiforme de Marratxí (Grimalt i Rodríguez-Perea, 1994), obert i amb una geometria de forma ovalada, ha donat lloc a una orografia que bé podríem considerar-se com la serra de Marratxínet, conformat per petits serrals que presenten uns modestos, però marcats i definits relleus, arribant als 229 m d'alçada en el sector septentrional de Can

Parrisco. Aquesta estructura antiforme, amb el seu eix central desplaçat lleugerament cap a la seva meitat septentrional, defineix una clara asimetria en la disposició de les seves dues vessants al mateix temps, que es troben separades per una petita vall oberta cap el NW (Son Cós - ses Clotes). Aquesta orografia evidencia un cert grau d'esventrament i posterior buidat per erosió remuntat de la xarxa torrencial que drena l'estructura antiforme (Silva *et al.*, 1998).



**Fig. 4.** Tall estratigràfic de l'àrea d'estudi nord – sud.

**Fig. 4.** Stratigraphic cut of the study area north – south.

La vessant meridional de l'antiforme de Marratxí està configurat per l'altiplà Pòrtol - sa Cabaneta. Una plataforma que capbussa suaument ( $8-10^\circ$ ) cap a l'oest-sud-oest (Silva *et al.*, 1998). Aquesta plataforma (Fig. 4) formada per calcàries bioclàstiques està assentada de forma discordant sobre materials margosos i conglomerats del Miocè inferior i mitjà (Burdigalià-Serraval·lià anteriorment estructurats). No obstant això, l'altiplà està construït per tota la seqüència de materials corresponents a la transgressió pliocena. Així tenim que als cingles del vessant meridional de l'altiplà, situats just per damunt de la cota dels 50 m sobre el nivell de la mar, presenten a la base Calcisiltites de Son Mir (marges i limolites) del Pliocè inferior, i, cap a sostre, passen a la unitat de la Formació de Calcarenites de Sant Jordi (calcarenites bioclàstiques de gra decreixent cap a sostre) del Pliocè superior; per a culminar, a la part més septentrional i a cotes més elevades de l'altiplà (cota màxima de l'altiplà 186 m al nucli de Pòrtol), amb dipòsits d'eolianites d'edat plio-pleistocena corresponents ja a les fases regressives del Pliocè superior i del Quaternari inferior. Per altra part, els cingles septentrionals de la plataforma, que donen lloc als límits nord-est de

les poblacions de Pòrtol i sa Cabaneta, les calcarenites de Sant Jordi es troben de forma discordant sobre margues grises-verdoses ben estratificades corresponents a la formació de Margues de Pina del Miocè mitjà (Mas, 2015; Fornós i Gelabert, 1995).

La zona d'altiplà de Pòrtol - sa Cabaneta, des del punt de vista climàtic, es correspon amb un tipus semiàrid. Té una temperatura mitjana anual  $16^{\circ}$ - $17^{\circ}$  i una amplitud o oscil·lació tèrmica de  $14,5^{\circ}$ - $15^{\circ}$ . En quant, a la precipitació té una mitjana anual entre els 400-500 mm.

Actualment l'ocupació del territori de l'àrea d'estudi, dels aproximadament  $14 \text{ km}^2$  d'extensió que té,  $3 \text{ km}^2$  es correspon amb un ús urbà,  $5 \text{ km}^2$  corresponen a un ús rururbà i a una activitat agrícola marginal majoritàriament de secar. Tot plegat, ocupa més del 50% d'àrea d'estudi, mentre que la resta està ocupat per vegetació natural. Així i tot els espais que avui presenten un estat "natural", és difícil destriar quins en èpoques anteriors també foren roturats per a un ús agrícola i quins no han sigut objecte d'alguna mena d'antropització.

La vegetació natural de la nostra zona es correspon amb la d'una vegetació esclerofilla on està representada per l'Associació *Oleo-Ceratonion*, una garriga amb un important predomini d'ullastres *Olea europaea* var. *sylvestris*, mates *Pistacia lentiscus*, espargueres especialment *Asparagus acutifolius*, porrasa *Asphodelus aestivus*, entre moltes d'altres espècies. Cal dir també, que a zones més humides es poden trobar alguns pins *Pinus halepensis* esclarissats. No obstant, on el substrat coincideix amb formacions dunars, el pinar agafa molta més presència i densitat.

## Antecedents

La zona que treballem al llarg del temps no ha mostrat excessiu interès geomorfològic. No obstant, de forma ocasional i indirectament, s'han fet aportacions als seus trets geològics i alguns esments i referències sobre el seu modelat. Així i tot, cal remarcar que sobre carst lliure o carst de subsòl no hem localitzat cap treball que faci una mínima menció específica a la nostra zona d'estudi.

Entre les aportacions més destacades i que d'alguna manera posen la zona en una escena científica, foren Pomar *et al.* (1983) que defineixen i descriuen la Formació de les Calcisiltites de Son Mir com el Pliocè inferior, treball realitzat a una localitat propera de la possessió del mateix nom. Aquest aflorament està situat a baix del cantell més meridional de la plataforma de la nostra àrea. Ramírez del Pozo *et al.* (1991), a la Memòria descriptiva de la fulla de Palma del *Mapa Geològic de España* 1:50.000, fan una descripció estratigràfica completa del Pliocè, edat geològica que assignen a tota la nostra àrea d'estudi a la cartografia abans esmentada. Silva *et al.* (1998) realitzen un interessant treball sobre la gènesi i evolució de l'antiforme de Marratxí en el qual aventuren algunes interpretacions que possiblement avui caldria que fossin revisades. Santandreu (2005) realitza un exhaustiu inventari espeleològic descriptiu de totes les cavitats subterrànies conegudes al terme de Marratxí, entre les quals algunes d'elles es localitzen dins l'àrea que ens interessa. Tal vegada per una qüestió de dimensions, no foren inclosos dins l'estudi que Rosselló (1985; 1998) realitzà sobre els torrents i barrancs que s'incideixen en el cantell de la plataforma oriental de la conca de Palma, però i malgrat la seva investigació només arribar fins al barranc de Pontiró, descriu i analitza qüestions morfològiques i genètiques d'aquesta xarxa

torrencial que per proximitat i genètica, sens dubte són interessants per a la interpretació dels barrancs que s'incideix a l'altiplà portolà. En el coneixement del pliocè, cal destacar la recent tesi doctoral (Mas, 2015) que, entre altres aspectes, realitza una acurada interpretació i descripció del Pliocè Mallorquí, on algunes localitzacions utilitzades per a l'anàlisi de perfils estratigràfics interpretats, es corresponen amb punts de la nostra zona de treball. Finalment, en aquesta mateixa línia de descriure els materials del Pliocè i per proximitat i similitud a la nostra àrea d'estudi, cal tenir també present la feina de Morey i Mas (2009).

## Materials i mètodes

Per a l'obtenció del reconeixement i avaluació de les diferents dinàmiques geomorfològiques i de les formes que les caracteritzen i que conformen l'àrea d'estudi, s'han anat utilitzant diferents fonts i eines d'informació:

- Gran part de la base cartogràfica utilitzada s'ha obtingut del Visor General *online* de la Infraestructura de Dades Espacials de les Illes Balears IDEIB. No obstant això, també s'ha utilitzat els fulls corresponents del *Mapa Topogràfic Nacional de España* 1:25.000.

- Pel que fa a la informació geològica s'han empleat els fulls 698/723(IV) i 699 del *Mapa Geològic de España* 1:50.000 publicat per l'*Instituto Tecnológico Geominero de España*.

- S'ha realitzat una intensa revisió bibliogràfica del que s'ha publicat a la zona d'estudi sobre la seva geologia i geomorfologia, per tal de partir d'una base d'interpretació el més solida possible per definir quins són o han sigut els factors determinants o condicionants a l'acció del modelat. Igualment, s'han consultat d'altres bibliografies amb continguts adients al nostre interès, igual que fonts orals amb la intenció de localitzar indrets i aspectes que s'han trobat citats a la bibliografia consultada, etc.

- Tota la recerca i anàlisi de gabinet, s'ha complementat amb una intensiva i sistemàtica feina de camp que ha abocat en la realització d'algunes cartografies de síntesis sobre diferents aspectes abiòtics de la zona.

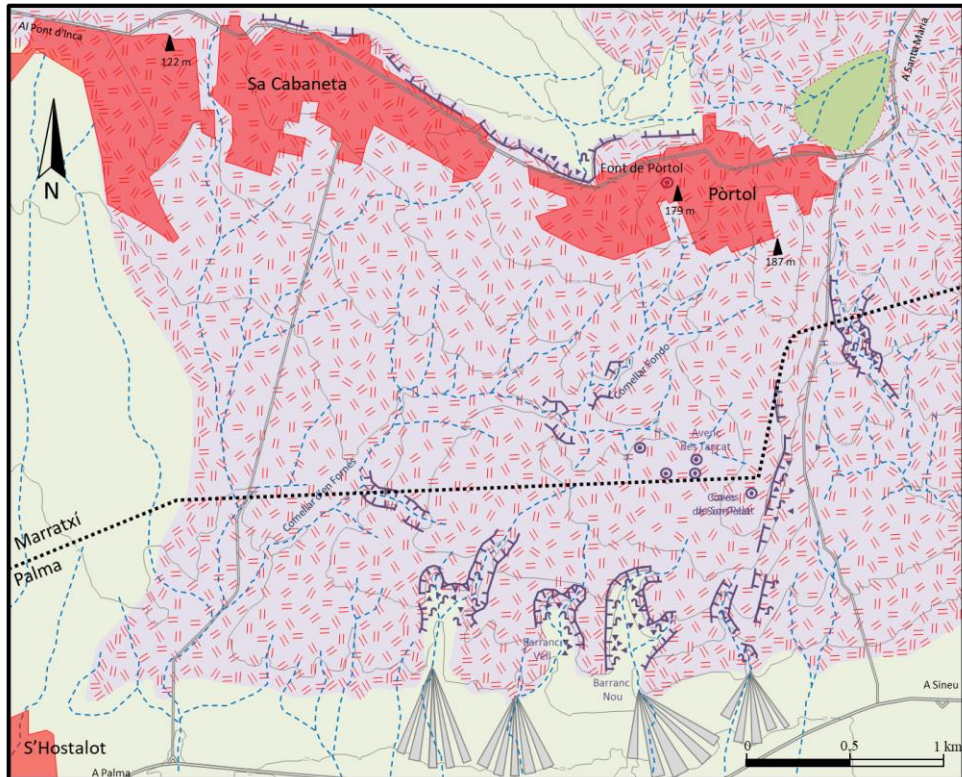
- Per a la realització de la Cartografia Geomorfològica (Fig. 5) del nostre treball, hem agafat com a referent la realitzada per Werner F. Bär (1989) a l'Atlas Internacional del Carst -Full:5 *Lluc/Sierra Norte (Mallorca)*-.

## Resultats

La nostra àrea d'estudi forma part del vessant més meridional del conjunt de l'antiforme de Marratxí (Grimalt i Rodríguez-Perera, 1994; Silva *et al.*, 1998). Aquesta conforma una plataforma tabular elevada (Fig. 4), amb un suau pendent de cabussament cap al SW fins que desapareix baix antics dipòsits al·luvials del torrent de Coanegra a la part nord-oriental de la conca sedimentària de Palma (Fig. 3). Pels trets que acabam d'exposar, podem qualificar la nostra zona d'estudi com a un relleu monoclinal de *cuesta*. La unitat superior d'aquest relleu, està formada per un paquet de materials massissos corresponents a la Formació de Calcarenites de Sant Jordi del Pliocè superior i, localment, recobertes per dipòsits d'eolianites Plio-quadernàries. Al seu vessant nord (Fig. 5), delimitat de forma discontinua per un petit espadat o cinglera sense superar els 10 m d'alçada, es pot observar



com els materials pliocens s'assenten de forma discordant a sobre de materials margosos tous del Serraval·lià (Miocè mitjà). En canvi, a la seva vora més meridional, on desenvolupa tot una sèrie de barrancs a manera d'incisions d'erosió remuntant, es pot observar com aquests materials de la Formació de Calcarenites Sant Jordi i de forma concordant, es disposen sobre les margues amb "Amusium" de la Formació de Calcisiltites Son Mir corresponents al Pliocè inferior. Tot plegat, aquesta disposició estructural i les diferències estratigràfiques entre el vessant nord i sud de la plataforma i el mòdic bascula-



**Llegenda Mapa Geomorfològic:**  
**Legend Geomorphological Map:**

	Domini morfogenètic càrstic <i>Karstic morphogenetic domain</i>		Avenc <i>Sima</i>		Domini morfogenètic fluvio-torrencial <i>Fluvio-torrential morphogenetic domain</i>
	Depressió càrstica capturada <i>Captured karst depression</i>		Escarpament de 5-10 m <i>Escarpment of 5-10 m</i>		Con de dejecció <i>Alluvial cone</i>
	Balma <i>Balm</i>		Escarpament de 10-20 m <i>Escarpment of 10-20 m</i>		Sòl urbà <i>Urban land</i>
	Cova <i>Cave</i>		Caiguda de blocs <i>Fall of blocks</i>		Cantera de marès <i>Sandstone quarry (marès)</i>

**Fig. 5.** Mapa geomorfològic de l'àrea d'estudi  
**Fig. 5.** Geomorphological map of the study area.

ment vers al sud-oest, cal lligar-los i vincular-los directament amb la neotectònica recentment produïda per l'aixecament de l'antiforme de Marratxí.

Aquesta situació tectònica recent ha disposat un altiplà elevat respecta de les cotes de tot el seu voltant (Fig. 1). A més, la seva naturalesa litològica és remarcadament calcària el que afavoreix que sigui molt propensa a afavorir els processos de dissolució del seu rocam. La superfície topogràfica de la plataforma, malgrat que en un percentatge superior al 50% ha estat modificada per l'home en moments de creixement de la població i exasperació alimentària, constitueix un singular paisatge carstificat amb escultures de lapiaz poc pretensives estèticament, però que sens dubte, provocador a l'hora d'esbrinar la seva genètica i patrons de distribucions de les micro, meso i macro formes. Les evidències superficials indiquen que la solució aquosa de l'aigua de pluja de la zona, no només mostra efectivitat sobre el rocam exterior, sinó que també el seu treball es produeix per sota, baix una cobertura edàfica on segurament intensifica la seva efectivitat corrosiva. No obstant, la pobra presència de cavitats càrstiques conegudes, fa que la zona no aporti un gran interès a la Ciència Espeleològica. Tot plegat, la seva disposició topogràficament elevada respecte de tota la seva perifèria i la naturalesa calcària dels materials que conformen la plataforma tabular individualitzada de Pòrtol – sa Cabaneta i les formes observades a diferent escala, suggereix mirar la zona d'estudi com un petit idealitzat massís càrstic.

### **Modelat càrstic**

Les formes del carst són el resultat de la dissolució de les roques de naturalesa calcària baix el control de diversos factors físico-químics. Ginés (1990) va permetre trobar la Serra de Tramuntana com l'espai amb els condicionants ideals per a dur a terme la seva investigació i poder establir una zonificació altitudinal dels camps de lapiaz. En els seus resultats exposar l'evidència d'una bona concordança amb la distribució de les comunitats vegetals amb els principals gradients climàtics, tals com la temperatura mitjana i la quantitat de precipitacions, amb en relació a les formes de lapiaz que és poden trobar (Fig. 6). Seria poc oportú deixar passar l'oportunitat i no esmentar altres condicionants claus que cal afegir a l'hora d'explicar el carst, com són: la topografia, la litologia i la tectònica. A més a més, en formes de dimensions micro i meso del lapiaz, també agafen una certa rellevància en la seva explicació, encara que poc coneguda, la presència de fongs, algues i líquens instal·lats a sobre de la superfície del rocam.

La naturalesa litològica i la presència d'una cobertura edàfica sobre la superfície del carst o pel contrari una exposició directa del rocam a la intempèrie, diversifica la trama d'interrelacions amb el medi, de tal manera que es dona una àmplia i complicada gama de formes resultants, difícil de sistematitzar la seva classificació. Malgrat tot, si que una indiscutible primera divisió dintre la carstologia, es correspon en primer lloc, a les formes de carst desenvolupades baix l'epidermis del sòl, el criptolapiaz, i l'endocarst desenvolupat a l'interior del rocam. En segon lloc, tenim les que han evolucionat de forma lliure a cel obert l'exocarst. A una escala petita, de detall, la varietat de formes del lapiaz pot ser enorme (Ginés, 2009), per això hem optat per utilitzar el criteri i la proposta de Ginés (1990) on, com bé ell explica, s'adapta a les circumstàncies concretes de l'estudi del carst mallorquí, intentant conjugar criteris genètics amb caràcters morfològics.



**Fig. 6.** Aspecte general del paisatge càrstic de l'àrea d'estudi.

*Fig. 6. General view of the karst landscape of the study area.*

### ***L'exocarst***

El rocam calcari una vegada queda desproveït de la cobertura edàfica i sobre l'herència del cripto-lapiaz que es va exhumar per l'erosió del sòl, es pot veure sotmès a la sobreimpressió de formes pròpies del carst lliure o subaeri, que a la nostra zona d'estudi no agafen una notorietat important, per la baixa mitjana anual de precipitació, però sí que mostra una intensa presència de formes de lapiaz pròpies als trets de la nostra zona.

Quan la cobertura edàfica s'erosiona i es perd, sigui de forma natural (canvi climàtic, desforestació, etc.) o antropogènica (tales, incendis, pastoreig intensiu, roturació, urbanització, etc.), les formes de dissolució internes exhumades van essent substituïdes per d'altres que tan sols es poden originar a l'aire lliure sobre roca nua (Fig. 7). Des d'aquest moment, l'exposició a la quantitat, duració i intensitat de pluja, igualment que el règim de distribució anual d'aquesta precipitació, té en el modelat d'unes o altres formes sobre el rocam calcari una importància decisiva. Així i tot, la interferència de la resta de components climàtics: la temperatura, l'aigua de fusió de la neu, la roada, les gelades, l'aridesa també poden provocar interferències considerables (Ginés, 1990).

A la nostra zona d'estudi, el primer que s'ha de remarcar és el control que exerceix sobre el tipus de lapiaz que trobem, a part dels més que evidents e innegables controls climàtics, és l'elevada fracturació o diaclasament del rocam. Cal recordar que estem a l'àrea d'influència de l'aixecament de l'antiforme de Marratxí, que va bascular i elevar les unitats corresponents al Pliocè a cotes superiors que les originals de la seva deposició i, que

avui, encara mantenen altres localitats on afloren aquests materials pliocènics l'Illa i que no s'han vist afectats per processos tectònics. Aquesta neotectònica recent ha sotmès aquests rocams esforços importants que han esquarterat de forma intensa la unitat més carstificable i soluble de les calcarenites del Pliocè superior. A tot plegat, cal afegir-hi la debilitat dels plans d'estratificació que actuen com indrets preferents de la circulació d'aigua, potenciant la corrosió interna del rocam que amb l'increment del pendent intensifica la individualització de blocs de rocam de molt diferents dimensions (Fig. 8). Als costers amb pendents superiors, a més de la carstificació s'implica també la feina de la dinàmica de vessants. Així a les zones de pendents superiors, s'estableixen perfils locals escalonament del vessant molt relacionats amb la gruixa de les capes del rocam.



**Fig. 7.** Es pot observar com, des de la base del lapiaz amb superfícies allisades i formades baix sòl, cap a la part superior del lapiaz s'incrementen les formes de modelat de carst lliure per gotes de pluja.

**Fig. 7.** It can be seen that, from the base of the lapiaz with smoothed surfaces and formed below ground, towards the top of the lapiaz the forms of free karst molding are increased by rain drops.

La forma bàsica de lapiaz que trobem a la zona que ens interessa, és la que es correspon amb uns afloraments de roca allargassats i amb els seus eixos longitudinals entorn d'una orientació NE-SW. L'escala horitzontal és mètrica, però algunes escultures o còssos de lapiaz poden arribar a una escala decamètrica. Pel que fa a les seves alçades, no solen sobrepassar el metre i la descripció de la seva forma volumètrica, en molts de casos, es podria assimilar com si es tractés de "barques capgirades" a una platja o "esquenes de balenes" mostrant-se per sobre la superfície del mar (Fig. 9). Tot pareix apuntar que es tracte d'un lapiaz controlat pel diaclasmament (*Kluftkarren*). La separació entre i entre lapiaz, la formen esquerdes que es troben farcides d'argiles de descalcificació (*Terra rossa*) que arriben fàcilment a més d'un metre d'amplitud.



**Fig. 8.** Els materials de la plataforma de Pòrtol – sa Cabaneta es troben molt diaclasats degut a la recent neotectònica. L'esquarterament facilita la tasca de la solució i individualització de blocs.

*Fig. 8. The materials of the Pòrtol - sa Cabaneta platform are very difficult to find due to the recent neotectonics. Cracking facilitates the task of solving and individualizing blocks.*



**Fig. 9.** Les escultures de lapiaz, una vegada afloren, mostren una disposició allargassada d'escala mètrica.

*Fig. 9. The lapiaz sculptures, once they appear, show an elongated arrangement of metric scales.*



**Fig. 10.** Exemple de lapiaz pedregós. A) situació estable *in situ* i les zones intersticials entre blocs disgregats plenes de *terra rossa* en indrets plans o de poca pendent. B) Acumulació de blocs disgregats per l'acció mecànica en vessants de major pendent.

**Fig. 10.** Example of stony lapiaz. A) stable situation *in situ* and the interstitial areas between disintegrated blocks full of *terra rossa* in flat or low slopes. B) Accumulation of blocks disintegrated by mechanical action on steeper slopes.

Cal també fer esment, que trobem zones amb extensions que van d'uns quants m<sup>2</sup> a centenars de m<sup>2</sup>, on predominen la presència de petits blocs, trossos de roca individualitzats d'escala centimètrica, molt angulosos i irregulars. Aquestes superfícies de lapiaz pedregós, producte de la disgregació i desmantellament de la roca calcària o dels propis lapiaz preexistent com a conseqüència de l'acció conjunta entre la dissolució i la inestabilitat mecànica (Ginés, 1999). A l'àrea d'estudi aquest lapiaz pedregós, mostra petites diferències en funció del pendent del terreny. Quan aquest és pla o té una mínima inclinació, la superfície pedregosa es caracteritza per tenir un cert encaix, unes al costat de les altres de forma ordenada, de les diferents peces del rocam que s'han disgregat; formant així, el que podríem dir un empedrat encara subjectat pel reblliment intersticial que li proporciona la mateixa *terra rossa* producte de la dissolució (Fig. 10A). A mesura que el vessant incrementa el seu pendent, la inestabilitat es fa més patent i el pedregam es queda sense cap mena de subjecció a la seva base i laterals quan es perd per l'erosió la *terra rossa*. Tot plegat incrementa els desplaçaments mecànics dels blocs pendent a baix, provocant indrets amb una certa acumulació d'aquests tipus de lapiaz pedregós (Fig. 10B). Tal com el considera Ginés (1999) podria interpretar-se com a un procés propi de la dinàmica de vessants, però en tenir la dissolució una implicació directa en la seva formació, cal considerar-lo com un tipus de lapiaz diferenciat.

Sigui sobre les planes superiors del lapiaz exhumat o sobre blocs del rocam ja individualitzats les superfícies irregulars i els pouets de dissolució (*Rainpits*) són les formes que hi trobem (Fig. 11A, B). Aquestes solen presentar-se en grups i son el modelat que predomina en els camps de lapiaz de Mallorca entre el 0 i 200 metres sobre el nivell de la mar (Ginés, 1999; Ginés i Ginés, 2011). Els pouets són formes de carst lliure de forma circular en planta i semiesfèrica o parabòlica en secció i presenten una escala petita, centimètrica d'entre 1 i 4 cm de diàmetre i no solen superar els 2 cm de profunditat. La seva gènesi està controlada hidro-dinàmicament per gotes d'impacte produint un entorn de solució per precipitacions directes; és a dir, els pouets (*Rainpits*) es formen per l'impacte directe de les gotes de pluja en superfícies de roca nua, però només a les parts elevades planes on no es produeixen pel·lícules gruixades d'aigües (Ginés i Lundberg, 2009). No obstant, no es pot oblidar en la seva formació l'aigua quieta retinguda per la pròpia forma o irregularitats del rocam que pot arribar a donar la coalescència entre formes individuals. El sobreeximent de la pròpia capacitat d'aquestes petites concavitats, en molts de casos, l'aigua sobrant circula d'un pouet al següent que té una posició una mica més baixa respecte al pla de superfície del lapiaz. El resultat és una trama de canaletes que passen d'una definició més subtil a l'inici a una més definida al llarg del seu recorregut (*Decantation flutes*), amb direccions que van favor del pendent de la superfície del lapiaz. Aquestes canals són també d'escala centimètrica i les seves seccions són en forma de U. A vegades, aquestes canaletes poden arribar a connectar un nombre considerable de pouets a mode de rosari i amb un recorregut meandriforme i escalonat (Fig. 12).

Encara que la mitjana de precipitació de la zona és baixa, hi ha estries de lapiaz (*Rillenkarrren*). No obstant, pel grau de presència diríem que quasi que hi són de forma casual, són curtes i poc desenvolupades, trets morfològics propis a les condicions d'aridesa de la zona que descrivim (Fig. 13). Aquestes, no solen sobre passar la vintena de cm de llargària, amb una amplària de dos a tres cm. Només apareixen en les protuberàncies de rocam més altes i a les cares de les plataformes rocoses que la seva superfície té un major



**Fig. 11.** Pouets de dissolució (*Rainpits*). A) Vista zenital d'una superfície plana irregular amb la presència de nombrosos pouets de dissolució. B) Vista en secció de diferents pouets i la seva interconnexió entre ells.

*Fig. 11.* Dissolution wells (*Rainpits*). A) Zenith view of an irregular flat surface with the presence of numerous dissolution wells. B) Sectional view of different wells and their interconnection.



pendent. Cal dir que als llocs a on les hem observades, les escultures de lapiaz que les contenen suggereixen un llarg temps d'exhumació i exposició directa a la pluja. Ginés i Lundberg (2009) apunten que les gènesis de *rainpits* i *rillenkarren* poden estar relacionades, malgrat que no tenen per què demostrar dependència una de l'altre, al mateix temps que poden aparèixer de forma indistinta una de l'altre. No obstant, sí que a la nostra àrea d'estudi les estries de lapiaz (*Rillenkarren*) que citem, i al nostre entendre, pareix que té una clara dependència evolutiva dels pouets de dissolució (*Rainpits*) preexistents. Tant és així que l'interior de les canals de les estries són de fons molt irregular, provocat per petites concavitats que es poden relacionar a pouets desfigurats que, quan al vessant del lapiaz on apareixen va guanyant pendent, evolucionen a estries.



**Fig. 12.** Quan una superfície té pendent es formen canaletes sobreeiximent, on un nombre considerable de pouets (*Rainpits*) poden arribar a ser connectats a mode de rosari i amb un recorregut meandriforme i escalonat.

*Fig. 12.* When a surface is sloping, overflow channels are formed, where a considerable number of rainpits can be connected in the form of a rosary and with a meandering, stepped path.

Dins el concepte de formes de lapiaz genèticament lligades a aigües quietes, estancades, tenim els cocons o cubetes de dissolució (*Kamenice*). En els paisatges càrstics on l'aridesa és el seu tret climàtic, aquestes formes de dissolució en són força abundants (Fig. 14). Sobre la plataforma de Pòrtol –sa Cabaneta la seva presència és més que notable, tenen una planta circular o amb tendència el·líptica, amb un diàmetre d'escala centimètrica. A la part exterior, en el cantell amb contacte amb la superfície externa del rocam, el perímetre

de la forma és menor que el seu perímetre a la base de la part interior de la cubeta, al mateix temps que presenten un fons pla i uns laterals amb un perfil còncau, com si es tractés d'un petit extra-plom corbat cap al seu interior. La profunditat observada en els cocons de la nostra àrea no superen els 10 cm. Les cubetes que evolucionen cap aquestes característiques són depressions que una vegada s'atura la pluja, l'aigua arreplegada es manté en el seu interior fins a la seva pèrdua amb el temps per evaporació.



**Fig. 13.** Les estries (*Rillenkarren*) són curtes i poc desenvolupades amb un fons irregular de les canaletes. Poden presentar-se relacionades amb pouets de dissolució (*Rainpits*). Aquests trets morfològics estan subjectes a les condicions d'aridesa de la zona que descrivim.

**Fig. 13.** The stretch marks (*Rillenkarren*) are short and underdeveloped with an irregular bottom of the gutters. They may be related to dissolution wells (*Rainpits*). These morphological features are subject to the aridity conditions of the area we describe.



**Fig. 14.** Cubeta de dissolució de fons pla i laterals còncaus (Kamenice). El diàmetre en el cantell superior de la cubeta a la part superficial és de 13 cm.

**Fig. 14.** Dissolution basin with flat bottom and concave sides (Kamenice). The diameter at the top edge of the bucket on the surface is 13 cm.

Malgrat que hi trobem formes que responen a la descripció teòrica d'una cubeta de dissolució, també tenim una major presència de cubetes on el perímetre exterior pot arribar a ser molt més gros, més irregular i el fons no acaben de ser plans, sinó amb una certa disposició en embut (Fig. 15A). Amb l'observació de camp, tot apunta al fet que aquestes formes malgrat puguin mantenir l'aigua quieta durant un cert temps després de l'episodi de pluges, aquesta acaba infiltrant per algun punt del seu interior, fet que fa que perdi l'aigua de forma més ràpida que les cubetes de fons pla, que la retenen fins que s'eixuguen per evaporació. A més a més, cal citar que d'aquesta segona tipologia de cubetes, en trobem que estan farcides de *terra rossa* fins arran de la superfície del rocam (Fig. 15B). Aquesta situació de rebliment, que evidencia una seva gènesi de la seva formació en el subsòl, permet la *terra rossa* pugui retindre la humitat que acumula durant més temps. Així en les cubetes farcides, el rebliment constitueix un element d'efectivitat corrosiva a l'interior d'aquestes concavitats no exhumades del tot, i per aquest fet alguns autors les classifiquen com a formes de lapiaz de subsòl (Zseni, 2009).



**Fig. 15.** A) Cubetes de dissolució de fons en embut i planta irregular. L'amplada de la vista és de 40 cm. B) Cubetes de dissolució de planta irregular amb el seu rebliment des del seu origen.

**Fig. 15.** A) Dissolution baskets in funnel and irregular plant. The width of the view is 40 cm. B) Dissolution basins of irregular plant with their filling from the beginning.

Una altra forma de lapiaz lliure que es pot observar a la nostra zona és la produïda per aigua adherida a la roca (*Cavernous weathering*). Aquesta té lloc al rocam que es troba amb una disposició vertical, on s'hi esculpeix superfícies amb una elevada rugositat formades per tot una distribució de petits alvèols com si fossin pouets (*Rainpits*), però amb una secció individual horitzontal i a sobre una superfície vertical (Fig. 16). No està gens clar quins són els processos que intervenen en la seva formació, però al no poden ser les gotes de pluja el principal mecanisme que justifiqui la seva formació, no és poden reconèixer com a *rainpits* (Ginés i Lundberg, 2009). A la nostra àrea d'estudi, aquestes superfícies cavernoses es poden observar als paraments verticals dels cingles que delimiten l'àrea de la plataforma analitzada.



**Fig. 16.** Alvèols amb una morfologia de pouet (*Rainpit*), però amb una secció individual horitzontal i a sobre una superfície vertical, el que fa pensar amb l'aigua que s'adhereix a la roca com la seva possible gènesi (*Cavernous weathering*). L'amplada de la vista és de 1,5 m.

**Fig. 16.** Alveoli with a pouet morphology (*Rainpit*), but with a single horizontal section and on a vertical surface, which he thought of with water that attaches to the rock as his possible genesis (*Cavernous weathering*). The width of the view is 1.5 m.

A quasi bé la totalitat de les bases d'aquests cingles limítrofes de la zona d'estudi es caracteritzen per la presència de balms, més o menys, desenvolupades les quals formen part del mecanisme que explica el retrocés d'aquests espadats. La seva localització coincident amb el contacte de diferents materials litològics, és sens dubte un fet inqüestionable alhora d'explicar l'erosió diferencial com el mecanisme de la seva dinàmica.

A la base de les balmes, la regulació del perfil d'equilibri vessant a baix, dependrà de la presència de margues corresponents a la formació de Calcisiltites de Son Mir en unes localitats i les margues del Serraval·lià de Miocè mitjà en altres, que s'acomodaran al perfil segons els processos de la mateixa dinàmica de vessants. Tot plegat, justifica una part del descalçament que suporta la unitat de materials més durs i carstificables de la formació de Calcarenites de Sant Jordi (Fig. 17). No obstant això, als interiors i sostres d'aquestes balmes s'hi poden observar diferents processos lligats a la dissolució del rocam, com ara l'exhumació de conductes i cavitats producte de l'endocarst. A més a més, a parets i sostres, també és freqüent observar formacions alveolars que poden anar d'uns quants centímetres de diàmetre a més de la vintena de centímetres de diàmetre. En aquestes formacions alveolars es denota l'efectivitat de la corrosió per la humitat que hi arriba per percolació des de la part superior. La meteorització dels dipòsits de lumaquelles i calcarenites que formen les balmes, deixa una patina debilitada i polsegosa adherida com a restes de la disgregació. En quant es produeix un episodi ventós aquestes partícules soltes són remogudes pel flux eòlic que pot entrar a la cavitat de forma turbulenta, de manera que l'abrasió que provoquen modela en formes d'alvèols els punts d'una major debilitat del rocam. En aquests casos és clar que ens apropem d'alguna manera a una forma i gènesis com la dels tafones (*Taffoni*) (Fig.18).



**Fig. 17.** Les balmes es desenvolupen a la base dels espadats i són el resultat de la combinació de diferents processos que interactuen alhora provocant un descalçament del rocam i amb el temps el seu col·lapse.

**Fig. 17.** *The caves develop at the base of the swords, and are the result of a combination of different processes that interact at the same time, causing a barefoot to bark and eventually collapse.*

En funció del grau de fracturació o diaclasament del material situat per sobre de les balmes i quan aquestes arriben a una profunditat important, de forma mecànica es produeixen col·lapses, normalment només d'una part, de les seves viseres superiors.



**Fig. 18.** Les formacions alveolars que de forma freqüent apareixen a les parets i sostres de les balmes, són el resultat de la dissolució i de l'acció de l'abrasió eòlica en els episodis ventosos. L'amplada de la vista és de 35 cm.

*Fig. 18.* Alveolar formations that frequently appear on the walls and ceilings of the caves are the result of their dissolution and the action of wind abrasion in windy episodes. The width of the view is 35 cm.

Una vegada feta la descripció de les formes de l'exocarst de la zona, es posa en evidència que aquest paisatge càrstic no gaudeix de formes molt espectaculars, inclús en els sectors molt antropitzats costa d'observar processos i formes de corrosió, sens dubte aquest fet és una de les conseqüències de les escasses precipitacions de l'àrea. No obstant, aquestes minses precipitacions afavoreixen que si hi hagi instal·lat damunt del rocam una estesa i densa patina de líquens xèrics que colonitzen considerables superfícies que pot arribar a cobrir el 100% de la roca exposada (Fig 19). Segons Ginés (1990), són segurament l'agent de meteorització més important en aquestes zones, per qual cosa, malgrat sigui molt poca la feina d'investigació feta en aquesta línia, autoritza a parlar en propietat de la importància que ha de tenir el biocarst en aquesta zona semiàrida.



**Fig. 19.** Instal·lants sobre les superfícies lliures del lapiaz, trobem una estesa i densa patina de líquens xèrics que poden arribar a colonitzar el 100% de la roca exposada. A la fotografia es poden observar les següents tipus: color gris-blancinós *Verrucaria* sp.; color negre *Collema* sp. i color groc *Caloplaca* sp. L'amplada de la vista és de 35 cm.

**Fig. 19.** Installing on the free surfaces of the lapiaz, we find an extended and dense patina of xeric lichens that can reach must colonize 100% of the exposed rock. The following types can be seen in the photograph: gray-whitish *Verrucaria* sp. ; black color *Collema* sp. and yellow *Caloplaca* sp. The width of the view is 35 cm.

### **Carst de subsòl**

Parlem de lapiaz quan identifiquem escultures de roca modelades per la corrosió en condicions subaèries, no obstant, amb anterioritat a la seva exhumació, provocada per diferents processos de degradació fins a arribar a la desaparició de la vegetació i a l'erosió



de les formacions edàfiques, durant mil·lennis ja s'han anat modelant com a formes de lapiaz cobert (*criptolapiaz*). Aquestes, quan són recentment exhumades, presenten formes suaus, allisades i amb escaires molt arrodonides. En canvi, tenen una manca absoluta de les formes aspres i remarcades de lapiaz lliure, resultants d'aigua de pluja quan aquesta impacta o es mou com escorrentia difusa o concentrada per la superfície del rocam.

Carst de subsòl, carst subcutani, lapiaz cobert, lapiaz subedàfic, criptolapiaz són termes que diferents autors han anat utilitzant per referir-se a una zona determinada dels processos de carstificació, a on es produeixen formes de corrosió pel contacte directe de la roca amb la cobertura edàfica (Zseni, 2009). Coincideix amb la franja de regolita on la meteorització de la roca mare va proveint de partícules als processos de formació de sòl. També i a causa de la concentració més gran de CO<sub>2</sub> i un període de temps més llarg de contacte directe de l'aigua amb la roca, és on la dissolució de la pedra calcària és més intensa, fins al punt que la taxa de denudació de la pedra calcària, és més alta en el cas del subsòl que en el carst subaeri nu. En aquest sentit, si a més tenim una bona cobertura vegetal en superfície, la interfase roca-sòl sol ser encara més efectiva amb el modelat del carst de subsòl, ja que li proporciona unes majors concentracions de CO<sub>2</sub> que en superfície (Ginés, 1990). En aquest sentit i com apunta Ginés (1999), els processos de meteorització a les calcàries mostren una important correlació entre el tipus de lapiaz present i la comunitat vegetal que ocupa el camp. Aquesta correlació es dona a l'altiplà de Pòrtol entre la presència de pi (*Pinus halepensis*) i la porrassa o albó (*Asphodelus aestivus*) amb l'existència de lapiaz subedàfic o criptolapiaz, correlació ja observada per A. Ginés (1999) i citada a llocs de la franja de baixa altitud de la Serra de Tramuntana.



**Fig. 20.** Carst cavernós (*Cavernous karren*). A) Es poden observar les concavitats encara a mig exhumar i farcides de sòl. B) Resultat laberíntic d'un carst cavernós totalment exhumat i sense sòl.

**Fig. 20.** *Cavernous Carst* (*Cavernous karren*). A) *Concavities still half exhumed and filled with soil can be observed.* B) *Labyrinthic result of a cavernous karst completely exhumed and without soil.*

Una altra qüestió important és que moltes d'aquestes formes de subsòl, una vegada són exhumades perduren passives a la intempèrie on progressivament són modificades per les condicions subaèries, que amb el temps poden arribar a sofrir modificacions de les seves característiques originals amb total consonància amb els processos del modelat del carst lliure. Un exemple eloqüent és que la gènesi inicial dels cocons o cubetes de dissolució (*Kamenice*) fos baix sòl, tant en un tipus com en l'altre anteriorment descrits, mentre que els seus trets morfològics actuals han sigut adoptats després de la seva exhumació.

Una forma comuna al carst de subsòl és el carst cavernós (*Cavernous karren*). Les seva característica principal és que són obertures de petites cavitats amb interconnexions complexes que responen a un patró de distribució irregular. No es tracta d'una sola forma sinó d'un entramat connectat i en gran part reblit de sòl (Fig. 20). En els exemples de cavitats de carst cavernós que nosaltres hem pogut observar en algun lapiaz semi exhumat, l'escala de les formes no sobre passa les mesures centimètriques del seu diàmetre, mentre que alguns autors manifesten que poden arribar a superar l'escala mètrica (Zseni, 2009). També la bibliografia apunta que l'evolució d'aquests canals de corrosió del subsòl és ajudada pels àcids de les arrels de les plantes més grans i d'una producció intensa de CO<sub>2</sub> per part dels microorganismes que envolten el sistema de la rizosfera.



**Fig. 21.** Pou de dissolució (*Karren wells*). Es pot observar les parets de l'interior són allisades amb formes arrodonides resultat de la seva formació amb contacte amb sòl. Encara el seu fons es troba reblit de terra rossa que reten la humitat i la corrosió segueix incrementant, sobre tot en profunditat, les dimensions del pou.

**Fig. 21.** *Dissolution well (Karren wells). It can be seen that the interior walls are smoothed with rounded shapes as a result of their formation in contact with the ground. Still its bottom is filled with blond soil that retain moisture and corrosion continues to increase, especially in depth, the dimensions of the well.*

De forma més puntal i localitzada, però no exempta a la zona, trobem pous de dissolució (*Karren wells*). Des de la superfície del paisatge càrstic que analitzem, trobem de forma mig exhumada de pous de dissolució, que formats en condicions subcutànies, avui des del seu forat exterior ens permet observar com s'endinsen en el subsòl (Fig. 21). Formats per l'aigua d'infiltració, són exhumats a l'exterior per la pèrdua del sòl, fins que s'arriba a un punt en que les partícules insolubles (argiles de descalcificació) queden atrapades en el seu propi interior, seguint exercint la corrosió i incrementat sobretot la seva profunditat. Els exemples que hem pogut observar presenten una bocana des de 10-15 cm a 30-40 cm de diàmetre en el seu eix més llarg, ja que presenten una planta amb tendència el·líptica i una profunditat que pot oscil·lar des d'una desena de cm fins al metre des de la superfície exterior. Les formes internes del tub o canal del pou, les constitueixen parets amb superfícies allisades i formes irregulars arrodonides, coherents a la corrosió provocada pel contacte del sòl amb la roca en les formes del criptolapiaz (*Subsoil karren*).

Aquestes superfícies allisades també es poden observar a la seva base i als primers centímetres del terra d'alguns cossos de lapiaz exhumats més recentment. En aquests casos els processos de corrosió exterior encara no han modelat amb la mateixa intensitat que la part superior del lapiaz, que dur més temps d'exposició a la dissolució dels agents exteriors. Aquestes formes ens deixen clar l'existència d'una franja entre un primer estadi de formació del lapiaz subcutani i un modelat del lapiaz lliure totalment descobert (Ginés i Ginés, 2011).



**Fig. 22.** Corredors de dissolució (*Rundkarren*). Es pot observar una xarxa de corredors disposats paral·lels al lapiaz que aflora i coberts de sòl i abundant vegetació. Van en direcció a l'angle inferior esquerra de la fotografia sobre una superfície més o menys plana.

**Fig. 22.** *Dissolution Brokers (Rundkarren). You can see a network of corridors arranged parallel to the outlying lapiaz and covered with soil and abundant vegetation. They are heading in the lower left corner of the photo on a more or less flat surface.*

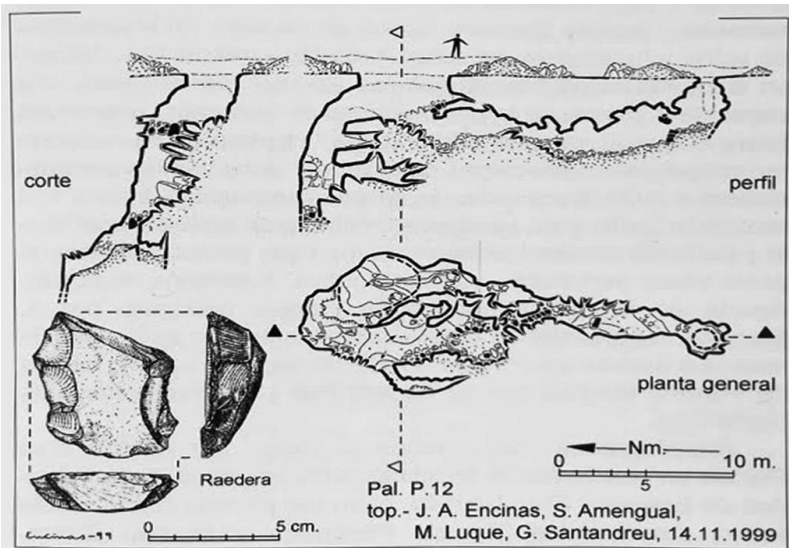
Una altra forma genèticament emmarcada dintre del carst format a l'epidermis del subsòl són els corredors de dissolució (*Rundkarren*) (Zseni, 2009). Aquests tenen unes seccions arrodonides i superfícies llises que normalment s'eixamplen i aprofundeixen aigües avall. Tenen una certa semblança amb els *rinnenkarren* malgrat que aquests darrers es desenvolupen en superfícies exteriors i són més nítids amb fons arrodonits. L'amplada de *rundkarren* pot variar entre els 2 i els 50 cm, la seva profunditat pot arribar fins als 50 o més cm i la seva longitud pot anar d'uns quants centímetres a més de 10 m (Fig. 22). Entre ells solen estar relacionats i funcionen com una xarxa de drenatge dendrítica d'una superfície més o menys plana, fins que s'incrementa el pendent i aflora la roca. Les mides que el *rundkarren* pot arribar a adquirir, sol estar relacionat amb el temps que dura l'etapa que el corredor estigui cobert de sòl. Però també, depèn de la capacitat de la dissolució dels processos que es donen sota el sòl.

### **L'endocarst**

Malgrat tot, de l'abast real del criptolapiaz, com és comprensible i per raons obvies, no és fàcil fer-ne una descripció exhaustiva. En aquest sentit i en alguns casos, són molt més assequibles altres formes subterrànies, com són les cavitats horitzontals o verticals a les quals està lligada la corrosió i dissolució de la calcària. No obstant, al localitzar-se normalment a la zona vadosa, en el món de l'endocarst no només cal parlar de formes de dissolució, sinó que també cal fer-lo de les formes de deposició, de precipitació de carbonats. Marratxí en el seu conjunt no n'és un territori excessivament afavorit en l'existència coneguda d'aquest tipus de formacions subterrànies. D'un inventari d'aproximadament 31 cavitats al llarg de tot el terme municipal (Santandreu, 2005) la majoria són petites cavitats horitzontals que han sigut ocupades des de temps immemorials per l'home, raó per la qual mostren un major interès arqueològic i antropològic, que espeleològic. De fet i des d'un punt de vista geomorfològic, moltes d'aquestes cavitats cal interpretar-les més com a balmes que com a coves i així ens hem referit a elles quan hem descrit les formes de l'exocarst, on a més, hem explicat la seva implicació mecànica directa en el retrocés dels cingles que delimiten la plataforma.

Així i tot, dintre del territori que analitzem trobem tota una sèrie d'avencs que si són producte de la corrosió i dissolució en profunditat, malgrat que aquestes també tenen una component genètica de naturalesa tectònica. Santandreu (2005) autor de l'esmentat inventari, cita la presència a la contrada de les Quarterades d'en Rafel i la veïna garriga de Son Pelat, aquesta darrera ja dintre el municipi de Palma, l'existència d'una àrea de concentració d'avencs. En el seu inventari descriu l'avenc del Tancat, que té un curt recorregut i una fondària màxima de 5 m, però malgrat les seves petites dimensions sí que presenta espeleotemes com colades parietals i estalagmites. L'autor també cita les coves de Son Pelat, de molt més recorregut i una decoració d'espeleotemes més rica que la d'es Tancat (Fig. 23 A i B) (Encinas, 2014). També esmenta l'existència de moltes altres boques que es troben en zones de propietats privades, on algunes han sigut obstruïdes per temes de construcció d'edificis o per seguretat. Tot plegat el que si és cert, és que en aquesta concentració d'avencs reuneix una àrea on la carstificació interna de la plataforma ha de ser important i no lleva que altres zones de la unitat de calcarenites de Sant Jordi puguin presentar trets de carstificació interna similar sense que hagin afluït a l'exterior. Molts d'aquests avencs foren localitzats en el moment en què una part important del territori fou

roturat per a posar-lo en explotació agrícola, fet que implica que molts avencs fossin condemnats just fossin trobats. Els avencs que hem pogut trobar i localitzar, apareixen cartografiats al mapa geomorfològic (Fig. 5).



**Fig. 23.** A) Entrada a l'avenc de les Coves de Son Pelat. B) Topografia de la mateixa cavitat publicada al *Cronicon Carvernario* (Encinas, 2014).

**Fig. 23.** A) In Entrance to the Sima of the Coves de Son Pelat. B) Topography of the same cavity published in the *Cronicon Carvernario* (Encinas, 2014).

Com a darrer apunt al món subterrani de la contrada que estudiem, cal dir que són ben poques les surgències d'aigua naturals. A part d'alguns degotissos o petits fils d'aigua que surten del roquissar i només aconseguen roiar uns dies després de les pluges. Com font important només trobem la Font de Pòrtol o d'en Llupià, que fins fa unes dècades era la principal font pública de proveïment d'aigua als pobles de Pòrtol i sa Cabaneta (Santandreu, 2005). Es tracta d'un coval molt modificat per l'home, situat en el contacte de les margues del Miocè com una unitat impermeable i a sobre les calcarenites del Pliocè.

### ***La xarxa superficial de drenatge***

La xarxa de drenatge superficial de l'altiplà té dos sectors ben diferenciats. Un primer, drena tota la part superior de la plataforma i el fa de forma conseqüent, amb una orientació mitjana dels seus tàlvegs cap al SSW. No obstant això, el seu curs principal que rep el nom de comellar d'en Fornés a la seva meitat baixa i comellar Fondo al seu recorregut superior, presenta en aquest darrer tram una clara direcció ESE-WNW. Aquesta orientació està subjecta al control d'una falla normal local, que coincideix amb la mateixa direcció del curs. Cal esmentar que la mateixa falla es pot seguir fins al sector de Pontiró. Aigües a baix, el curs fa un gir de 90<sup>0</sup> cap al SW i passa a ser conegut com el comellar d'en Fornés, manté aquesta orientació SW fins a sortir de l'àrea d'estudi a l'altura de la possessió de Son Orlandis. El segon sector, coincideix amb el cantell meridional de l'àrea d'estudi que s'organitza amb una mitja dotzena de petits barrancs amb orientacions paral·leles, un al costat de l'altre, i que s'incideixen a la plataforma amb una direcció N-S.

Una primera observació que cal fer sobre aquesta xarxa superficial de drenatge de la plataforma Pòrtol-sa Cabaneta, és l'important control tectònic del seu establiment tant sigui en un sector com a l'altre. Malgrat tot, sí que entre aquests dos sectors es presenten diferències morfològiques considerables a tenir en compte. La xarxa del primer sector, el seu curs principal i algun que altre tributari, presenta un definit i profund tàlveg en forma V, on es pot identificar bé el seu llit (Fig. 24). En canvi i malgrat la dificultat que implica transitar-los per la densa vegetació que avui els envaeix, no hem identificat dipòsits d'al·luvionament, essent més les acumulacions presents de naturalesa pròpia de la dinàmica dels vessants que els conformen. El mateix perfil de tàlveg en V, el mantenen els tributaris immediatament al començament aigües a dalt, però al llarg dels seus recorreguts ràpidament i en poca distància passen a tenir un perfil molt menys definit i un tàlveg més insinuat i subtil. Tot plegat i a més de les reduïdes conques de recepció que tenen, és molt improbable que la gènesi d'aquesta xarxa puguin respondre a paràmetres fluvio-torrencials. Sens dubte que els canvis climàtics amb períodes molt més plujosos juntament amb els canvis en els nivells de base, podrien explicar moments puntuals preterits en la reanimació de la dinàmica torrencial d'aquesta xarxa, que avui roman difunta (Rosselló, 1985, 1995 i 1998). Malgrat tot, el que si pareix ineludible en la seva interpretació genètica i morfològica, és analitzar en quin grau ha coadjuvat la tectònica i l'aixecament de la massa del rocam de la localitat i de la ineludible naturalesa calcària amb la intensa efectivitat dels processos de dissolució-carstificació sobre aquest mateix rocam.



**Fig. 24.** A la fotografia s'aprecia la important incisió dels canals de drenatge de la part superior de la plataforma analitzada, en primer pla el Comellar Fondo. No obstant, aquests canals tenen una carència d'una conca hídrica de recepció que pugui justificar el seu desenvolupament.

**Fig. 24.** The photo shows the significant incision of the drainage channels of the upper part of the analyzed platform, in the foreground the Comellar Fondo. However, these channels lack a receiving water basin that can justify their development.



**Fig. 25.** Vessant de ponent del Barranc Nou al sector meridional de la zona d'estudi. S'observa el cingle superior constituït per les Calcarenites de Sant Jordi i per sota, el vessant regulat amb margades sobre les Calcisiltites de Son Mir. En el contacte litològic, un seguit de balmes que regulen el la dinàmica de retrocés de l'espadat provocant importants caigudes de blocs.

**Fig. 25.** West slope from the Barranc Nou to the southern sector of the study area. You can see the upper cliff constituted by the Calcarenites of Sant Jordi and below, the slope regulated by margins on the Calcisiltites of Son Mir. At lithological contact, a series of caves that regulate the recoil dynamics of the lawn causing significant block drops.

Pel que fa al conjunt de petits barrancs del segon sector, situats al cantell meridional de la plataforma, aquests no superen els 800 m de recorregut fins a arribar a la seva part més interior, on normalment acabem en un cul de sac. Arribats a aquest punt, ens trobem amb una paret vertical que pot anar entre els 10 i els 20 m d'alçada. A partir d'aquí, i aigües a munt, uns barrancs més que els altres, continuen amb un tàlveg i un llit molt poc o gens definit topogràficament. En aquest cas i a diferència del Comellar d'en Fornés i el Comellar Fondo del primer sector, aquests barrancs més meridionals: el de Son Silis, el Barranc Vell, el Barranc Nou (Fig. 25), i altres d'una menor entitat sí que presenten un perfil transversal amb parets verticals a les parts superiors de cada un dels seus vessants, adoptant així una morfologia barranquera que inclús és reconeguda popularment per la seva toponímia. Aquesta disposició del perfil d'aquestes petites incisions "col·lectors", es deu a fer que aprofitant fractures N-S tallen la unitat de calcarenites de Sant Jordi, donant així parets verticals a les seves parts més elevades del vessant. El rocam d'aquestes parets està molt diaclasats i presenten importants sapes que descalcen la seva base (recordeu les balmes citades anteriorment com a formes de l'exocarts), tot plegat contribueix que aquests escarpaments siguin poc estables i presentin importants caigudes de blocs d'escala mètrica. En el seu interior el perfil de la vall torna a esser en V, ja que el llit del curs pràcticament inexistent s'incideix sobre les marges i lutites de la unitat de Calcisiltites de Son Mir. Tot plegat i des d'un punt de vista gènetic d'aquest grup de barrancs, cal apuntar les mateixes qüestions realitzades pel sector anterior. No obstant, per aquests barrancs cal fer dues reflexions més: una primera, (vegeu mapa geomorfològic Fig. 5) és la presència de petits cons de dejecció a les sortides dels barrancs més grans, formats bàsicament per argiles de descalcificació, el que ens apropiaria, encara més, a la importància del paper de la dissolució en la seva gènesi. Una segona reflexió, igual que ja va platejar Rosselló, (1998) i donat les cotes altitudinals on desemboquen els llits dels barrancs, és contemplar la possibilitat que en l'evolució de la seva definició i buidat, hi hagi pogut intervenir la dinàmica litoral.

## Discussions i conclusions

A l'àrea d'estudi l'aclaparadora litologia calcària organògena corresponent a materials postorogènics del Pliocè superior, fa que el rocam tingui un rellevant paper en el seu modelat. Aquests materials han sigut sotmesos des del final del Pliocè i principis del Quaternari a una activitat tectònica local que pràcticament ha durat fins als nostres dies, elevat relleus com els que componen l'antiforme de Marratxí, del qual l'àrea d'estudi en forma part. Aquests processos de neotectònica han posicionat els materials plioquaternaris a cotes més elevades que els seus corresponents semblants d'altres indrets de l'illa, el que ha duit associat l'aparició d'una important xarxa de fracturació i diaclasament de tota la plataforma. Aquest esquarterament ha afavorit la circulació de l'aigua que percola amb facilitat dintre un rocam de naturalesa carbonatada i amb una alta porositat. Tot plegat ha possibilitat una intensa efectivitat dels processos de dissolució a tota l'àrea d'estudi.

La part elevada de la plataforma constitueix un excel·lent indret per a l'estudi del carst (*Karren*) d'ambients semiàrids. No obstant, els indrets de major pendent on la pèrdua de sòl (*Terra rossa*) és més important, permet una exhumació de formes de lapiaz amb molta més



densitat i intensitat, el que facilita l'observació i estudi del modelat càrstic subcutani, criptolapiaz (*Subsoil shaping*).

Malgrat que el carst analitzat ofereix molt poca espectacularitat, si que té una sorprenent i rica diversitat de formes micro i meso que permeten identificar els processos que les generen. En canvi, la zona no presenta grans formes de dissolució com per exemple dolines o uales, només una xarxa de drenatge considerablement encaixada i controlada per la tectònica local d'una forma descarada, romp la monotonia de la superfície de la plataforma.

Ni les condicions climàtiques, poc favorables, com ara una baixa precipitació mitjana anual, ni les minses i reduïdes conques de recepció d'aquesta xarxa, argumenta pensar en l'activitat torrencial com a responsable de la seva definició. Així doncs, només els processos de solució conduïts per la trama de fracturació tectònica, poden donar explicació al seu establiment i dimensionament, deixant la dinàmica torrencial en un paper molt secundari.

Segurament la percepció de formes vertical i voluminoses és la conceptualització més lògica que hom pot tenir d'un paisatge càrstic, com n'és l'exemple del camp de *lapiaz* (*Spitzkarren*) dels voltants del Monestir de Lluc. No obstant, el carst que ens ocupa a la plataforma de Pòrtol - sa Cabaneta, predomina l'horitzontalitat de les formes càrstiques i les petites dimensions d'aquestes. En línies generals parlem, segons la zonificació altitudinal que A. Ginés als 1990 va establir sobre la distribució de les formes càrstiques a la Serra de Tramuntana, d'una zona on les precipitacions mitjanes anuals són pobres no superen els 500 mm i la distribució sol tendir a la concentració amb pocs, però intensos episodis. A més a més, en el nostre cas específic creiem que la mateixa estratigrafia del rocam implicat té un paper important en la definició i la poca alçada de les formes *lapiaz* que hi hem identificat.

El *lapiaz* que tenim en superfície, en gran mesura són escultures que posen en evidència que s'han exhumat després de la seva formació i definició morfològica i volumètrica en condicions subjacents de criptolapiaz en el subsòl (*Subsoil shaping*). Són formes que una vegada a l'exterior, les seves parts superiors que duen més temps exposades a l'intempèrie, han sigut gravades amb nous petits relleus i a vegades només han sofert un subtil retoc per l'impacte, l'escorrentia superficial o la retenció d'aigua de pluja, donant lloc a les superfícies del *lapiaz* lliure o subaeri. En aquest sentit, a l'àrea d'estudi podem parlar com a formes produïdes i evolucionades en condicions de carst lliure: de pouets o fosses de dissolució (*Rainpits*) com a les més abundants; d'estries (*Rillenkarren*) encara que amb una baixa profusió; i de les petites fosses de dissolució amb secció horitzontal (*Cavernous weathering*), malgrat que d'aquestes darreres formes no es té clar quins són els processos de formació en els paraments rocosos verticals.

El desenvolupament de balmes o petites cavitats horitzontals a la base dels espadats juntament amb l'important fracturació del nivell de calcarenites és sens dubte el mecanisme que explica el retrocés dels espadats de les vores de la plataforma. No obstant, queda per definir quines són les condicions en què es produeix el descalçament i l'aparició de les balmes i el seu buidat interior. L'aparició de formes alveolars horitzontals de diverses dimensions a les parets i sostre de l'interior de les balmes, deixa clar que són el resultat d'un mecanisme de buidat lligat a la solució com a meteorització i a l'abrasió eòlica amb la mobilització de les partícules.

L'abundant presència de cubetes de dissolució (*kamenitzas*), les posiciona com una forma de dissolució important a la nostra àrea d'estudi. Per un gran nombre d'aquestes formes, és inqüestionable que tenen el seu origen en les superfícies planes superiors del rocam quan encara es trobaven en condicions subcutànies baix el sòl, on a la literatura són citades com a paelles o cassoles de dissolució i tenen dimensions i formes molt diverses. No obstant, i amb una presència de menor número al nostre camp, tenim la tipologia de cubetes de dissolució que presenten un perfil de la seva secció on els laterals són còncaus i els seus fons totalment plans. Tot fa pensar aquesta darrera tipologia, pugui tenir una gènesi externa del sòl ja en el carst lliure, mentre que les anteriors són formes produïdes baix sòl i evolucionades com carst lliure. Aquestes dues formes molt similars, plantegen una qüestió genètica per resoldre i que nosaltres de moment a la literatura no hem sabut trobar.

Com a clares formes de subsòl es troben els canals de dissolució (*Rundkarren*), força estesos per la nostra contrada i de forma més puntual tenim els pous de dissolució (*Karren wells*). Les formes cavernoses (*Cavernous karren*) són molt fàcil de localitzar a les mitats inferiors del lapiaz que duen menys temps a l'exterior. Totes elles són observables a la nostra àrea d'estudi, encara que una vegada són exhumades les seves parts més exposades es van sobre imprimint de formes pròpies de l'exocarst.

Un tema que no apunta com gens destacable, és la baixa presència de cavitats càrstiques, el que provoca que l'àrea no suscita cap interès especial pel camp de l'Espeleologia.

En els darrers segles, la zona ha estat fortament sotmesa al transformador impacte humà, més del 50% de la seva superfície són camps de conreu (avui la majoria abandonats) o espais urbanitzats amb tendència al creixement. Tot plegat ha provocat una pèrdua important de la superfície que ocupava les formes de l'exocarst, però cal tenir present que la corrosió i dissolució del rocam persisteix, amb un major o menor grau, de forma epidèrmica baix el sòl d'aquests espais antropitzats. Tot plegat, aquest treball ha intentat donar, en la mesura del possible, cobertura al coneixement geomorfològic d'una petita àrea de paisatge de marina així com la descripció d'una interessant i suggerent zona càrstica de clima semiàrid de l'illa de Mallorca.

## Agraïments

L'autor vol agrair a Joaquín Ginés i molt especialment a Àngel Ginés per tota la seva bona voluntat i dedicació en aclarir tots i cada un dels dubtes que els he plantejat sobre la temàtica del carst, en Bernardí Gelabert pel que fa a les consultes que li he realitzat sobre estructura i tectònica de la zona i a Guillem Xavier Pons i a Laura del Valle per la correcció i els suggeriments aportats per a la millora d'aquest treball.

## Bibliografia

- Bär, W. F. 1989. Atlas Internacional del Karst. Hoja 5: Lluc/Sierra Norte (Mallorca). *Endins*, 14-15: 27-42.
- Benedicto, A., Ramos, E., Casas, A., Sabat, E. i Barón, A. 1993. Evolución tectosedimentaria de la cubeta neógena de Inca (Mallorca). *Revista Sociedad Geológica de España*, 6 (1-2): 167-176.

- Del Olmo, P., Álvaro, M., Ramírez del Pozo, J. i Aguilar, J. 1991. *Mapa Geológico de España, escala 1:50.000. Hoja 698/723(IV) de Palma, I. del Toro y Cap de Cala Figuera*. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid.
- Encinas, J. A. 2014. *Corpus cavernario mayoricense*. El Gall Editor. pag. 819.
- Fornós, J. J. i Gelabert, B. 1995. Litologia i tectònica del carst de Mallorca. *Endins*, 20 / *Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 3: 27-43.
- Giménez, J. 2003. Nuevos datos sobre la actividad post-Neógena en la Isla de Mallorca. *Geogaceta* 33:79-82.
- Giménez, J. i Gelabert, B. 2002. Anàlisi de la actividad tectónica reciente en la isla de Mallorca. *In: III Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica*, Valencia, 1: 390-394.
- Ginés, A. 1990. Utilización de las morfologías de lapiaz como geoindicadores ecológicos en la Serra de Tramuntana (Mallorca). *Endins*, 16: 27-39.
- Ginés, A. 1998. L'exocarst de la Serra de Tramuntana. *In: Fornós, J. J. (ed.). Aspectes geològics de les Balears (Mallorca, Menorca i Cabrera)*. Universitat de les Illes Balears. Palma. 361-389.
- Ginés, A. 1999. *Morfología kàrstica y vegetación en la Serra de Tramuntana. Una aproximación ecológica*. Tesi Doctoral. Departament de Biologia i Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. 581 pàgines + 70 làmines.
- Ginés, A. 2009. Karrenfield landscapes and karren landforms. *In: Ginés, A., Knez, M., Slabe, T. i Dreybrodt, W. (eds.). Karst rock features. Karren sculpturing*. Založba ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna. Carsologica, 9: 13-24.
- Ginés, A. i Lundberg, J. 2009. Rainpits, an outline of their characteristics and gènesis. *In: Ginés, A., Knez, M., Slabe, T. i Dreybrodt, W. (eds.). Karst rock features. Karren sculpturing*. Založba ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna. Carsologica, 9: 169-183.
- Ginés, A. i Ginés, J. 2011. El modelat exocàrstic de les Balears i els camps de lapiaz de mitjana muntanya mediterrània a la Serra de Tramuntana de Mallorca. *Endins*, 35 / *Monografia de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 17: 53-68.
- Ginés, A. i Ginés, J. 2014. The karst of the Tramuntana range, Mallorca Island. *In: Gutiérrez, F. i Gutiérrez, M. (eds.). Landscapes and Landforms of Spain*. Springer Science + Business Media. Dordrecht: 91-100.
- Ginés, A., Ginés, J. i Miralles, P.M. 2010. Anàlisi morfomètrica del carst de pinacles mediterrani de Sa mitjana (Escorca, Mallorca). *Endins*, 34: 109-124.
- Ginés, J. i Ginés, A. 2009. Mid-mountain karrenfields at Serra de Tramuntana in Mallorca island. *In: Ginés, A., Knez, M., Slabe, T. i Dreybrodt, W. (eds.). Karst rock features. Karren sculpturing*. Založba ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna. Carsologica, 9: 375-390.
- Grimalt Gelabert, M. i Rodríguez-Perea, A. 1994. Unidades morfológicas del llano de Palma (Mallorca). *In: Arnáez-Vadillo, J., Gracia-Ruiz, J. M. i Gómez Villar, A. (eds.). Geomorfología en España Tomo II*. Actas de la III reunión de Geomorfología, Logroño. 403-411 pp.
- Mas, G. 2012. Efectes de desplaçament Pliocuatnari de la falla de Sencelles en relació amb la conca sedimentària d'Inca. *XIII Jornades d'Estudis Locals d'Inca*. 19-29 pp.
- Mas, G. 2013. Evidències de desplaçament direccional de la falla de Sencelles (Mallorca). *In: Pons, G. X., Ginard, A. i Vicens, D. (eds.). VI Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears*. Ponències i Resums. Soc. Hist. Nat. Balears. 50-51.
- Mas, G. 2015. *El registre estratigràfic del Messinià terminal i del Pliocè a l'illa de Mallorca. Relacions amb la crisi de salinitat de la Mediterrània*. Tesi Doctoral. Departament de Ciències de la Terra, UIB. 534 pp. Repositori públic TDX (Tesi Doctorals en Xarxa) a la web <http://www.tdx.cat/handle/10803/375904>.
- Mas, G., Gelabert, B. i Fornós, J. 2014. Evidencias de desplazamiento direccional de la falla de Sencelles (Mallorca, Islas Baleares). *In: Álvarez-Gómez, J.A. i Martín González, F. (eds.). Una aproximación multidisciplinar al estudio de las fallas activas, los terremotos y el riesgo sísmico*.

- Segunda reunión ibérica sobre fallas activas y paleosismología, Lorca (Murcia, España). 47-50 pp.
- Morey, B. i Mas, G. 2009. Aproximació al Neogen de Santa Eugènia (Mallorca, Illes Balears, Mediterrània occidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 52: 99-122.
- Pomar, L., Marzo, M. i Barón, A. 1983. El Terciario de Mallorca. In: *El Terciario de las Baleares (Mallorca - Menorca). Guía de las excursiones. X Congreso Nacional de Sedimentología*. Grupo Español de Sedimentología. 21-44 pp.
- Ramírez del Pozo, J., del Olmo, P. i Alvaro, M. 1991. Estratigrafía. *Memoria del Mapa geológico de España, escala 1:50.000 full 698. Palma I. del Toro y Cap de cala Figuera*. ITGE, Madrid.
- Rosselló, V. M. 1985. Los barrancos de la plataforma oriental de Palma de Mallorca. *IX Coloquio de Geografía*. Asociación de Geógrafos Españoles. Ponencias Tomo I, 1-13. Murcia.
- Rosselló, V. M. 1995. Les cales, un fet geomòrfic epònim de Mallorca. *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 38: 167-180.
- Rosselló Verger, V. M. 1998. Torrents i cales de Mallorca: aspectes geomorfològics. In: Fornós, J. J. (ed.). *Aspectes geològics de les Balears (Mallorca, Menorca i Cabrera)*. Universitat de les Illes Balears. Palma. 331-360.
- Sánchez-Alzola, A. Sánchez-Alzola, A., Sánchez, C., Giménez, J., Alfaro, P., Gelabert, B., Borque, M. J. i Gil, A. J. 2014. Velocidad cortical y campo de esfuerzos en el Archipiélago Balear utilizando series temporales GPS de la red XGAIB (2010-2013). *Física de la Tierra*, 26:47-63.
- Santandreu, G. 2005. Panorama espeleològic de Marratxí (Mallorca-Balears). *Endins*, 27: 93-130.
- Silva, P. G., González-Hernández, F. M., Goy, J. L. i Zazo, C. 1998. Origen y desmantelamiento del Antiforme Plio-Cuaternario de Marratxí (Mallorca, España). *Geogaceta* 23:143-146.
- Zseni, A. 2009. Subsoil Shaping. In: Ginés, A., Knez, M., Slabe, T. i Dreybrodt, W. (eds.). *Karst rock features. Karren sculpturing*. Zalozba ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna. Carsologica, 9: 103-122.