

Aspectes geològics del sistema espeleològic Gleda – Camp des Pou (Manacor, Mallorca)

Joan J. FORNÓS^{1,2} i Francesc GRÀCIA^{1,2}

¹ Grup de Recerca de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. Email: joan.fornos@uib.cat

² Societat Espeleològica Balear. Palma (Mallorca)

Abstract

The lithological characteristics and sedimentary facies that make up the substrate where the Gleda – Camp des Pou underwater cave-system develops are described. It corresponds to the contact between the structured alpine unit of the Serres de Llevant (mainly dolostones Jurassic in age) and the transgressive deposits corresponding to a carbonate reef environment, developed during the Upper Miocene, that merges with the detrital facies coming from the continental erosion. The stratigraphic architecture of the different sedimentary units and facies, as well as the tectonic structure, control the speleogenesis of the different passages and chambers of the system. The contact zone between the dolostones of the Jurassic basement and reef carbonate facies acts as a preferential dissolution path. The transition facies between both units and the variation of the different depositional subenvironments, that are present in the Miocene carbonate environment, also affect the diverse morphological features (large breakdown rooms, collapsed areas, conduits, ...) of the cave-system.

Resum

Es descriuen les característiques litològiques i les facies sedimentàries que conformen el substrat on s'hi desenvolupa el sistema espeleològic subaquàtic Gleda – Camp des Pou. Es tracta del contacte entre la unitat alpina estructurada de les serres de Llevant (dolomies de la base del juràssic) i els dipòsits transgressius carbonatats, corresponents a un ambient escullós desenvolupat durant el miocè superior, i amb els que s'interdigiten les facies detrítiques procedents de l'erosió continental. L'arquitectura estratigràfica de les diferents unitats i facies sedimentàries, així com l'estructura tectònica, controlen l'espeleogènesi de les diferents galeries i sales del sistema, amb l'aprofitament de la zona de contacte entre les dolomies "trinxades" de la base del juràssic i les facies carbonatades esculloses. També les facies de transició entre ambdues unitats i la variació dels diferents subambients deposicionals de l'ambient escullós miocènic incideixen en els diferents trets morfològics (grans sales, col·lapses, conductes, ...) d'aquest important sistema de coves.

Fornós, J.J. i Gràcia, F. (2021): Aspectes geològics del sistema espeleològic Gleda – Camp des Pou (Manacor, Mallorca). Papers Soc. Espeleo. Balear, 4: 75-87. ISSN-e 2605-3144. © Societat Espeleològica Balear.
Rebut: 1 desembre 2021; **Revisat:** 4 desembre 2021; **Acceptat:** 6 desembre 2021.
Publicat online: 19 desembre 2021.

Introducció

El paper de la geologia, sigui tant des d'un punt de vista estructural com estratigràfic, dins del modelat i evolució de les cavitats de Mallorca ha estat relativament poc tractat dins de l'abundant bibliografia càrstica de les illes (FORNÓS & GELABERT, 1995, 2011; GINÉS & GINÉS 2007, 2011; GINÉS et al. 2013), almenys no se li ha donat la importància que normalment hi té. La major part dels treballs que fan referència a l'endocarst de l'illa presenten els trets geològics bàsics, com puguin ser el tipus de roca i l'edat dels materials, o descriuen a grans trets l'estructura geològica mostrant algun mapa i/o tall geològic (per exemple, PLOMER & GINÉS, 2008). Una excepció en són alguns treballs publicats sobre la cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor), en els que les característiques texturals de la roca miocènica controlades per la seva sedimentologia condicionen clarament les característiques i el desenvolupament de les sales i galeries (GINÉS et al., 2008, 2014); també cal ressenyar el recent treball sobre l'entorn geològic de les coves del Drac, de Porto Cristo (FORNÓS et al., 2018).

En línies generals, el mateix podem dir de la coneguda des de fa temps cova de sa Gleda. Pel que fa als seus aspectes geològics i sedimentològics, relacionats amb la seva formació i desenvolupament,

són poques les aportacions concretes sobre aquesta temàtica que s'han fet fins avui dia. L'any 1989, es va publicar un treball amb la descripció detallada de la seqüència carbonatada pertanyent al miocè terminal que s'observa a la part exterior de la cavitat, concretament a les parets que mostra l'abisament d'entrada a la cova (FORNÓS et al., 1989). L'exploració subaquàtica iniciada al final del segle XX (GRÀCIA & CLAMOR, 2001, 2006), i que encara continua a hores d'ara (GRÀCIA et al., 2010, 2020), ha permès ampliar el coneixement geològic de la part submergida. En aquest sentit, GRÀCIA et al. (2007) presentaven una descripció de la cova de sa Gleda que incloïa les primeres dades litològiques de la roca encaixant d'aquesta part submergida. Posteriorment, es publicaren algunes dades litoestratigràfiques addicionals d'aquesta cavitat, en un treball general sobre el control litològic en l'espeleogènesi del migjorn de l'illa (GINÉS et al., 2008).

El sistema espeleològic Gleda – Camp des Pou (GRÀCIA et al., 2020), se situa dins la possessió de Son Josep en el terme de Manacor (Figura 1). Consisteix en una cavitat complexa que s'obre a l'exterior mitjançant dos esfondraments situats als extrems oposats. La seva planta dibuixa una franja que és més o menys paral·lela a la línia de costa i a l'aflorament de la unitat estructurada mesozoica de les serres de Llevant, de direcció predominant NE-SW. Es desenvolupa principalment a la plataforma carbonatada miocena (marina de Manacor, també denominada de Llevant) presentant diverses galeries en diferents direccions i sales amb grans volums. El seu recorregut, tenint present la topografia feta fins a l'actualitat (GRÀCIA et al., 2020), té un desenvolupament aproximat de 14.620 m, dels quals 13.720 m són subaquàtics i 900 m són aeris. Al llarg de tot el seu traçat la presència de morfologies de corrosió i d'espeleotemes és conspícua.

L'objectiu del present treball és incidir en la caracterització litològica del sistema Gleda – Camp des Pou, amb la descripció de les facies sedimentàries presents, així com relacionar el desenvolupament de la cavitat amb les característiques geològiques bàsiques, dins del marc estructural que representa el contacte entre les serres de Llevant i la Marina; així mateix es discutirà la relació entre els trets morfològics de la cova i les diferents facies presents. Per a la part subaèria de la cavitat ens remetem al treball de FORNÓS et al. (1989).

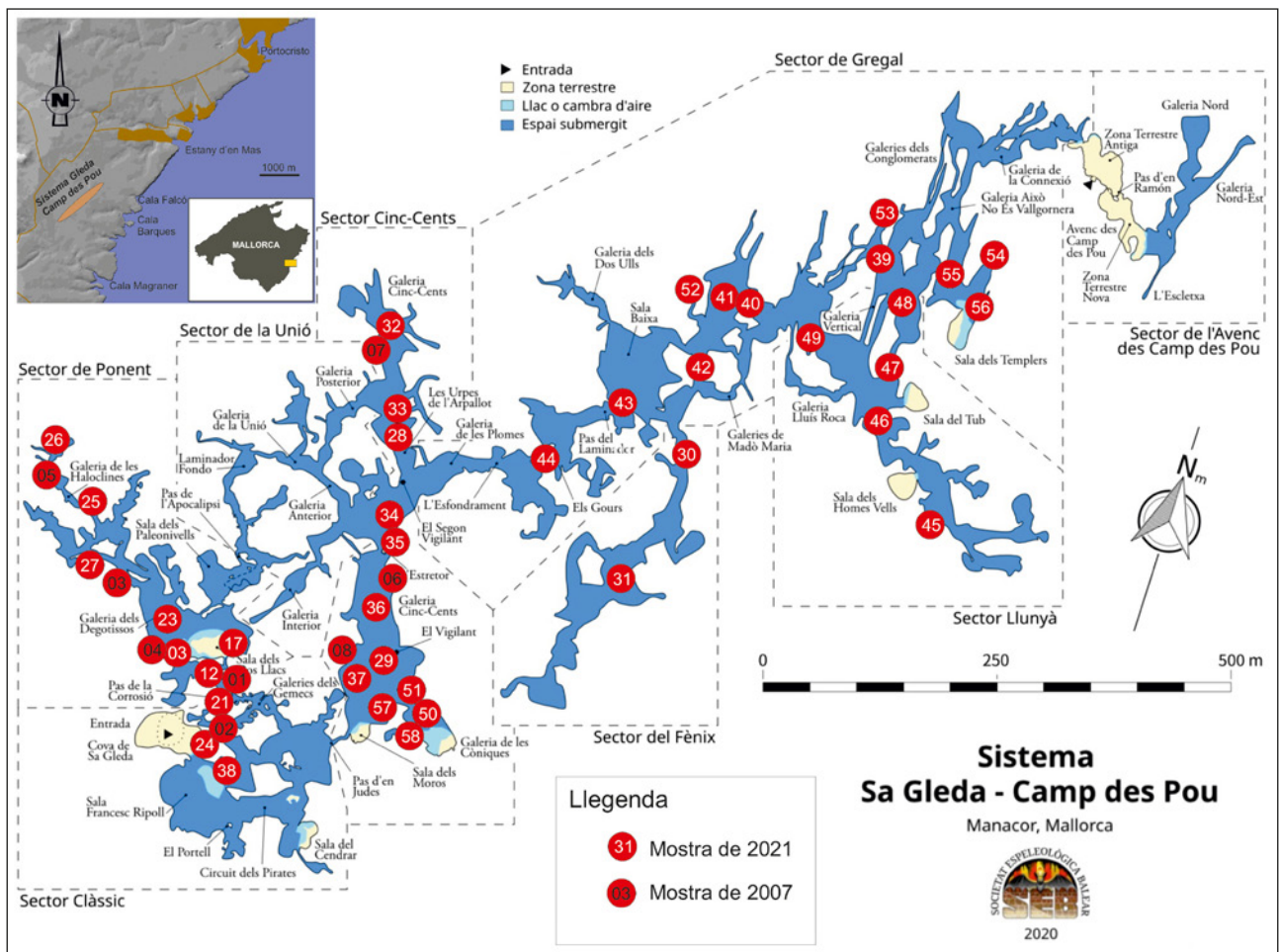


Figura 1: Situació del sistema Gleda – Camp des Pou i localització de les mostres de roca analitzades (Base topogràfica: GRÀCIA et al., 2020).
 Figure 1: Situation of the Gleda – Camp des Pou cave-system and location of the analyzed rock samples (Topographic base: GRÀCIA et al., 2020).

Mètode

El gran desenvolupament que presenta la cavitat (GRÀCIA et al., 2020), i donat el fet que pràcticament tot el seu recorregut sigui subaquàtic (cosa que implica que aquesta cavitat sigui el sistema litoral de major desenvolupament subaquàtic d'Europa), ha suposat una gran complicació a l'hora de fer el mostreig. Fer servir propulsors per a poder arribar als sectors més allunyats complica la tornada a causa del volum i pes dels mostresos. A més a més, a la dificultat de recollir les mostres de roca en un medi hostil per les condicions sotaiguades, s'hi ha de sumar el fet de l'abundant recobriment d'espeleotemes que no sempre ha permès veure el substrat rocós.

El mostreig ha implicat un total de 12 dies d'immersions repartides entre els sectors principals en què es divideix la cova (GRÀCIA et al., 2020) on s'han recollit mostres de roca de diferents dimensions, de les parets i sostres de les galeries i sales. El nombre de mostres ha estat entre 4 i 7 per immersió. En total s'han obtingut mitjançant tècniques d'espeleobusseig un total de 37 mostres (Figura 1) situades a diferents profunditats entre -2 i -17 m (Taula 1).

Mostra	Nom	Profunditat	Fàcies	COLOR (Munsell®)	MINERALOGIA (**)
GL-R01*	Galeries dels Gemecs (Sector Clàssic)	(-12 m)	FE	5YR 8/1	
GL-R02*	Sala Francesc Ripoll (sostre, sector Clàssic)	(-6 m)	FE	10YR 8/2	
GL-R03*	Galeries de les Haloclines (sector de Ponent)	(-12 m)	CAD	5YR 8/2	
GL-R03	Sala dels Dos Llacs (sostre)	(-9 m)	CAD	5YR 8/4-10YR 8/3	calcita (100)
GL-R04*	Sala dels Dos Llacs (sector de Ponent)	(-6 m)	CAD	10YR 8/2	
GL-R05*	Galeries de les Haloclines (zona terminal, sector de Ponent)	(-14 m)	CAD	5YR 8/4	
GL-R06*	Galeria Cinc-cents (tram mitjà)	(-6 m)	FE	5YR 8/4	
GL-R07*	Galeria Cinc-cents (tran final)	(-7 m)	CA	5YR 8/4	
GL-R08*	Galeria Cinc-cents (començament)	(-6 m)	CAD	10YR 8/2	
GL-R12	Galeries dels Gemecs (abans Dos Llacs)	(-13 m)	CB	5YR 8/4	calcita (1,2); dolomita (95,8); quars (1,6)
GL-R17	Sala dels Dos Llacs (bloc caigut del sostre)	(+ 6 m aprox)	CB	2Y 8/3	calcita (57,4); dolomita (42,5); quars (0,1)
GL-R21	Pas de sa Corrosió	(-13 m)	CB	7,5YR 8/2	dolomita (100)
GL-R23	Galeria dels Degotissos	(-12 m)	CB	2,5Y 8/3	calcita (40,6); dolomita (58,8); quars (0,6)
GL-R24	Rost de davallada al Llac d'Entrada	(-6 m)	FE	10YR 8/2	calcita (100)
GL-R25	Galeria de les Haloclines	(-16 m)	BB	10YR 8/1	dolomita (100)
GL-R26	Galeria de les Haloclines	(-17 m)	BJ	2,5Y 7/2	dolomita (100)
GL-R27	Galeria de les Haloclines	(-16 m)	FE	2,5Y 8/4-5YR 8/3	calcita (100)
GL-R30	Sector del Fènix	(-8,5 m)	CAD	5YR 8/4	calcita (100)
GL-R31	Sector del Fènix	(-12 m ?)	CAD	5YR 8/5	calcita (100)
GL-R32	Galeria Cinc-cents (sostre)	(-9 m)	CAD	5YR 8/4	calcita (100)
GL-R33	Galeria Cinc-cents (sostre; zona ampla)	(-13 m)	CD	5YR 8/4	calcita (100)
GL-R34	Galeria Cinc-cents (sostre)	(-10 m)	CD	7,5YR 8/3	calcita (96,7); dolomita (3,3)
GL-R35	Galeria Cinc-cents (zona de s'Estretor)	(-7 m)	BJ	2,5Y 4/3	dolomita (100)
GL-R36	Galeria Cinc-cents (sostre; zona de gran volum)	(-2 m)	CAD	5YR 8/4	calcita (99,7); dolomita (0,3)
GL-R37	Galeria Cinc-cents (sostre; zona molt ampla)	(-4 m)	CAD	10YR 8/3	calcita (99); dolomita (1)
GL-R38	Sala Francesc Ripoll (sostre)	(-4 m)	FE	10YR 8/3	calcita (100)
GL-R39	Sector de Gregal	(-12,3 m)	CD	5YR 8/4	calcita (88,2); dolomita (11,2); quars (0,6)
GL-R40	Sector de Gregal	(-11 m)	CAD	5YR 8/4	calcita (99,6); dolomita (0,4)
GL-R41	Sector de Gregal	(-10 m)	BB	10YR 8/2	calcita (0,2); dolomita (99,8)
GL-R42	Sector de Gregal	(-13 m)	BB	2,5Y 6/3	calcita (97,7); dolomita (2,3)
GL-R43	Sector de Gregal (sostre i terra)	(-13,5 m)	BB	2,5Y 6/3	calcita (29,5); dolomita (70,5)
GL-R44	Sector de Gregal	(-15,4 m)	CA	5YR 8/4	calcita (98,9); dolomita (1,1)
GL-R45	Sector Llunyà (esfondrament)	(-8,5)	CA	10YR 8/2	calcita (100)
GL-R46	Sector Llunyà (esfondraments)	(-8 m)	CA	5YR 8/2	calcita (97,8); dolomita (2,2)
GL-R47	Sector Llunyà	(-12 m)	CAD	5YR 7/4	calcita (99,1); dolomita (0,6); quars (0,3)
GL-R48	Sector Llunyà	(-11,5 m)	CAD	2,5Y 7/4	calcita (100)
GL-R49	Sector Llunyà	(-10 m)	CAD	5YR 8/4	calcita (99,6); dolomita (0,4)
GL-R50	Galeria Sala Còniques	(-12 m)	FE	10YR 8/2	calcita (100)
GL-R51	Galeria de les Còniques	(-10 m)	CAD	7,5YR 8/2	calcita (100)
GL-R52	Galeries Estretes al Nord del Sector de Gregal	(-12 m)	CD	5YR 8/4	calcita (87,9); dolomita (12,1)
GL-R53	Galeries Estretes al Nord del Sector de Gregal	(-6 m)	CD	5YR 8/4	calcita (72,3); dolomita (27,7)
GL-R54	Galeria Nord dels Templers	(-7 m)	CAD	5YR 8/4	calcita (97,3); dolomita (2,7)
GL-R55	Esfondrament de la Gran Sala des Templers (esfondrament)	(-10)	CAD	5YR 8/3	calcita (100)
GL-R56	Sector Llunyà (esfondraments)	(-6 m)	CAD	10YR 8/2	calcita (100)
GL-R57	Esfondrament de la Sala de les Còniques (esfondrament)	(-2 m)	CAD	2,5Y 8/2	calcita (100)
GL-R58	Platja de la Sala de les Còniques (esfondrament)	(0 m)	FE	10YR 8/2-7,5YR8/6	calcita (100)

(*) mostres 2007

(**) en negreta mineralogia predominant (%)

Taula 1: Llistat de mostres analitzades en el sistema Gleda – Camp des Pou, amb indicació de la profunditat a que s'ha recollit la mostra, la fàcies a la qual pertany, el seu color i la mineralogia predominant (els acrònims de les fàcies s'indiquen al text).

Table 1: Samples analyzed in the Gleda – Camp des Pou system with an indication of the depth at which the sample was collected, related facies, its color and the predominant mineralogy (see text for facies acronyms).

Per tal de completar l'estudi s'han incorporat les mostres utilitzades prèviament en els treballs de GRÀCIA et al. (2007) i GINÉS et al. (2008). Un cop al laboratori, les roques han estat fotografiades i seccionades per a fer una descripció visual, i mostrejades per a fer la mineralogia mitjançant difracció de RX. La mineralogia s'ha determinat mitjançant un aparell de difracció de raigs-X (Bruker D8-Advance), utilitzant mostres de pols sense orientació preferent. S'ha obtingut l'anàlisi semi-quantitativa de la composició mineral d'acord amb les àrees dels pics obtinguts amb la utilització del software Diffrac EVA v.4.1. El color de les roques s'ha obtingut per comparació amb la carta de color MUNSELL (GRETAGMACBETH, 2000).

D'algunes mostres seleccionades (un total de 19) s'ha fet làmina prima per a l'observació al microscopi petrogràfic, i també han estat fotografiades i descrites.

Unitats litològiques i fàcies sedimentàries

A partir de les mostres recollides i de la seva anàlisi composicional i textural s'han pogut diferenciar diverses unitats litoestratigràfiques que inclouen un basament mesozoic i una cobertura neògena, dins de la qual s'hi han descrit diferents fàcies sedimentàries que corresponen a un ambient carbonatat amb desenvolupament dels esculls de corall amb els seus subambients associats i amb aportacions detrítiques puntuals.

A continuació es descriuen les diferents unitats litològiques que s'han diferenciat dins del traç submergit del sistema Gleda – Camp des Pou, amb les corresponents fàcies sedimentàries associades als ambients deposicionals que representen.



Figura 2: Mostra de mà on s'aprecia l'aspecte general que presenten les dolomies "trinxades" mesozoiques fortament tectonitzades que actuen com a basament.
 Figure 2: Hand-held sample showing the general appearance of the strongly tectonized Mesozoic dolostones from the basement.



Figura 3: Conduïte excavat dins les bretxes formades per clastos de dolomies del juràssic al sector de Gregal (Foto: A. Cirer).
 Figure 3: Conduit carved within the breccia deposits formed by clasts of Jurassic dolomites in the Sector de Gregal (Photo: A. Cirer).

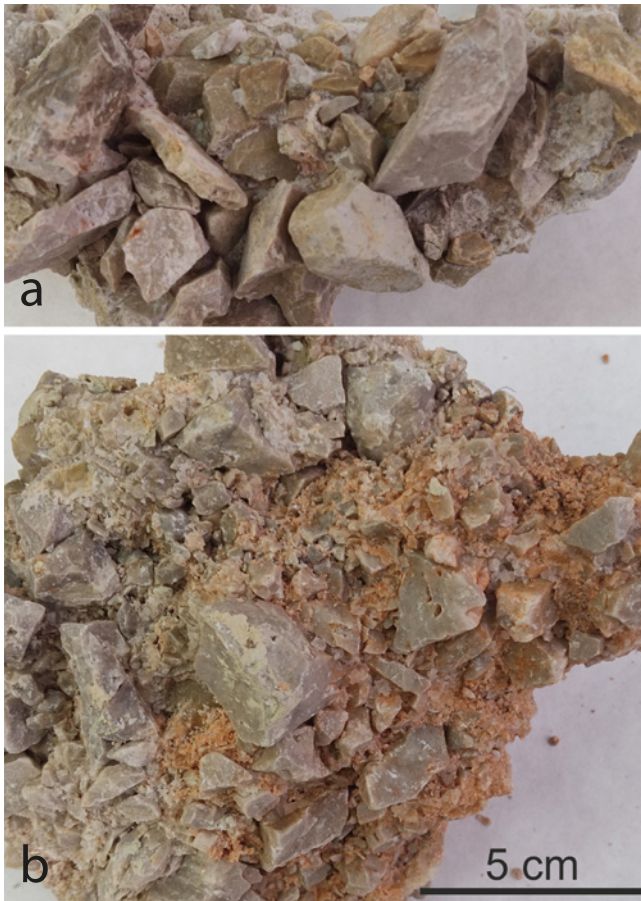


Figura 4: Aspecte que presenten, en mostra de mà, els materials col·luvials i de peu de penya-segat, en el contacte entre el basament mesozoic i els dipòsits carbonatats miocens. Aquestes bretxes suportades pels clastes es presenten de vegades sense matriu (a) o poden contenir matriu arenosa vermellosa (b).

Figure 4: Colluvial and cliff toe samples located at the contact between the Mesozoic basement and the Miocene carbonate deposits. The clast-supported breccia, sometimes is present without matrix (a) or may contain reddish sandy matrix (b).

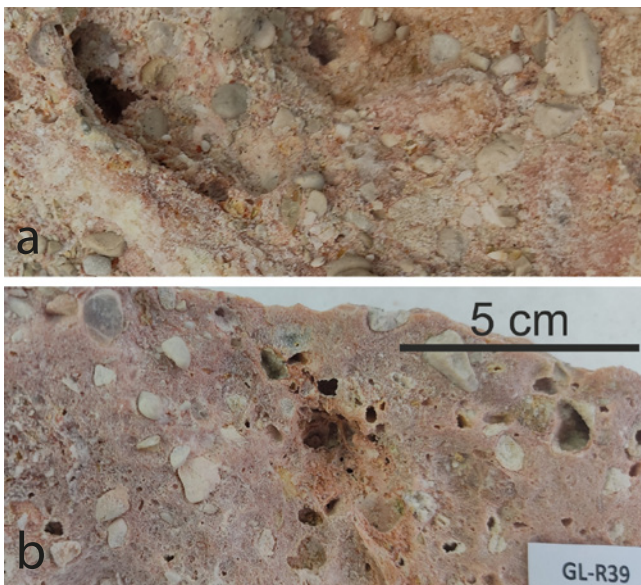


Figura 5: Aspecte en mostra de mà (a) dels microconglomerats, majorment suportats per la matriu arenosa de tonalitats vermelloses. (b) Secció de la mostra.

Figure 5: Appearance in hand sample (a) of microconglomerates mostly supported by the reddish sandy matrix. (b) Section view of the sample.

Basament mesozoic – BJ (dolomies)

Els materials més antics on es desenvolupa la cavitat estan formats per dolomies que alternen colors grisos fosc i grisos més clars, i que mostren una penetrant laminació mil·limètrica probablement estromatolítica d'origen microalgal. La seva textura varia entre *mudstone* i *bindstone*. Tota la unitat presenta una forta tectonització (“dolomies trinxades” SÀBAT, 1986) de forma que quasi podríem parlar d'una bretxa (Figura 2) però que mostra un perfecte encaix (*fitting*). Atribuïm aquestes dolomies a la transició entre el triàsic superior i lias inferior (retià).

Bretxes dolomítiques associades al basament – BB

Puntualment disposades de forma irregular damunt el basament mesozoic, trobem bretxes monomíctiques formades per clastos de dolomies juràsiques de color gris clar (Figura 3). Aquests clastos són molt angulosos i oscil·len entre els 3 i 6 cm de diàmetre. Presenten una matriu arenosa blanca, de composició carbonatada (formada per calcita) i mida arena fina amb una distribució molt irregular, alternant la textura suportada pels grans i la suportada per la matriu. Puntualment aquesta matriu presenta coloracions vermelloses (Figura 4). Corresponen aquests nivells als dipòsits col·luvials i de peu de penya-segat, deguts a l'erosió del basament mesozoic durant la transgressió miocena.

Conglomerats i calcarenites detrítiques – CD (ventall deltaic/al·luvial)

Es tracta de conglomerats/microconglomerats amb clastos, de molt arrodonits a subarrodonits, amb unes dimensions màximes de l'ordre dels 2 cm de diàmetre (Figures 5 i 6a). Són força heteromètrics i van des d'estar quasi suportats pels grans a estar suportats per la matriu. Hi ha una clara gradació en la mida de gra i en el percentatge de clastos respecte de la matriu. Aquesta és carbonatada arenosa (arena fina) de color rosat/blanc. La composició dels clastos és monomíctica formada per dolomies juràsiques. No s'hi observa fauna. Lateralment, en direcció sud-est, evolucionen a calcàries arenoses (*Calcàries arenoses detrítiques roses*) amb escadussers còdols aïllats i molt arrodonits de diàmetre màxim 1 cm. Aquests nivells s'interpreten com a formats per l'aportació de materials detrítics procedents del desmantellament dels materials juràsics que componen les serres de Llevant. Aquests dipòsits s'endinsen a la zona litoral, formant una acumulació de dipòsits al·luvials que s'interdigitarien amb les facies arenoses litorals formant un ventall deltaic durant el miocè superior.

Calcàries arenoses detrítiques roses – CAD

Es tracta de calcàries arenoses (calcarenites) de color rosat (puntualment blanques amb taques grogues). De composició calcítica, amb alguns grans siliciclàstics, presenten una textura entre *packstone* i *grainstone* (aquesta darrera més localitzada). S'hi poden observar alguns fantasmes d'organismes invertebrats

(probablement bivalves, peloids, coralls ?) difícils de distingir degut a un grau de micritització molt variable. No s'hi observa cap estructura sedimentària (Figura 6e). S'interpreten aquests nivells com a dipòsits litorals de plataforma que interaccionen amb els nivells llunyans de ventalls deltaics, en la zona llacunar propera al front escullós del miocè superior.

Calcilutites blanques – CB

Es tracta d'una roca formada per fangs carbonatats molt blancs (calcilutita), que

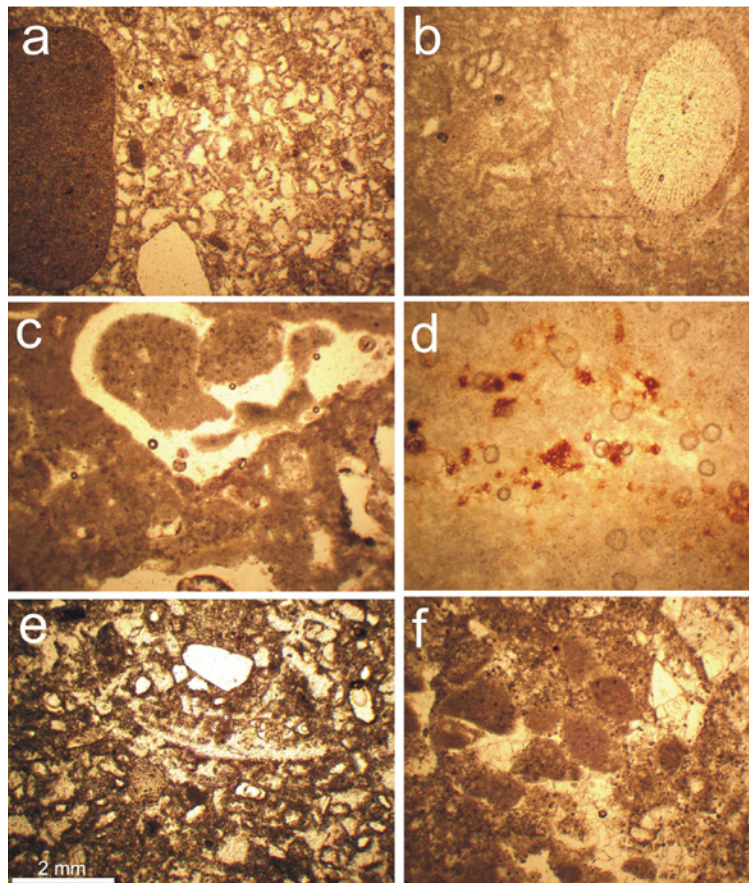


Figura 6: Imatges de làmina prima vistes al microscopi òptic en llum paral·lela. (a) Microconglomerat amb matriu arenosa carbonatada; (b) calcarenita amb textura packstone amb foraminífers textularíds i equinoderms; (c) calcilutita blanca amb gasteròpodes amb textura packstone; (d) calcilutita blanca amb textura mudstone/wackestone i ciment ferruginós; (e) calcarenita detrítica amb fragments de mol·luscs amb textura grainstone/packstone; (f) calcarenites formades majorment per peloids (textura grainstone).
 Figure 6: Thin-section images viewed under an optical microscope in parallel light. (a) Microconglomerate with carbonated sandy matrix; (b) calcarenite with packstone texture showing foraminifers and echinoderms; (c) white calcilutite with gastropods and a packstone texture; (d) white calcilutite showing mudstone/wackestone texture and ferruginous cement; (e) detrital calcarenite with mollusk fragments showing a grainstone/packstone texture; (f) calcarenites composed mostly by peloids (grainstone texture).



Figura 7: Morfologies de corrosió presents al sector Llunyà, damunt les calcarenites vermelles (Foto: A. Cirer).
 Figure 7: Corrosion features present in Sector Llunyà developed on red calcarenites (Photo: A. Cirer).

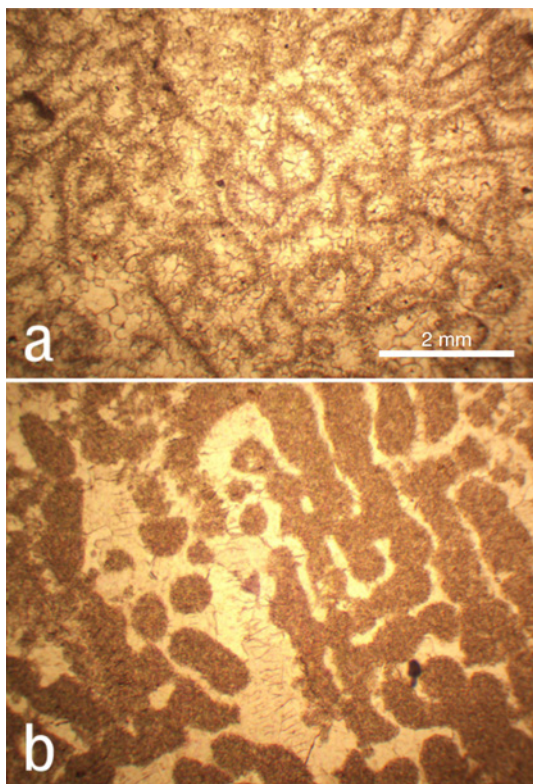


Figura 8: (a i b) Seccions de coralls (probablement *Porites* sp.) i ciment esparític.
 Figure 8: Sections of different corals (probably *Porites* sp.) with sparite cement.

puntualment presenten un contingut més arenós i una laminació incipient. Normalment amb textura *mudstone* (puntualment *wackestone*) i on difícilment s'hi poden observar alguns fantasmes d'organismes degut a la forta micritització (dolomitització) que presenta. S'hi ha observat, localment, ciment ferruginós (Figura 6c i d). S'interpreten aquests nivells com de llacuna interna associada a un front d'esculls (miocè superior).

Calcarenites vermelles – CA

Es tracta d'arenas fines/mitjanes de composició bioclàstica carbonatada (calcarenites) ben cimentades per ciment calcàric i, puntualment, ferruginós (Figura 7). Presenten una alternança de textures (*packstone*/*grainstone*) on s'hi observa abundant fauna en forma de fantasmes degut a la micritització parcial que presenta. A part de la fauna hi són visibles peloids (Figura 6f), intraclastos i algun corall (probablement astreïds). Correspondrien aquests nivells a fàcies de llacuna relacionada amb el front d'esculls del miocè superior.

Calcarenites bioconstruïdes – FE

Es tracta de calcàries ben cimentades formades per una amalgama de coralls, majorment *Porites* sp. (Figura 8), que inclouen una matriu calcarenítica amb textura *framestone*/*grainstone*. Presenten una coloració blanquinosa amb taques aleatòries de color rosat on hi és visible una forta micritització (Figura 9). S'interpreten aquests nivells com a la part del front escullós, dins de l'ambient sedimentari carbonatat pertanyent a un dels episodis de creixement dels esculls durant el miocè superior.



Figura 9: Els fenòmens d'esfondrament són comuns relacionats amb les fàcies de front escullós a la zona del *Pas d'en Judes* (Foto: M.A. Perelló).
 Figure 9: Breakdown phenomena are common related to reef front facies in *Pas d'en Judes* area (Photo: M.A. Perelló).

Disposició estratigràfica dels dipòsits presents a la cavitat

Les diferents unitats litològiques, i facies sedimentàries corresponents, presenten una característica disposició en forma de tascó transgressiu format pels materials pertanyents al miocè superior damunt del relleu estructurat dolomític de les serres de Llevant, que s'associa al juràssic inferior (Figura 10).

Així, descrivint de més antic a més modern, tenim les dolomies trinxades del juràssic inferior (retià ?) que mostren una superfície irregular i que afloren en el sector més septentrional del sistema formant un paleorelleu que perd altura en direcció meridional, probablement degut a una fractura (?) de direcció NE-SW, cosa que donaria lloc a la presència d'un paleopenya-segat durant l'inici de la sedimentació miocena. Al peu d'aquest paleopenya-segat es disposa l'acumulació de la unitat formada per bretxes amb clastos dolomítics juràssics (complex terrigen marginal) que evolucionen en direcció meridional a les facies carbonatades del miocè superior. Aquestes, que corresponen a un ambient deposicional escullós (POMAR, 1991), presenten diversos subambients caracteritzats per les facies de llacuna interna més properes al contacte amb les dolomies juràssiques i que evolucionen en direcció SE cap a facies de front escullós. Les facies miocenes s'interdigiten amb les facies terrígenes marginals corresponents al desmantellament de les serres, especialment cap al sector de Gregal del sistema on la presència d'un ventall deltaic caracteritzat per facies microconglomeràtiques i facies més arenoses indicaria una aportació detrítica important en aquesta àrea.

El conjunt estaria cobert per la seqüència transgressiva corresponent a les denominades Calcàries de Santanyí (Complex Terminal, ESTEBAN, 1979/1980; FORNÓS & POMAR, 1984), visibles en l'esfondrament que dona entrada a la cova de sa Gleda i descrites per FORNÓS et al. (1989). Aquesta unitat litològica presenta les característiques d'una plana mareal en la que predominen els *grainstones* oolítics i els nivells amb desenvolupament d'estromatòlits.

Aspectes diagenètics

El conjunt dels materials presents al sistema Gleda – Camp des Pou es caracteritzen per haver estat afectats per una forta diagènesi. Pràcticament la totalitat de les mostres presenten una forta micritització que fa molt difícil l'observació dels diferents components bioclàstics. Aquests components bioclàstics, majorment formats per mol·luscs i foraminífers, són observables només com a fantasmes, presentant en la majoria dels casos la copinya totalment dissolta i reblida per ciment micrític/esparític.

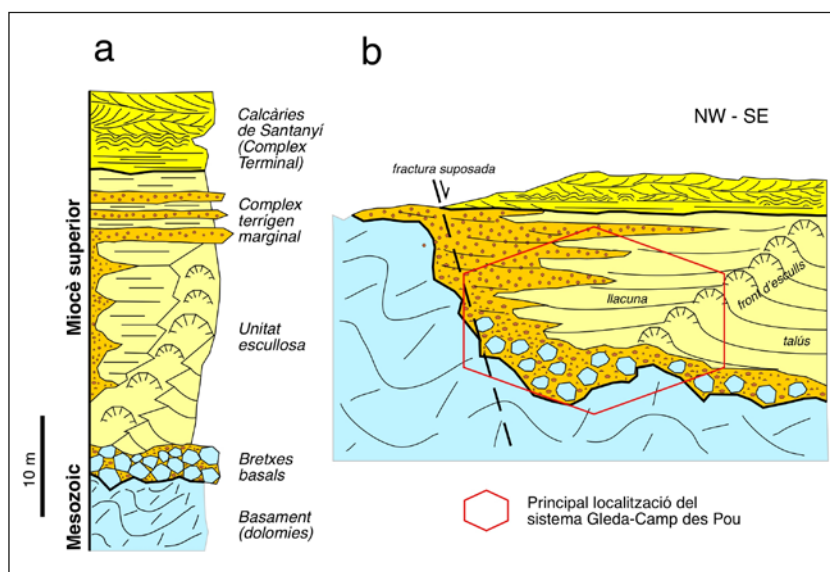


Figura 10: (a) Columna estratigràfica sintètica de les unitats presents en el sistema Gleda – Camp des Pou; (b) disposició de les unitats i relació amb el desenvolupament del sistema espeleològic.

Figure 10: (a) Synthetic stratigraphic column of the units present in the Gleda – Camp des Pou system; (b) relationship of different units with the development of the cave-system.

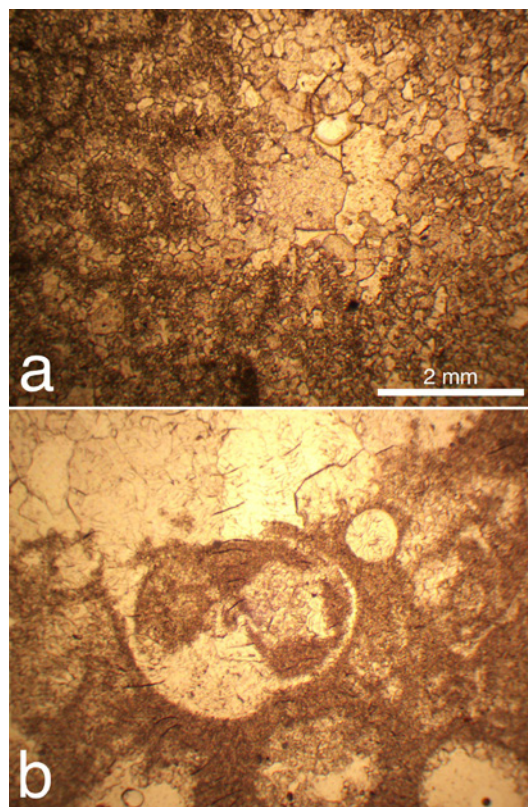


Figura 11: (a) La recristal·lització i el ciment esparític és omnipresent en quasi totes les roques que componen les unitats carbonatades miocenes; (b) ciment esparític reomplint la porositat de motlle dels elements fantasmals bioclàstics.

Figure 11: (a) Recrystallization and esparite cement are ubiquitous in all the rocks that compose the Miocene carbonate units; (b) esparite cement fills the moldic porosity of bioclastic phantom elements.

En conjunt és freqüent el ciment esparític format per grans cristalls de calcita i, puntualment, també s'observa reblint part de la porositat de motlle cristalls de ciment clarament vadós (Figura 11a i b). Localment és observable ciment ferruginós (Figura 6d) que li confereix al conjunt de la roca una coloració rosada. Algunes mostres també presenten un cert grau de dolomitització, especialment aquelles lligades a les parts més restringides del subambient llacunar (Taula 1).

Connotacions geològiques en l'espeleogènesi de la cova de sa Gleda

El traçat planimètric del sistema Gleda – Camp des Pou presenta en el seu conjunt una marcada direccionalitat NE-SW, amb un conjunt de galeries i sales que es disposen de forma més o menys perpendicular a aquesta direcció predominant (NW-SE) indicant un sentit en direcció a la mar. Globalment podem definir la cova com una xarxa freàtica de buits i esfondraments amb una disposició ramiforme (GRÀCIA et al., 2007). Per altra banda, els trets morfològics tant de sales com de galeries són molt variables, anant des de conductes clarament rectilinis i estrets a zones amb morfologies de corrosió predominants i amb pocs indicis d'esfondraments, fins arribar a grans sales (puntualment enormes) producte de la sèrie de col·lapses que han esdevingut a la cavitat des dels seus temps primigenis (GRÀCIA et al., 2007, 2020) i que són el factor natural d'evolució d'aquestes cavitats. Això implica un increment del volum així com el seu ascens progressiu cap a l'exterior podent, puntualment, arribar a contactar amb la superfície com seria el cas de les dues entrades al sistema espeleològic, o donant lloc a dolines d'esfondrament a la superfície.

La gènesi de la cavitat està relacionada amb els mecanismes geoquímics que es donen a la zona de mescla entre l'aigua dolça –procedent de les precipitacions– i l'aigua marina, zona on té lloc el lent flux de la descàrrega subterrània cap a la mar (*coastal mixing zone*) (BACK et al., 1984; ROMANOV & DREYBRODT, 2006; FRATESI, 2013). Aquests mecanismes espeleogenètics tradicionalment han estat adaptats per explicar l'espeleogènesi de la zona del llevant de Mallorca per GINÉS & GINÉS (1992 i 2007), GINÉS (1995, 2000) i GINÉS et al. (2018), entre d'altres. Cal afegir que alguns treballs relativament recents posen de manifest el paper geoquímic de l'agressivitat derivada de les concentracions elevades de CO₂ que es poden donar a la part profunda de la zona vadosa d'alguns carsts costaners (GULLEY et al., 2015, 2020). Independentment de l'origen de l'agressivitat, en qualsevol cas estam parlant d'una excavació dels buits inicials, en unes condicions epifreàtiques litorals.

Per altra banda s'ha de tenir ben present l'evolució del nivell de la mar des de la fi del miocè que ha marcat la posició del nivell freàtic i, per tant, l'efectivitat d'aquests processos de dissolució càrstica (DORALE et al., 2010; ONAC et al., 2012; POLYAK et al., 2018; DUMITRU et al., 2019). Aquestes fluctuacions del nivell de la mar ocorregudes durant el pliocè i, especialment durant el pleistocè, han condicionat l'evolució de les coves càrstiques, tot afectant als processos de formació de les cavitats així com els mecanismes d'esfondrament de sostres i parets. El treball de GINÉS & GINÉS (2007) exemplifica clarament aquest procés en l'anomenat carst eogenètic, la característica del qual és l'elevada porositat primària que presenten els joves materials formats per calcarenites amb un grau baix de cimentació. Això fa que es puguin diferenciar diverses fases espeleogenètiques, de les quals les fases inicials es donarien en condicions freàtiques litorals, relacionades amb la interfase aigua dolça-aigua salada. L'esmentada fase inicial implicaria la creació d'uns buits primigenis, que es veurien afectats pels processos de col·lapse; així es crearien les grans sales, afavorides per les fluctuacions negatives del nivell de la mar. Les davallades del nivell de la mar anirien associades a la deposició d'espeleotemes vadosos que en darrera instància condicionarien la morfogènesi de la cavitat (GINÉS & GINÉS, 2009).

Aquest procés evolutiu de l'endocarst ve condicionat per les característiques geològiques, tant estructurals com sedimentàries (litològiques), del basament damunt del qual actuen els processos espeleogenètics esmentats.

A grans trets el traçat planimètric de la cavitat coincideix, generalment bastant bé, amb el contacte entre els afloraments dels materials mesozoics que conformen les serres de Llevant (que delimita el sistema pel costat nord-occidental) i els materials calcarenítics i detrítics carbonatats del miocè superior. Tal com es pot observar a la Figura 10b, aquest contacte de direcció NE-SW sembla correspondre a un paleopenya-segat esculpit en les dolomies mesozoiques i probablement originat per l'etapa de distensió neògena (GELABERT et al., 2002). El paleorelleu presenta a la seva base l'acumulació en forma de bretxes, molt heteromètriques, originades pel seu desmantellament i que de bon segur afavoriren, degut a la seva gran porositat, el flux d'aigua freàtica des del basament que originà els conductes inicials de la cova i per tant condicionà d'entrada el seu traçat. A partir d'aquí, el control estructural d'algunes galeries del sistema, que és clarament tectònic, queda ben exemplificat en

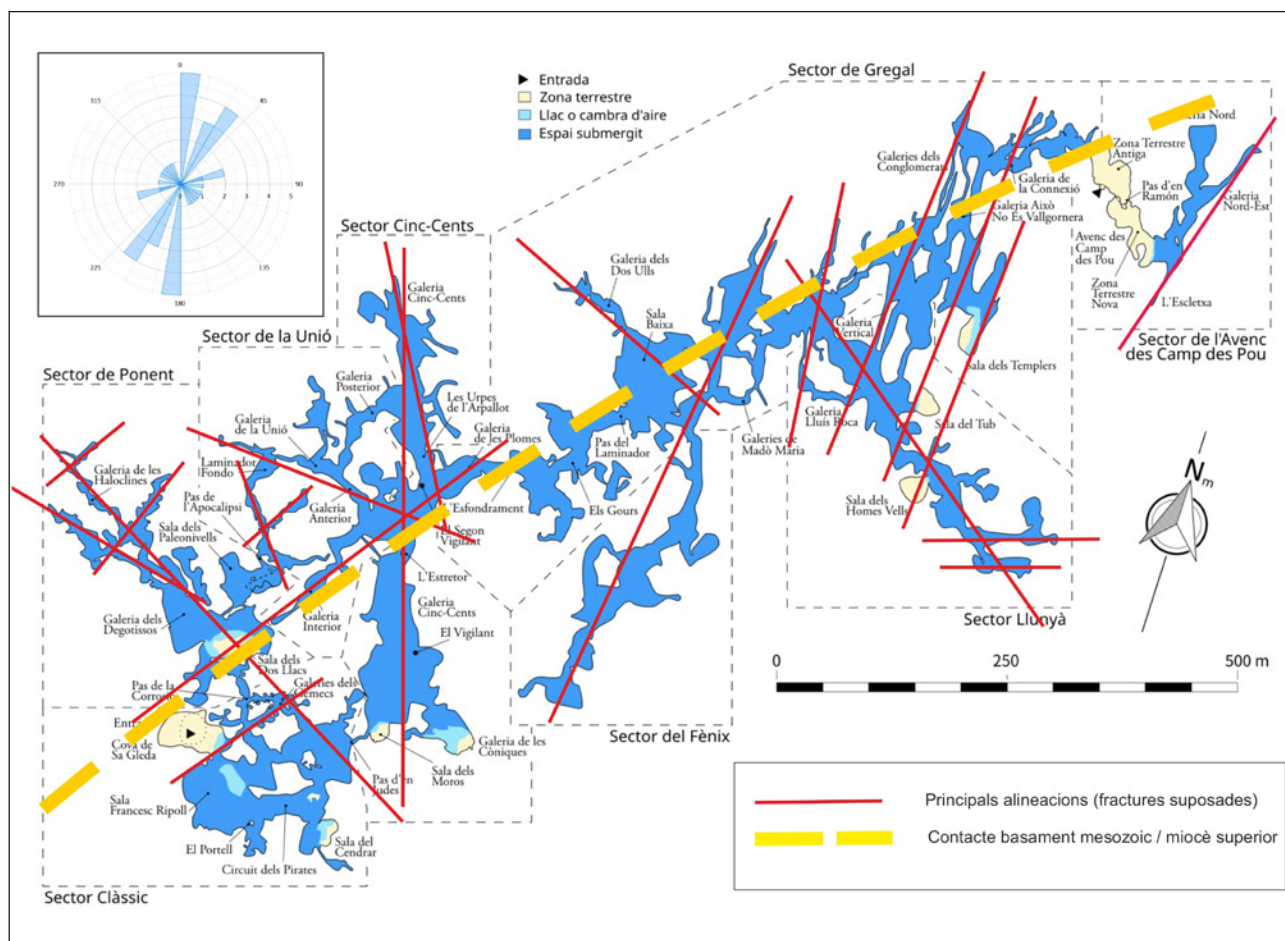


Figura 12: Esbós dels trets estructurals suposats que condicionen l'evolució morfològica del Sistema Gleda – Camp des Pou. El traç discontinu indica el contacte aproximat entre el basament mesozoic i el miocè superior (Base topogràfica: GRÀCIA et al., 2020).
 Figure 12: Major structural supposed trends that condition the morphological evolution of the Gleda – Camp des Pou cave-system. The dashed line indicates the approximate contact between the Mesozoic basement and the Upper Miocene. (Topographic base: GRÀCIA et al., 2020).

aquelles que és dirigeixen cap al nord i que s'acostumen a aturar-se en sec, en cul-de-sac (Figura 12). Aquestes galeries i conductes segueixen clarament les diàclasis i petites fractures que presenten els materials juràssics que conformen el basament. Aquests són, probablement, els conductes que drenen cap al sistema endocàrstic miocènic des dels aquífers de les serres de Llevant, els quals segueixen dins d'aquesta unitat encara que amb un traçat lleugerament menys estructural degut a l'elevada porositat dels materials miocens.

Ja dins dels materials miocènics l'evolució morfològica de les sales i conductes està clarament lligada a les facies presents, que es caracteritzen per una marcada heterogeneïtat textural relacionada amb els diferents ambients deposicionals que componen el miocè superior de la marina de Llevant (FORNÓS & GELABERT, 2011). Aquest fet implica una gran variabilitat, tant en la porositat primària de la roca com en la presència d'una mineralogia variable (calcita/aragonita i dolomita) dins l'heterogeneïtat general de la roca. A més, el rocam miocènic presenta un elevat grau de recristal·lització degut al procés irregular de dolomitització a què ha estat afectat. Això condiciona, per una banda la circulació freàtica i per altra la capacitat de dissolució de les aigües de la zona freàtica litoral.

Així, un dels fets més remarcables és la relació directa entre la presència de grans sales (i esfondraments) i les facies corresponents al front escullós (Figures 10 i 13). L'alta porositat primària a la que s'hi afegeix la mineralogia d'aragonita dels coralls, molt més soluble que la calcita, afavoreix la creació de grans buits per dissolució preferencial donant lloc al desenvolupament de les galeries més voluminoses i a les grans unitats d'esfondrament, com poden ser els acabaments meridionals del *sector Cinc-Cents* o el *sector Clàssic*. En aquest cas, la presència de facies de llacuna (*lagoon*), encara que presents i formades per una litologia més fangosa (calclutites) no tenen una especial rellevància en el traçat morfològic del sistema com succeeix, per exemple, en el cas descrit a la cova des Pas de Vallgornera (GINÉS et al., 2014). A més, en el nostre cas, els sediments pertanyents al subambient llacunar presenten una forta influència detrítica, per la qual cosa els components més fins (fangs) estan en menor proporció.

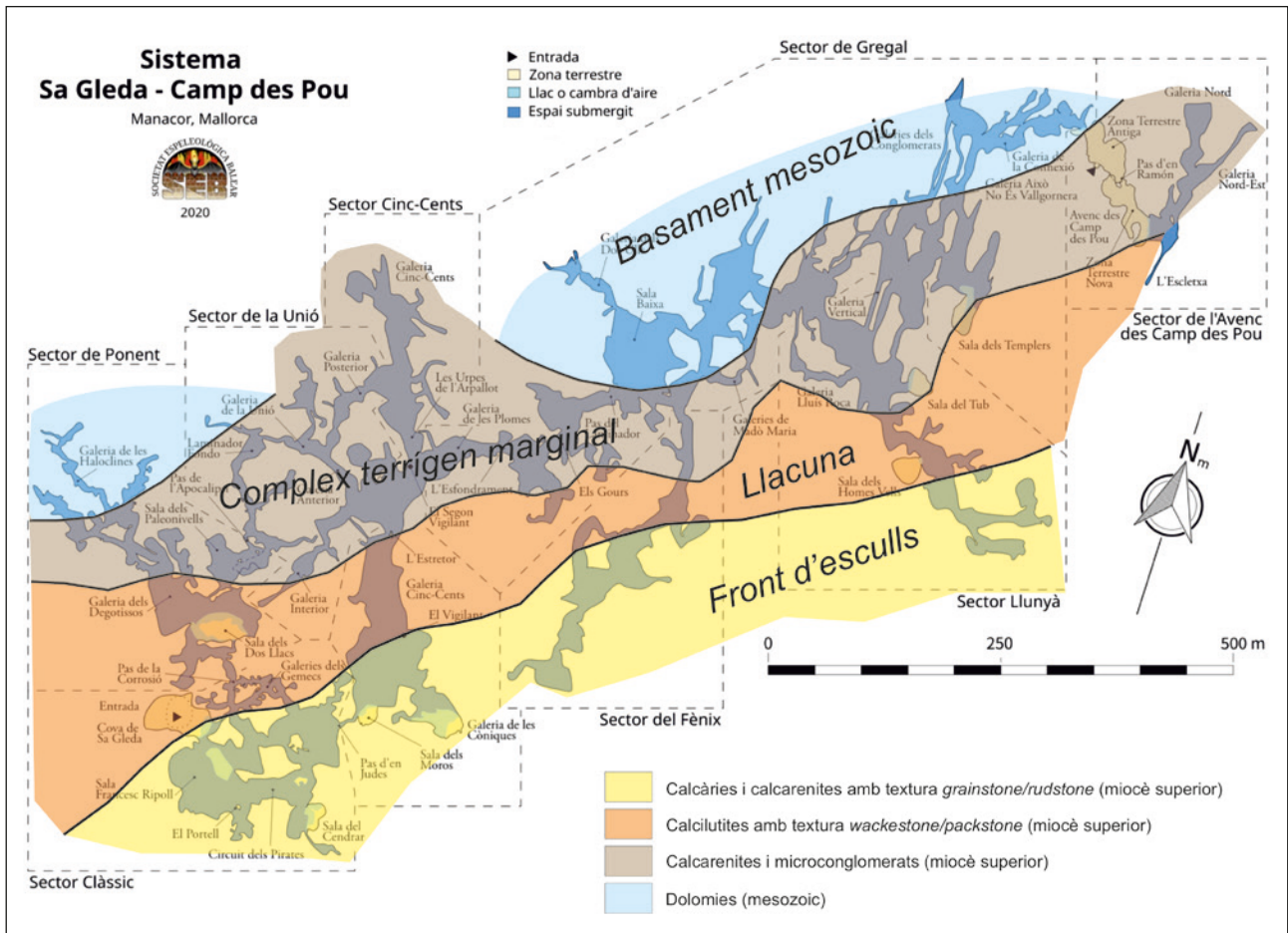


Figura 13: Els trets morfològics i la disposició del sistema Gleda – Camp des Pou estan estretament relacionats amb l'estructura i les diferents unitats litològiques i les facies presents en el complex d'esculls del miocè superior (Base topogràfica: GRÀCIA et al., 2020).

Figure 13: The morphological trends and development of Gleda – Camp des Pou cave-system is tightly constrained by the structure and the different lithological units and facies present in the reef complex appertaining to the Upper Miocene (Topographic base: GRÀCIA et al., 2020).

En el cas del sistema Gleda – Camp des Pou, aquesta influència detrítica dels materials procedents de les serres de Llevant, els quals s'interdigiten amb les diferents facies carbonatades de l'ambient escullós, es manifesta per una banda en una textura molt més arenosa, i per altra en una composició que inclou abundant material dolomític corresponent als clastos desmantellats del basament mesozoic. Aquest fet és ben visible en les morfologies de corrosió observables on ressalten clarament els clastos angulosos, en el cas de les bretxes presents en els nivells inferiors, o els còdols ben arrodonits ja en els afloraments més septentrionals i especialment potents en els nivells més superiors del sector Llunyà.

Conclusions

S'han descrit les diferents unitats litològiques presents en el sistema espeleològic litoral Gleda – Camp des Pou. Sobre un basament format per dolomies pertanyents al juràssic inferior es disposa una unitat detrítica corresponent al desmantellament d'un paleopenya-segat miocènic esculpit en les dolomies mesozoiques, damunt del qual s'hi desenvolupa de forma transgressiva una formació carbonatada de caràcter escullós amb els seus diferents subambients, la qual s'interdigita amb els materials detrítics procedents de la zona continental.

El desenvolupament general de la cavitat vindria condicionat per l'estructura del contacte entre els materials dolomítics juràssics i les calcarenites del miocè. A la vegada, la disposició i els trets morfològics de les diferents galeries i conductes es desenvoluparien afavorits per la tectonització del basament mesozoic i, molt especialment, les grans sales (originades per importants col·lapses) estarien lligades a la variabilitat litològica (textural i mineralògica) de les diferents facies presents dins del miocè superior.

Agraïments

Són moltes les persones que han ajudat a la difícil tasca del mostreig subaquàtic de les roques dins de la cavitat i sense les quals aquest treball no hauria mai vist la llum. Entre elles volem destacar als membres de la Societat Espeleològica Balear (SEB), Álvaro Granell, Joan Pérez, Guillem Mascaró, Davide Ansaldi i Auba Borràs. Volem agrair especialment a Joaquín Ginés la revisió crítica del text.

Aquest treball forma part dels projectes de recerca finançats pel MINECO CGL2016-79246-P (AEI-FEDER, UE) i per l'Agència Estatal de Investigació (AEI), PID2020-112720GB-I00/AEI/10.13039/501100011033.

Bibliografia

- BACK, W.; HANSHAW, B.B. & VAN DRIEL, J.N. (1984): Role of ground-water in shaping the eastern coastline of the Yucatán península, Mexico. In: *Groundwater as a Geomorphic Agent*. La Fleur Allen & Unwin: 281-293. Boston.
- DORALE, J.A. ONAC, B.P.; FORNÓS, J.J.; GINÉS, J.; GINÉS, A.; TUCCIMEI, P. & PEATE, D.W. (2010): Sea-level highstand 81,000 years ago in Mallorca. *Science* 327: 860-863.
- DUMITRU, O.; AUSTERMANN, J.; POLYAK, V.J.; FORNÓS, J.J.; ASMERON, Y.; GINÉS, J.; GINÉS, A. & ONAC, B.P. (2019): New constraints on Pliocene sea level and ice volume from precisely dated speleothems. *Nature*, 574(7777): 233-236.
- ESTEBAN, M. (1979/1980): Significance of the upper Miocene coral reefs of the western Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoecology, Palaeoclimatology*, 29: 169-188.
- FORNÓS, J.J. & GELABERT, B. (1995): Litologia i tectònica del carst de Mallorca. In: GINÉS, A. & GINÉS, J. (eds.), *El carst i les coves de Mallorca*. *Endins*, 20 / *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 3: 27-43.
- FORNÓS, J.J. & GELABERT, B. (2011): Condicionants litològics i estructurals del carst de les Illes Balears. In: GRÀCIA, F.; GINÉS, J.; PONS, G.X.; GINARD, A. & VICENS, D. (eds.), *El carst: patrimoni natural de les Illes Balears*. *Endins*, 35 / *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 17: 37-52.
- FORNÓS, J.J. & POMAR, L. (1984): Facies, ambientes y secuencias de plataforma carbonatada somera (Formación Calizas de Santanyí) en el Mioceno terminal de Mallorca. In: OBRADOR, A. (ed.) *Libro homenaje a Luis Sánchez de la Torre*. Publicaciones de Geología, Univ. Aut. Barcelona, 20: 319-338.
- FORNÓS, J.J.; GÓMEZ-PUJOL, L. & MAS, G. (2018): L'entorn geogràfic, geomorfològic i geològic de les Coves del Drac (Manacor, Mallorca). *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 1: 49-63.
- FORNÓS, J.J.; PRETUS, J.L. & TRIAS, M. (1989): La cova de sa Gleda (Manacor, Mallorca): aspectes geològics i biològics. *Endins*, 14-15: 53-59.
- FRATESI, B. (2013): Hydrology and geochemistry of the freshwater lens in coastal karst. In: LACE, M.J. & MYLROIE, J.E. (eds.) *Coastal Karst Landforms*. Coastal Research Library 5, Springer, Dordrecht: 59-75.
- GELABERT, B.; SÀBAT, F. & RODRÍGUEZ-PEREA, A. (2002): A new proposal for the late Cenozoic geodynamic evolution of the western Mediterranean. *Terra Nova*, 14 (2): 93-100.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1992): Les coves del Drac (Manacor, Mallorca). Apuntes históricos y espeleogenéticos. *Endins*, 17-18: 5-20.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (2007): Eogenetic karst, glacioeustatic cave pools and anchialine environments on Mallorca Island: a discussion of coastal speleogenesis. *International Journal of Speleology*, 36 (2): 57-67.
- GINÉS, A.; GINÉS, J. & GRÀCIA, F. (2013): Cave development and patterns of caves and cave systems in the eogenetic coastal karst of southern Mallorca (Balearic Islands, Spain). In: LACE, M.J. & MYLROIE, J.E. (eds.), *Coastal karst landforms*. Coastal Research Library 5, Springer, Dordrecht, 245-260.
- GINÉS, J. (1995): L'endocarst de Mallorca: els mecanismes espeleogenètics. In: GINÉS, A. i GINÉS, J. (eds.) *El carst i les coves de Mallorca*. *Endins*, 20 / *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 3: 71-86.
- GINÉS, J. (2000): *El karst litoral en el levante de Mallorca: una aproximación al conocimiento de su morfogénesis y cronología*. Tesis Doctoral. Universitat de les Illes Balears. 595 pp. Palma (Mallorca).
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (2009): Proposta d'una nova classificació morfogenètica de les cavitats càrstiques de l'illa de Mallorca. *Endins*, 33: 5-18.
- GINÉS J. & GINÉS A. (2011): Classificació morfogenètica de les cavitats càrstiques de le Illes Balears, *Endins*, 17: 85-102.
- GINÉS, J.; GINÉS, A.; FORNÓS, J.J.; GRÀCIA, F. & MERINO, A. (2008): Noves observacions sobre l'espeleogènesi en el Migjorn de Mallorca: els condicionants litològics en alguns grans sistemes subterranis litorals. *Endins*, 32: 49-79.
- GINÉS, J.; FORNÓS, J.J.; GINÉS, A.; MERINO, A. & GRÀCIA, F. (2014): Geologic constraints and speleogenesis of Cova des Pas de Vallgornera, a complex coastal cave from Mallorca Island (Western Mediterranean). *International Journal of Speleology*, 43 (2): 105-124.
- GINÉS, J.; GINÉS, A.; GRÀCIA, F. & FORNÓS, J.J. (2018): L'espeleogènesi de les Coves del Drac (Manacor, Mallorca): evolució dels coneixements i interpretació actual. *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 1: 141-163.

- GRÀCIA, F. & CLAMOR, B. (2001): La Cova de sa Gleda. *Subterrànea*, 16: 24-34.
- GRÀCIA, F. & CLAMOR, B. (2006): Cova de sa Gleda. In: MAYORAL, D. & MATEU, T. (eds.). *Mallorca, bellezas en la oscuridad. Guía práctica y visual de la espeleología en Mallorca*. Espeleo Mallorca S.C.: 239-248. Sant Llorenç des Cardassar, Mallorca.
- GRÀCIA, F.; FORNÓS, J.J.; CLAMOR, B.; FEBRER, M. & GAMUNDÍ, P. (2007): La cova de sa Gleda I. Sector clàssic, sector ponent i sector cinc-cents (Manacor, Mallorca): Geomorfologia, espeleogènesi, sedimentologia i hidrologia. *Endins*, 31: 43-96.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; GAMUNDÍ, P. & FORNÓS, J.J. (2010): El sistema de cavitats Gleda - Camp des Pou (Manacor, Mallorca). *Endins*, 34: 35-68.
- GRÀCIA, F.; CIRER, A.; LÁZARO, J.C.; FERNÁNDEZ, J.F.; CLAMOR, B.; MASCARÓ, G.; PÉREZ, J.; FORNÓS, J.J.; ANSALDI, D.; BORNEMANN, D.; FRANGLÉN, N.; GRANELL, A.; GAMUNDÍ, P. & ENSEÑAT, J.J. (2020): Sistema Gleda-Camp des Pou (Manacor, Mallorca): estat de la qüestió. *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 3: 1-32.
- GRETAGMACBETH (2000): MUNSELL * Soil Color Charts, Revised Washable 2000 Edition. GretagMacbeth, p. 10.
- GULLEY, J.D.; MARTIN, J.B.; MOORE, P.J.; BROWN, A.; SPELLMAN, P.D. & EZELL, J. (2015): Heterogeneous distributions of CO₂ may be more important for dissolution and karstification in coastal eogenetic limestone than mixing dissolution. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40 (8): 1057-1071.
- GULLEY, J.D.; BREECKER, D.; COVINGTON, M.; COOPERDOCK, S.; BANNER, J.; MOORE, P.J.; NORONHA, A.; BREITHAUPT, C.; MARTIN, J.B. & JENSON, J. (2020): Tidal pumping and biogeochemical processes: dissolution within the tidal capillary fringe of eogenetic coastal carbonates. *Earth Surface Processes and Landforms*, 45: 2675-2688.
- ONAC, B.P.; GINÉS, A.; GINÉS, J.; FORNÓS, J.J. & DORALE, J.F. (2012): Late Quaternary Sea-level History: a Speleothem Perspective. In: GINÉS, A., GINÉS, J., GÓMEZ-PUJOL, L., ONAC, B.P. & FORNÓS, J.J. (eds.). *Mallorca: A Mediterranean Benchmark for Quaternary Studies*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 18: 147-162.
- PLOMER, T. & GINÉS, J. (2008). L'avenc des Puig Caragoler (Escorca, Mallorca). *Endins*, 32: 11-23.
- POLYAK, V.J.; ONAC, B.P.; FORNÓS, J.J.; ASMEROM, Y.; HAY, C.; DORALE, J.A.; GINÉS, J.; TUCCIMEI, P. & GINÉS, A. (2018): Highly resolved MIS 5e sea level in the Western Mediterranean Sea. *Nature Geoscience*, 11: 860-864.
- POMAR, L. (1991): Reef geometries, erosion surfaces and high-frequency sea-level changes, upper Miocene Reef Complex, Mallorca, Spain. *Sedimentology*, 38: 243-269.
- ROMANOV, D. & DREYBRODT, W. (2006): Evolution of porosity in the saltwater-freshwater mixing zone of coastal carbonate aquifers: an alternative modelling approach. *Journal of Hydrology*, 329 (3-4): 661-673.
- SÀBAT, F. (1986): *Estructura geològica de les Serres de Llevant de Mallorca (Balears)*. Tesi Doctoral. Universitat de Barcelona. 128 pp.



