

El registre sedimentari de la part subaquàtica de les Coves del Drac (Manacor, Mallorca)

Alejandro PILARES¹, Joan J. FORNÓS^{1,2}, Francesc GRÀCIA^{1,2} i Lluís GÓMEZ-PUJOL¹

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

²Societat Espeleològica Balear. Palma.

Abstract

During the past few years, studies concerned with sediments in littoral underwater caves have experienced a huge growth because the development of cave-diving exploration and dating techniques. Coves del Drac (Mallorca, Western Mediterranean), which are one of the most relevant karstic system of the island of Mallorca, develop on Upper Miocene carbonate rocks cropping out along the east coast of Mallorca. Recent speleodiving surveys provide new opportunities to deep in the knowledge of the cave and specifically this work deals with the sediments accumulated along the underwater galleries and chambers. This study shows the physico-chemical analysis of 19 sediment samples taken from different areas along the cave. Four major sedimentary facies have been obtained by means of statistical treatment of physico-chemical data. There are two carbonate facies, ranging in grain size from silt to fine sand. The first one relates with calcite rafts crystals derived from the chemical precipitation at the air-water interface, and the second one with the accumulation of carbonate grains as a product of cave rock wall granular disintegration. On the other hand, there are other two facies with heterogeneous mineralogy and grain size, but with a distinctive feature such as the presence of oxides and siliceous materials and a decline in clay content. These facies are mainly related to sediment transport processes triggered by water infiltration inside the cave system. From a spatial point of view all the sedimentary processes and mechanism account all around the cave but with different degrees; therefore, very often it is not easy distinguishing between the different facies. Otherwise the characterized sediments resemble or are very similar to those from other coastal karst caves of eastern Mallorca.

Resum

Durant els últims anys, els estudis sobre sediments en coves subaquàtiques litorals han experimentat un gran creixement degut al desenvolupament de tècniques d'espeleobusseig i de datació. Les coves del Drac (Mallorca, Mediterrània occidental), que són un dels sistemes càrstics més rellevants de l'illa de Mallorca, es desenvolupen en les roques carbonatades del Miocè superior que es troben al llarg de la costa est de Mallorca. Les recents descobertes subaquàtiques proporcionen noves oportunitats per aprofundir en el coneixement de la cova i específicament aquest treball s'ocupa dels sediments acumulats al llarg de les galeries i sales sotaiguades. Aquest estudi mostra l'anàlisi físico-química de 19 mostres de sediment preses en diferents àrees al llarg de la cova. S'han distingit quatre facies sedimentàries importants mitjançant el tractament estadístic de les dades físico-químiques. Hi ha dues facies carbonatades, amb una mida de gra entre els llims i les arenes. La primera es relaciona amb els cristalls de calcita flotant derivats de la precipitació química produïda en la interfase aire-aigua, i la segona amb l'acumulació de grans de carbonat com a producte de la desintegració granular de la roca encaixant. D'altra banda, hi ha altres dues facies amb una mineralogia i mida de gra heterogènia, però amb una característica distintiva com és la presència d'òxids, materials silícis i una disminució en el contingut d'argila. Aquestes facies es relacionen principalment amb els processos de transport de sediments desencadenats per la infiltració d'aigua dins del sistema subterrani. Des d'un punt de vista espacial tots els processos i mecanismes sedimentaris actuen a tot el sistema, però amb diferents graus; per tant, molt sovint no és fàcil distingir entre les diferents facies. Amb tot, els sediments caracteritzats s'assemblen o són molt similars als d'altres coves càrstiques litorals de l'est de Mallorca.

Pilares, A.; Fornós, J.J.; Gràcia, F. i Gómez-Pujol, L. (2018): El registre sedimentari de la part subaquàtica de les Coves del Drac (Manacor, Mallorca).

Papers Soc. Espeleo. Balear, 1: XX-XX. ISSN 2605-3144. © Societat Espeleològica Balear.

Rebut: 28 gener 2019; Revisat: 04 febrer 2019; Acceptat: 04 febrer 2019.

Publicat online: 11 febrer 2019.

Introducció

La litologia carbonatada del Miocè superior que constitueix la costa sud i est de l'illa de Mallorca, és un medi idoni per al desenvolupament de fenòmens càrstics superficials i subterranis (FORNÓS & GELABERT, 2011). Tant és així que aquesta zona es caracteritza per l'elevada presència de coves càrstiques que estan molt vinculades a la zona de mescla d'aigües continentals i marines (GINÉS & GINÉS, 2011).

L'obertura a l'exterior d'aquests àmbits subterranis per processos de col·lapse, així com la presència de fractures provocades per reajustaments post-orogènics i la permeabilitat que caracteritza el substrat, fa que drenin al seu interior part de les aigües d'escorrentia i per tant que actuïn com a trampes naturals de sediments clàstics (BOSCH & WHITE, 2004). Aquests materials tendeixen a acumular-se prop de les entrades de la cova i es distribueixen gradualment segons la seva mida de gra, procés que està determinat per les característiques geomorfològiques de la pròpia cavitat i de la intensitat del flux (WHITE, 2007).

No obstant això, l'aportació de sediments externs no resulta excessivament important en aquests àmbits subterranis (FORNÓS et al., 2011), principalment per la naturalesa carbonatada del substrat i per una cobertura edàfica molt escassa (SIQUIER et al., 2001), així com també per les particularitats hidrogeològiques d'aquesta zona de l'illa, caracteritzada per una pluviometria limitada (GUIJARRO, 2007) sobre un relleu suau. Malgrat tot, cal destacar la presència històrica d'episodis puntuals de precipitació elevada i intensa (GRIMALT, 1992) que afavoreixen el transport de sediments en suspensió per escorrentia superficial (JULIEN, 1995).

Un aspecte significatiu d'aquestes cavitats litorals és la presència de zones inundades al seu interior, les quals tenen unes condicions geoquímiques particulars, que controlen els processos de dissolució i corrosió de les parets de la cova, vinculades a la presència d'haloclines (BACK et al., 1984). A la superfície d'aquests llacs freàtics, que està relacionada amb el nivell de la mar actual, també es pot produir l'efecte contrari i donar-se una precipitació química de calcita flotant, que en els sediments es tradueix en una elevada presència de sediments de composició carbonatada (FORNÓS et al., 2009; GRÀCIA et al., 2007b). A més, la important influència marina existent en algunes cavitats litorals contribueix a la deposició de fàcies específiques en el seu interior (GINÉS, 2000). Aquesta varietat de processos geomorfològics presents al carst litoral, determina l'existència de diverses fàcies sedimentàries en aquestes cavitats (FORNÓS et al., 2009), encara que aquests dipòsits no solen aconseguir potències excessivament importants (FORNÓS et al., 2011).

A la bibliografia càrstica, els estudis sobre els sediments presents a les coves són un tema que compta amb una llarga tradició, encara que en les últimes dècades són pocs els treballs que han tractat el tema de manera específica (FORD, 2001; SASOWSKY & MYLROIE, 2004). Un dels temes recurrents en els estudis sobre sediments a cavitats és l'interès per establir-ne un esquema general de classificació (BÖGLI, 1980; WHITE, 1988; GILLIESON, 1996; BOSCH & WHITE, 2004). En aquest sentit destaca la síntesi realitzada per FORD & WILLIAMS (2007), aplicable als diferents àmbits subterranis i en la qual es diferencia entre dos grans grups de sediments: els al·lòctons (procedents de l'exterior) i els autòctons (produïts a l'interior de la cavitat).

En els últims anys aquesta tendència s'ha revertit i l'estudi de sediments s'ha convertit en un dels temes importants dins de la bibliografia o la producció científica càrstica, principalment gràcies a l'aplicació d'avançades tècniques de datació en l'estudi sedimentològic (WHITE, 2007), entre les quals destaca la del Carboni-14. Aquest tipus de treballs suposen una enorme contribució en el coneixement dels processos sedimentaris involucrats en l'espeleogènesi i el desenvolupament de les cavitats litorals càrstiques, els quals estan vinculats amb diferents aspectes hidrològics com són les oscil·lacions del nivell de la mar (VAN HENGSTUM et al., 2011) i l'abast de la zona de mescla d'aigües (MYLROIE & MYLROIE, 2007).

A escala insular l'anàlisi dels sediments a cavitats s'ha centrat principalment al litoral del Migjorn i Llevant de Mallorca, en part associat al desenvolupament de les activitats d'espeleobusseig de l'última dècada, que han permès aprofundir en el coneixement d'aquests ambients i poder tenir accés al registre sedimentari de les zones inundades (FORNÓS et al., 2008; GRÀCIA et al., 2003, 2005, 2006, 2007a, 2009).

Inicialment, aquests estudis eren pràcticament de caràcter descriptiu, però en els últims anys destaca l'inici de treballs més analítics que relacionen els sediments amb els processos implicats en la seva deposició i amb altres aspectes morfològics i espeleogenètics de les cavitats (FORNÓS et al., 2009, 2010, 2014), que permeten aprofundir d'una forma important en el coneixement del carst balear.

En aquesta línia, l'objectiu del present estudi és determinar els processos i mecanismes involucrats en la formació, transport i deposició sedimentària a les coves del Drac, per comprendre millor les particulars dinàmiques hidrològiques de les cavitats anquihalines del litoral est i sud de Mallorca. Degut a la important relació existent entre les fàcies sedimentàries i processos implicats, s'ha realitzat una anàlisi físico-química dels dipòsits superficials presents en el substrat de les galeries i sales negades de la cavitat, per tal d'identificar i classificar les fàcies sedimentàries i determinar els processos sedimentaris que actuen i/o han actuat al llarg del sistema.

Característiques generals de la cavitat

Les coves del Drac són una important cova turística que se situa en el que es coneix com a Marina de Manacor (est de Mallorca), a prop del nucli urbà de Porto Cristo (UTM 528340-4376285) i constitueixen un dels sistemes càrstics més destacats de l'illa. Geològicament es desenvolupen en les calcàries del Miocè

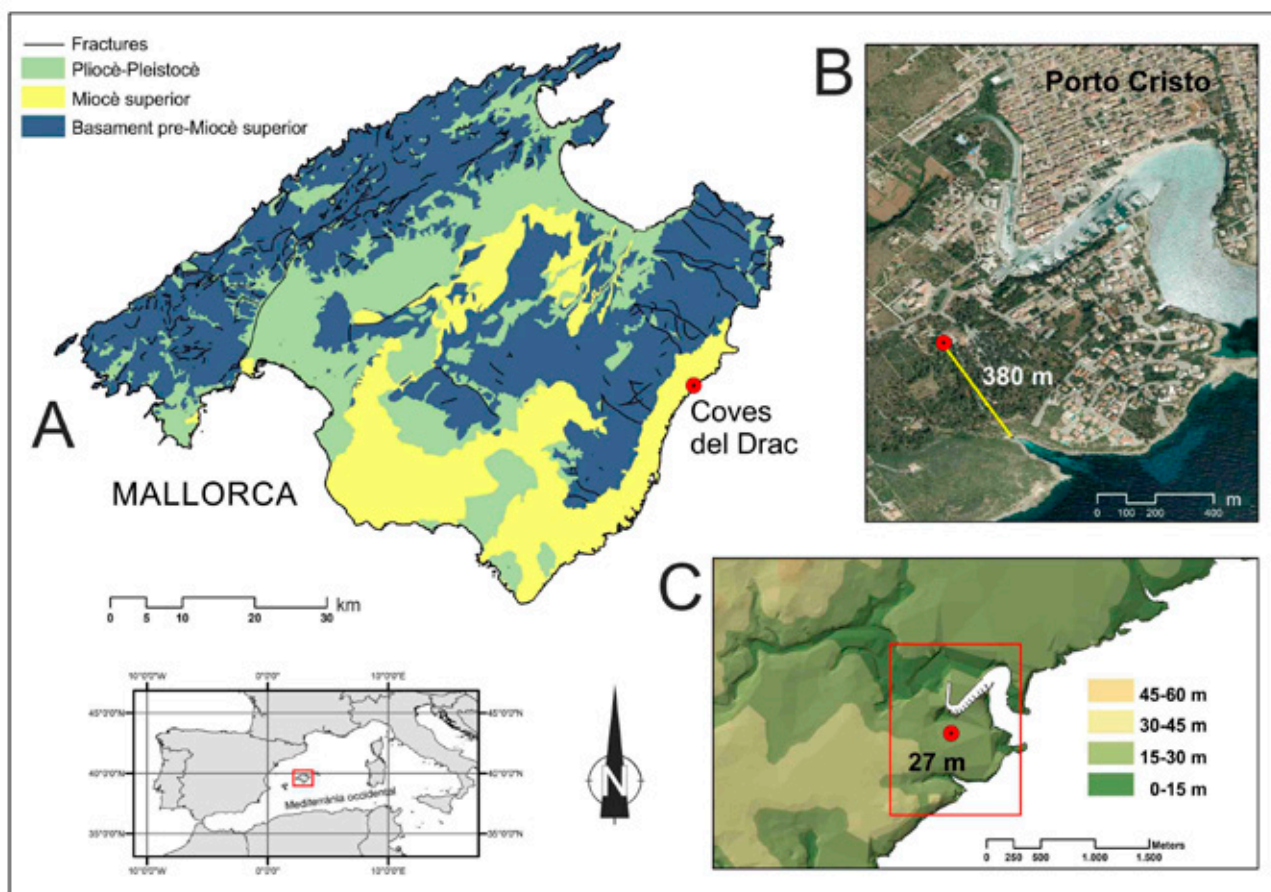


Figura 1: A. Mapa geològic sintètic de Mallorca amb la localització de la cova. B. Situació de la cavitat propera al nucli urbà de Porto Cristo. C. Mapa topogràfic i cota a la qual se situa l'entrada natural de la cavitat.

Figure 1: A. Simplified geological map of Mallorca showing the location of Coves del Drac. B. Cave location near Porto Cristo. C. Detail on the topographical features around the cave's natural entrance.

superior que afloren al llarg del sud i est del litoral de Mallorca (Figura 1A). Aquests materials carbonatats destaquen per la seva elevada porositat i constitueixen una plataforma litoral tabular que envolta les serres, que únicament és interrompuda per les incisions causades pels cursos fluvials (POMAR, 1991; FORNÓS & GELABERT, 2011). La seva espeleogènesi, similar a la d'altres coves càrstiques situades en aquesta mateixa plataforma miocena, està molt lligada a la zona de mescla d'aigües i canvis en el nivell del mar. L'elevada agressivitat química d'aquests àmbits fa que els processos de dissolució de la roca calcària siguin molt importants i tinguin capacitat per originar els buits inicials de la cavitat. Posteriorment, els canvis glacio-eustàtics del nivell del mar al llarg del Pleistocè (GINÉS et al., 2012; POLYAK et al., 2018), induïrien la migració d'aquestes zones de mescla i el desenvolupament vertical de la cavitat per processos de col·lapse (GINÉS & GINÉS, 1992; GINÉS, 2000; GINÉS et al., 2018).

En l'actualitat la cova té dues entrades, una artificial situada en el seu extrem sud i una altra natural al nord, la qual respon a l'enfonsament del sostre d'una sala subjacent, a 380 m de la línia de costa (Figura 1B), i se situa a 27 m sobre el nivell mitjà del mar (Figura 1C). La cavitat destaca per l'elevada presència d'espeleotemes i està constituïda per una complexa xarxa de sales, que han evolucionat verticalment gràcies a una sèrie de reajustaments mecànics (GINÉS, 2000), i galeries connectades entre si de manera aleatòria. La cavitat aconsegueix un desenvolupament planimètric aproximat de 7 km de recorregut total, dels quals uns 4 km es troben sota aigua. La superfície total projectada en planta arriba quasi als 72.000 m². La seva profunditat màxima és de 45 metres, dels quals uns 18 es troben per sota del nivell del mar actual, de manera que destaca tant la presència de llacs d'aigua salobre a les parts inferiors de la cavitat quan s'arriba al nivell freàtic, així com la de galeries subaquàtiques que connecten els diferents sectors de la cavitat. En aquestes zones inundades els processos de corrosió vinculats a la presència d'haloclines són molt importants (GRÀCIA, 2015). Els llacs freàtics ocupen una superfície aproximada de 2.000 m² i coincideixen amb el nivell marí actual (GINÉS & GINÉS, 2007). La seva superfície actual fluctua en funció de les mareas i les variacions baromètriques atmosfèriques. Aquest fenomen d'oscil·lacions verticals es reflecteix en els sobrecreixements dels espeleotemes freàtics, produïts per la precipitació química de minerals carbonatats (TUCCIMEI et al., 2010).

Mètodes

Per a l'estudi de les facies sedimentàries presents a les galeries i sales negades de les coves del Drac, s'han analitzat un total de 19 mostres de sediment de la capa superficial del substrat de la cavitat. El mostreig s'ha realitzat basant-se en diferents punts d'interès, determinats principalment per la seva localització, amb l'objectiu de caracteritzar els sediments dels dos sectors principals en què es pot diferenciar la cavitat: el *sector subaquàtic de Ponent*, situat a l'oest de la cova, constituït per les zones inundades properes al *llac Miramar* i a les principals sales subaèries i entrades de la cavitat; i els *sectors subaquàtics Central i de Llevant*, constituït per les noves extensions situades a l'est de la cavitat integrat per una sèrie de galeries i conductes negats. En concret, s'han obtingut un total de 10 mostres per al primer sector i 9 per al segon (Figura 2).

En referència a les mostres, cal indicar, que durant les tasques de recollida del sediment a la cavitat es varen obtenir un total de 22 mostres. No obstant això, una vegada al laboratori, 3 d'aquestes mostres (DR-6, DR-7 i DR-9), que eren del *sector subaquàtic Central*, es varen descartar perquè no presentaven un volum de mostra suficient per poder realitzar una anàlisi exhaustiva. Per a l'estudi de les mostres s'ha mantingut la numeració establerta durant el mostreig a la cavitat.

La seva recollida, efectuada durant el mes d'octubre del 2014, es realitzà de forma manual amb la pràctica d'espeleobusseig, donada la seva escassa potència que va d'alguns centímetres a alguns decímetres. El sediment es recollí mitjançant la introducció d'un tub de PVC i durant el procés s'anotà qualsevol aspecte rellevant detectat com: la disposició, la relació entre diferents unitats, la presència d'estructures sedimentàries com les de retracció, etc. Un cop al laboratori de geologia de la Universitat de les Illes Balears, el sediment s'estojà i etiquetà en recipients estèrils de plàstic de 100 ml. Després de fer una descripció superficial amb l'ajuda d'una lupa binocular per detectar qualsevol aspecte significatiu de les mostres, es determinà el seu color, tant en sec com en humit, fent ús de les cartes de color MUNSSELL ©, i s'inicià la seva caracterització sedimentològica determinant el contingut en matèria orgànica, mida de gra, mineralogia i composició geoquímica.

L'estimació del contingut de matèria orgànica, present en cadascuna de les mostres, es realitzà mitjançant el mètode d'ignició o calcinació (LOI), que consisteix en la destrucció climatitzada de tota la matèria orgànica present en el sediment. Una quantitat de mostra seca i polvoritzada, un cop pesada a una balança electrònica, es col·locà dins d'una cassoleta de ceràmica. Posteriorment s'incinerà en una mufla durant 3 hores a una temperatura constant de 360°C. Una vegada refredades, es pesà novament el contingut de les cassoletes i es calculà el percentatge de matèria orgànica (LOI) de cadascuna de les mostres (SCHULTE & HOPKINS, 1996).

Prèviament a la determinació de les característiques texturals i de la composició mineralògica, es procedí a l'eliminació de qualsevol resta de matèria orgànica present en els sediments tot aplicant peròxid d'hidrogen (H₂O₂) en cadascuna de les mostres per després eixugar-les durant 24 h en una estufa a una temperatura constant de 105°C.

L'anàlisi mineralògica es realitzà a partir de mostra total orientada a l'atzar de sediment per cadascuna de les mostres. La seva composició es determinà mitjançant difractometria de raigs X amb un aparell SIEMENS D-5000 X, l'anàlisi mineralògica semiquantitativa dels resultats, s'obtingué a partir de l'àrea dels principals pics utilitzant el programari EVA ver. 7.0. A més, aquest estudi es completà amb una anàlisi elemental (MgO, SiO₂, CaO, MnO, FeO, K₂O, Al₂O₃, SO₃, TiO₂, P₂O₃) per EDX (Bruker X-Flash Detector 4020) muntat en un microscopi electrònic de rastreig (SEM, Hitachi S), que serví també per determinar la textura i morfoscòpia dels cristalls de calcita en les mostres.

Donat que el conjunt de sediments presentaven una mida de gra inferior als 2 mm, l'anàlisi granulomètrica es realitzà mitjançant tècnica làser, utilitzant un granulòmetre làser Malvern® Mastersizer 2000. Un cop s'obtingueren les corbes de distribució de la mida de gra es procedí amb el seu tractament estadístic mitjançant el programari GRADISTAT, per determinar els paràmetres elementals de distribució de les partícules (BLOTT & PYE, 2001). Finalment, un cop obtingudes les característiques sedimentològiques de les mostres, es realitzà una anàlisi multifactorial de components principals, fent ús del programari IBM® SPSS® Statistics 21 (MEULMAN & HEISER, 2012), per tractar estadísticament tota la informació i poder establir diferents grups de facies entre els sediments analitzats, amb l'objectiu de determinar els processos sedimentaris i mecanismes implicats en la seva deposició.

Resultats

Encara que no ha estat datada cap acumulació sedimentària, durant el procés de recollida de sediments, dins de la cavitat es pogué observar un aspecte important com és que alguns dipòsits presentaven en la seva superfície polígons de retracció (Figura 3). Això indicaria que en algun període havien estat en

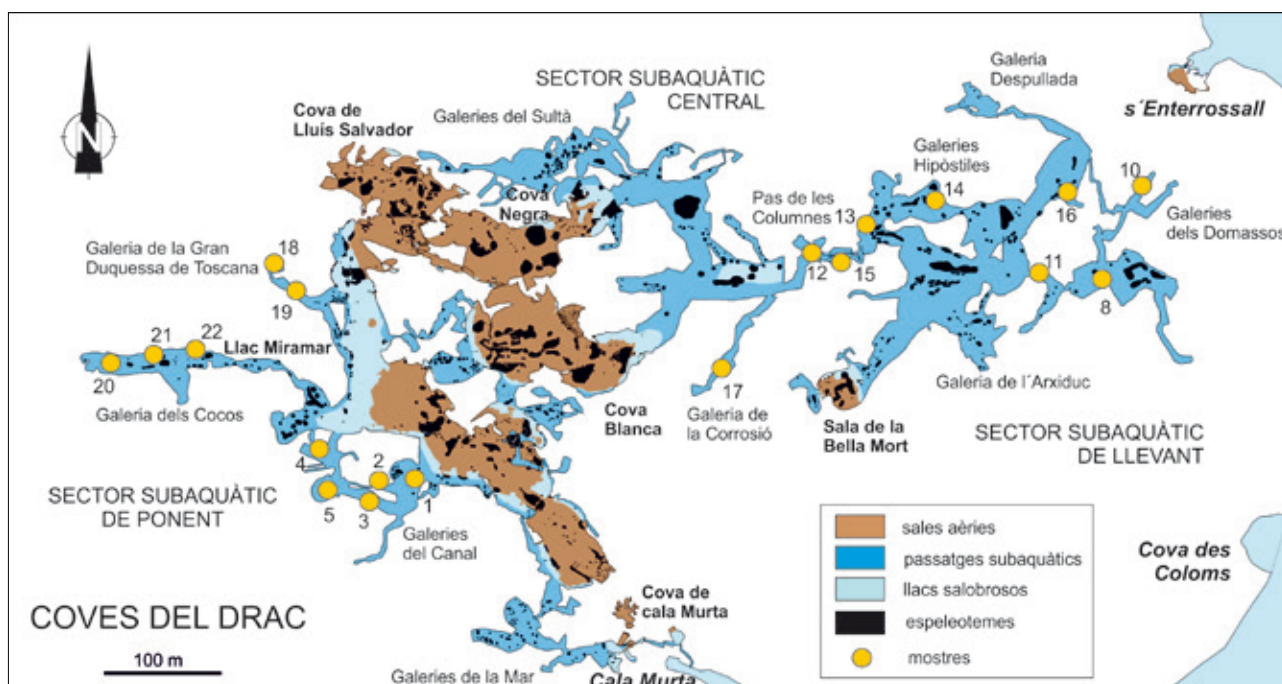


Figura 2: Mapa planimètric de les Coves del Drac amb la localització de les diferents mostres de sediment analitzades (Base topogràfica SEB –Societat Espeleològica Balear).

Figure 2: Simplified survey of Coves del Drac showing samples locations. (Topographic base SEB –Societat Espeleològica Balear).

condicions vadoses pel descens del nivell freàtic; per aquest motiu, es tractaria de materials relativament antics, probablement pertanyents a algun episodi fred del Pleistocè. Així, doncs, encara que l'estudi se centri bàsicament en sediments que es poden considerar recents o subactuals és factible la presència de materials sedimentaris més antics.

En una primera observació global de l'acumulació sedimentària s'han pogut observar importants diferències de color i textura entre les mostres analitzades i la presència de fragments de roca mare en algunes de les mostres, les característiques de les quals es descriuen a continuació.

Color

Les mostres presenten diferències molt marcades de color, tant en humit com en sec, indicatiu de la varietat de fàcies sedimentàries presents a la cavitat (Taula 1). En funció del color s'han agrupat les mostres en tres grans conjunts: coloracions blanques/grogues, coloracions marrons/vermelloses i coloracions negres. Cadascuna d'aquestes tipologies presenta petites variacions de color, de manera que s'han pogut diferenciar un total de 10 tipologies en humit i 9 en sec.



Figura 3: Esquerdes de dessecació a la galeria Despullada (sector subaquàtic de Llevant). (Foto: A. Cirer).

Figure 3: Mud cracks at Galeria Despullada (Sector Subaquàtic de Llevant). (Photo: A. Cirer).

Contingut de matèria orgànica

El contingut de matèria orgànica (LOI) oscil·la des d'un mínim de 0,1 % fins a un màxim de 9,35 %, amb un valor mitjà per al conjunt de mostres d'un 3,6 %. En funció dels resultats obtinguts, com es pot observar a la Taula 1, s'han establert 3 grups atenent al contingut de matèria orgànica present als sediments: un primer grup amb un contingut molt baix, amb valors inferiors a l'1 %; un segon grup amb valors mitjans que se situen entre l'1 % i el 4,9 %; i un últim grup amb valors que superen el 5 % arribant fins al 9,3 %.

Els sediments presenten una clara diferència en els continguts de matèria orgànica en funció del sector de la cavitat on s'ubiqui la mostra. Al sector subaquàtic de Ponent, pràcticament totes

	Mostra	Color			Mat. Orgànica		
		Humit		Sec	(g)	LOI (%)	
Sector subaquàtic Ponent	DR-S01	7,5YR5/6	marró fort	7,5YR5/8	marró fort	0,5	6,8
	DR-S02	5YR2,5/1	negre	5YR2,5/1	negre	0,2	2,2
	DR-S03	5YR4/6	vermell groguenc	7,5YR5/6	marró fort	0,5	4,9
	DR-S04	5YR2,5/1	negre	7,5YR4/2	marró	0,3	3,2
	DR-S05	7,5YR5/8	marró fort	7,5YR5/8	marró fort	0,5	6,7
	DR-S18	7,5YR3/2	marró fosc	10YR4/6	marró groc fosc	0,3	7,5
	DR-S19	7,5YR2,5/3	marró molt fosc	10YR3/4	marró groc fosc	0,2	6,2
	DR-S20	7,5YR5/6	marró fort	10YR5/8	marró groguenc	0,1	5,7
	DR-S21	5YR8/2	blanc rosat	10YR8/2	marró molt pàl·lid	0,0	0,1
	DR-S22	7,5YR5/8	marró fort	7,5YR6/8	groc vermellós	0,5	9,3
	\bar{X}					0,3	5,3
Sector subaquàtic Llevant	DR-S08	7,5YR4/6	marró fort	10YR5/6	marró groguenc	0,3	2,0
	DR-S10	10YR3/2	marró grisenc molt fosc	10YR5/2	marró grisenc	0,1	0,8
	DR-S11	7,5YR4/6	marró fort	10YR4/3	marró	0,3	2,9
	DR-S12	10YR3/2	marró grisenc molt fosc	10YR4/3	marró	0,1	1,2
	DR-S13	10YR4/6	marró groc fosc	10YR7/3	marró molt pàl·lid	0,2	2,5
	DR-S14	10YR8/2	marró molt pàl·lid	10YR8/2	marró molt pàl·lid	0,0	0,3
	DR-S15	10YR2/1	negre	2,5YR2,5/1	grisc fosc i vermellós	0,1	2,0
	DR-S16	5YR4/6	vermell groguenc	7,5YR4/6	marró fort	0,3	2,7
	DR-S17	10YR6/8	groc marró	2YR7/6	vermell clar	0,1	1,0
	\bar{X}					0,2	1,7
\bar{X} Total					0,2	3,6	

Taula 1: Descripció del color (sec i humit) a partir de les cartes de color MUNSELL i quantitat de matèria orgànica.
Table 1: Sediments MUNSELL Chart colour (dry and humid) and organic matter content.

les mostres tenen uns elevats percentatges de matèria orgànica, amb un valor mitjà del 5,3 %. En canvi, al sector subaquàtic de Llevant, els continguts en matèria orgànica són molt baixos, amb un valor mitjà d'1,7 %.

Granulometria

La mida de gra dels sediments presenta una elevada variabilitat granulomètrica. La fracció arena oscil·la des d'un mínim del 21,6 % a un màxim del 95,4 %. Els llims per la seva banda van d'un mínim del 4,6 % a un màxim de 73,9 %. La fracció argila presenta una variabilitat menor, amb valors que van del 0 % al 5,9 %.

La distribució de la mida de gra, així com els paràmetres estadístics texturals analitzats (Taula 2) indiquen, en general, una mala classificació dels sediments i en la majoria dels casos la corba granulomètrica presenta un lleuger caràcter bimodal, el que implica una mescla de sediments acumulats per dos processos diferents, amb mitjanes i graus de classificació també diferenciats.

D'acord amb l'estudi granulomètric, a grans trets s'han pogut identificar 3 grups de textura prou diferents (Taula 2). El grup majoritari i més representatiu entre les mostres analitzades és el que presenta una textura arenosa, amb valors de la fracció arena superior al 65 % de la seva composició total, valors en llim destacats, que van del 4,6 % al 31,4 % i valors en argila molt baixos, amb valors que oscil·len del 0 % a l'1,9 %.

Un segon grup que cal destacar, és el constituït per mescla de fracció arena i fracció llim amb valors similars i amb un major contingut en fracció argila que el grup anterior. La fracció arena oscil·la entre un 46,9 % i 58,8 % i la fracció llim entre el 39,2 % i 49,7 %. Les argiles, per la seva banda, tenen valors que van del 1,6 % al 3,4 %.

Finalment tenim les mostres on predomina la fracció llimosa amb valors que oscil·len entre el 55,2 % i 73,9 %, valors en fracció arenosa entre el 21,6 % i 38,9 %, i la fracció argila més representativa amb valors entre el 4,5 % i el 5,9 %.

Anàlisi elemental i mineralògica

L'anàlisi global de la composició mineralògica dels sediments presenta una elevada heterogeneïtat (Taula 3).

Els minerals carbonatats, amb una mitjana de 41,6 %, són el grup mineralògic predominant, amb abundància dominant de la calcita, que presenta una mitjana del 36,4 % i valors que oscil·len del 0 % al 100 %. El contingut en dolomita és molt menor, amb una mitjana de 5,2 % i valors que oscil·len del 0 % al 78,2 %.

Mostra	% Arena (2000 - 63 µm)				% Llim (63 - 2 µm)				% Argilla (<2µm)	Paràmetres estadístics (µm)					
	Gruixada	Mitjana	Fina	Total	Gruixut	Mitja	Fi	Total	Total	Mean	Sorting	Skewness	Kurtosis	D ₅₀	
Sector subaquàtic Ponent	DR-S01	7,6	17,5	48,0	73,1	18,1	3,6	3,8	25,5	1,3	187,3	188,3	1,8	6,9	127,0
	DR-S02	1,5	6,6	38,8	46,9	29,8	8,5	11,4	49,7	3,4	92,1	110,6	2,4	9,9	56,6
	DR-S03	35,2	27,2	21,8	84,2	8,9	2,8	3,1	14,8	1,0	421,6	344,1	1,0	3,7	358,9
	DR-S04	0,4	3,5	34,9	38,8	30,9	9,6	14,7	55,2	5,9	69,1	83,0	2,5	11,7	42,2
	DR-S05	18,4	17,7	40,9	77,0	14,5	3,1	4,0	21,6	1,4	281,1	316,9	1,9	6,8	160,9
	DR-S18	31,0	19,0	34,0	84,0	11,5	1,8	1,9	15,2	0,7	395,5	390,5	1,3	4,3	250,9
	DR-S19	45,3	16,9	22,8	85,0	9,5	2,0	2,6	14,1	0,9	521,2	454,9	0,9	3,0	430,6
	DR-S20	17,5	31,8	37,8	87,1	8,3	1,8	2,1	12,2	0,7	295,6	224,5	1,0	3,7	246,2
	DR-S21	4,5	7,7	39,5	51,7	29,6	9,3	6,6	45,5	2,7	125,3	179,5	3,3	17,0	66,7
	DR-S22	44,3	24,2	20,0	88,5	6,9	1,7	2,2	10,8	0,7	496,0	377,6	0,8	3,3	441,6
\bar{X}	20,6	17,2	33,9	71,6	16,8	4,4	5,2	26,5	1,9	288,5	267,0	1,7	7,0	218,2	
Sector subaquàtic Llevant	DR-S08	4,4	5,6	48,8	58,8	27,8	5,1	6,3	39,2	2,0	124,5	168,6	3,5	17,4	77,5
	DR-S10	8,5	9,2	32,8	50,5	33,0	6,9	7,0	46,9	2,5	151,7	223,0	2,6	10,1	63,7
	DR-S11	1,0	4,6	46,1	51,7	36,4	5,2	5,1	46,7	1,6	91,4	96,0	2,9	15,7	65,1
	DR-S12	36,0	13,7	22,3	72,0	17,8	4,2	4,4	26,4	1,6	416,7	439,1	1,1	3,4	244,2
	DR-S13	10,0	22,9	52,1	85,0	10,7	2,1	1,5	14,3	0,6	234,2	208,1	1,9	7,5	175,9
	DR-S14	38,1	27,6	29,6	95,3	4,3	0,4	0,0	4,7	0,0	467,5	356,0	1,1	4,0	382,1
	DR-S15	12,5	15,6	47,1	75,2	21,9	1,9	1,0	24,8	0,0	218,6	237,4	1,9	6,5	120,7
	DR-S16	2,8	12,3	51,5	66,6	22,4	4,0	5,0	31,4	1,9	137,9	135,5	2,0	8,5	99,5
	DR-S17	0,1	1,5	20,0	21,6	44,6	16,7	12,6	73,9	4,5	44,3	56,9	3,8	23,4	27,3
	\bar{X}	12,6	12,6	38,9	64,1	24,3	5,2	4,8	34,3	1,6	209,7	213,4	2,3	10,7	139,6
\bar{X} Total	16,8	15,0	36,3	68,1	20,4	4,8	5,0	30,2	1,8	251,1	241,6	2,0	8,8	180,9	

Taula 2: Valors percentuals de les diverses fraccions texturals i paràmetres estadístics texturals.
Table 2: Sediment texture classes (%) and granulometric parameters.

Els minerals silícics presenten una mitjana del 25,4 %, amb un clar predomini del quars, amb una mitjana del 24 % i valors que oscil·len del 0 % al 63,3 %. Així mateix, els feldspats són pràcticament testimonials amb una mitjana de l'1,4 %.

Amb una presència similar a la dels silicats es troben els òxids, els quals tenen una mitjana del 24,9 % i estan pràcticament constituïts per la goethita, amb una mitjana del 24,2 % i valors que oscil·len del 0 % al 100 %. Un altre element, encara que amb una presència molt més baixa és la hematites, amb una mitjana del 0,6 % i valors que oscil·len del 0 % al 6,2 %.

En el cas dels fil·losilicats la seva presència és baixa, amb una mitjana del 7,3 %. Aquest grup està constituït per caolinita, amb una mitjana del 4,6 % i valors que oscil·len del 0 % al 35,4 %, i il·lita amb una mitjana del 2,7 % i valors que oscil·len del 0 % al 13,3 %.

Mostra	Carbonats			Silicats			Fil·losilicats			Òxids			Altres			EDX	
	Calcita	Dolomita	Total	Quars	Feldspats	Total	Il·lita	Caolinita	Total	Goethita	Hematites	Total	Altres	Guix	Total	MnO	FeO
Sector subaquàtic Ponent	DR-S01	0,0	0,0	40,7	4,9	45,6	1,3	0,0	1,3	57,8	0,0	57,8	0,0	0,0	0,0	0,0	71,2
	DR-S02	7,8	2,8	10,6	47,8	3,5	51,2	6,4	35,4	41,8	1,4	0,0	1,4	0,0	0,0	21,1	14,5
	DR-S03	0,0	78,2	78,2	5,9	1,6	7,5	2,0	0,0	2,0	12,3	0,0	12,3	0,0	0,0	0,0	58,6
	DR-S04	18,6	0,0	18,6	55,0	4,4	59,5	6,5	11,0	17,5	4,4	0,0	4,4	0,0	0,0	7,1	26,8
	DR-S05	0,0	0,0	0,0	30,9	0,0	30,9	0,0	0,0	0,0	69,1	0,0	69,1	0,0	0,0	0,0	72,1
	DR-S18	0,0	3,7	3,7	23,4	0,0	23,4	0,0	0,0	0,0	73,0	0,0	73,0	0,0	0,0	0,0	79,0
	DR-S19	0,0	0,0	0,0	47,3	0,0	47,3	0,0	5,3	5,3	41,2	6,2	47,4	0,0	0,0	7,1	67,4
	DR-S20	2,8	0,0	2,8	19,1	0,0	19,1	0,0	0,0	0,0	78,1	0,0	78,1	0,0	0,0	1,8	66,9
	DR-S21	98,5	0,0	98,5	2,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3
	DR-S22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	85,9
\bar{X}	12,8	8,5	21,2	27,2	1,4	28,6	1,6	5,2	6,8	43,7	0,6	44,4	0,0	0,0	3,7	54,4	
Sector subaquàtic Llevant	DR-S08	22,3	0,0	22,3	63,3	2,8	66,2	5,8	3,2	9,0	0,0	0,0	2,6	0,0	2,6	2,4	21,9
	DR-S10	77,9	4,5	82,4	12,1	1,2	13,3	3,5	0,8	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	7,2
	DR-S11	12,2	0,0	12,2	60,2	3,6	63,7	13,3	4,7	18,0	0,0	0,0	6,1	0,0	6,1	7,2	28,9
	DR-S12	89,0	9,0	97,9	2,1	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	24,3
	DR-S13	93,6	0,0	93,6	6,5	0,0	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	4,6
	DR-S14	100,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	DR-S15	67,6	0,0	67,6	1,0	1,4	2,4	0,0	22,6	22,6	0,0	0,0	0,0	7,3	7,3	45,0	5,6
	DR-S16	8,2	0,0	8,2	34,1	3,4	37,5	10,9	5,0	15,9	23,4	5,6	28,9	9,6	9,6	3,0	20,1
	DR-S17	93,6	0,0	93,6	5,5	0,0	5,5	0,8	0,1	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	13,8
	\bar{X}	62,7	1,5	64,2	20,5	1,4	21,9	3,8	4,0	7,9	2,6	0,6	3,2	2,0	0,8	2,8	8,2
\bar{X} Total	36,4	5,2	41,6	24,0	1,4	25,4	2,7	4,6	7,3	24,2	0,6	24,9	1,0	0,4	1,3	5,8	35,3

Taula 3: Valors percentuals (%) de la composició mineralògica i elemental.
Table 3: Mineralogical and elemental composition (%).

Respecte als elements derivats de l'anàlisi per EDX, cal destacar els continguts d'òxids de ferro (FeO) i d'òxids de manganès (MnO) presents a algunes de les mostres. Els primers tenen una mitjana del 35 % i valors que varien del 0 % al 85,9 %, els segons una mitjana del 5,8 % i valors que van del 0 % al 45 %. Un aspecte molt important d'aquests elements és la seva distribució irregular, ja que en general es troben molt concentrats a algunes de les mostres.

Tot i aquesta forta variabilitat mineralògica i l'elevat grau de mescla dels sediments, l'estudi detallat de cadascuna de les mostres ha permès realitzar diferents agrupacions a partir de la composició mineralògica predominant. D'aquesta forma s'han pogut establir fins a 4 grups mineralògics: els carbonats, els silicats, els òxids de Fe i un grup en el qual s'observa una elevada variabilitat sense el predomini de cap dels anteriors (Figura 4).

El grup dels carbonats es caracteritza per una important presència d'aquests minerals, amb valors molt destacats que van del 78,2 % al 100 %. És ric en calcita, i en alguns casos apareix acompanyat per minerals silícis i fil·losilicats. La dolomita, tot i que en general no arriba a percentatges elevats, presenta un valor molt important a una de les mostres. A més, aquesta mostra presenta uns valors alts en òxid de ferro (FeO), motiu pel qual podria tractar-se d'anckerita.

Un segon grup és el dels silicats, amb valors que van del 59,5 % al 63,7 %. Principalment està constituït per quars i apareix acompanyat per minerals carbonatats i fil·losilicats, així com altres elements com els òxids de ferro (FeO) amb valors que varien del 21,9 % al 28,9 %.

Un tercer grup és el constituït principalment per òxids, on destaca la goethita que presenta valors molt elevats, que van del 69,1 % al 100 %, i que en general apareix acompanyada de quars. Cal destacar les importants concentracions en òxids de ferro (FeO), molt lligades a la presència de goethita, les quals van des d'un mínim del 66,9 % a un màxim del 85,9 %.

L'últim grup és el format per mescla de diversos minerals, en el que es poden diferenciar alguns subtipus en funció del feble predomini d'algun component: un primer subtipus format per carbonats i silicats acompanyats d'alts nivells de fil·losilicats, principalment caolinita, amb valors que oscil·len del 22,6 % al 35,4 %, i on l'anàlisi EDX mostra un contingut important d'òxids de manganès (MnO) amb valors que arriben fins al 45 % a una de les mostres, i un contingut moderat en òxids de ferro (FeO) amb valors que van del 5,6 % al 14,5 %; un segon subtipus, és el constituït per materials silícis amb valors que varien del 37,5 % al 45,6%, i un elevat contingut en goethita amb valors de fins al 57,8 %, així com altres elements com l'òxid de ferro (FeO).

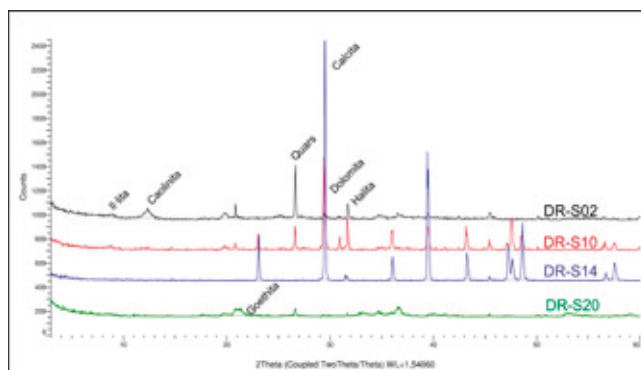


Figura 4: Difractogrames de raigs-X de mostres de sediment seleccionades.

Figure 4: XRD diffractograms of selected sediment samples.

Anàlisi de components principals i facies sedimentàries

A partir de les característiques estudiades s'ha realitzat una anàlisi de components principals, amb l'objectiu d'agrupar i identificar les diferents facies sedimentàries presents a la cavitat. Per al seu desenvolupament s'han utilitzat les variables de granulometria (% de les fraccions d'arenas, llims i argiles), de mineralogia (% de calcita, dolomita, quars, feldspats, il·lita, caolinita, goethita i òxids de ferro i manganès).

D'aquesta manera s'han obtingut un total de quatre factors o components principals (CP) que expliquen un 85,6 % de la variància total. Els dos primers factors destaquen per la seva importància, ja que expliquen un 61,5 % de la variància total. El primer factor es correspon amb la granulometria, tot explicant el 37,7 %; per la seva banda, el segon factor fa referència a la mineralogia i explica un 23,8 %. Menys importants quantitativament trobem altres factors, com el tercer que estaria determinat per l'òxid de manganès, l'òxid de ferro i la caolinita, explicant un 14,4 %. L'últim factor a considerar explicaria un 9,7 % de la variància i estaria determinat per la dolomita i la goethita.

L'anàlisi de components principals ha permès, d'acord amb el conjunt de variables estudiades, agrupar les mostres en dos grans blocs, que es corresponen a quatre facies sedimentàries, cadascuna d'elles amb unes característiques

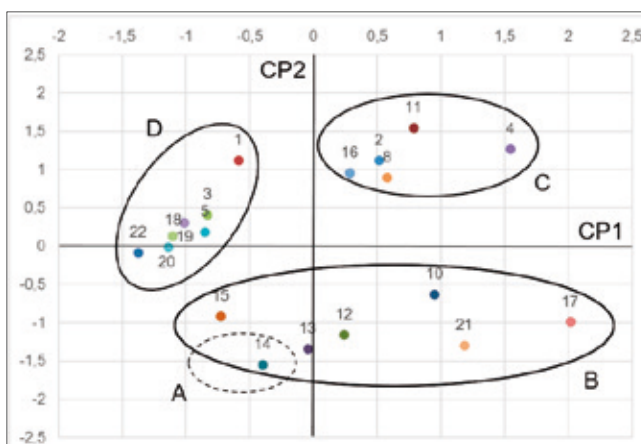


Figura 5: Anàlisi de components principals amb la distribució i agrupació de les mostres de sediment.

Figure 5: Principal components analysis showing the distribution and grouping of sediment samples.

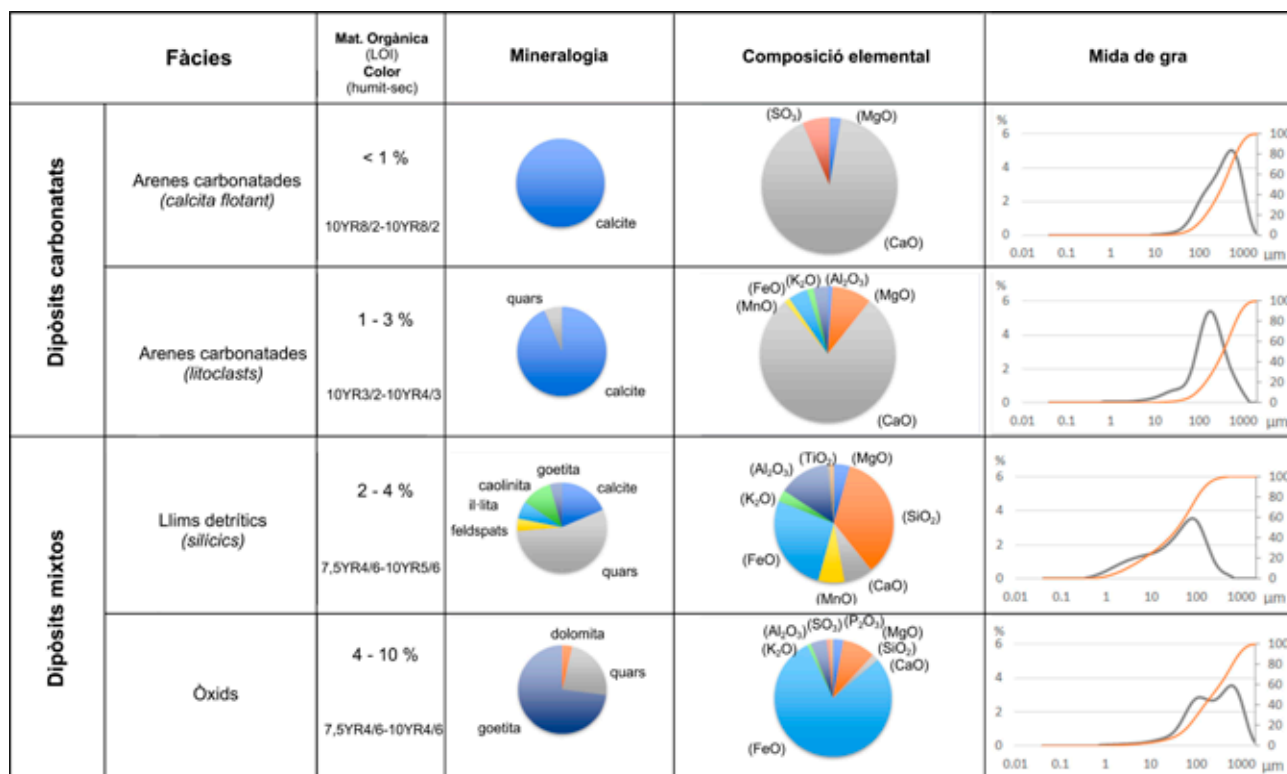


Figura 6: Característiques generals de les fàcies sedimentàries presents a la cavitat.
Figure 6: General characteristics of the sedimentary facies present in the cavity.

físico-químiques i sedimentològiques particulars. El primer bloc, constituït pels grups A i B de la Figura 5, estan relacionats amb dipòsits carbonatats formats per diferents processos que donen lloc a acumulacions de cristalls de calcita (A) i amb grans carbonatats procedents de la disgregació de la roca encaixant (B). D'altra banda, trobem una sèrie de dipòsits mixtos, format pels grups C i D de la Figura 5, caracteritzats per una heterogeneïtat mineralògica, una mala classificació granulomètrica i diferències importants de color, i entre els quals destaquen els dipòsits clàstics (C) i els òxids (D).

Referent al conjunt de fàcies presents, s'ha d'indicar que amb posterioritat a l'anàlisi del sediment, i degut a la continuïtat de les tasques d'exploració subaquàtica a la cavitat, s'han descobert noves extensions de la cova (*galeries de la Mar*) on s'ha pogut diferenciar visualment una nova acumulació sedimentària d'origen marí, que es correspondria amb fàcies d'entrada actuals, però que no ha estat abordada quantitativament en el present treball.

A continuació, es descriuen les principals característiques de cada una d'aquestes agrupacions o fàcies sedimentàries identificades, les quals es recullen de forma sintètica a la Figura 6.

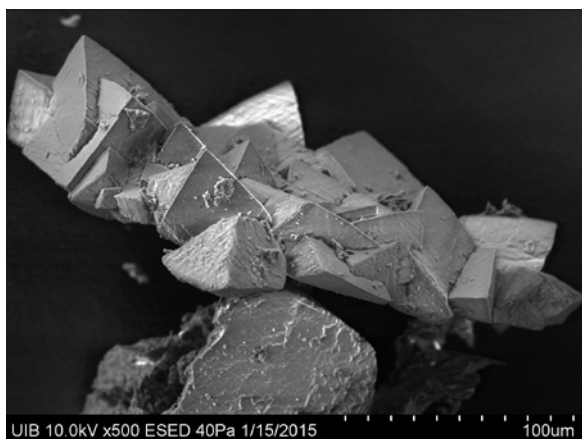


Figura 7: Imatge de microscòpia electrònica (SEM) d'un agregat de calcita flotant.

Figure 7: Scanning electron microscopy image (SEM) of a calcite raft aggregate.

(A) Sediments carbonatats amb predomini de cristalls de calcita flotant

Encara que amb petites variacions, aquests sediments es caracteritzen per un contingut molt baix en matèria orgànica, una granulometria relativament ben classificada on predominen les arenes fines i mitjanes, amb un baix contingut en llims. La mineralogia quasi exclusiva és la calcita. Aquesta fàcies es troba localitzada a les galeries negades del sector subaquàtic de Llevant i correspon a l'acumulació al fons dels llacs dels cristalls de calcita flotant que es formen per precipitació directa en la seva superfície (Figura 7).

(B) Sediments carbonatats particulats (litoclàstics)

Les característiques d'aquest tipus de sediments, són similar als anteriors, però amb algunes petites variacions. Els valors de matèria orgànica són baixos i la mineralogia predominant és la calcita, encara que apareix acompanyada per quars. Presenta una granulometria ben classificada amb predomini de les arenes fines.

Aquesta fàcies es distribueix al llarg dels conductes negats del sector subaquàtic de Llevant a la zona est de la cavitat, encara que una de les mostres se situa en les proximitats del llac Miramar. Correspon bàsicament als materials (grans) disgregats de la roca encaixant per processos de corrosió selectiva.

(C) *Sediments clàstics*

Tenen un contingut moderat en matèria orgànica i una composició mineralògica on domina el quars, i apareixen acompanyats d'altres minerals com són els feldspats, la calcita, la goethita, els minerals de les argiles (il·lita i caolinita) i l'òxid de ferro. La fracció predominant són les arenes fines i llims. Especialment, aquests sediments se situen a dos llocs diferenciats de la cavitat: als llacs pròxims de les sales subàeries del sector subaquàtic de Ponent, i a l'est de la cavitat, a una zona específica del sector subaquàtic de Llevant. Correspondrien bàsicament als sediments al·lòctons introduïts a la cavitat per diferents processos.

(D) *Sediments formats per òxids de Fe*

Presenten uns continguts en matèria orgànica molt elevats, amb un rang de fluctuació important entre cadascuna de les mostres i una fracció amb una bimodalitat molt marcada en algunes mostres. Principalment, estan constituïts per fracció arena fina i mitjana, i en menor mesura per fracció llimosa. Mineralògicament destaca la important presència de goethita i d'òxid de ferro (Figura 8). Aquests sediments s'ubiquen a l'oest i al sud-oest de la cavitat, distribuïts al llarg de les diferents galeries negades pròximes al llac Miramar, al sector subaquàtic de Ponent, i correspondrien als processos geoquímics resultants de la interacció entre aigües de diferent composició.



Figura 8: La presència d'òxids de Fe és molt abundant en els sediments d'alguns conductes del sector subaquàtic de Llevant (*galeria dels Conductes*). Foto: A. Cirer.
Figure 8: Fe-oxides are very frequent in some conduits of the Sector Subaquàtic de Llevant (*Galeria dels Conductes*). Photo: A. Cirer.



Figura 9: Acumulació de blocs a la *galeria de l'Arxiduc* (sector subaquàtic de Llevant). Foto: A. Cirer.
Figure 9: Block accumulation at *Galeria de l'Arxiduc* (Sector Subaquàtic de Llevant). Photo: A. Cirer.

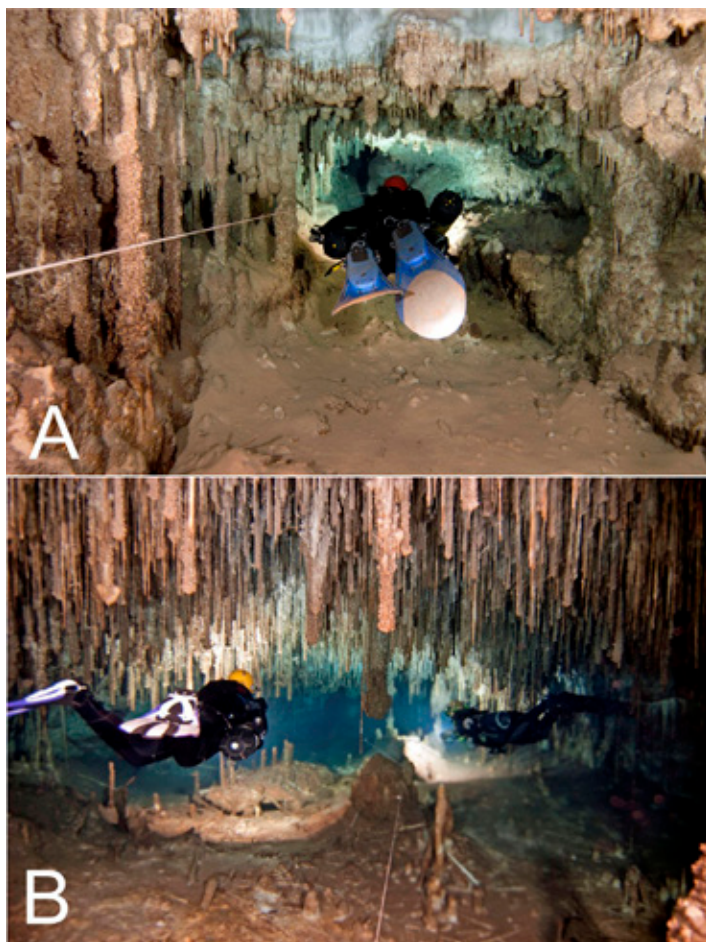


Figura 10: La presència sedimentària a la part submergida de les coves del Drac és relativament feble (A, *galeries del Sultà*, al sector subaquàtic Central) i molts cops queda emmascarada per l'abundant estalagmitització (B, *galeries Hipòstiles*, al sector subaquàtic de Llevant). Fotos: A. Cirer.

Figure 10: The presence of sediments in the submerged sector of Coves del Drac is relatively scarce (A, *Galeries del Sultà*, at Sector Subaquàtic Central) and in many cases sediments are masked by the stalagmitization processes (B, *Galeries Hipòstiles*, at Sector Subaquàtic de Llevant). Photos: A. Cirer.

Fàcies d'entrada

Estan constituïdes per arenes bioclàstiques marines de gra mitjà i gruixat amb abundants restes vegetals marins (fulles i rizomes de *Posidonia oceanica*). Es localitzen als conductes que drenen a cala Murta, a la zona sud de la cavitat. Serien el resultat de la interacció de la dinàmica marina amb els conductes que drenen la cavitat.

L'acumulació sedimentària a la part subaèria de la cavitat

Encara que no és l'objectiu del present treball, cal comentar alguns aspectes relacionats amb les acumulacions presents a les parts subaèries la cavitat. En pràcticament tot el seu recorregut, són molt freqüents els processos de col·lapse, igual que a la part sotaiguada, que han anat modelant l'evolució de les grans sales de la cavitat (Figura 9). El resultat és una gran acumulació de blocs (GINÉS & GINÉS, 2007), normalment de grans dimensions que ràpidament han estat recoberts per la deposició estalagmítica.

Discussió

Els resultats obtinguts mostren una gran varietat sedimentària, constituïda per la presència tant de materials autòctons com al·lòctons, que en general es presenten mesclats. Aquesta heterogeneïtat indica que els processos i mecanismes implicats en la deposició són molt diversos i es donen amb diferents graus d'intensitat. Entre el registre sedimentari analitzat, cal destacar el clar predomini dels dipòsits carbonatats, considerats autòctons, constituïts principalment per calcita i on s'identifiquen i caracteritzen diverses fàcies sedimentàries. Malgrat tot, com a característica general, podem considerar que l'acumulació sedimentària als conductes i sales de les

coves es pot considerar molt feble, no superant en la seva major part el decímetre de potència (Figura 10A) i, a més a més, probablement, aquesta pot quedar emmascarada per la forta estalagmitització (Figura 10B).

En primer lloc cal assenyalar una acumulació caracteritzada per grans de carbonat alliberats de les parets de la cavitat, les quals estan constituïdes principalment per roques carbonatades que destaquen per una elevada puresa (FORNÓS & GELABERT, 1995). Aquesta sedimentació respon a processos de disgregació de la roca encaixant, derivada d'una alteració física a les zones subaèries i química a les zones inundades de la cavitat (FORNÓS et al., 2009). En aquests àmbits subaquàtics els processos de dissolució són molt importants per l'elevada corrosió dels materials relacionada amb la presència d'haloclines, conseqüència de la mescla d'aigües amb diferents graus de salinitat (BACK et al., 1979). La presència de diferents graus de solubilitat entre les partícules que componen les parets de la cavitat, provoca que algunes es disgreguin i es dipositin en el fons de les zones inundades (Figura 11).

En segon lloc, estan presents dipòsits d'agregats cristal·lins de calcita flotant acumulats al fons dels llacs, fenomen molt freqüent en aquestes coves litorals (FORNÓS et al., 2011; GRÀCIA et al., 2006). Aquest procés de precipitació de la calcita precisa de la interfase aire-aigua on l'aigua subterrània es presenta sobresaturada en CaCO_3 i una atmosfera de la cova amb quantitats de CO_2 inferiors a la de l'aigua; això provoca la desgasificació de les aigües subterrànies i la consegüent precipitació i acumulació de calcita en superfície, fins que excedeixen la tensió superficial, afavorida per l'impacte del degoteig constant del sostre de la cavitat i es dipositen en el fons (FORNÓS et al., 2009; TAYLOR et al., 2004; TAYLOR & CHAFETZ, 2004).

En l'actualitat, la presència d'aquests dipòsits en zones completament negades de la cavitat i la naturalesa de la columna d'aigua, que no té corrents subterrànies importants que puguin transportar aquests dipòsits, determina que la seva acumulació estaria relacionada amb les oscil·lacions glacioeustàtiques de la Mediterrània durant el

Quaternari (GINÉS, 2000; POLYAK et al., 2018), de manera que possiblement en alguns moments aquestes zones presentaven llacs amb cambra d'aire, necessaris perquè es donés la precipitació química del carbonat càlcic.

Tot i que aquests processos són força habituals en els llacs de la cavitat, el registre sedimentari superficial analitzat no mostra importants acumulacions d'agregats de calcita flotant (Figura 12), fenomen que es repeteix en coves litorals similars (GRÀCIA et al., 2006). Això és degut a l'elevat grau de corrosió que presenten aquest tipus de dipòsits degut als condicionants geoquímics de la zona de mescla d'aigües (BACK et al., 1984).

Un factor a tenir en compte a l'hora d'analitzar el registre sedimentari, és que tot i que és molt important l'acumulació de carbonats, la seva proporció dins el dipòsit sedimentari està condicionada per la taxa d'acumulació de materials detrítics, així com d'altres elements.

Una altra acumulació sedimentària molt important en la cavitat són els dipòsits clàstics o detrítics, els quals procedeixen d'una font exterior, considerant-se al·lòctons. Aquest tipus de dipòsits estan constituïts principalment per quars, feldspats i caolinita. El substrat de l'illa de Mallorca és molt escadusser en aquests minerals, per la qual cosa la seva presència s'ha relacionat amb les pluges de fang de procedència sahariana (FIOL et al., 2005; GOUDIE & MIDDLETON, 2001). Posteriorment a la seva acumulació, les aigües d'escorrentia i infiltració, a través d'entrades o fractures del terreny, afavoreixen el seu transport fins a l'interior de la cavitat. Tot i que aquest tipus de sediments són considerats com al·lòctons, una petita part pot procedir del residu insoluble derivat dels processos de dissolució i corrosió de la pròpia roca de la cavitat, que tenen lloc a la zona de mescla d'aigües, malgrat que aquestes continguin un percentatge testimonial d'impureses (Figura 13).

Aquest fenomen va ser analitzat per GRÀCIA et al. (2006), on es determinà que aquestes calcarenites del Miocè superior presenten un alt contingut en calcita, amb percentatges d'impureses molt reduïts, que no superen el 1,4 %, les quals estan formades principalment per quars (99 % aprox.) i la resta per il·lita i/o caolinita. Aquest procés de dissolució de la roca, unit al del transport de materials per les aigües d'infiltració explicaria la seva proporció en la majoria de mostres analitzades, i la seva omnipresència en pràcticament tota la cavitat, encara que no es descarta que part d'aquests dipòsits es relacionin amb antigues obertures de la cova o amb petites fractures en el sostre de la cavitat.

Com s'ha comentat anteriorment, i com es pot observar en els resultats obtinguts, en la cavitat destaquen la variabilitat i interrelació de processos i mecanismes pel que són molt importants les facies mixtes que resulten de la mescla de les facies descrites anteriorment.

Entre els sediments al·lòctons, també cal destacar les facies d'entrada d'origen marí. Aquests tipus de dipòsits estan present en moltes coves costaneres i en alguns casos amb acumulacions molt importants (GINÉS et al., 2007a). La seva deposició està molt lligada a la dinàmica marina, i les oscil·lacions en el nivell del mar durant el Quaternari (VAN HENGSTUM et al., 2011) determinen la seva presència (GINÉS, 2000). La localització d'aquests materials en les galeries pròximes a cala Murta, en la zona sud de la cavitat, indica que podria tractar-se de sediments relativament recents, que els corrents marins han introduït dins la cavitat a través dels conductes que drenen a la mar.

Alguns elements destacats entre el registre sedimentari són les concentracions d'òxid de manganès i òxid de ferro. Tot i que a altres cavitats litorals insulars la presència de manganès arriba a ser molt important i pràcticament omnipresent (GRÀCIA et al., 2014), el contingut de manganès en les mostres analitzades és reduït i en general apareix acompanyant al ferro. Aquests minerals són molt importants des d'un punt de vista qualitatiu, pel fet que es relacionen amb tot un seguit de processos sedimentaris: introduïts per les aigües d'infiltració en travessar la capa edàfica, derivats de l'activitat de determinats bacteris o transportats per aigües hipogèniques (HILL & FORTI, 1997). Pel que fa a la ubicació d'aquest tipus d'elements en la cavitat, és important la distribució espacial que presenten les mostres amb continguts elevats en FeO i goethita. Aquests sediments se situen en diferents punts del *sector subaquàtic de Ponent* tot i que destaquen els



Figura 11: Acumulació sedimentària de partícules i grans carbonatats a la *galeria dels Conductes* (galeria superior) del *Sector subaquàtic de Llevant*. Foto A. Cirer.
Figure 11: Sediment accumulation of particulate carbonate grains detached from the conduit walls at *Galeria dels Conductes* (upper gallery) from *Sector Subaquàtic de Llevant*. Photo A. Cirer.



Figura 12. Tel superficial d'acumulació de calcita flotant sobre blocs a la *galeria dels Cocos* (sector subaquàtic de Ponent). Foto: M.A. Perelló.
 Figure 12: Thin layer formed by the accumulation of calcite rafts at *Galeria dels Cocos* (Sector Subaquàtic de Ponent). Photo: M.A. Perelló.

que es localitzen a la *galeria dels Cocos*, a l'oest de la cova. La seva relativa llunyania amb l'entrada natural de la cavitat, així com el seu moderat contingut en materials al·lòctons, quars i feldspats, indica que la influència exterior és molt baixa, el que determina l'existència d'un altre procés o factor implicat que expliqui les seves importants concentracions en minerals òxids. En aquest sentit, cal destacar que durant el procés de recollida de les mostres es va detectar la presència de morfologies de corrosió en alguns dels sectors de la cavitat, que estarien lligades a fluxos hipogènics (GRÀCIA & FORNÓS, 2014; GINÉS et al. 2017, 2018), per aquest motiu no es descarta una gènesi hipogènica com a principal procés sedimentari geoquímic d'aquests elements.

Pel que fa a la relació entre la ubicació de les mostres i la quantitat de matèria orgànica, diferents treballs en coves similars (GRÀCIA et al., 2006; GINÉS et al., 2007b) indiquen que hi ha una clara relació entre el contingut de matèria orgànica i les entrades per enfonsament de la cavitat, per la seva vinculació amb una procedència exterior, de manera que els percentatges en matèria orgànica disminueixen a mesura que ens allunyem de l'obertura. No obstant això, tot i que hi ha diferències importants de matèria orgànica entre els diferents sectors de la cavitat, la distribució que es presenta en el *sector subaquàtic de Ponent*, lloc relativament



Figura 13: Acumulació sedimentària detrítica de composició mixta silícica-carbonatada a la *galeria dels Domassos* (sector subaquàtic de Llevant). Foto: A. Cirer.
 Figure 13: Mixed siliciclastic-carbonate sediment accumulation at *Galeria dels Domassos* (Sector Subaquàtic de Llevant). Photo: A. Cirer.

proper a l'entrada natural de la cavitat, no respon a una progressió lineal i definida, factor que pot estar influenciat per l'activitat antròpica, a causa de la important afluència de persones que registra aquesta zona de la cova, amb més d'un milió anual de visitants (ROBLEDO & DURÁN, 2010). Aquest fet explica que no hagi estat possible establir un coeficient de correlació per al contingut de matèria orgànica a partir de la distribució de les mostres, d'acord amb la distància amb l'obertura a l'exterior de la cavitat. Per aquest motiu s'ha exclòs aquesta variable de l'anàlisi factorial, amb l'objectiu d'evitar una possible distorsió dels resultats.

Conclusions

Els resultats obtinguts determinen que a les coves del Drac són diversos els processos sedimentaris que donen lloc a una gran varietat de facies sedimentàries,

tot adaptant-se a l'esquema sedimentari general proposat per FORNÓS et al. (2009) per al conjunt de coves càrstiques litorals de Mallorca.

La dificultat per realitzar una individualització de les diferents facies sedimentàries, indica que en general els diferents processos i mecanismes sedimentaris identificats actuen en major o menor mesura de forma simultània al llarg del sistema, de manera que és habitual la presència de facies mixtes que inclouen tant sediments autòctons com al·lòctons.

Igual que succeeix a altres cavitats litorals similars de la costa oriental i de migjorn de Mallorca, destaca l'elevada presència de sediments autòctons, principalment constituïts per calcita, derivats de la precipitació química a la interfase aire-aigua, i de la disgregació de partícules per una alteració física i la dissolució de les parets de la cavitat vinculada a la presència d'haloclines. Per tant, les característiques químiques de la massa d'aigua subterrània són molt importants, ja que és un dels principals elements que determina el règim sedimentari de la cavitat.

Un altre factor molt important és la forta relació existent entre una determinada facies sedimentària i un procés o mecanisme sedimentari; per aquest motiu, l'estudi de les característiques i la distribució de les diferents facies a la cavitat és essencial per conèixer els processos que tenen lloc en l'actualitat, i també pot ajudar a conèixer diferents canvis que s'han pogut produir a la cova com: la presència d'antigues obertures, canvis en el nivell de la mar o en les condicions geoquímiques del sistema, etc.

Una particularitat del registre sedimentari de la cavitat són les acumulacions en algunes zones de FeO i MnO, que poden derivar de processos hipogènics que hagin actuat en alguns moments durant el desenvolupament de la cavitat (MERINO et al., 2011; GINÉS et al., 2017) o bé de l'activitat de determinats microorganismes (HILL & FORTI, 1997), per la qual cosa seria interessant fer una anàlisi exhaustiva d'aquest fenomen per determinar quin és el principal procés geoquímic implicat, especialment a les mostres amb alts continguts en FeO i goethita que es presenten agrupades en la *galeria dels Cocos del sector subaquàtic de Ponent*.

La sedimentació al·lòctona està totalment condicionada per les característiques hidrogeològiques de la regió, on són escassos els materials arrossegats a l'interior de la cova per les aigües d'escorrentia i infiltració. No obstant això, i deixant de banda els conductes que drenen directament a la mar, com és el cas de cala Murta i que han permès l'entrada de components relacionats amb la dinàmica marina, la presència d'obertures i fractures pels importants processos de col·lapse derivats dels canvis en el nivell del mar durant el Pleistocè, han afavorit l'entrada d'aquest tipus de facies. Un aspecte destacable d'aquest tipus de dipòsits és la seva composició química, principalment silicatada, que estaria relacionada amb les pluges de pols d'origen saharià, característiques de la Mediterrània occidental.

Agraïments

Volem mostrar el nostre més sincer agraïment als propietaris, gestors i personal en general de les Coves del Drac la gran amabilitat i les facilitats dispensades en tot moment al llarg de les nostres activitats a la cova. També el nostre agraïment a Miquel A. Gual, Juanjo Enseñat i Joaquín Ginés pels seus constructius comentaris i suggeriments, així com a la ICTS SOCIB (MICIIN-CAIB) per l'ús del seu granulòmetre làser. El present treball s'emmarca dins del projecte d'investigació del MINECO, CGL2016-79246-P (AEI-FEDER, UE).

Bibliografia

- BACK, W.; HANSHAW, B.B.; PYLE, T.E.; PLUMMER, L.N. & WEIDIE, A.E. (1979): Geochemical significance of groundwater discharge and carbonate solution to the formation of Caleta Xel Ha, Quintana Roo, Mexico. *Water Resources Research*, 15 (6): 1521-1535.
- BACK, W.; HANSHAW, B.B. & VAN DRIEL, J. N. (1984): Role of groundwater in shaping the eastern coastline of the Yucatán peninsula, Mexico. In: *Groundwater as a Geomorphic Agent*. La Fleur Allen & Unwin, 281-293. Boston.
- BLOTT, S.J. & PYE, K. (2001): GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth surface processes and landforms*, 26 (11): 1237-1248.
- BÖGLI, A. (1980): *Karst hydrology and physical speleology*. Springer-Verlag, 294 pp. Berlín
- BOSCH, R.F. & WHITE, W. B. (2004): Lithofacies and transport of clastic sediments in karstic aquifers. In: *Studies of cave sediments*. Kluwer Academic/Plenum Publisher. 1-22.

- FIOL, L.A.; FORNÓS, J.J.; GELABERT, B. & GUIJARRO, J.A. (2005): Dust rains in Mallorca (Western Mediterranean): Their occurrence and role in some recent geological processes. *Catena*, 63 (1): 64-84.
- FORD, D.C. & WILLIAMS, P.W., (2007): *Karst hydrogeology and geomorphology*. Chichester, Wiley, 561 pp.
- FORD, T.D. (2001): Sediments in caves: An outline guide to the sediments found in caves and what can be learnt from them. Somerset, U.K., BCRA *Cave Studies Series*, no. 9, 32 pp.
- FORNÓS, J.J. & GELABERT, B. (1995): Litologia i tectònica del carst de Mallorca / Lithology and tectonics of the Majorcan karst. *Endins*, 20: 27-44.
- FORNÓS, J.J. & GELABERT, B. (2011): Condicionants litològics i estructurals del carst a les illes Balears. In: *El carst patrimoni natural de les Illes Balears*. Endins, 35 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 17:, 37-52.
- FORNÓS, J.J.; GRÀCIA, F. & CLAMOR, B. (2008): Característiques sedimentàries de la Cova d'en Bassol (Felanitx, Mallorca). *Endins*, 32: 151-164.
- FORNÓS, J.J.; GINÉS, J. & GRÀCIA, F. (2009): Present-day sedimentary facies in the coastal karst caves of Mallorca island (western Mediterranean). *Journal of Cave and Karst Studies*, 71 (1): 86-99.
- FORNÓS, J.J.; GINÉS, J.; MERINO, A. & BOVER, P. (2010): El rebliment sedimentari de la galeria del Tragus a la cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca). *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 53: 179-191.
- FORNÓS, J.J.; GINÉS, J.; GRÀCIA, F. & MERINO, A. (2011): Els sediments de les cavitats càrstiques de les Balears. In: *El carst patrimoni natural de les Illes Balears*. Endins, 35 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 17: 199-212.
- FORNÓS, J.J.; GINÉS, J.; GRÀCIA, F.; MERINO, A.; GÓMEZ-PUJOL, L. & BOVER, P. (2014): Cave deposits and sedimentary processes in Cova des Pas de Vallgornera (Mallorca, Western Mediterranean). *International Journal of Speleology*, 43 (2): 159-174.
- GILLIESON, D. (1996): *Caves: processes, development, management*. Blackwell, 324 pp. Oxford.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1992): Las coves del Drac (Manacor, Mallorca). Apuntes històrics y espeleogénicos. *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, J. (2000): *El karst litoral en el levante de Mallorca*. Tesi doctoral, Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, 625 pp.
- GINÉS, J., FORNÓS, J.J.; GINÉS, À. & TUCCIMEI, P. (2007b): Endokarst costero, niveles marinos y tectónica: el ejemplo de la costa oriental de Mallorca. In: Fornós, J.J., Ginés, J. & Gómez-Pujol, L. (eds.) *Geomorfología litoral: Migjorn y Llevant de Mallorca*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 15: 201-220. Palma.
- GINÉS, J.; FORNÓS, J.J.; TRIAS, M.; GINÉS, À. & SANTANDREU, G. (2007a): Els fenòmens endocàrstics de la zona de ca n'Olesa: la cova de s' Ònix i altres cavitats veïnes (Manacor, Mallorca). *Endins*, (31), 5-30.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (2011): Classificació morfogenètica de les cavitats càrstiques de les Illes Balears. In: *El carst patrimoni natural de les Illes Balears*. Endins, 35 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 17: 85-102.
- GINÉS, J.; GINÉS, A.; FORNÓS, J.J.; TUCCIMEI, P.; ONAC, B.P. & GRÀCIA, F. (2012). Phreatic Overgrowths on Speleothems (POS) from Mallorca, Spain: Updating forty years of research. 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: 111-146.
- GINÉS, J.; FORNÓS, J.J.; TRIAS, M.; GINÉS, A. & SANTANDREU, G. (2007): Els fenòmens endocàrstics de la zona de ca n'Olesa: la cova de s' Ònix i altres cavitats veïnes (Manacor, Mallorca). *Endins*, 31: 5-30.
- GINÉS, J.; FORNÓS, J.J.; GRÀCIA, F.; MERINO, A.; ONAC, B.P. & GINÉS, A. (2017): 5. Hypogene imprints in coastal karst caves of Mallorca Island (Western Mediterranean): morphological features and speleogenetic approach. In: KLIMCHOUK, A.; PALMER, A.N.; DE WAELE, J.; AULER, A.S. & AUDRA, P. (eds.) *Hypogene karst regions and caves of the World*. Springer International Publishing AG. 99-112. Cham, Suïssa.
- 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: 23 pp.
- GOUDIE, A.S. & MIDDLETON, N.J. (2001): Saharan dust storms: nature and consequences. *Earth-Science Reviews*, 56 (1): 179-204.
- GRÀCIA, F. (2015): *Les cavitats subaquàtiques de les zones costaneres del Llevant i Migjorn de Mallorca*. Tesi doctoral, Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. 984 pp.
- GRÀCIA, F. & FORNÓS, J. J. (2014): Les morfologies de dissolució hipogèniques i de la zona de mescla litoral a Es Dolç (Colònia de Sant Jordi, Ses Salines, Mallorca). *Endins*, 36: 97-112.
- GRÀCIA, F.; JAUME, D.; RAMIS, D.; FORNÓS, J.J.; BOVER, P.; CLAMOR, B.; GUAL, M.A. & VADELL, M. (2003): Les coves de cala Anguila (Manacor, Mallorca). II: La Cova Genovesa o Cova d'en Bessó. Espeleogènesi, geomorfologia, hidrologia, sedimentologia, fauna, paleontologia, arqueologia i conservació. *Endins*, 25: 43-86.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; JAUME, D.; FORNÓS, J.J.; URIZ, M.J.; MARTÍN, D. & PONS, G.X. (2005): La cova des Coll (Felanitx, Mallorca). Espeleogènesi, geomorfologia, hidrologia, sedimentologia, fauna i conservació. *Endins*, 27: 141-186.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; FORNÓS, J.J.; JAUME, D. & FEBRER, M. (2006): El sistema Pirata-Pont-Piqueta (Manacor, Mallorca): geomorfologia, espeleogènesi, hidrologia, sedimentologia i fauna. *Endins*, 29: 25-64.
- GRÀCIA, F.; FORNÓS, J.J.; CLAMOR, B.; FEBRER, M. & GAMUNDÍ, P. (2007a): 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.; FORNÓS, J.J. & CLAMOR, B. (2007b): Cavitats costaneres de les Balears generades a la zona de mescla, amb importants continuacions subaquàtiques. *Geomorfologia litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14: 299-352.
- GRÀCIA, F.; FORNÓS, J.J.; GAMUNDÍ, P.; CLAMOR, B.; POCOVÍ, J. & PERELLÓ, M.A. (2009): Les descobertes subaquàtiques a la Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca): història i descripció dels descobriments, hidrologia, espeleotemes, sediments, paleontologia i fauna. *Endins*, 33: 35-72.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; GAMUNDÍ, P.; CIRER, A.; FENÁNDEZ, J.F.; FORNÓS, J.J.; GINÉS, A.; GINÉS, J.; URIZ, M.J.; MUNAR, S.; VICENS, D.; GINARD, A.; BETTON, N.; VIVES, M.A.; JAUME, J.; MAS, G.; PERELLÓ, M.A.; CARDONA, F. & TIMAR-GABOR, A. (2014): Es Dolç (Colònia de Sant Jordi, ses Salines, Mallorca). Cavitat litoral amb influències hipogèniques excavada a les eolianites quaternàries i als materials del Pliocè. *Endins*, 36: 69-96.
- GRIMALT, M. (1992): *Geografia del risc a Mallorca. Les inundacions*. Institut d'Estudis Balearics. Conselleria de Cultura, Educació i Esports. Govern Balear. 359 pp.
- GUIJARRO, J.A. (2007): Termo Pluviometria media de Balears del trentenio 1971-2000. *Boletín Mensual Climatológico*, 58: 121-130.
- HILL, C.A. & FORTI, P. (1997): *Cave minerals of the world* (2nd edition). National Speleological Society. 463 pp.
- JULIEN, P. Y. (1995): *Erosion and sedimentation*. Cambridge University Press. 280 pp.
- MERINO, A.; GINÉS, J. & FORNÓS, J.J. (2011): Evidències morfològiques de processos hipogènics a cavitats de Mallorca. In: *El carst patrimoni natural de les Illes Balears*. *Endins*, 35 / Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 17: 165-182.
- MEULMAN, J.J. & HEISER, W.J. (2012): *IBM SPSS Categories 21*. Manual de usuario, 333 pp.
- MYLROIE, J.R., & MYLROIE, J.E. (2007): Development of the carbonate island karst model. *Journal of Cave and Karst Studies*, 69 (1): 59-75.
- POLYAK, V.J.; ONAC, B.P.; FORNÓS, J.J.; ASMEROM, Y.; HAY, C.; DORALE, J.A.; GINÉS, J.; TUCCIMEI, P. & GINÉS, A. (2018): A highly resolved record of relative sea-level in the western Mediterranean Sea during the Last Interglacial period. *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 (2): 243-269.
- ROBLEDO, P.A. & DURÁN, J.J. (2010): Evolución del turismo subterráneo en las Islas Baleares y su papel en el modelo turístico. In: DURÁN, J.J. & CARRASCO, F. (eds.) *Cuevas: Patrimonio, Naturaleza, Cultura y Turismo*. Asociación de Cuevas Turísticas Españolas. 305-322. Madrid
- SASOWSKY, I.D. & MYLROIE, J.E. (2004): *Studies of Cave Sediments*. Kluwer Academic / Plenum Publisher. 329 pp. New York.
- SCHULTE, E.E. & HOPKINS, B.G. (1996): Estimation of soil organic matter by weight loss-on-ignition. *Soil organic matter: Analysis and interpretation*, SSSA Special Publication, 46: 21-31.
- SIQUIER, J.B.; DE LA CRUZ CARAVACA, M.T. & COSTA, J.H. (2001): Suelos de áreas naturales al este de Mallorca. *Observatorio medioambiental*, 4: 93-112
- TAYLOR, P. M. & CHAFETZ, H.S. (2004): Floating rafts of calcite crystals in cave pools, central Texas, USA: crystal habit vs. saturation state. *Journal of Sedimentary Research*, 74 (3): 328-341.
- TAYLOR, M.P.; DRYSDALE, R.N. & CARTHEW, K.D. (2004): The formation and environmental significance of calcite rafts in tropical tufa-depositing rivers of northern Australia. *Sedimentology*, 51 (5): 1089-1101.
- TUCCIMEI, P.; SOLIGO, M.; GINÉS, J.; GINÉS, A.; FORNÓS, J.J.; KRAMERS, J. & VILLA, I.M. (2010): Constraining Holocene sea levels using U-Th ages of phreatic overgrowths on speleothems from coastal caves in Mallorca (Western Mediterranean). *Earth Surface Processes and Landforms*, 35 (7): 782-790.
- VAN HENGSTUM, P.J.; SCOTT, D.B.; GRÖCKE, D.R. & CHARETTE, M.A. (2011): Sea level controls sedimentation and environments in coastal caves and sinkholes. *Marine Geology*, 286 (1): 35-50.
- WHITE, W.B. (1988): *Geomorphology and hydrology of karst terrains*. Oxford University. 464 pp. New York.
- WHITE, W.B. (2007): Cave sediments and paleoclimate. *Journal of Cave and Karst studies*, 69 (1): 76-93.

