

# LES MORFOLOGIES DE DISSOLUCIÓ HIPOGÈNIQUES I DE LA ZONA DE MESCLA LITORAL A ES DOLÇ (Colònia de Sant Jordi, Ses Salines, Mallorca)

per Francesc GRÀCIA <sup>1,2</sup> i Joan J. FORNÓS <sup>2</sup>

## Resum

La troballa d'es Dolç, cavitat subaquàtica inèdita del litoral de la Colònia de Sant Jordi (municipi de ses Salines) al migjorn de Mallorca, ha suposat una important font d'estudi de les morfologies de dissolució hipogèniques i de la zona litoral de mescla d'aigües. La cova, de dimensions quilomètriques, es desenvolupa dins dipòsits calcarenítics litorals i eolianites amb paleosòls, del Pliocè i Pleistocè, fet del tot sorprenent a les Balears. Aquests materials li confereixen uns trets molt diferenciats respecte a la resta de cavitats litorals del migjorn i llevant de Mallorca, desenvolupades als materials calcaris escullosos del Miocè superior.

## Resumen

El hallazgo de Es Dolç, cavidad subacuática inédita del litoral de la Colònia de Sant Jordi (municipio de Ses Salines) en el sur de Mallorca, ha supuesto una importante fuente de estudio de las morfologías de disolución hipogénicas y de la zona litoral de mezcla de aguas. La cueva, de dimensiones kilométricas, se desarrolla dentro de depósitos calcareníticos litorales y eolianitas con paleosuelos, del Plioceno y Pleistoceno, hecho sorprendente en Baleares. Estos materiales le confieren unas características muy diferenciadas respecto al resto de cavidades litorales del Migjorn y Llevant de Mallorca, desarrolladas en materiales calcáreos arrecifales del Mioceno superior.

## Abstract

Recent discovery and survey of the underwater coastal cave of es Dolç (Colònia de Sant Jordi, Ses Salines) in the southern area (Migjorn) of Mallorca has permitted the study of a series of morphologies related with hypogene as well as coastal mixing zone dissolution processes. The cave, kilometric in length, develops within Pliocene and Pleistocene calcarenitic littoral deposits and eolianites with paleosols, a very uncommon fact in the Balearic karst. These materials confer the cave a very different appearance with a special morphological suite, if compared with other coastal cavities developed in the Upper Miocene calcareous reef materials of the southern and eastern part of Mallorca.

## Introducció

L'estratigrafia i litologia que es pot observar dins la cavitat es d'una seqüència regressiva que evoluciona des de fàcies marines bioturbades de plataforma soma, dipòsits entre calcisilítics i calcarenítics, a nivells calcaris que presenten una marcada estratificació d'ordre centimètric a decimètric, caracteritzats per la presència de fauna fòssil indicadora d'unes condicions litorals restringides d'aigües salobreses. La cronologia de tots aquests materials seria pliocena. Per

damunt d'ells, entre els -17 m i els -19,5 m fins a la superfície es troben eolianites pleistocenes que constitueixen la major part de la sèrie (FORNÓS *et al.*, 2013).

La composició calcarenítica, majoritàriament d'origen eòlic, en la qual es desenvolupa la cova, suposa un clar condicionament geològic i atorga un tret diferencial respecte de la major part de cavitats litorals del migjorn i llevant de Mallorca, desenvolupades als materials calcaris escullosos del Miocè superior. En el cas de es Dolç, es tracta de materials encara més porosos i permeables.

Pensem què, donada la relativa juvenesa geològica dels materials en els que es desenvolupa la cavitat, la contribució hipogènica

<sup>1</sup> Grup Nord de Mallorca (GNM)

<sup>2</sup> Karst and Littoral Geomorphology Research Group, Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears.

Email: xescgracia@yahoo.es; joan.fornos@uib.cat

en la seva gènesi ha estat molt important. Aquests processos poden haver potenciat la dissolució de considerables masses de roca i així formar els grans volums de les galeries obertes dins les eolianites pleistocenes, en un temps relativament breu geològicament parlant. La datació de les eolianites que formen les parets de la galeria de l'Enfàs (Dolç Intern), a uns 9 m de fondària per davall del nivell freàtic, supera el milió d'anys. Aquest fet, juntament amb la troballa del gastròpode *Rumina decollata* var. *major* dins els llims vermells pleistocens fa que situem l'edat de les eolianites al Pleistocè inferior.

No resulta gens fàcil agrupar les formes primàries o de dissolució, produïdes sobre el substrat carbonatat que actua de contenidor del buit que és la cavitat. Les morfologies, associacions i diferents mides d'aquestes, així com la seva diversitat genètica, obren un ventall tan extens de possibilitats que fan que les classificacions siguin molt complexes i relatives.

S'han fet dos grans grups de morfologies, en funció de la seva gènesi: les formes clarament atribuïbles als fluxos hipogènics i el grup integrat per les formes més pròpies de la zona de mescla costanera, no sense tenir present la contribució més que probable, en el cas que n'hi hagi, també dels processos hipogènics. Dins cada grup s'han ordenat en funció de les seves dimensions; així el catàleg de formes s'ha estructurat en 4 categories diferents: megaformes (organització de les xarxes endocàrstiques, d'ordre quilomètric a hectomètric), macroformes (morfologies d'ordre hectomètric a decamètric), mesoformes (morfologies d'ordre decamètric a mètric) i microformes (morfologies d'ordre mètric a centimètric). Algunes de les morfologies es poden trobar a la vegada en dues categories diferents. Per acabar de catalogar les formacions primàries, dins cada categoria dimensional s'ha seguit un criteri descriptiu i en algunes ocasions genètic.

Per tenir més informació de la cavitat convé consultar el treball de GRÀCIA *et al.* (2014).



Figura 1: Pous Amagats. Aquestes galeries hipogèniques ascendents s'han creat des de baix, dins els materials pliocens. (Foto GNM).

Figure 1: Pous Amagats. These ascending hypogenic passages have evolved vertically upwards in the Pliocene calcisiltites. (Photo GNM).



Figura 2: Cràter. a) Depressió, de 7 x 6 m de diàmetre i 6,5 m de vertical, a on s'assoleixen els -27,5 m i que presenta una forma característica d'embut. Al seu fons, semi-ocults per alguns blocs i pedres, es localitzen diversos punts d'alimentació. b) Lateral del Cràter. (Fotos GNM).

Figure 2: Crater. a) Vertical depression showing a characteristic funnel shape; it is 6.5 m deep with a diameter of 7 x 6 m, and a depth of -27.5 m is reached at its bottom. At the base, partially covered by rock fragments, local point feeders are located. b) Lateral view of the wall crater. (Photos GNM).



## Morfologies hipogèniques

Es tracta de les morfologies generades pels fluids més lleugers i agressius, que circulen en sentit ascendent provinents de les falles profundes que afecten a la depressió de Campos, i que serien en part responsables de la formació de la cavitat.

### MACROFORMES

(d'ordre hectomètric a decamètric)

#### Galeries hipogèniques ascendents

S'inicien en forma de galeria cega dins els materials pliocens i ascendeixen en pendent,

sovint molt acusat, fins connectar amb les eolianites pleistocenes (Fig. 1). Generalment, a la microtoponímia de la cavitat, s'han anomenat com a pous, pel gran desnivell relatiu que presenten. Per accedir a elles s'ha de davallar, encara que genèticament s'han format de baix a dalt, per la qual cosa les anomenam galeries hipogèniques ascendents. L'amplària d'aquestes galeries sol estar compresa entre 6 i 14 m, encara que arriben a assolir els 20 m. La seva alçària més comuna està entre 1,5 i 6 m, podent superar en alguns indrets els 13 m. El recorregut longitudinal està comprès entre uns 40 i 90 m. En alguns casos poden prosseguir algunes desenes de metres amb el terra molt pla, de roca

mare, o recobert de grans blocs despresos. Les obertures o conductes d'alimentació suposam que són els responsables, en gran mesura, de la seva formació, per la qual cosa les galeries s'han creat des de baix, dins els materials pliocens, més propers a les falles situades a sota que són les responsables de les sortides dels fluxos hipogènics. S'ha format així un gran volum buit per dissolució de la roca, que ha ascendit també en part per processos d'esfondrament, fins que ha afectat les eolianites pleistocèniques a on la cova adopta una disposició horitzontal. Les parets, sostres i el terra en ocasions estan recoberts per una pàtina negra de manganès que els dóna un aspecte molt fosc (pou Mascarat). La fondària d'aquestes galeries està compresa entre els -19 i -27,5 m; el valor màxim es troba just al fons del Cràter de la galeria homònima (es Dolç Extern).

Hi ha a la cavitat almenys 12 galeries hipogèniques ascendents, clarament diferenciades: a es Dolç Exterior 7 (els 3 pous Amagats, 3 a la galeria del Cràter i 1 al pou de Darrera) i 5 a es Dolç Interior (pou Net, pou Petit, pou Mascarat i 2 a les galeries Paral-leles).

## MESOFORMES

(d'ordre decamètric a mètric)

### Cràter

Podem considerar aquesta morfologia com a una obertura d'alimentació o *feeder*, a escala de mesoforma. L'indret on es troba el Cràter es localitza a -21 m, a la part més pregona d'una galeria a la qual dóna el seu nom. El Cràter consisteix en una depressió de forma troncocònica invertida (Fig. 2). S'obre a

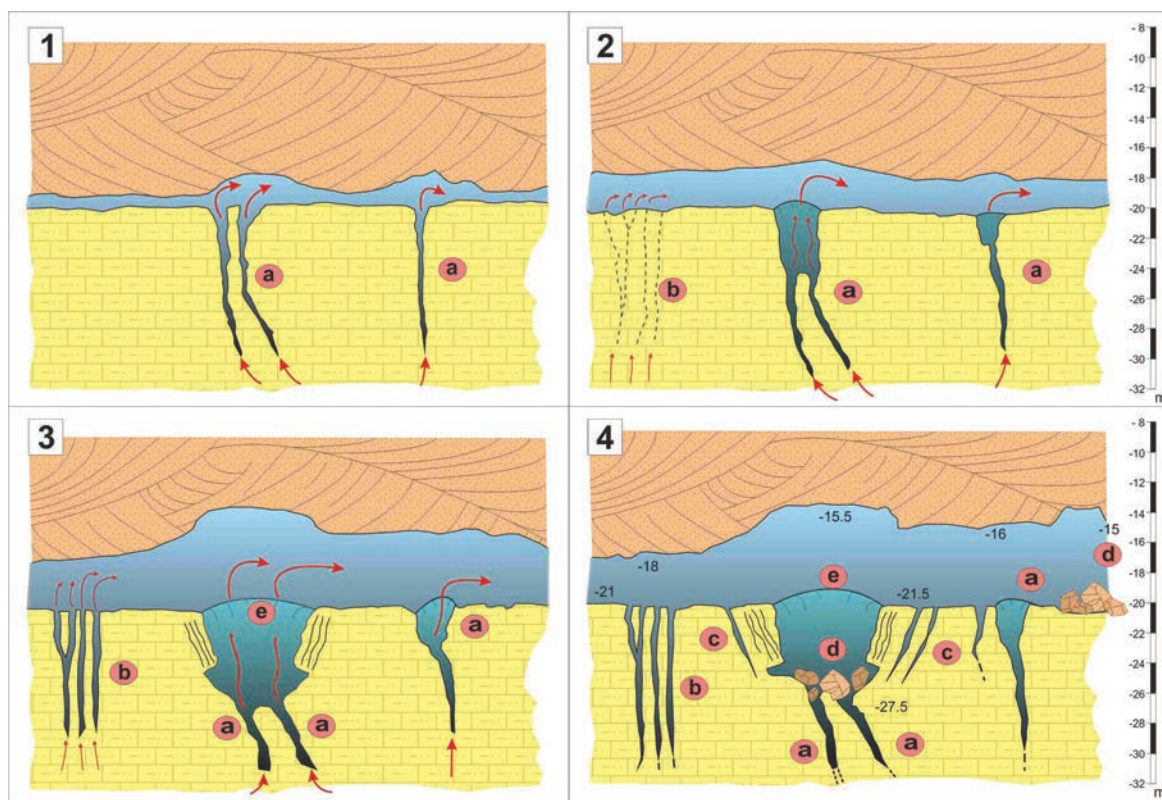


Figura 3: Hipòtesi de la formació del Cràter. 1) Primers estadis amb sortides de fluids hipogènics a través dels conductes d'alimentació. 2) Eixamplament progressiu de la galeria hipogènica ascendent. 3) Formació del Cràter i d'altres morfologies hipogèniques menors dels voltants. 4) Fossilització de les morfologies, aparició de crulls de descompressió al voltant del cràter i caiguda d'alguns blocs i sediments. (a, conductes d'alimentació; b, cilindres ascendents; c, crulls de descompressió; d, blocs caiguts; e, cràter)

Figure 3: Crater formation hypothesis. 1) First stages with hypogene fluids uprising through the feeding points. 2) Progressive formation of an ascending hypogene conduit. 3) Crater formation and enlargement of other minor hypogene forms in the vicinity. 4) Fossilization of the morphologies with sediment infilling and fallen blocks, as well as formation of decompression cracks surrounding the crater. (a, point feeders; b, ascending cylinders; c, decompression cracks; d, fallen blocks; e, crater).

nivell del terra, amb unes dimensions de 7 x 6 m de diàmetre i davalla 6,5 m a on assoleix els -27,5 m. Semi-ocults per alguns blocs i pedres, es localitzen diversos conductes d'alimentació impenetrables que es perllonguen i profunditzen de cap al fons. Sembla que han actuat provocant una gran dissolució local de les calcarenites pliocenes que formen el trespol de la galeria i això ha generat aquesta morfologia (Fig. 3). El Cràter pròpiament dit es troba circumval·lat per crulls de descompressió que envolten el buit generat i són els que ocasionen l'acumulació de blocs al seu interior.

El lloc on s'ubica no està afectat per esfondraments, ja que el terra, molt pla i situat a uns -21 m té el trespol format per roca mare, calcarenites pliocenes d'origen marí, molt blanques i gairebé sense recobrir de blocs caiguts. La galeria, amb aquesta espectacular forma de dissolució i altres conductes d'alimentació no posseeix morfologies zenitals dignes de menció.

#### **Crulls o fractures d'alimentació**

Corresonen als *feeders* o conductes d'alimentació amb aparença de fractura o esquerda descrits per MERINO & FORNÓS (2010). Arriben a assolir alguns metres de longitud i es perllonguen al llarg d'alguns indrets de les galeries on formen part del trespol irregular de les mateixes. Són morfologies molt irregulars pel que fa a forma i dimensions, i resulten difícilment definibles llevat de la seva llargària de diversos metres (Fig. 4). Sembla que a través de crulls han ascendit aigües agressives d'origen profund. S'han localitzat al terra de les parets de la galeria de les Lloses, galeria Nord i algun indret de les galeries Paral·leles (Dolç Intern), però també a d'altres indrets de la cavitat.

#### **Conductes verticals d'alimentació i Embuts**

Són els *feeders* o obertures d'alimentació puntual de MERINO & FORNÓS (2010), que acostumen a presentar a es Dolç una boca d'aspecte d'embut irregular a la part exterior (com un cràter en petit), o bé el·líptica i en alguns casos més o menys circular, més a l'estil dels que es troben a la cova des Pas de Vallgornera. Les seves dimensions són molt variables anant des d'1,5 m d'eix major fins a uns pocs decímetres. Els de forma d'embut esdevenen progressivament més estrets fins a connectar amb els conductes verticals impenetrables. La part interna dels conductes sol presentar una

forma tubular d'aspecte irregular que en vertical es perllonga profusament diversos metres fins no poder-se estimar la fondària que assoleixen (Fig. 5). A causa de la seva profunditat els hem inclòs dins mesoformes. En ocasions es troben parcialment reblerts de sediments. A la part terminal de la galeria de l'Enfàs sembla que aquestes estructures comuniquen amb un nivell inferior de buit. Sovint se situen molt a prop uns dels altres, fins i tot comparteixen el mateix embut, en cas de disposar-ne. A les eolianites pleistocenes és a on s'aprecien les morfologies més complexes, amb la part superior més oberta, en forma d'embut, mentre que a les calcarenites pliocenes d'origen marí adopten formes menys complexes, però també les mides més grans, com és el cas de la mesoforma anomenada el Cràter situat a la galeria homònima i que s'ha denominat amb aquest nom per les dimensions



Figura 4: Crull o fractura d'alimentació que es perllonga al llarg d'alguns metres i pareix que són llocs per on han ascendit aigües agressives d'origen profund. Galeria Nord. (Foto GNM).

Figure 4: Floor slot or joint feeder several meters in length from where deep aggressive waters have ascended. Galeria Nord. (Photo GNM).

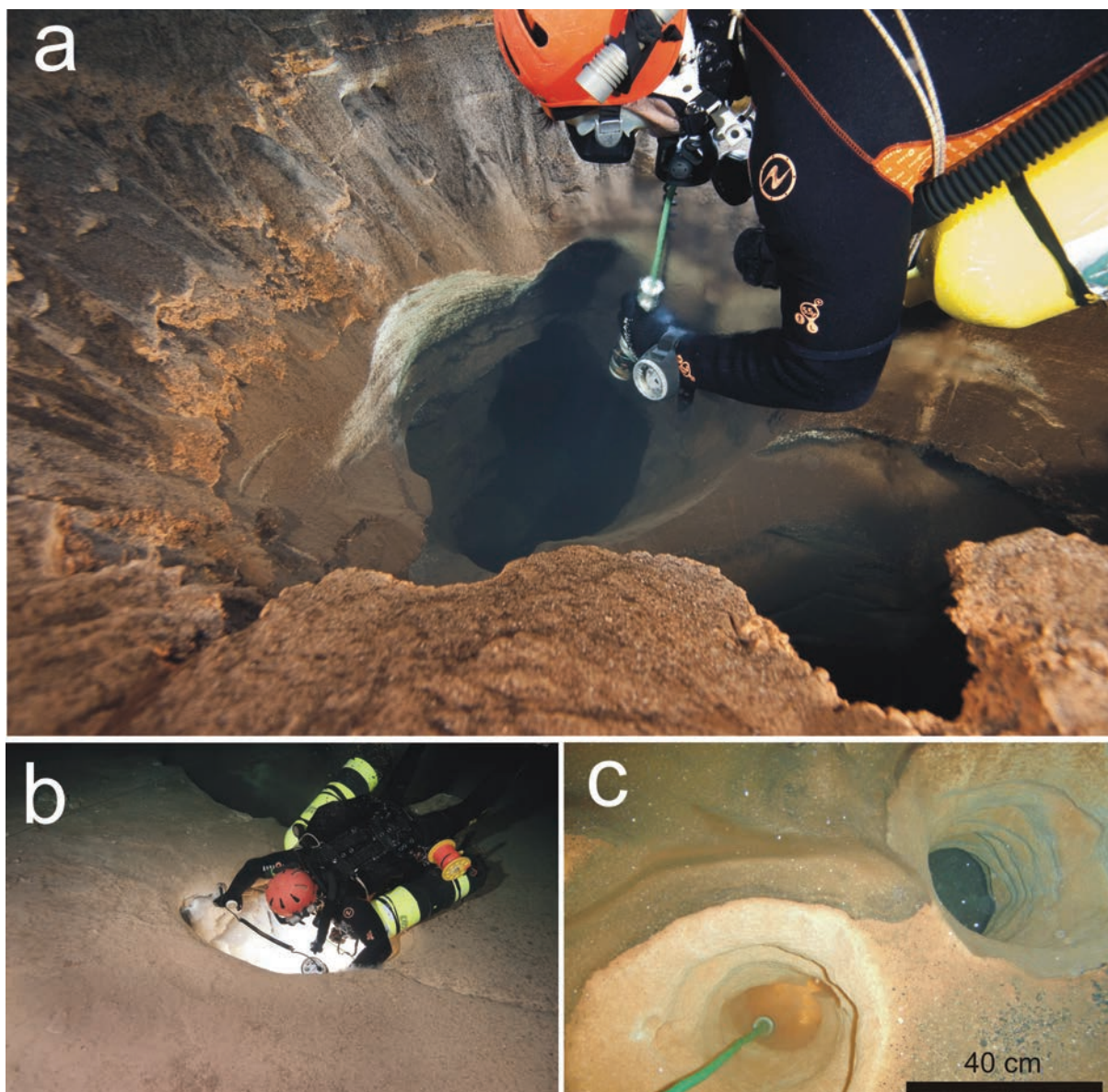


Figura 5: Conductes verticals d'alimentació i embuts. a) Acostumen a presentar a es Dolç una boca d'aspecte d'embut irregular a la part exterior per fer-se progressivament més estrets fins a connectar amb conductes verticals impenetrables. Galeria de l'Enfàs. b) i c) Alguns, especialment a les calcarenites del Pliocè, són més tubulars. Galeria del Cràter i galeria de les Lloses. (Fotos GNM).

*Figure 5: Vertical point feeders and funnels. a) At es Dolç the external part of the funnel shows an irregular form narrowing progressively till the connection with vertical impenetrable conduits. Galeria de l'Enfàs. b) and c) Some feeders, specially those located on Pliocene calcarenites, show a rather tubular form. Galeria del Cràter and Galeria de les Lloses. (Photos GNM).*

extraordinàries que assoleix. Tots els altres conductes d'alimentació que es localitzen en aquesta galeria presenten un aspecte molt més tubular, però a escala de microformes, entre 0,4 m i 2 m d'eixos majors, encara que les dimensions més freqüents es troben al voltant d'1 m.

### Cilindres ascendents

Són morfologies ascendents de dissolució,

que es troben al terra, parets i sostres i afecten fins i tot a grans blocs caiguts que són travessats completament de baix a dalt. En ocasions es presenten grups de cilindres situats pròxims entre si. S'han trobat de més de 2 m de longitud, en quedar seccionat i exposat el cilindre per desprendiment de la massa rocosa parietal. La seva forma és cilíndrica, d'uns 10 a 25 cm de diàmetre i sembla que es manté constant al llarg del seu recorregut, encara que poden

anar serpentejant a mesura que ascendeixen (Fig. 6). Es diferencien dels conductes verticals d'alimentació en què els cilindres són de menor diàmetre.

S'han localitzat als materials calcarenítics pleistocènics d'origen eòlic i també a les calcarenites pliocenes d'origen marí. S'observen tant al Dolç Extern com al Dolç Intern i en alguns casos es troben reblerts per sediments cimentats vermells. Consideram els que s'observen al terra com a obertures d'alimentació i els que es troben al sostre com a punts de descàrrega. El cilindre en si mateix, al llarg del seu recorregut, vendria a ésser un canal ascendent que connectaria els punts d'alimentació que guaiten per la cavitat amb els de descàrrega.

### MICROFORMES

(d'ordre mètric a centimètric)

#### Punts d'alimentació laterals (*side feeders*)

Els *feeders* o punts d'alimentació laterals són morfologies localitzades a les parets de les galeries. En alguns casos són forats d'alguns centímetres, petits conductes i en altres indrets fractures de la roca o petits porus, en ocasions de dimensions mil·limètriques, que aprofiten fins i tot fòssils. També poden néixer des dels plans d'estratificació en el cas dels materials pliocenes o de la laminació a les eolianites (Fig. 7).

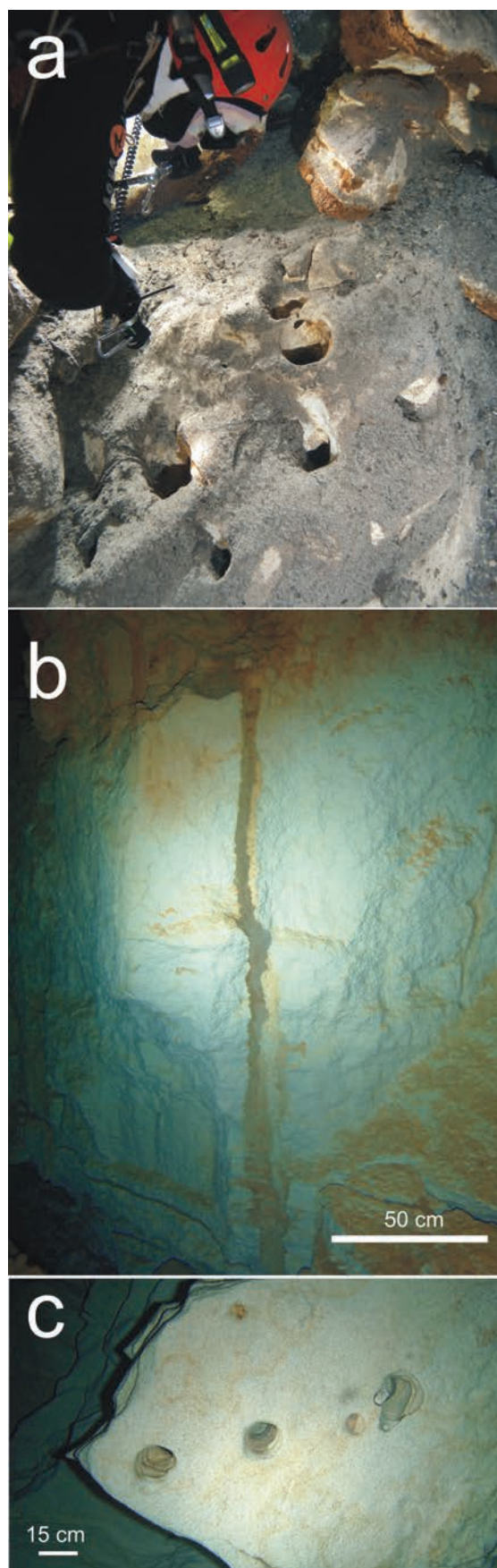
#### Canals ascendents de paret

(*rising wall channels*)

Aquestes estructures, de dimensions molt variables, surten dels punts d'alimentació lateral (*feeders*) i en ocasions connecten amb punts de descàrrega (*outlets*), essent per tant formes que indiquen un flux en sentit ascendent (KLIMCHOUK, 2007). Els *rising wall channels*, canals ascendents de dissolució, ja van ser descrits a la cova des Pas de Vallgornera (GINÉS *et al.*, 2008, 2009a, 2009b; GRÀCIA *et al.*, 2009a, 2009b). A partir del punt d'alimentació i per sobre de la boca del *feeder*, es configura

Figura 6: Cilindres ascendents. Es tracta de morfologies ascendents de dissolució, que es troben al terra (a), parets (b) i sostres (c) i afecten fins i tot a grans blocs caiguts que travessen completament de baix a dalt. (Fotos GNM).

Figure 6: *Uprising cylinders*. They are ascending solutional features, located on the floor (a), walls (b) and ceiling (c). Several fallen big blocks are completely crossed by these vertical dissolution morphologies. (Photos GNM).



un canal o conjunt d'ells que de manera ascendent van desenvolupant-se al llarg de la paret, observant-se sovint com aquests canals se separen o bé entren en coalescència els uns amb els altres i en ocasions un canal es bifurca per poder-se tornar a solapar posteriorment (Fig. 8).

A es Dolç, la coloració dels solcs pot esser diferent a la que presenta la paret, fet que ressalta la seva existència i trajectòria. Als pous Amagats solen esser de color més clar que el color superficial de la paret, mentre que al final de la galeria de les Lloses n'hi ha que són de color molt fosc. La seva forma i dimensions van variant d'acord amb l'angle que presenta el pla de la paret respecte a la vertical. En molts de casos, els canals es van difuminant fins que desapareixen sense arribar a connectar amb cap lloc de descàrrega. A més, s'han localitzat una sèrie de conjunts de canals ascendents que



Figura 7: Els punts d'alimentació laterals són morfologies localitzades a les parets de les galeries que es continuen normalment amb canals ascendents de paret i en ocasions amb punts de descàrrega. Conjunt morfològic de flux ascendent a les eolianites de la galeria de les Lloses. (Foto GNM).

Figure 7: Lateral feeding points located in conduit walls are followed by ascending wall channels and, occasionally, outlets. Morphologic suite of uprising flow developed on eolianite deposits at Galeria de les Lloses. (Photo GNM).

es desenvolupen a partir de plans de fractures, que cobreixen en alguns casos amples zones de les parets de les galeries. Es tracta de solcs de mides variables que rarament arriben a presentar dimensions centimètriques en les seves amplada i profunditat, al contrari del que passa amb la longitud que pot superar els 1,5 m. El seu recorregut al llarg dels plans sobreplomats de les parets acaba en alguns casos en una nova esquerda o fractura per on desapareixen, o bé aquesta fractura afegeix i revitalitza el solc amb noves aportacions. S'ha posat en evidència la presència d'aquest tipus de canals ascendents, que en molts casos passa quasi desapercebuda, en alguns indrets de la cavitat. S'han localitzat a es Dolç Extern als pous Amagats, dins materials pliocens. Al Dolç Intern en alguns indrets de la galeria de les Lloses, dins eolianites.

#### Punts de descàrrega (*outlets*)

Aquestes formes consisteixen en forats, cilindres, porus i fractures que es localitzen al sostre o parets de les galeries. Representen una continuïtat dels *rising wall channels* o canals ascendents de paret. A es Dolç són molt poc abundants, segurament per l'elevada porositat dels materials que conformen la cavitat que ocasiona que els fluxos hipogènics no tinguin llocs preferents de descàrrega, una vegada abocats al buit en sortir dels punts d'alimentació.

#### Cúpules (*cupolas, bellholles*)

Les cúpules es localitzen al sostre de les galeries amb una forma que pot ser semiesfèrica, allargada o presentar formes mixtes entre ambdues i en ocasions superposades a diferents nivells (Fig. 9). Les seves dimensions a es Dolç són decimètriques arribant algunes d'elles a ordres mètrics. La seva importància a la cavitat és molt minsa, ja que són morfologies molt poc freqüents. Actuarien en alguns casos com a formes de descàrrega ascendent (*outlets*). Les més cridaneres de la cavitat són prou diferenciades de les simples cúpules freàtiques.

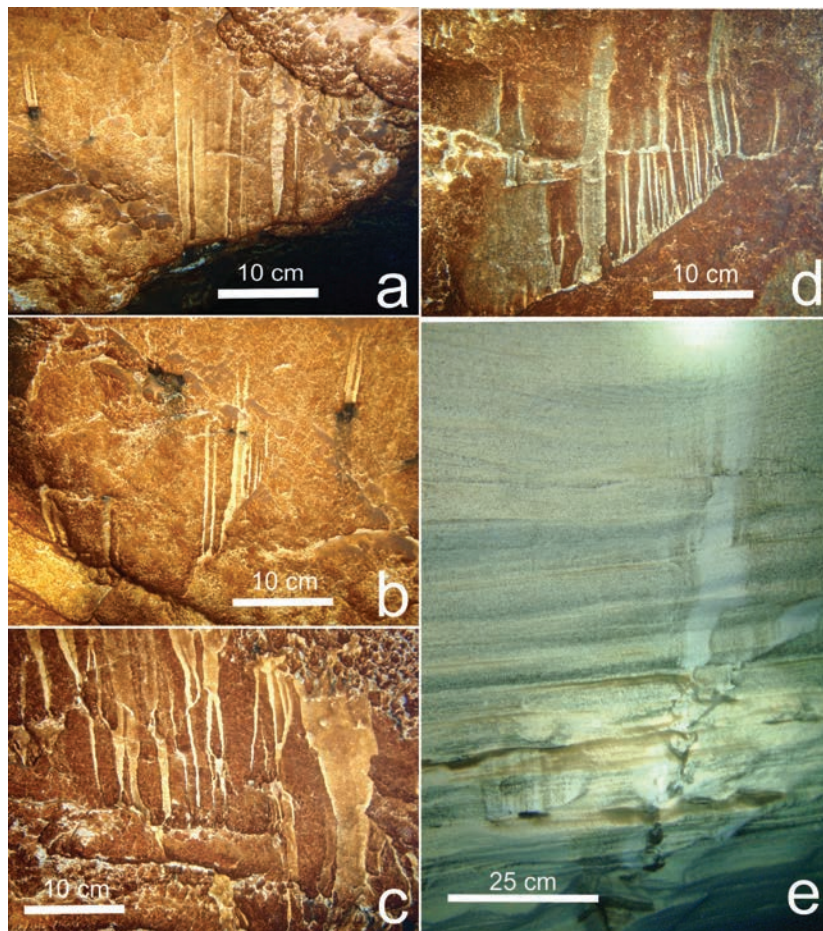
### Morfologies de la zona de mescla litoral

En aquest apartat incloem les formes generades per la dissolució de les aigües a la zona de mescla entre aigües dolces d'origen meteòric i aigua salada que s'infiltra des de la



Figura 8: Els canals ascendents de paret indiquen un flux clarament hipogènic. a), b), c) i d) Canals ascendents a les calcarenites pliocenes dels pous Amagats; e) Canals a les eolianites de la galeria de les Lloses. (Fotos GNM).

Figure 8: Rising wall channels are characteristic of a hypogenic ascending flow. a), b), c) and d) Rising channels located on Pliocene calcarenites at Pous Amagats passage; e) Channels formed on eolianites at Galeria de les Lloses. (Photos GNM).



mar. S'ha de tenir ben present que aquestes morfologies poden estar també influïdes per la presència dels fluids hipogènics o bé combinar-se amb les morfologies hipogèniques.

## MEGAFORMA

(d'ordre quilomètric a hectomètric)

### Sistema de cavitats ramiformes amb influències hipogèniques (*ramiform caves*)

Correspon a aquesta categoria morfològica de la franja litoral, la pròpia cavitat en conjunt, és a dir, com a morfologia de dissolució d'ordre quilomètric. Com a megaforma està formada, de forma global, per una sèrie de galeries en declivi, de possible origen hipogènic, amb una fondària màxima de -27,5 m que s'inicien dins dels materials calcisilfítics del Pliocè i ascendeixen, en part per processos d'esfondrament, fins a coincidir amb les eolianites pleistocenes. En aquests materials més porosos canvia l'aspecte de la cova, ja que adopta una disposició horitzontal, amb desnivells causats especialment pels esfondraments soferts.

La cavitat, de direcció general NE-SW, sembla que segueix la direcció de fractures profundes, no observables dins la cavitat, per on han sortit els fluxos hipogènics que han dissolt la roca situada al damunt. La litologia i estructura dels materials pliocens i de les eolianites, sense fracturació clara important, ha fet que la cavitat adopti una disposició en planta de caràcter *ramiforme* en el sentit enunciat per PALMER (2007). Aquest patró és molt similar al de les coves excavades dins els materials escullosos del Miocè superior. A les eolianites, la zona litoral de mescla d'aigües ha contribuït a l'espeleogènesi del sistema càrstic, juntament amb un important corrent de drenatge de les aigües subterrànies de cap a la mar que pensam que ha suposat un factor afegit important. Les galeries ascendents hipogèniques s'han anant connectant amb les galeries obertes al nivell superior, en part per la pròpia obertura creada pels fluids ascendents i en part per l'esfondrament de les pròpies galeries inferiors. Així la cova ha crescut de forma tridimensional en dos nivells superposats interconnectats.

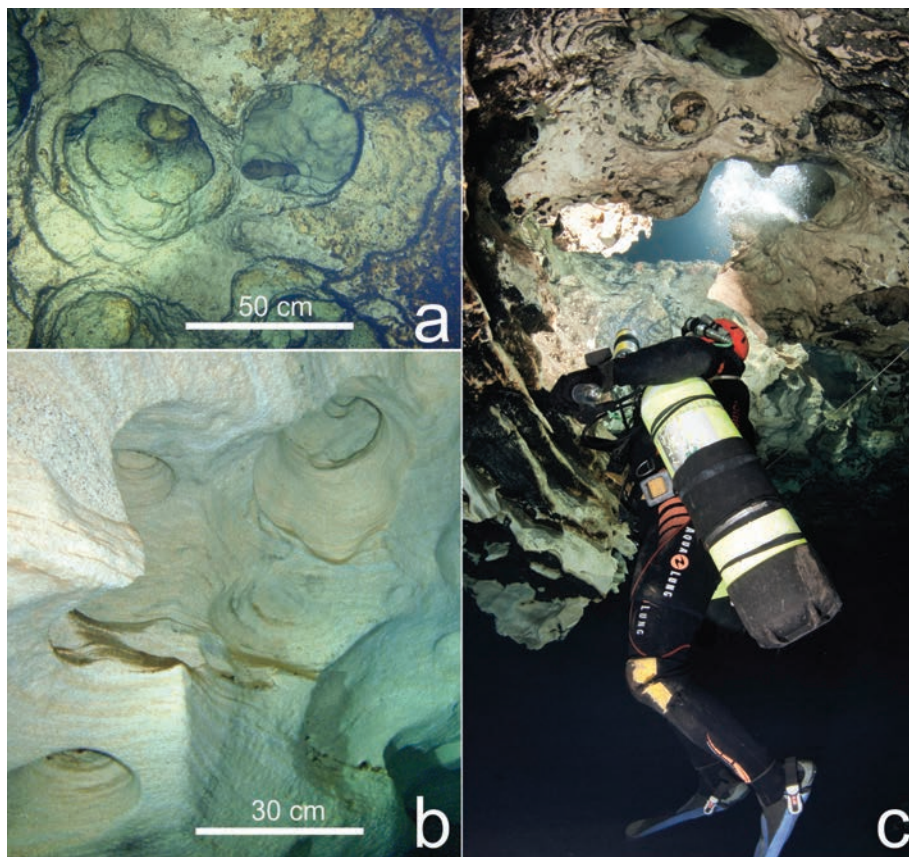


Figura 9: La presència de cúpules a la cavitat és molt minsa i es troben a les eolianites pleistocenes. Actuarien com a formes de descàrrega ascendent (outlets). (Fotos GNM).

Figure 9: The presence of cupolas or hellholes is scarce in the cave and they are only located on Pleistocene eolianites. Probably they would act as outlets. (Photos GNM).

Tanmateix, sembla que la megaforma està organitzada actuant com a drenatge de les aigües subterrànies de la contrada.

### MACROFORMES

(d'ordre hectomètric a decamètric)

#### Galeries freàtiques de control estructural estratigràfic (bedding-plane phreatic passages)

Les galeries que presenta la cova en general són difícils d'enquadrar dins una determinada tipologia, ja que moltes estan transformades per intensos processos d'esfondraments i podrien ser considerades com a sales i galeries d'esfondrament, ja que les morfologies originals es troben desdibuixades. Però alguns dels trams de la cova, independentment de la litologia a on es troben, es poden catalogar com a galeries freàtiques de control estructural estratigràfic, ja que, sense estar afectades gairebé per les caigudes de materials del sostre, presenten un aspecte generalment molt més ample que no pas alt. La dissolució de la roca ha aprofitat la separació entre les capes d'eolianites o bé ha seguit la laminació d'aquestes i ha generat seccions horitzontals o inclinades seguint l'estratificació de les dunes fòssils, en ocasions

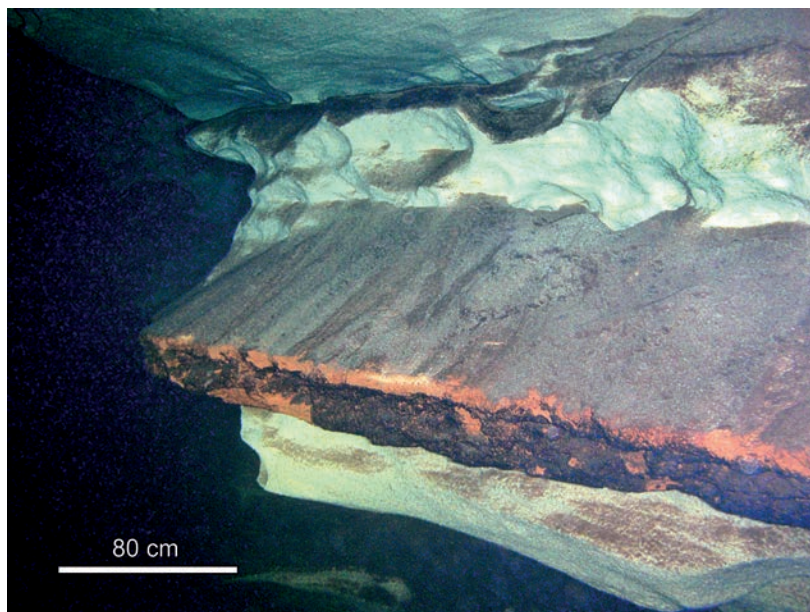


Figura 10: Galeria de les Lloses dins les eolianites pleistocenes. Es pot catalogar com a galeria freàtica de control estructural estratigràfic: aquest tipus de galeries presenten un aspecte generalment molt més ample que no alt. (Foto GNM).

Figure 10: Bedding-plane phreatic passages at Galeria de les Lloses, developed in Pleistocene eolianites. These stratigraphically controlled phreatic conduits usually show dimensions wider than tall. (Photo GNM).

Figura 12: Facetes de la galeria de les Lloses. Estan formades sobre eolianites recobertes d'una prima capa de llims vermells. (Foto GNM).

*Figure 12: Solution facets at Galeria de les Lloses. They are carved on eolianites that show a thin layer of reddish muds. (Photo GNM).*



d'amplades considerables. No s'aprecien fractures de tipus diàclasis o falles que hagin actuat com a condicionants de les galeries (Fig. 10).

## MESOFORMES

(d'ordre decamètric a mètric)

### Ponts (*bridges*)

Són molt poc freqüents a la cavitat, encara que n'hi ha un que destaca molt al Dolç Extern, a la Davallada (Fig. 11). Correspon al pis de separació entre dos nivells superposats, que actua com a envà horitzontal. La galeria superior, àmplia i relativament baixa, és una galeria freàtica de control estructural estratigràfic. La galeria inferior té un important volum i assoleix als costats els -21 m. La massa rocosa de l'envà, a la cara inferior, es troba en bastants de llocs afectada per cúpules de possible gènesi hipogènica. En diversos llocs, aquestes cúpules travessen per complet l'envà i tenen sortida a la cara superior del pont. En aquests casos es tractaria de punts de descàrrega del nivell de galeria inferior que es converteixen en conductes d'alimentació del nivell de la galeria superior.

### Regates de corrosió (*notches*)

Morfologies de corrosió negatives, a mode d'osca, que profunditzen a la roca mare i que es



Figura 11: Pont al Dolç Extern, a la Davallada. Correspon al pis de separació entre dos nivells superposats, que actua com a envà horitzontal. (Foto GNM).

*Figure 11: Bridge at the Dolç Extern near the point known as the Davallada. It corresponds to a bedding plane separation existing between two superposed dissolution passages. (Photo GNM).*

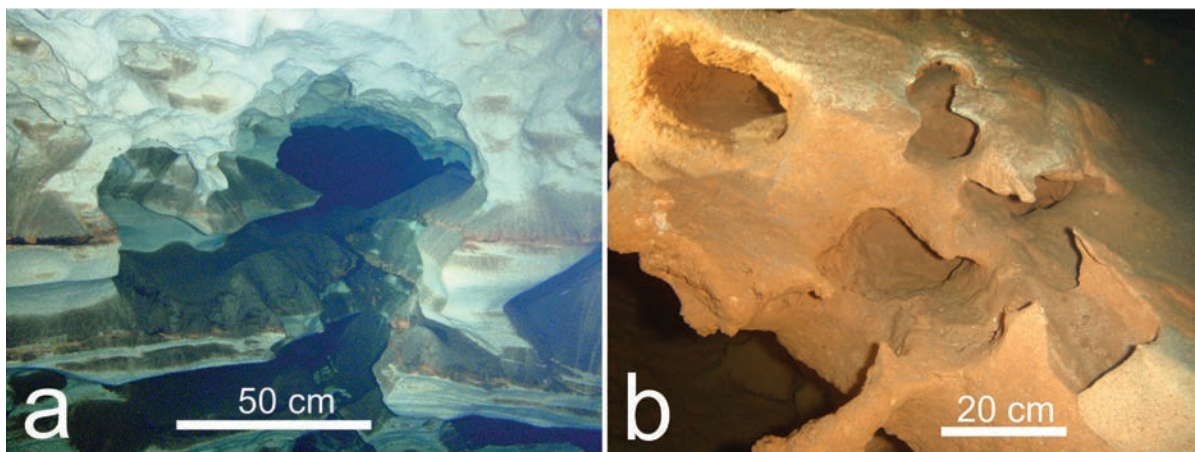


Figura 13: La combinació de diferents morfologies de dissolució positives i negatives configuren un aspecte molt caòtic del que es coneixen com morfologies espongiformes. a) eolianites pleistocenes. b) llims vermells pleistocens. (Fotos GNM).

Figure 13: Positive and negative dissolution morphologies characterize the chaotic appearance of the so-called spongework. a) Pleistocene eolianites. b) Pleistocene red silts. (Photos GNM).

perllonguen, en ocasions, desenes de metres al llarg de les parets de les galeries i sales. Indiquen el nivell d'haloclines actuals o pretèrites, encara que també podrien correspondre a antics nivells freàtics. Solen estar acompanyades per facetes, que les limiten per davall. A es Dolç es localitzen preferentment a la galeria de les Lloses.

#### **Facetes** (*solution facets*)

Superfícies inclinades de roca, llises o amb solcs que segueixen el pendent. L'alçària entre la part superior de les facetes i la inferior és de l'ordre d'entre 30 cm i 1,5 m. Les facetes es desenvolupen al llarg de desenes de metres als costats de les galeries o sales. A es Dolç es troben molt sovint recobertes de llims vermells. Es localitzen especialment a la galeria de les Lloses (Fig. 12).

#### **Morfologies espongiformes** (*spongework*)

La combinació de diferents morfologies de dissolució positives i negatives formen, en alguns indrets molt concrets, un aspecte molt caòtic i agressiu a escala preferentment de mesoformes. Es combinen sobretot penjants, pinacles, concavitats poc marcades, tupins i fins i tot conductes iniciadors. A es Dolç Intern, estan presents aquestes morfologies especialment a la galeria de l'Enfàs, en alguns trams de les galeries Paral·leles i en alguns llocs molt concrets de la galeria de les Lloses (Fig. 13).

#### **Conductes seminals o iniciadors**

Es tracta de conductes horitzontals de dimensions impenetrables.

#### **MICROFORMES**

(d'ordre mètric a centimètric)

##### **Pinacles** (*cers*)

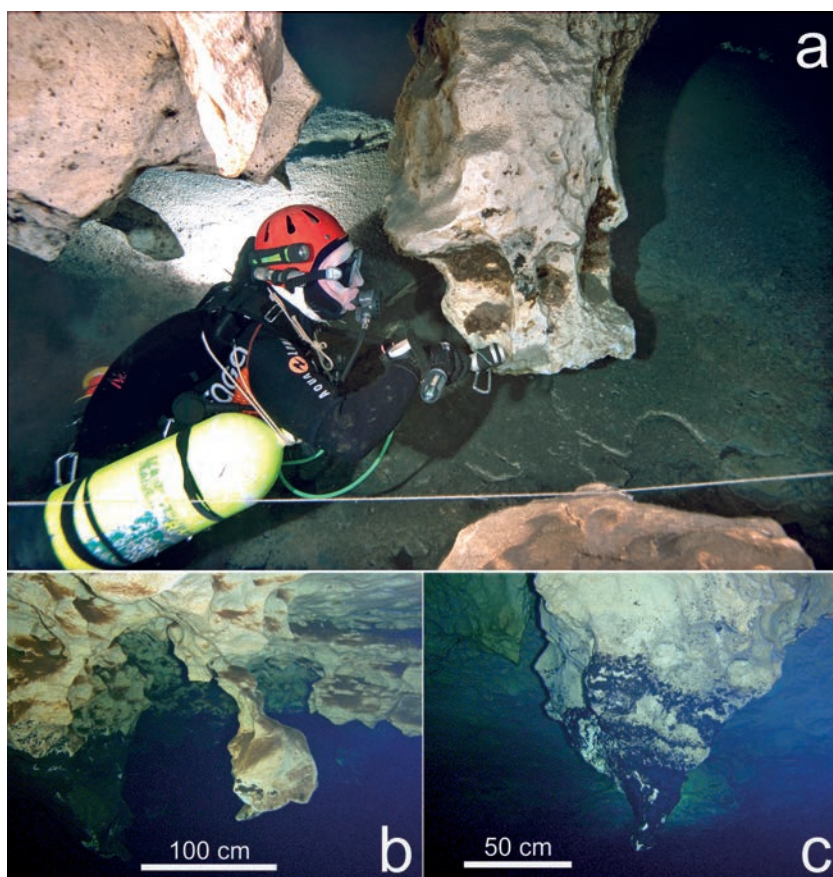
Són formes de relleu positives, que sobresurten del terra de galeries i sales. A la cavitat són més aviat escassos i molt localitzades preferentment a les eolianites pleistocèniques. Sembla que s'hagin generat per dissolució diferencial de masses de roca mare i no per desmantellament d'envans entre galeries paral·leles. La seva alçària a es Dolç està compresa entre 60 cm i 1,5 m.

##### **Penjants** (*rock pendants*)

Es troben al sostre d'algunes de les galeries de es Dolç, però localment són molt nombroses, especialment a zones a on es troba l'actual haloclina (Fig. 14). Sembla que es troben en ple procés de formació i evolució. Aquestes morfologies de relleu positives presenten unes mides que van des de centímetres a poc més de 1,5 m. Al Dolç Extern es troben especialment al pas de les Dents, que rep el nom dels penjants que caracteritzen l'indret. Al Dolç Intern són especialment abundants a les

Figura 14: Penjants generats a les eolianites. Són molt nombrosos al sostre de les zones a on es troba l'actual halocline. a) pas de les Dents, b) galeries Paral·leles i c) galeria de les Lloses. (Fotos GNM).

Figure 14: Rock pendants carved on eolianites. They are especially abundant in ceilings that are coincident with the presence of the current halocline. a) Pas de les Dents, b) Galeries Paral·leles and, c) Galeria de les Lloses. (Photos GNM).



galeries Paral·leles, a on marquen perfectament la divisòria que suposa l'halocline. A la galeria de les Lloses n'hi ha també algun de bones dimensions. La roca que forma els penjants és eolianita, encara que alguns d'ells tenen part de l'estructura formada també per llims vermells. Al penjants són comuns altres morfologies que se superposen, com són els tupins i les concavitats poc marcades.

#### Esperons (rocky jags)

Són cossos de roca que sobresurten lateralment de parets i sostres, per la qual cosa són morfologies de corrosió positives. Les seves mides solen ésser similars a les dels pinacles. A es Dolç són molt poc freqüents.

#### Concavitats poc marcades (subdued pockets)

Es tracta de morfologies negatives, de major longitud o amplària que no pas fondària i de forma allargada, més o menys semicircular o el·líptica. En alguns casos es veu clarament que són un estadi previ als tupins. Són extraordinàriament abundants en algunes

zones. A la cova, en alguns llocs, ben igual que els tupins, es presenten alineats seguint preferentment la laminació de les eolianites. Als materials del Pliocè es troben sovint a les calcisilites d'origen marí que són més poroses que no pas als materials més durs calcarenítics situats a sobre.

#### Tupins de paret, sostre i pis (wall pockets, ceiling pockets, floor pockets)

Són concavitats circulars, el·líptiques o semiesfèriques, és a dir morfologies negatives, de mides compreses entre uns pocs centímetres i menys d'un metre. Sovint presenten coalescències o unions (*composed pockets*) i superposicions (*pocket levels*). En funció de la situació on es troben de les galeries i sales cal puntualitzar si són de paret, sostre o pis (*wall pockets, ceiling pockets i floor pockets*).

A es Dolç es localitzen repartits per tots els sectors de la cavitat, encara que són més abundants als materials pleistocens que no pas als pliocens (Fig. 15). És molt interessant la distribució lineal dels tupins i la relació que presenta amb la laminació de les eolianites. A

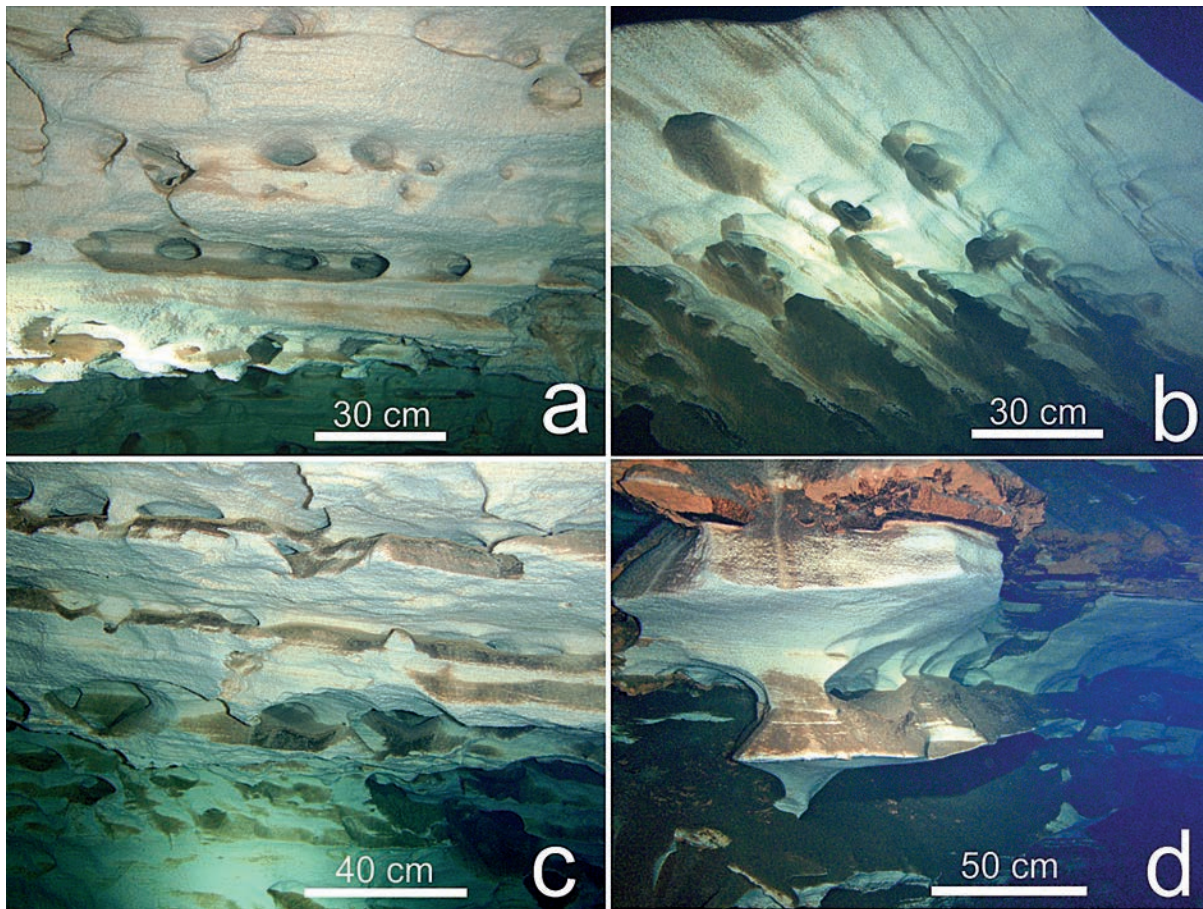


Figura 15: a), b) Els tupins es distribueixen linealment en funció de la laminació de les eolianites, factor preferent a l'hora de la dissolució dels materials. c) En alguns casos a on es superposen lateralment, poden arribar a formar terrasses horitzontals o inclinades seguint la laminació (d). (Fotos GNM).

Figure 15: a) and b) The wall pockets (composed pockets) show a linear distribution that follows the eolianite stratification, due to preferential dissolution along the closely packed bedding planes. c) Sometimes they show a clear lateral superposition, forming horizontal or tilted terraces (pocket levels) following the eolianite lamination (d). (Photos GNM).

moltes localitats es pot observar que ha estat un factor preferent a l'hora de la dissolució dels materials, de forma que es veu tot una alineació dels tupins seguint aquesta laminació, fins a superposar-se lateralment moltes d'aquestes morfologies. En aquests casos, es poden superposar de tal manera que creen una espècie d'encadenament de tupins i concavitats que poden arribar a formar regates o terrasses horitzontals o inclinades seguint la laminació i que profunditzen més o menys dins la roca. No són més que les laminacions que estan remarcades i profunditzades per l'acció de la corrosió. També s'han observat, però presentant una disposició caòtica, als llims vermells pleistocens, arribant a formar en algunes ocasions una espècie de morfologies esponjoses a escala de microformes.

### Canals subverticals de dissolució (wall combs)

Aquests solcs, separats per crestes suaus, sense caires, es desenvolupen damunt de les facetes i tenen una separació entre crestes o valls dels canals que supera els 20 cm.

### Conclusions

S'han catalogat i descrit les morfologies de dissolució hipogèniques i de la zona de mescla d'aigües d'una cova costanera inèdita situada al Migjorn de Mallorca. Aquesta cavitat s'ha desenvolupat dins dipòsits calcarenítics litorals i eolianites amb paleosòls, del Pliocè i Pleistocè, fet desconegut a les Balears. La cronologia molt recent dels materials a on es desenvolupa la

cova i el gran volum que assoleix la cavitat a molts d'indrets, fan que pensem en una important contribució hipogènica en la seva formació.

Les característiques litològiques en les quals s'ubica la cova li confereixen una fisonomia molt diferenciada respecte de la resta de cavitats litorals del Migjorn i Llevant de Mallorca, desenvolupades als materials calcaris escullosos del Miocè superior.

Algunes de les morfologies hipogèniques, com ara les galeries hipogèniques ascendents, el cràter, els embuts o conductes d'alimentació que s'eixamplen a la part de connexió amb la cavitat i els cilindres ascendents, no han estat citades a altres cavitats de Mallorca. Altres morfologies hipogèniques que es troben són els crulls o fractures d'alimentació, els conductes d'alimentació, els punts d'alimentació laterals, els canals ascendents de paret, els punts de descàrrega i les cúpules.

Les morfologies generades principalment a la zona litoral de mescla, entre l'aigua dolça i l'aigua salada, corresponen a les galeries freàtiques de control estructural estratigràfic, els ponts, les regates de corrosió, les facetes, les morfologies esponjiformes, els conductes seminals o iniciadors, els pinacles, els penjants, els esperons, les concavitats poc marcades, els tupins de paret, sostre i pis i els canals subverticals de dissolució. Tanmateix s'ha de tenir present el possible origen poligenètic de moltes de les morfologies de dissolució trobades a la cavitat.

Es pot establir una clara relació entre la distribució dels tupins i la laminació de les eolianites, que ha suposat un factor preferent a l'hora de la dissolució dels materials. Els llims vermells pleistocènics també han estat objecte de l'atac químic de l'aigua i s'han creat morfologies de corrosió.

## Agraïments

Volem fer constar el nostre agraïment a tota la família March per les facilitats i confiança que ens han atorgat aquests anys.

A tots els companys del Grup Nord de Mallorca que han contribuït d'una manera o d'una altra en les feines desenvolupades a la cova. Especialment a: Bernat Clamor, Toni Cirer, Pere Gamundí, Freddy Fernández, Miquel Àngel Vives, Miquel Àngel Perelló, Nicolás Betton i Antoni Cifre.

A Antoni Cirer, que ha fet bona part de les fotografies de l'article.

També als amics Antelm Ginard i Damià Vicens, de l'SCM que van col·laborar en tasques topogràfiques de la cavitat.

A Joaquim Ginés, Àngel Ginés i Antoni Merino per les fructíferes discussions i rectificacions referents a les morfologies hipogèniques i de la zona de mescla litoral.

També volem tenir un record especial al nostre amic i company Mateu Febrer, membre del GNM, finat en iniciar les nostres recerques a la cova, al qual enyorarem sempre. De ben segur que ens espera a l'altre costat del sífo.

El present treball és una contribució al projecte de recerca finançat pel Ministerio de Ciencia e Innovación, CGL2010-18616/BTE.

## Bibliografia

- FORNÓS, J.J.; GRÀCIA, F.; MAS, G. & VICENS, D. (2013): Estratigrafia de la cova des Dolç (Colònia de Sant Jordi, Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 56: (en premsa).
- FORNÓS, J.J.; MERINO, A.; GINÉS, J.; GINÉS, A. & GRÀCIA, F. (2011): Solutional features and cave deposits related to hypogene speleogenetic processes in a littoral cave of Mallorca Island (western Mediterranean). *Carbonates and Evaporites*, 26 (1): 69-81.
- GARAY, P. (2013): Consideraciones sobre karst y cuevas hipogénicas, con referencias al ámbito valenciano. *Boletín SEDECK*, 9: 16-29. Sociedad Española de Espeleología y Ciencias del Karst.
- 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. & GINÉS, A. (2011): Classificació morfogenètica de les cavitats càrstiques 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: 85-102.
- 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. Tampa, USA.
- 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: 49-80.
- GINÉS, J.; GINÉS, A.; FORNÓS, J.J.; MERINO, A. & GRÀCIA, F. (2009a): *On the role of hypogene speleogenesis in shaping the coastal endokarst of southern Mallorca* (Western Mediterranean). In: KLIMCHOUK, A.B. & FORD, D.C. (eds.) *Hypogene speleogenesis and karst hydrogeology of artesian basins*. Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Special Paper 1: 91-99. Simferopol, Ucraïna.
- GINÉS, J.; GINÉS, A.; FORNÓS, J.J.; MERINO, A. & GRÀCIA, F. (2009b): About the genesis of an exceptional coastal cave from Mallorca Island (Western Mediterranean). The lithological control over the pattern and morphology of Cova des Pas de Vallgornera. In: WHITE, W.B. (ed.) *Proc. 15th Int. Congress Speleol.*, 1: 481-487. Kerrville, USA.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; FORNÓS, J.J.; JAUME, D. i URIZ, M.J.; MARTIN, D.; GIL, J.; GRÀCIA, P.; FEBRER, M. & PONS, G. (2005): La cova des Coll (Felanitx, Mallorca): Espeleogènesi, geomorfologia, hidrologia, sedimentologia, fauna i conservació. *Endins*, 27: 141-186.

- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; GAMUNDÍ, P.; CIRER, A.; FERNÁNDEZ, J. F.; FORNÓS, J. J.; URIZ, M. J.; MUNAR, S.; VICENS, D.; GINARD, A.; BETTON, N.; VIVES, M. A.; JAUME, D.; MAS, G.; PERELLÓ, M. A. & CARDONA, F. (2014): es Dolç (Colònia de Sant Jordi, ses Salines, Mallorca): cavitat litoral amb influències hipogèniques a les eolianites quaternàries i materials del Pliocè. *Endins*, 36: 69-96.
- GRÀCIA, F.; FORNÓS, J. J.; GAMUNDÍ, P.; CLAMOR, B.; POCOVÍ, J. & PERELLÓ, M. A. (2009a): 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.; FORNÓS, J.J.; GAMUNDÍ, P.; CLAMOR, B. & POCOVÍ, J. (2009b): Morfologies de corrosió a la part submergida de la cova des Pas de Vallgornera. Sector Antic, Sector de Gregal i Sector de les Grans Sales. *Endins*, 33: 73-98.
- GRÀCIA, F.; FORNÓS, J.J. & MERINO, A. (2009c): Corrosion patterns related to meteoric-marine mixing zone in coastal cave systems of Mallorca island (western Mediterranean). In: WHITE, W.B. (ed.) *Proc. 15th Int. Congress Speleol.*, 1: 496-500. Kerrville, USA.
- KLIMCHOUK, A.B. (2007): Hypogene speleogenesis: *hydrogeological and morphogenetic perspective*. National Cave and Karst Research Institute. Special paper 1. 106 pàgs. Carlsbad. New Mexico.
- LÓPEZ, J.M. & MATEOS, R.M. (2006): Control estructural de las anomalías geotérmicas y la intrusión marina en la plataforma de Llucmajor y la cubeta de Campos (Mallorca). *Las aguas subterráneas en los países mediterráneos*. Instituto Geológico y Minero de España. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 17: 379-613. Madrid.
- LÓPEZ, J.M.; MATEOS, R.M. & BALLESTER, A. (2004): Aportaciones del sondeo de investigación geotérmica Lluís Moragues al modelo de funcionamiento hidrogeológico de las aguas termales de la plataforma de Llucmajor (Mallorca). *VII Simposio de Hidrogeología*. Asociación Española de Hidrogeólogos. 2: 379-388. Zaragoza.
- MERINO, A. & FORNÓS, J.J. (2010): Los conjuntos morfológicos de flujo ascendente (*Morphologic Suite of Rising Flow*) en la Cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca). *Endins*, 34: 87-102.
- PALMER, A.N. (2007): *Cave Geology*. Cave books. 454 pàgs. Dayton, Ohio.