

ELS ESPELEOTEMES DE LES COVES DE MALLORCA

THE SPELEOTHEMS OF MAJORCAN CAVES

Àngel GINÉS ^{1 2}

Resum

Les coves de Mallorca són ben conegudes per la bellesa i abundància d'espeleotemes que es troben en el seu interior. A més de l'atractiu escènic notable que mostren els habituals conjunts d'estalactites, estalagmites i colades, una gran varietat de classes d'espeleotemes estan representats en els més d'un milenar d'avencs i coves catalogats avui dia en Mallorca. Estalactites excèntriques, helictites, escuts, gours i diverses formacions botrioidals, són freqüents en algunes cavitats. La immensa majoria dels espeleotemes mallorquins són de calcita i, tan sols ocasionalment, d'aragonita. Fins ara, els principals estudis mineralògics i petrològics s'han focalitzat en els destacables espeleotemes freàtics que caracteritzen nombroses coves costaneres de la meitat oriental de l'illa.

Abstract

Majorcan caves are famous for the beauty and abundance of speleothems they contain. The more than one thousand caves and shafts up-to-date catalogued in Mallorca offer an attractive subterranean landscape of stalactites, stalagmites and flowstones, as well as a great variety of other kinds of speleothems. Some of the caves frequently contain eccentric stalactites, helictites, shields, rimstone dams and several botryoidal wall and floor growths. Most Majorcan speleothems are of calcite and occasionally of aragonite. To date, the main mineralogical and petrological studies have focused on the remarkable phreatic speleothems characterising many coastal caves from the eastern part of the island.

Introducció

Des que els primers llibres de viatges començaren a descriure, en el segle XIX, la bellesa dels paisatges subterranis mallorquins, les formacions estalagmítiques que decoren les Coves d'Artà i les Coves del Drac han anat assolint un just renom. Nombrosos gravats i il·lustracions, que complementaven aquelles publicacions pre-espeleològiques i al mateix temps pre-turístiques, mostraven formosos conjunts d'estalactites, estalagmites, columnes i colades estalagmítiques. A aquestes variades formacions que decoren l'interior de les coves, i que estan constituïdes en la seva major part per cristallitzacions de carbonat càlcic, se les denomina científicament *espeleotemes* en les publicacions internacionals especialitzades.

Introduction

Since the first traveller books described in the nineteenth century the beauty of the subterranean landscapes of Mallorca, the stalagmitic decorations from Coves d'Artà and Coves del Drac have reached a deserved fame. Plenty of drawings and illustrations included in those pre-speleologic —and also pre-touristic— publications showed beautiful sets of stalactites, stalagmites, columns and flowstones. All these stone decorations present inside the caves and composed mainly by calcium carbonate crystallizations are scientifically designated as speleothems in the international specialised publications.

The richness of speleothems which contributed to increase the prestige of the first Majorcan caves that were visited by tourists, was later enhanced when Coves del Pirata, Coves des Hams, Coves de Campanet and Coves de Gènova were discovered. This fact showed to what extent the geo-climatic

1 Grup Espeleològic EST. Palma de Mallorca.

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

La riquesa d'espeleotemes, que havia contribuït al prestigi de les primeres coves mallorquines adaptades per a la visita turística, s'amplià en descobrir-se les Coves del Pirata, les Coves des Hams, les Coves de Campanet i les Coves de Gènova. Aquest fet posava de manifest l'existència d'unes condicions geo-climàtiques idònies per al creixement d'una gran varietat i abundància d'espeleotemes en els carsts de Mallorca.

En l'actualitat, gràcies a les exploracions que s'han realitzat en els darrers cinquanta anys, es pot afirmar que l'abundància d'espeleotemes és un fenomen general a les coves de l'illa. El desenvolupament de l'espeleologia a Mallorca ha permès així de reunir gran quantitat de dades descriptives i fotogràfiques. No obstant, encara es troben a faltar estudis petrològics i mineralògics detallats, amb l'excepció d'algunes investigacions puntuals que concerneixen fonamentalment als espeleotemes freàtics costaners.

Mineralogia i tipologia dels espeleotemes mallorquins

Les coves de Mallorca, segons els coneixements disponibles, alberguen un exigu grup d'espècies minerals. La composició litològica de l'illa és poc variada i les roques carbonatades que han estat objecte de carstificació es caracteritzen per la seva puresa. Les mineralitzacions d'òxids i sulfurs metàl·lics són escasses, i es troben endemés localitzades a roques poc o gens carstificables. Per això és la calcita, amb molt d'avantatge, el mineral predominant a les cavitats mallorquines. En segon lloc s'ha de citar la presència d'aragonita, formant part d'espeleotemes freàtics i de petites cristallitzacions parietals. També s'han citat escasses cristallitzacions de guix, però no s'han identificat d'altres minerals. Tanmateix és precís reconèixer que encara falta realitzar una prospecció mineral exhaustiva.

Pel contrari, l'endocarst de Mallorca conté una rica varietat d'espeleotemes. És difícil d'establir una classificació satisfactòria dels distints tipus d'espeleotemes de carbonat càlcic, la majoria dels quals estan representats a les coves de l'illa. Els criteris formulats per SWEETING (1972), WHITE (1976), HILL & FORTI (1986) i ZHU (1988) permeten de diferenciar els següents tipus genètics: *espeleotemes de degoteig*, *espeleotemes de flux*, *espeleotemes de traspuament*, *espeleotemes subaquàtics* i *espeleotemes mixtos*. Se'n poden trobar bons exemples de tots ells en el context del carst mallorquí.

La distinció més evident entre els principals tipus d'espeleotemes que existeixen, radica en si la direcció de creixement de l'espeleotema està controlada per la gravetat o si el creixement és més veloç en altres direccions determinades per condicionants minerals i cristal·logràfics. WHITE (1976) suggereix els termes *gravitomòrfic* i *erràtic* per a ambdues classes

conditions of Mallorca are highly suitable for the growth of such great variety and quantity of speleothems inside its karsts.

Nowadays, thanks to the explorations carried out in the last fifty years, it can be assured that the abundance of speleothems is a general phenomena in caves of the Balearic islands. Therefore, the development of the speleology in Mallorca has allowed a great amount of descriptive and photographic data. However, detailed petrologic and mineralogical studies are still scanty, with the exception of some punctual research centered mainly in the phreatic coastal speleothems.

Mineralogy and typology of the Majorcan speleothems

The caves of Mallorca, as far as it is known today, contain a scarce group of mineral species. The lithologic composition of the island is hardly varied and the karstified carbonate rocks are characterized by their purity. The oxides and metal sulphides mineralizations are scanty, being only present in non-karstifiable rocks. Thus, calcite is farly the predominant mineral in the Majorcan cavities. Secondly, the aragonite as a component of phreatic speleothems and small cave wall crystallizations must be quoted. Scanty quantities of gypsum crystallizations have been found too, although other minerals could not be identified. Nevertheless, it must be assumed that no exhaustive mineral prospection has been yet done.

On the contrary, the endokarst of Mallorca contains a great variety of speleothems regarding their shapes. A satisfactory classification of the different kinds of calcium carbonate speleothems, most of which are well-represented inside the island caves, remains a difficult task. The criteria given by SWEETING (1972), WHITE (1976), HILL & FORTI (1986) and ZHU (1988) permit to differentiate the following generic types: dripping water speleothems, flowing water speleothems, seeping water speleothems, subaqueous speleothems and mixed speleothems. Good examples of all of them can be found in the Majorcan karst context.

*The most obvious distinction among the main types of speleothems stems from whether the speleothems growth direction is controlled by gravity or such growth is quicker in other direction determined by mineral and crystallographic conditionants. WHITE (1976) suggests the terms *gravitomorphic* and *erratic*, respectively. The *erratic* speleothems are approximately equivalent to those related to seepage, which are likewise controlled by capillarity phenomena. Both the genetic and the strictly morphological classification present their pros and cons. In this case, due to the divulgative character of this paper, the more usual*

d'espeleotemes. Els espeleotemes erràtics coincideixen aproximadament amb els espeleotemes formats per aigües traspuants, que a la vegada estan controlades per fenòmens de capil·laritat. Tant els intents de classificacions genètiques com les estrictament morfològiques tenen els seus avantatges i els seus inconvenients. En aquest cas, per mor del caràcter divulgatiu d'aquesta revisió, es mantindran els termes descriptius més usuals situant-los dins d'un vague marc genètic.

Estalactites, estalagmites i columnes

Els espeleotemes més comuns formats per aigües de degoteig són les estalactites i les estalagmites. Es tracta d'espeleotemes extraordinàriament abundants a la majoria de les caveres de Mallorca.

La seva gènesi és ben coneguda, i està implícita en l'etimologia d'ambdós termes: *stalaktós* significa degoteig i *stálagmatos* significa líquid filtrat gota a gota. L'aigua, que arriba al sòtil de la cova després de recórrer les fissures de la roca, roman suspesa en forma de gota durant un curt espai de temps abans de caure en terra. Mentre la gota està penjant del sòtil es produeix una pèrdua de diòxid de carboni cap a l'atmosfera de la cova, per la qual cosa precipita una petita quantitat de calcita que va construint un anell al voltant de la gota (formant-se estalactites). Quan aquesta cau al sòl de la cova continua el despenjament de diòxid de carboni i la deposició de carbonat càlcic (formant-se estalagmites), fins que cessa la sobresaturació.

descriptive terms within a vague genetic frame will be maintained.

Stalactites, stalagmites and columns

The more common speleothems produced by dripping waters are the stalactites and the stalagmites. They are extraordinarily abundant inside most of the Majorcan caverns.

Their genesis is well-known and it is clearly implicit in their etymology: stalaktós meaning dripping and stalágmatos standing for a liquid filtered drop by drop. So, the water that reaches the cave ceiling after running through the rock fissures remains suspended as a drop for a short time, before it falls down to the floor. While the drop is hanging, a loss of carbon dioxide towards the cave atmosphere is produced, so that a small quantity of calcite precipitates, building then a ring around the drop which will become a stalactite. When the drop falls on the cave floor the carbon dioxide detachment as well as the subsequent calcium carbonate deposition go on forming stalagmites, till the chemical oversaturation stops.

Some of the most impressive stalactitic assemblages are hanging from the Coves del Drac ceiling (Photo 1), although stalactites are so frequent inside the island caves and shafts that a selection of the most outstanding places becomes a difficult task. The caves from the seacoast of Manacor (upper Miocene calcarenites) contain the best stalactitic

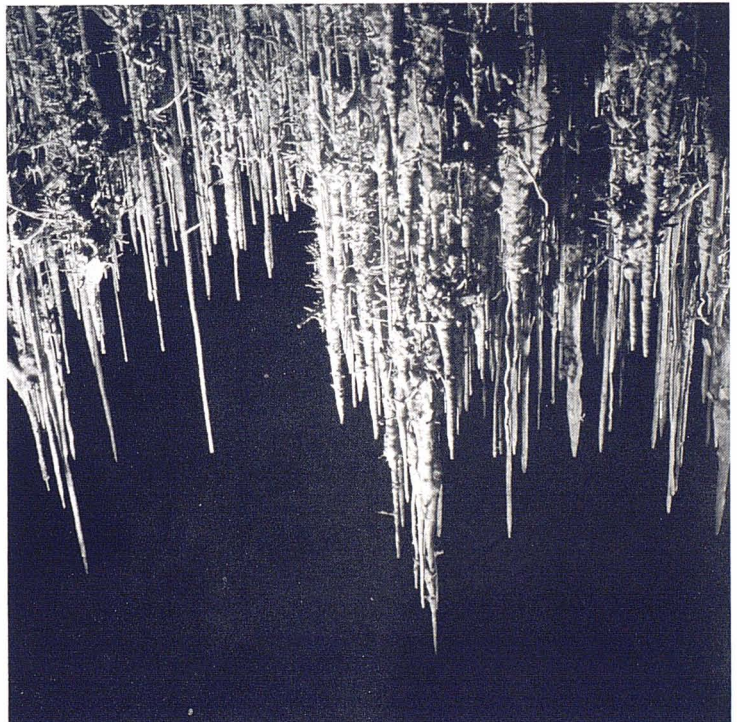


Foto 1:
Estalactites amb abundants excèntriques i helictites, en els sòtils de les Coves del Drac (foto cortesia de Cuevas del Drach S.A.).

Photo 1:
Stalactites showing numerous eccentrics and helictites, on the ceilings of Coves del Drac (photo by courtesy of Cuevas del Drach S.A.).

Alguns dels més impressionants grups d'estalactites es troben en els sòtils de les Coves del Drac (Foto 1), encara que les estalactites són tan freqüents a les cavitats de l'illa que resulta difícil seleccionar les localitats més destacables. Les cavitats de la Marina de Manacor (calcarenites del Miocè superior) contenen els millors conjunts estalagmítics quant a nombre i a densitat d'individus (FOURMARIER, 1926), però les estalactites de major mida es localitzen a coves desenvolupades a calcàries mesozòiques. Les estalactites més simples, constituïdes per tubs molt fins d'aspecte fistulós, són abundants a la majoria de les coves.

Les banderes i draperies són espeleotemes que pengen del sòtil i que, a pesar de la seva aparença estalactítica, tenen un origen mixt. Es formen a parets o sòtils inclinats pels quals discorren primes línies d'aigua a favor del pendent. Són comunes a les coves de Mallorca.

Els principals boscos d'estalagmites són els de la Cova des Pas de Vallgornera, els de la Cova de Son Berenguer i els que ocupen varis sectors de les Coves del Drac. De tota manera, quasi totes les cavitats mallorquines contenen estalagmites, de diferents morfologies i tamanys (Foto 2). Algunes de les millors estalagmites en forma de cúpula es troben a la Cova de sa Campana i a la Cova de Cornavaques. Probablement es podria establir una certa correlació entre pluviometria i tipologia de les estalagmites, però és un treball que encara no s'ha emprès.

Com que les columnes no són més que el resultat del creixement d'estalactites i estalagmites, que acaben connectant entre si, són també espeleotemes bastant abundants. Entre els millors grups de columnes es poden citar els que decoren les primeres sales de les Coves d'Artà.

Colades parietals i pavimentàries

Quan les aigües d'infiltració s'escorren per les parets o pel sòl de les coves, mantenint-se sobresaturades al llarg del seu recorregut, donen lloc a un conjunt d'espeleotemes que es denominen *colades* (Foto 3). El seu creixement es realitza a partir del flux de petits corrents d'aigua que es generen freqüentment al peu de formacions estalagmítics o a llocs on es van col·lectant aigües de degoteig. L'orientació dels cristalls és perpendicular a la superfície de creixement de la colada, per la qual cosa la seva estructura interna presenta unes bandes característiques que permeten d'efectuar interpretacions estratigràfiques. Les colades parietals solen presentar morfologies mimètiques que semblen arbres, cascades i orgues, per la qual cosa constitueixen elements fonamentals en la decoració de les coves turístiques.

groups both in number and density of individuals (FOURMARIER, 1926), but the biggest stalactites are placed in those caves developed within Mesozoic massive limestone rocks. The simple stalactites or «soda straws», constituted by very thin fistula-like tubes, are abundant in most caves.

The flags and draperies are also dangling speleothems and, even if hanging from the ceilings, they are not strictly stalactitic but of mixed origin. They are formed on walls or steep ceilings where thin water lines flow downwards, and are rather common inside the caves of Mallorca.

The main forests of stalagmites are those inside Cova des Pas de Vallgornera, Cova de Son Berenguer as well as several areas from Coves del Drac. In any case, almost every Majorcan cavity has different sizes and abundant morphologies of stalagmites (Photo 2). Some of the best dome-like stalagmites are located in Cova de sa Campana and

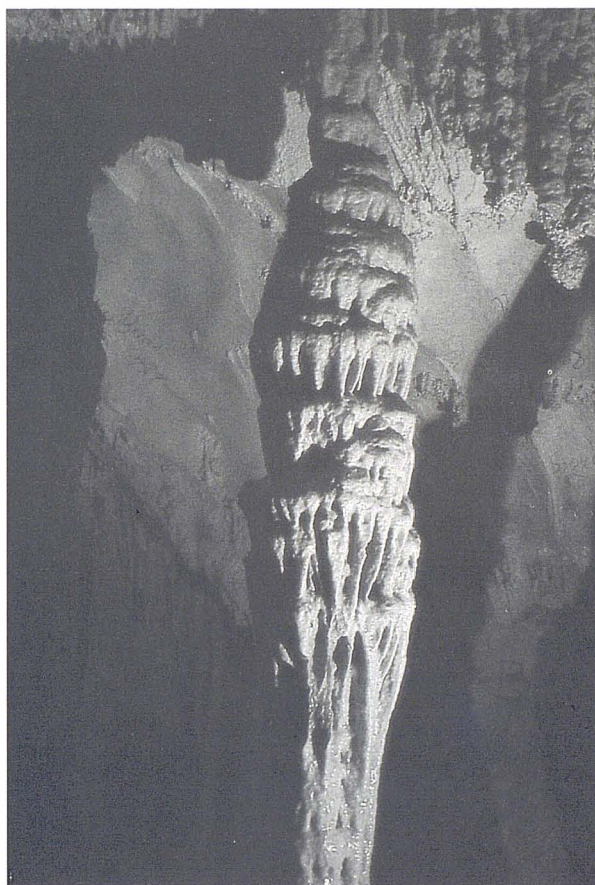


Foto 2: Estalagmita de la Cova Nova de Son Lluís (Porreres). Una ressenya de l'exploració d'aquesta cova fou publicada —l'any 1839— per l'escriptor i erudit mallorquí Joaquim M. Bover, en un opuscle que pot ésser considerat com la primera publicació espeleològica sobre l'illa de Mallorca.

Photo 2: Stalagmite from Cova Nova de Son Lluís (Porreres). In 1839 the Majorcan writer and scholar Joaquim M. Bover published an article about the exploration of this cave, that may be considered as the first speleological paper on Mallorca.

A Mallorca aquests espeleotemes són molt abundants. Destaquen pel seu valor ornamental les colades de les Coves del Drac i de les Coves de Campanet. A moltes cavitats es troben colades pavimentàries de gran potència que mereixerien estudis espeleocronològics detallats. Amb freqüència les colades recobreixen amuntegaments de blocs inestables, per la qual cosa es produeixen fenòmens d'assentament i de solifluxió que impliquen a vegades desplaçaments de varis metres. Aquest és el cas de les Coves del Pirata, on s'observen columnes xapades, estalagmites basculades i profundes clivelles en el substrat de blocs i colades (LLOPIS-LLADÓ & THOMAS-CASAJUANA, 1948; GINÉS & GINÉS, 1976).

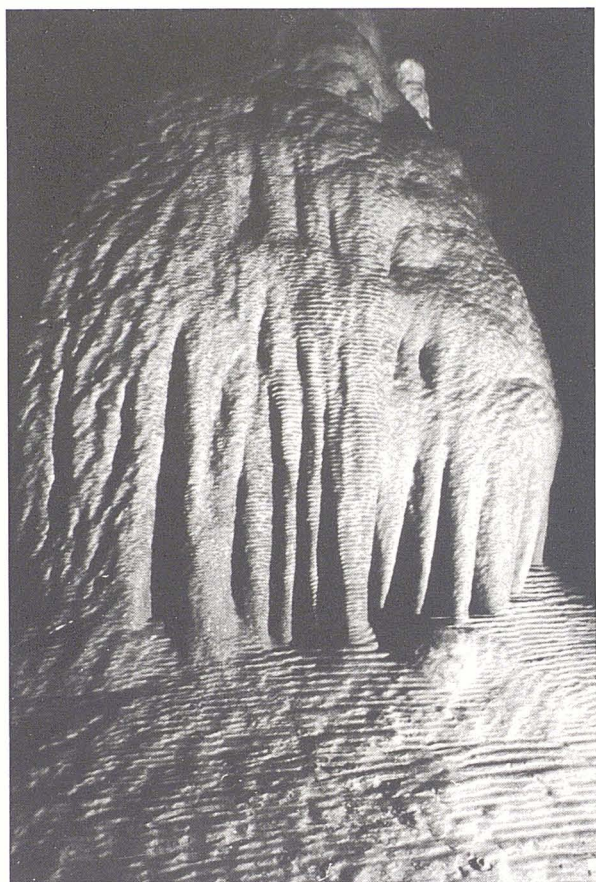


Foto 3: Colada estalagmítica amb microgours, en la galeria principal de la Cova des Estudiants (Sóller).

Photo 3: Stalagmitic flowstone with microgours in the main passage of Cova des Estudiants (Sóller).

Estalactites excèntriques, helictites i escuts

Als sòtils de les coves molts d'espeleotemes creixen en direccions erràtiques i aparentment a l'atzar. WHITE (1976) explica la formació d'estalactites

Cova de Cornavaques. Probably, a certain statistical correlation between the pluviometry of the cave locality and the dominant stalagmite typology could be established, but this work is still to be undertaken.

As the columns are just the result of the union of stalactites and stalagmites they are quite abundant too. Among the best columns sets we could quote the ones from the first chambers of Coves d'Artà.

Parietal and paving flowstones

When infiltration waters run on the walls or over the floor of the caves, remaining oversaturated along their way, they produce a set of speleothems named flowstones (Photo 3). Their growth originates from the flow of small water currents frequently generated at the foot of stalagmites or where the dripping waters are collected. The crystal orientation is perpendicular to the flowstone growing surface, so that its internal structure shows a characteristic layering which permits good stratigraphic interpretations. The parietal or wall covering flowstones usually have mimetic features resembling organ pipes, trees and cascades, thus constituting important elements of decoration inside the touristic show caves.

In Mallorca this kind of speleothems is very common. The flowstones from Coves del Drac and Coves de Campanet could be highlighted for their ornamental value. In many cavities can be found paving flowstones of high thickness and, in some cases, a detailed speleochronological study of them would be worthy. Often, flowstones cover unstable block pile-ups, being affected by subsidence movements and solifluction phenomena in the ground-floor that sometimes cause a displacement of a few meters. This is the case of Coves del Pirata, where broken columns, tilted stalagmites and deep cracks affecting the substratum of boulders and flowstones can be observed (LLOPIS-LLADÓ & THOMAS-CASAJUANA, 1948; GINÉS & GINÉS, 1976).

Eccentric speleothems, helictites and shields

At the cave ceilings many speleothems grow in an erratic way and apparently at random directions. WHITE (1976) explains the eccentric stalactites as the result of the predominance of the crystal growing strengths over the hydraulic ones that act vertically favoured by gravity. Almost every researcher agrees that the formation of erratic speleothems requires a water supply so meagre as to prevent the formation of drops. However, the specific genetic mechanisms involved as well as the different morphologies

excèntriques com el resultat del predomini de les forces de creixement dels cristalls sobre les forces hidràuliques que actuen verticalment a favor de la gravetat. Quasi tots els investigadors coincideixen que la generació d'espeleotemes erràtics requereix que el flux d'aigua sigui suficientment escàs com per impedir la formació de gotes. No obstant, els mecanismes genètics concrets que intervenen i les diferents morfologies que es produeixen dificulten qualsevol intent de sistematitzar breument aquesta classe d'espeleotemes.

Les estalactites excèntriques són comunes a les coves de Mallorca (Foto 1), destacant les espectaculars formacions de les Coves des Hams. MIR & TRIAS (1973) descriuen les grans estalactites excèntriques de la Cova de sa Campana i, per altra part, són nombroses les localitats que posseeixen diversos tipus d'aquestes cristallitzacions. La terminologia que s'utilitza tendeix a ser confusa a causa de la complexitat morfològica i textural que presenten. Són freqüents a les coves mallorquines les petites excèntriques corbades i sinuoses, que es denominen *heliclites* a la bibliografia especialitzada.

Altres espeleotemes estalactítics destacables són els *escuts* o *discos*, que creixen a partir de petites aportacions fissurals formant curioses estructures concèntriques. Es troben ocasionalment a les coves de Mallorca, d'entre les quals les Coves d'Artà són les que contenen els millors exemplars.

Espeleotemes generats per aigües de percolació i formacions botrioidals

Les aigües de percolació que traspuen molt lentament a través dels petits porus i intersticis de les parets són les causants d'un conjunt d'espeleotemes característics. A causa de les condicions locals de porositat de la roca i a la influència de factors microclimàtics aquests espeleotemes poden mostrar una gran complexitat. La interferència d'altres processos, incloent-hi el flux per capil·laritat i els esquitxos d'aigua de degoteig, pot contribuir a complicar-ne encara més la gènesi. Alguns autors suggereixen que minúscules polvoritzacions poder ser atrapades pels vèrtexs de certes formacions, col·laborant en el seu creixement.

Els espeleotemes generats per aigües de percolació són relativament freqüents a les coves i avencs de Mallorca, encara que els tipus amb exemplars més destacables, com els finament ramificats que apareixen a la Cova de Garrafa, al Bufador de Solleric o a la Cova des Mirador, només es troben de manera ocasional. Alguns d'ells, denominats *espeleotemes botrioidals*, es presenten com a protuberàncies globulars i llises, aïllades o arraïmades i d'aspecte coral·loide; formes d'aquest tipus creixen a les parets

produced make it difficult to elaborate a brief classification of these types of speleothems.

The eccentric stalactites are common in Majorcan caves (Photo 1), being outstanding the spectacular formations from Coves des Hams. MIR & TRIAS (1973) described huge eccentric stalactites from Cova de sa Campana. Apart from those caves, there are a lot of places where such crystallization forms can be found. The terminology used tends to be confusing due to the morphological and textural complexity of these features. In Mallorca there are frequently found small eccentric speleothems curved and winding, designated as helictites in the specialized bibliography.

The shields or discs are other remarkable stalactitic speleothems which grow from tiny fissural supplies and form oval or circular concentric structures that are occasionally found in the Majorcan caves; as the outstanding examples from Coves d'Artà.

Speleothems generated by seeping waters and botryoidal forms

The seeping water that percolates very slowly through the narrow pores and microfissures of the cave walls produces a set of characteristic speleothems. As a consequence of the local conditions of rock porosity and due to the influence of microclimatic factors these speleothems can get to be highly complex. The interference of other processes, including the sliding of thin water layers and the dripping water splash, can easily contribute to make the genesis even more complicated. Some authors suggest that minute aerosol particles could be trapped by the small sharp points of certain formations, thus accelerating their growth.

The speleothems generated by seepage waters are relatively frequent within the caves and shafts of Mallorca. However, the best represented types as those finely ramified coralloids from Cova de Garrafa, Bufador de Solleric or Cova des Mirador are just occasionally found. Some of them, named botryoidal speleothems, happen to be rather branched globular and smooth protuberances, isolated or clustered as grapefruit; this kind of knobstone grows on the walls and floors of Coves de Gènova. Others, normally associated to air circulation, produce coarse and irregular coatings that align themselves in almost horizontal bands on the walls of some caves. This anemolithic features are rather rare in Mallorca, but good examples can yet be seen in Avenc de Fra Rafel and in Cova de sa Campana.

i als sòls de les Coves de Gènova. D'altres, associades generalment amb circulacions d'aire, produeixen recobriments aspres i irregulars que es disposen en bandes quasi horitzontals sobre les parets d'algunes cavitats. Aquestes formacions anemolítiques són rares a Mallorca, però n'hi ha bons exemples a l'Avenc de Fra Rafel i a la Cova de sa Campana.

Gours i espeleotemes subaquàtics

Els *gours* són espeleotemes còncaus que posseeixen una paret subvertical, o extraplomada a contrapendent, on es pot embassar l'aigua que flueix amb lentitud sobre el paviment de les coves. Les seves dimensions són extremadament diverses, ja que abracen des de minúsculs microgours de a penes un centímetre de longitud fins a gours gegants que amiden varis metres. En el seu interior, el fons i les parets apareixen recoberts per espeleotemes subaquàtics d'aspecte coral·loide, i amb freqüència s'observen acumulacions de calcita flotant. El creixement en volum dels gours es produeix a partir del nivell en què l'aigua vessa, ja que l'emissió de diòxid de carboni es veu potenciada a la vorera per on cau l'aigua amb la qual cosa aquesta augmenta progressivament la seva altura. Mentrestant, si les aigües que s'estanquen al gour estan molt sobresaturades de bicarbonat càlcic, la concavitat tendeix a farcir-se de cristal·litzacions subaquàtiques.

Molts de gours estan associats amb la formació i desenvolupament de colades pavimentàries. El flux de primes làmines d'aigua i les oscil·lacions del règim amb què aquestes circulen sobre la superfície de les colades són factors determinants per a la seva formació (BATLLE, 1973). També es poden engendrar gours en el llit de rius subterranis i fins i tot a l'exterior, sempre que l'aigua circulant estigui sobresaturada. Els gours són espeleotemes comuns a Mallorca, tant a les coves i avencs de la Serra de Tramuntana com a les cavernes de la comarca del Migjorn. En tots els casos es tracta d'espeleotemes pavimentaris que recobreixen colades o petites depressions on s'acumula aigua de degoteig i d'escorrentia. Excel·lents exemples de gours es poden observar a la Cova de sa Campana i a la Cova de Can Sion.

Les cristal·litzacions subaquàtiques es caracteritzen per presentar superfícies rugoses, amb cares cristal·lines prominents que mostren cristalls de calcita ben desenvolupats. El seu creixement es realitza per davall del nivell que ocupen localment les aigües i en condicions de sobresaturació que provoquen la precipitació del carbonat càlcic. A les coves mallorquines són espeleotemes ocasionals, donat que d'una manera quasi exclusiva estan localitzats a l'interior de gours (si s'exceptuen els espeleotemes freà-

Rimstone dams and subaqueous speleothems

The rimstone dams or gours are concave speleothems showing a subvertical wall that frequently overhangs against the slope direction, where the water that flows slowly on the pavement of the caves can be retained. They can be of an extremely wide range of dimensions: from minute microgours of hardly one centimeter long to gigantic gours of several meters. Inside the gours, on their bottom and walls, there are covers of subaqueous speleothems of coralloidal appearance, and also accumulations of calcite rafts are often found. The growth in volume of the gours is produced from the water overflowing level, as the carbon dioxide detachment is enhanced in the rim of the dam which height, thus, becomes progressively bigger. Meanwhile, if the waters retained inside the rimstone dam are oversaturated in calcium bicarbonate the concavity tends to be filled with subaqueous crystallizations.

Many rimstone dams are associated to the growth of flowstone over the cave floors. The running of thin water sheets and their oscillating pulses upon the flowstone surface are in the end determinant for the formation of rimstone dams (BATLLE, 1973). Moreover, the gours can be originated on the bottom of subterranean streams and even in exokarstic rivers, provided that the circulating waters are oversaturated. The rimstone dams are quite common in Mallorca not only within the caves and shafts of the Serra de Tramuntana mountains but also in the caverns of the Migjorn region. All of them are paving speleothems that cover flowstones or small depressions where dripping and trickles of cave waters accumulate. In Cova de sa Campana and Cova de Can Sion excellent examples of rimstone dams can be observed.

The subaqueous crystallizations are characterized by rough surfaces with prominent crystalline faces showing well-developed calcite crystals. Their growth takes place below the water level and under the oversaturation conditions that provoke the calcium carbonate precipitation. In Majorcan caves they are just occasional speleothems (with the exception of the coastal phreatic ones) as they are nearly always located inside rimstone dams. The subaqueous speleothems are very beautiful despite their small size.

The pisolithic concretions are an interesting kind of subaquatic speleothems, just occasionally found in Mallorca. There are some papers written on them, being noteworthy that by AUROUX (1985).

tics costaners). Es tracta d'espeleotemes de gran bellesa, però les dimensions dels quals són petites.

Una interessant varietat d'espeleotemes subaquàtics són les concrecions pisolítics, que només ocasionalment es troben a Mallorca. Han estat objecte d'alguns estudis, entre els que destaca el d'AUROUX (1985).

Cristal·litzacions freàtiques costaneres

Les àrees càrstiques litorals de l'illa de Mallorca contenen nombroses coves que estan parcialment inundades per aigües freàtiques salobres. Es tracta d'un medi freàtic litoral, controlat pel nivell marí, on es registren fluctuacions periòdiques del pla de les aigües d'una manera compassada amb les oscil·lacions que experimenta la superfície de la mar. La inundació parcial d'aquestes cavernes costaneres crea llacs subterranis que poden assolir dimensions notables, com succeeix amb el Llac Miramar de les Coves del Drac.

Una considerable varietat d'espeleotemes subaquàtics apareix associada amb aquest ambient geològic singular (GINÉS & GINÉS, 1974) (Foto 4). Són comunes les cristal·litzacions freàtiques de calcita i aragonita situades per damunt dels actuals llacs salobres (POMAR *et al.*, 1976; GINÉS *et al.*, 1981). A les bandes horitzontals, que aquests espeleotemes conformen, hi queden registrades les cotes d'anteriors nivells d'estabilització del nivell marí corresponents a etapes interglaciàries (GINÉS & GINÉS, 1974). També s'observa amb freqüència la formació de calcita flotant sobre la superfície dels llacs (POMAR *et al.*, 1975), així com la presència d'engrossiments característics entorn d'estalactites o d'estalagmites situades dins de la banda de fluctuació actual del pla de les aigües (POMAR *et al.*, 1979). Aquests fenòmens de deposició de carbonats pareixen haver estat bastant comuns des del Pleistocè mitjà fins a l'actualitat i estan essent objecte de datacions i d'estudis petrològics detallats (Foto 5).

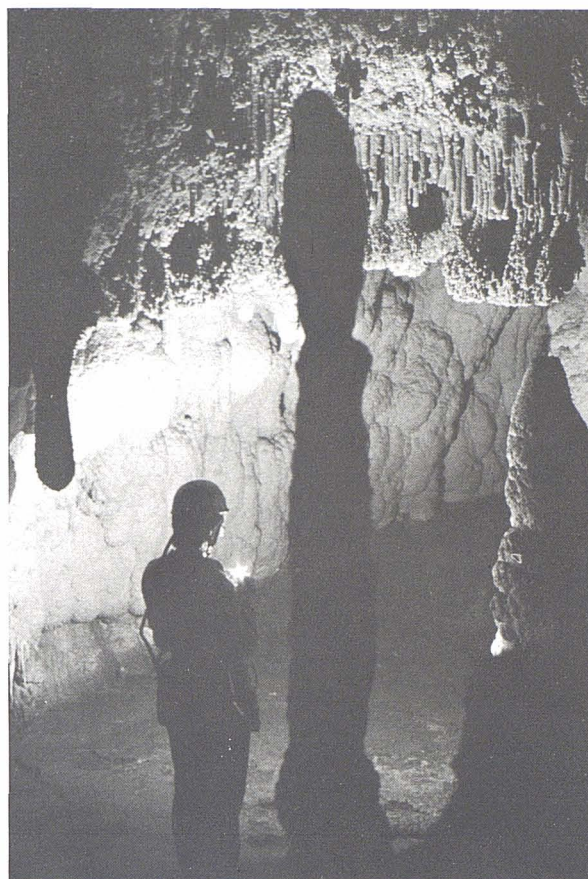


Foto 4: Vista d'un sector de la Cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia); es tracta d'una important cavitat costanera en la que abunden els espeleotemes, tant freàtics com subaeris.

Photo 4: View of a chamber from Cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia), a littoral karstic cave where both phreatic and aerial speleothems are remarkably abundant.

Coastal phreatic crystallizations

The littoral karstic areas of Mallorca present many caves partially drowned by brackish waters. This happens to be a coastal phreatic environment controlled by the sea level where periodical water

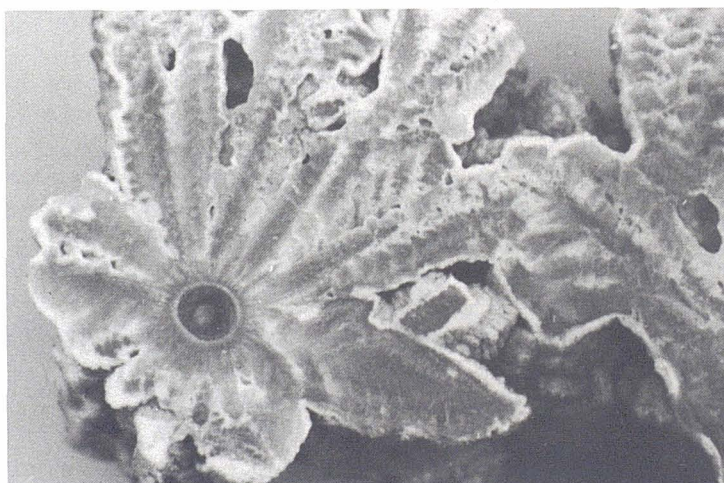


Foto 5: Secció transversal d'unes estalactites amb sobrecreixements freàtics, corresponents a un paleonivell marí enregistrat en la localitat costanera de la Cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia). Datacions realitzades sobre un fragment d'aquesta mostra han proporcionat edats superiors als 350.000 anys.

Photo 5: Transversal section of stalactites with phreatic overgrowths, corresponding to a sea paleolevel recorded inside the coastal locality of Cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia). Datings carried out on a fragment of this sample have shown ages over 350.000 years.

A grans trets, les cristallitzacions freàtiques costaneres presenten una aparença semblant a les d'altres espeleotemes subaquàtics, però la seva varietat morfològica i textural és notable. POMAR *et al.* (1976) les classifiquen en tres tipus: llises, rugoses i anguloses; estant constituïdes les primeres d'elles per aragonita (Foto 6) i les restants per calcita.

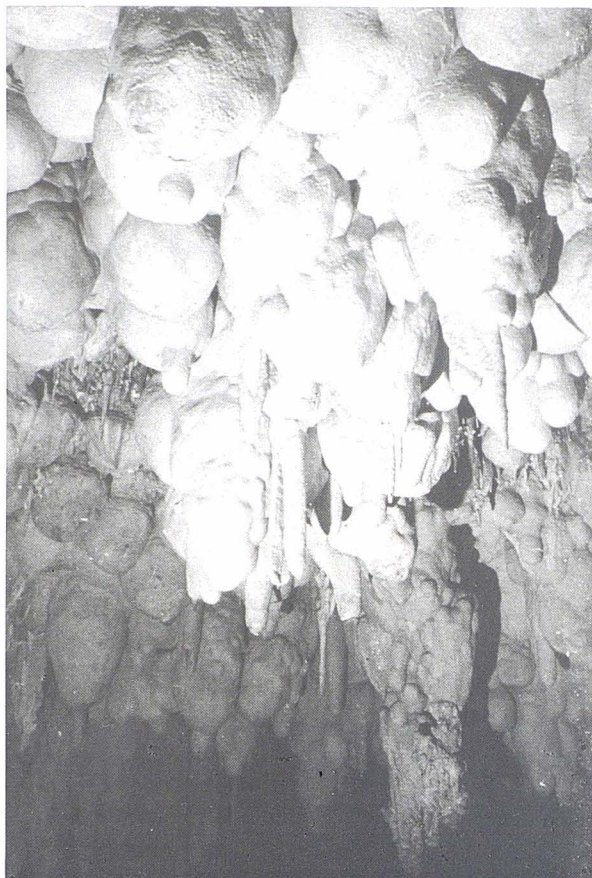


Foto 6: Conjunt d'espeleotemes freàtics d'aragonita, que recobreixen els sostres de la Cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia) a una alçada aproximada de 6 metres per damunt de l'actual nivell marí.

Photo 6: Assemblages of aragonite phreatic speleothems covering the ceilings of Cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia), approximately 6 meters above the current sea level.

La majoria de les cristallitzacions freàtiques formen sobrecreixements d'aspecte boterut al voltant d'altres espeleotemes preexistents, com els que es poden observar a les Coves del Drac o a la Cova des Pont. En molts de casos, especialment quan el recobriment es desenvolupa sobre estalactites, les morfologies originals dels espeleotemes poden veure's fortament modificades, com ocorre a la Cova de na Mitjana. Altres sobrecreixements es disposen d'una manera anular, rodejant estalagmites i columnes. Ocasionalment també queden englobades petites làmines de calcita flotant. Són destacables els cons de la Cova de sa Bassa Blanca, que semblen estalag-

oscillations, adjusted to the sea level changes, take place. The partial drowning of such coastal caverns creates subterranean pools that sometimes reach great dimensions as the Llac Martel from Coves del Drac.

*A great number of different subaqueous speleothems seems to be associated to this singular geochemical environment (GINÉS & GINÉS, 1974). Phreatic crystallizations of calcite and aragonite over the level of present day brackish ponds are common (POMAR *et al.*, 1976; GINÉS *et al.*, 1981) (Photo 4). Through the bands of speleothems marked by them, former marine levels of stabilization corresponding to the interglacial periods are recorded. The formation of calcite rafts on the surface of these cave pools is often found too (POMAR *et al.*, 1975), as well as some characteristic overgrowths developed around those stalagmites or stalactites situated on the current fluctuation range of the water-table (POMAR *et al.*, 1979). These carbonate depositional processes have been quite common since the middle Pleistocene, and today they are being the subject of datings with Uranium series and detailed petrological works (Photo 5).*

*Generally speaking, the coastal phreatic crystallizations are similar to other subaqueous speleothems, but their morphological and textural range are more remarkable. According to POMAR *et al.* (1976) they can be classified in three types: smooth, coralloidal and crystal spikes; the first being aragonitic (Photo 6) and the rest calcitic.*

Most of the phreatic crystallizations overgrow around pre-existent speleothems adopting bulky forms, as those from Coves del Drac and Cova des Pont. In many cases, as in Cova de na Mitjana, especially when the overgrowth coating appears on stalactites, the original speleothems morphology can be greatly modified. Sometimes, the coating are belt-like around stalagmites and columns. Occasionally, some floating calcite rafts are also trapped. The impressive cave cones from Cova de sa Bassa Blanca, similar but not analogue to very sharp stalagmites, are outstanding examples of such accumulations of floating cemented calcite (Photo 7).

Although it still remains a lot to be known about the geochemistry of the coastal karsts where carbonate precipitation takes place, it looks certain that the phreatic speleothems are originated mainly along the oscillation range, usually 50 cm high, of such subterranean pools. Other phreatic speleothems may prove that the phreatic coatings can be produced even several decimeters below the water-table. In both cases the proximity to the pool surface favours the precipitation processes as the carbon dioxide degassing occurs easily throughout the water surface. So, as a consequence of the readjustment of the chemical equilibrium of phreatic waters, the zone close to the air-water interphase tends to be oversaturated.

mites punxegudes però que estan construïts per acumulacions de calcita flotant cimentada (Foto 7).

Encara que és necessari millorar el coneixement de la geoquímica dels carsts litorals en els quals tenen lloc aquests processos de precipitació de carbonats, pareix que la formació d'espeleotemes freàtics es localitza principalment dins de la banda d'oscil·lació d'aquests llacs subterranis, que abraça una amplitud del voltant de 50 cm. Altres espeleotemes freàtics suggereixen que el sobrecreixement pot produir-se fins a varis decímetres per davall del pla de les aigües. En ambdós casos els processos de precipitació es veuen afavorits per la proximitat a la superfície del llac, lloc on l'escapada de diòxid de carboni es realitza amb més facilitat. Per aquesta raó la zona propera a la interfase aire-aigua tendeix a trobar-se sobresaturada, com a conseqüència dels reajustaments que es produeixen en l'equilibri químic d'aquestes aigües freàtiques.

Principals processos de formació d'espeleotemes a Mallorca

Les condicions físico-químiques que caracteritzen l'endocarst mallorquí són molt aptes per a la formació d'importants dipòsits d'espeleotemes. El marc bioclimàtic recent afavoreix, en termes generals, l'actuació dels processos generadors d'espeleotemes. Endemés, les datacions disponibles demostren que al llarg del Quaternari aquests processos han estat actius i fins i tot intensos.

La marcada diferenciació litològica existent entre les calcarenites miocenes, les dolomies triàsiques i les calcàries massives liàsiques i burdigalianes es manifesta en mecanismes de permeabilitat i vies d'infiltració de l'aigua molt diversos. Per altra part, la considerable diversitat topogràfica de les cavitats illenques dona lloc a múltiples ambients que posseeixen microclimes particulars. Per això, la varietat de condicions en què arriben a les coves les substàncies que viatgen dissoltes a les aigües de percolació, i la varietat de condicions en què aquestes poden desprendre diòxid de carboni (i excepcionalment vapor d'aigua, per evaporació) a l'atmosfera subterrània més immediata, expliquen la riquesa de tipus d'espeleotemes que s'observen a les coves mallorquines.

Predominen els espeleotemes formats per aigües de degoteig (estalactites, estalagmites, columnes) i aquells generats pel flux de petits corrents laminars d'aigua (colades parietals, colades pavimentàries i gours). També són comuns els espeleotemes generats pel lent aflorament d'aigües de percolació (estalactites excèntriques, helictites, anemolites, formacions botrioidals). Entre els espeleotemes subaquàtics de la zona d'infiltració és pos-

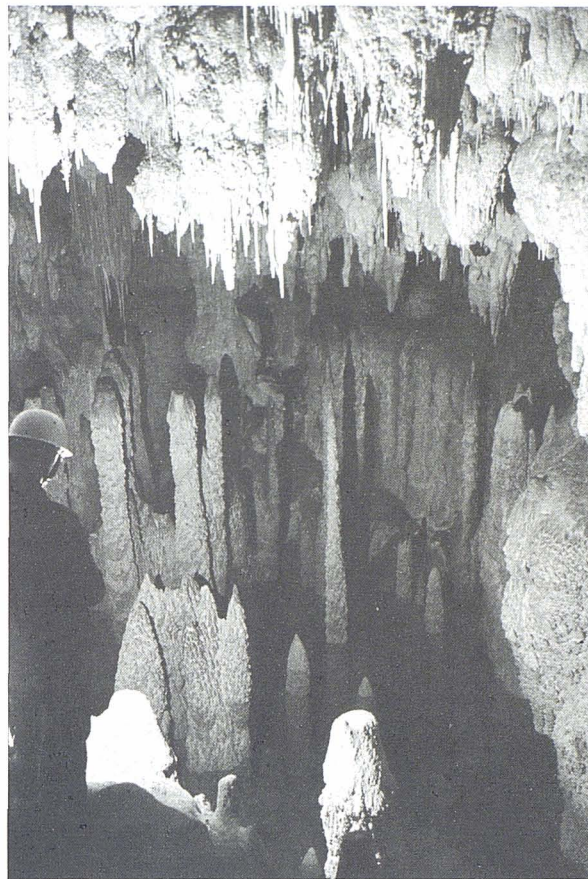


Foto 7: Espeleotemes còncics formats en condicions freàtiques, emergint d'un petit llac d'aigües salobres en la Cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia).

Photo 7: Conical speleothems formed under phreatic conditions, emerging from a small brackish pool in Cova de sa Bassa Blanca (Alcúdia).

Major processes of speleothem formation in Mallorca

The physico-chemical conditions that prevail in the Majorcan endokarst are really suitable for the development of important speleothem deposits. The recent bioclimatic context favours, in general terms, the presence of the processes that generate speleothems. Moreover, available datings demonstrate that these processes have been active and even intense throughout the Quaternary.

The obvious lithological differentiation among the Miocene calcarenites, the Triassic dolomites and the massive Liassic and Burdigalian limestone rocks is displayed in rather diversified permeability mechanisms and infiltration paths. Furthermore, the great topographical diversity of Majorcan caves gives rise to numerous environments showing particular microclimates. Therefore, the varied conditions under which the substances dissolved in the infiltration waters reach the caves, as well as the different circumstances in which carbon dioxide is detached

sible trobar-hi nombroses varietats de tamany modest, encara que la seva presència és tan sols ocasional. Pel contrari, són freqüents els espeleotemes freàtics a coves properes a la línia de costa, on formen interessants revestiments de calcita i aragonita d'aspecte coral-loide o globular, respectivament.

Els espeleotemes de les cavitats de Mallorca es caracteritzen per la seva abundància quantitativa, la seva notable diversitat tipològica, la relativa pobresa en espècies minerals i el clar predomini de morfologies que denoten aportacions d'infiltració moderades o fins i tot escasses.

Agraïment

Aquest treball forma part del projecte d'investigació de la DGICYT número PB94-1175.

(and, exceptionally, water is lost by evaporation) to the cave atmosphere, explain the abundance of speleothem types in the caves of Mallorca.

The speleothems produced by dripping waters (stalactites, stalagmites and columns) and those generated by slight water currents (wall and paving flowstones, and rimstone dams) are predominant. The speleothems generated by the seeping waters coming slowly to the cave walls (eccentric stalactites, helictites, anemolites, botryoidal features) are also common. Among the subaquatic speleothems from the vadose zone it can be occasionally found a varied group of items of modest size. On the contrary, the phreatic speleothems are quite frequent in the caves located near the shoreline, where they form interesting calcite and aragonite coverings, coralloidal and globular respectively.

The speleothems of Majorcan caves and shafts are characterized by their abundance, their noteworthy typological diversity, their relative lack of mineral species and the predominance of features revealing moderate or even scarce infiltration supply.

Acknowledgement

This work is part of the DGICYT investigation project number PB94-1175.

Bibliografia / References

- AUROUX, L. (1985): Concreciones pisolíticas en cavidades de Mallorca. *Endins*. 10-11 : 27-31. Palma de Mallorca.
- BATLLE, A. (1973): Notes sobre la litogènesi de la Cova de Can Bordils. *Comunicacions III Simp. Espeleologia*. 314-320. Mataró.
- FOURMARIER, P. (1926): Quelques observations sur l'ornamentation naturelle de deux grottes de l'île de Majorque. *Ann. Soc. Géol. Belgique*. 49 : 320-322. Liège.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1974): Consideraciones sobre los mecanismos de fosilización de la Cova de Sa Bassa Blanca y su paralelismo con formaciones marinas del Cuaternario. *Bol. Soc. Hist. Nat. Baleares*. 19 : 11-28. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1976): Ses Coves del Pirata. *Endins*. 3 : 41-45. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J.; GINÉS, A. & POMAR, L. (1981): Morphological and mineralogical features of phreatic speleothems occurring in coastal caves of Majorca (Spain). *Proceed. Eighth Internat. Congress of Speleology*. 529-532. Bowling Green.
- HILL, C.A. & FORTI, P. (1986): *Cave minerals of the World*. National Speleological Society. 238 pàgs. Huntsville.
- LLOPIS-LLADÓ, N. & THOMAS-CASAJUANA, J.M. (1948): La hidrología cárstica de los alrededores de Campanet. *Miscelánea Almera*. 7 : 39-60. Barcelona.
- MIR, F. & TRIAS, M. (1973): Sobre el karst de la Cova de sa Campana i les seves concrecions excèntriques. *Comunicacions III Simp. Espeleologia*. 53-70. Mataró.
- POMAR, L.; GINÉS, A.; GINÉS, J.; MOYÀ, G. & RAMÓN, G. (1975): Nota previa sobre la petrología y mineralogía de la calcita flotante de algunas cavidades del Levante mallorquín. *Endins*. 2 : 3-5. Palma de Mallorca.
- POMAR, L.; GINÉS, A. & FONTARNAU, R. (1976): Las cristalizaciones freáticas. *Endins*. 3 : 3-25. Palma de Mallorca.
- POMAR, L.; GINÉS, A. & GINÉS, J. (1979): Morfología, estructura y origen de los espeleotemas epiaquáticos. *Endins*. 5-6 : 3-17. Palma de Mallorca.
- SWEETING, M.M. (1972): *Karst Landforms*. McMillan Press. 362 pàgs. London.
- WHITE, W.B. (1976): Cave minerals and speleothems. In: FORD, T.D. & CULLINGFORD, C.H.D. (Eds.): *The science of Speleology*. Academic Press. 267-327. London.
- ZHU, X. (1988): *Guilin karst / Secondary chemical depositional forms (speleothems) in caves*. Shanghai Scient. & Techn. Publishers. 188 pàgs. Shanghai.