L'ENDOCARST DE MALLORCA: ELS MECANISMES ESPELEOGENÈTICS

MALLORCA'S ENDOKARST: THE SPELEOGENETIC MECHANISMS

Joaquín GINÉS [1] [2]

Resum

En aquest treball s'exposen diverses consideracions entorn de l'endocarst de Mallorca i dels processos espeleogenètics que l'han configurat. Es proposa una sistematització dels fenòmens subterranis de l'illa basada en el context hidrogeològic en el qual s'han generat les cavitats objecte d'estudi, tot aportant dades sobre la distribució espacial de les distintes categories de coves i avencs. En aquest sentit, s'ha de destacar la gran abundància —particularment a la Serra de Tramuntana— de cavitats verticals originades a la zona vadosa, així com la importància de la carstificació litoral de l'àrea geogràfica del Migjorn, relacionada amb processos geoquímics de mescla freàtica d'aigües continentals i marines; al contrari, les coves excavades en règim freàtic no litoral són escasses en el conjunt de l'illa. Pel que fa a les dimensions del milenar de formes endocàrstiques conegudes, aquestes poden esser qualificades de modestes: tan sols unes quantes coves superen el quilòmetre de desenvolupament horitzontal, i la profunditat màxima que assoleixen les cavitats supera de molt poc els 300 metres de desnivell.

Abstract

Several considerations are disclosed in this paper with regard to Mallorca's endokarst and the speleogenetic processes that have formed it. A systematization of the underground phenomena of the island is proposed on the basis of the hydrogeological context in which the cavities object of this study have been generated, bringing forward data on the geographical distribution of the different categories of caves and shafts. In this sense, the great abundance —particularly in Serra de Tramuntana mountain range— of vertical cavities originated in the vadose zone must be pointed out, as well as the importance of littoral karstification —mainly in the flat area of Migjorn— related to geochemical processes of phreatic mixing between continental and marine waters; on the contrary, the caves excavated in non littoral but phreatic conditions are scarce on the whole of the island. With regard to the dimensions of more than a thousand of known endokarstic features, these can be qualified as modest: only a few caves surpass a kilometre of horizontal development, and the maximum depth that the cavities attain excels in very little 300 metres.

Introducció

La bibliografia centrada en la descripció morfològica de l'endocarst en el nostre àmbit geogràfic és molt extensa, i no és objectiu d'aquestes planes ferne ara una revisió. Per contra, no són massa nombrosos els treballs que facin referència als mecanis-

Introduction

The bibliography devoted to the morphological description of endokarst in our geographical ambit is very extense, and it is not the aim of this paper to go through it. However, there are not many works that refer to speleogenetic mechanisms responsible for the formation of caves in Mallorca, a subject which we intend to approach in this section. The oldest publications that deal with this issue go back to the end of the XIX century (LOZANO, 1884; GAY &

1 Grup Espeleològic EST. Palma de Mallorca.
2 Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. Ctra de Valldemossa km 7,5. E-07071 Palma de Mallorca.

mes espeleogenètics responsables de la formació de les coves de Mallorca, temàtica a la qual pretenem apropar-nos en aquesta nota. Les publicacions més antigues que tracten la qüestió es remunten a finals del segle XIX (LOZANO, 1884; GAY & CHAMPSAUR, 1885), i estan impregnades de certes dosis del catastrofisme encara imperant en bona part de la literatura geològica del moment.

D'aquella època mereix una menció especial l'obra de MARTEL (1896) qui, amb molt poc encert, va atribuir la gènesi de les Coves del Drac a l'acció erosiva estrictament mecànica produïda per les aigües marines. Aquest fet propiciarà que, com a reacció contra aqueixes idees, gairebé tota la bibliografia posterior sobre la matèria —publicada sobretot durant la primera meitat del present segle— es dediqui a suggerir diverses modalitats d'excavació de les coves properes a Portocristo per mitjà de l'actuació de les aigües subterrànies continentals (MAHEU, 1912; DARDER, 1925; FAURA Y SANS, 1926; JOLY & DENIZOT, 1929).

Les aproximacions recents a la gènesi de les formes subterrànies del carst mallorquí són fins i tot més escasses. Esmentarem l'intent de sistematització espeleogenètica realitzat per ENCINAS *et al.* (1974), així com la classificació tipològica de les cavitats de l'illa proposada per GINÉS & GINÉS (1974; 1987) la qual té connotacions genètiques que poden resultar d'interès.

Per finalitzar aquesta breu introducció històrica, ens hem de referir a la recent publicació d'un model espeleogenètic i evolutiu que intenta explicar les peculiaritats de la carstificació del Migjorn de Mallorca (GINÉS & GINÉS, 1992). Aquest model obviament no contempla la gènesi marina suggerida per a les Coves del Drac a finals del segle passat, sinó que emfasitza tant l'actiu paper geoquímic de la zona freàtica de mescla entre aigües continentals i marines, com les particularitats evolutives de l'endocarst litoral.

En aquestes pàgines es procurarà aportar informacions vàlides, encara que bastant generals, sobre les característiques i l'origen de les nombroses cavitats subterrànies de Mallorca. Cal consignar que no s'intentarà fer una sistematització tipològica detallada de les coves i els avencs de l'illa, la qual per força hauria de considerar aspectes morfològics que no són l'objecte principal d'atenció del present treball. Només es pretén exposar un esquema que, amb simplicitat i coherència, expliqui quins són els processos responsables de la formació de les cavitats, tan abundants en el nostre variat carst insular. Per a més precisions sobre qüestions morfològiques, espeleomètriques i geogràfiques de les coves mallorquines, el lector interessat pot consultar alguns treballs (GINÉS & GINÉS, 1987, 1989; TRIAS *et al.*, 1979) que s'ocupen detalladament de l'endocarst de la major de les Illes Balears.

CHAMPSAUR, 1885), and are impregnated by certain doses of catastrophism still prevailing in a good part of the geological literature of the epoch.

From that period, MARTEL's work (1896) deserves to be mentioned since he attributed, not very wisely, the genesis of Coves del Drac to strictly mechanic erosive action produced by sea waters. This fact will propitiate that, as a reaction against these ideas, practically all the later bibliography on this subject —published above all during the first half of the present century— keeps on making suggestions on several excavation modalities of the caves near Portocristo through the action of continental underground waters (MAHEU, 1912; DARDER, 1925; FAURA Y SANS, 1926; JOLY & DENIZOT, 1929).

Recent approaches to genesis of the subterranean morphologies of Majorcan karst are even more scarce. We will mention the attempt of speleogenetic systematization carried out by ENCINAS et al. *(1974), as well as the typological classification of our cavities proposed by GINÉS & GINÉS (1974; 1987) which has genetic connotations that can be of some interest.*

To end with this brief historical introduction, we have to refer to the recent publication of a speleogenetic and evolutionary model that tries to explain the peculiarities of endokarstification in the Migjorn area of Mallorca (GINÉS & GINÉS, 1992). This model obviously does not take into account marine genesis suggested for Coves del Drac at the end of the last century, but emphasizes both the active geochemical role of the phreatic mixing zone between continental and sea waters, as well as the evolutionary particularities of littoral endokarst.

In these pages we will try to bring forward some valid information, although set out in broad outlines, on the characteristics and the origin of the numerous underground cavities in Mallorca. It must be stated that we will not try to make a detailed typological systematization of caves and shafts in the island, which compulsively would have to consider morphological aspects that are not the main object of the present work. We are only endeavouring to expose a sketch, that with simplicity and coherence, will enable to explain which are the processes responsible for the formation of caves, so abundant in our varied insular karst. For further precisions on morphological, speleometrical and geographical issues of Majorcan caves, the interested reader may consult some publications (GINÉS & GINÉS, 1987, 1989; TRIAS et al., *1979) that pay some special attention to endokarst in the biggest of the Balearic Islands.*

Classificació espeleogenètica proposada

L'esbós d'una classificació espeleogenètica de les coves i avencs de Mallorca és una tasca no exempta d'algunes dificultats. Els problemes amb què ens hem trobat en realitzar aquesta labor són de diversos tipus, als quals farem referència tot seguit de manera abreujada.

Cal tenir present, d'una banda, que la gran majoria de la literatura dedicada a l'espeleogènesi, com a manifestació geomorfològica interna del procés de carstificació, s'ha centrat en el coneixement de la formació i evolució dels sistemes espeleològics: és a dir, de les grans cavernes —o conjunts de coves més modestes— integrades en una unitat de drenatge de les aigües subterrànies. Així, s'han formulat nombrosos models explicatius, més o menys afortunats i complexos, d'entre els quals destaca l'elaborat per FORD (1965) i complementat més tard per FORD & EWERS (1978). Aquests autors relacionen, de manera coherent, la disposició espacial i la morfologia dels sistemes espeleològics amb les variacions al llarg del temps de les condicions hidrogeològiques del sistema càrstic; les quals vénen al seu torn condicionades, entre altres factors, pel progressiu increment de la freqüència de fissures hidrològicament funcionals.

A Mallorca gairebé no es pot parlar d'autèntics sistemes subterranis penetrables per l'home. De fet són escasses les cavitats que tenen un desenvolupament superior al quilòmetre, i només quatre d'aquestes assoleixen més de 2.000 metres de recorregut horitzontal; així doncs, es pot afirmar que la majoria de les coves i avencs de l'illa són fenòmens hipogeus de magnituds realment modestes. Per aquests motius la significació espeleogenètica de bona part de les nostres cavitats és confusa, en tractar-se ja sigui de formes subterrànies de poca rellevància, o bé de manifestacions bastant fragmentàries d'antics sistemes espeleològics molt evolucionats en el temps.

A les dificultats ja esmentades, se n'hi afegeixen altres no menys importants. D'una banda, qualsevol intent de classificació dels fenòmens naturals implica un notable esforç de simplificació, en haver d'encasellar elements complexos que poden participar de manera diversa dels trets definitoris de vàries de les categories establertes. D'altra banda, les darreres fases de l'evolució morfològica de les cavitats càrstiques porten inherent l'actuació d'una sèrie de mecanismes (esfondrament de voltes i parets, estalagmitització...) que tendeixen a homogeneïtzar l'aparença dels buits pre-existents, amb total independència dels processos espeleogenètics que els originaren. En el cas de Mallorca, són freqüents les coves en les quals la rellevància de les morfologies associades al despreniment de blocs rocosos —pro-

Proposed speleogenetic classification

The outline of a speleogenetic classification of caves and shafts in Mallorca is a task which presents some difficulties. The problems that we have encountered on carrying out this labour are of several kinds, to which we will refer briefly.

First of all, we must take into account that the vast majority of literature dedicated to speleogenesis, as an internal geomorphological manifestation of the karstification process, has centred on the knowledge of formation and evolution of the speleological systems: that is to say, of the big caverns —or assemblages of more modest caves— integrated in a drainage unit of underground waters. In this way, numerous explanatory models have been postulated, rather fortunate and complex, among which we can point out the one elaborated by FORD (1965) and later complemented by FORD & EWERS (1978). These authors relate coherently, the spatial disposition and the morphology of speleological systems to variations throughout time of hydrogeological conditions of the karstic system; which are in their turn conditioned, among other factors, by the progressive increase of the frequency of hydrologically functional pathways.

In Mallorca we can hardly speak about genuine subterranean systems penetrable by man. In fact, the caves that have a development of over a kilometre are scarce, and only four of these attain more than 2,000 metres of horizontal extension; therefore, it can be asserted that the majority of caves and shafts of the island are hypogeum phenomena of really modest magnitudes. For these reasons the speleogenetic significance of a good part of our cavities can be obscure, whether we deal with underground forms of little relevance or quite fragmentary manifestations of very ancient speleological systems greatly evolved throughout time.

Other important difficulties must be added to those already mentioned above. On one hand, any classificatory attempt of natural phenomena involves a notable simplification effort, on having to classify complex elements that can participate in different ways of distinctive features of several established categories. On the other hand, the last phases in the morphological evolution of karstic cavities carry inherent the action of a series of mechanisms (breakdown of ceilings and walls, speleothems deposition...) that tend to homogenize the aspect of the pre-existing voids, with absolute independence to speleogenetic processes that originated them. In the case of Mallorca, there are many caves which the relevance of morphologies associated to the breakdown of rocky blocks —product of mechanical readjustments of walls and ceilings of the cavity— manages to efface all the traces of former

ducte dels reajustaments mecànics de les parets i les voltes de la cavitat— arriba a esborrar tots el vestigis de fases evolutives precedents; aquest fet, junt amb l'exuberància que solen presentar els dipòsits estalagmítics en les coves mallorquines, no és gens favorable al coneixement espeleogenètic del nostre endocarst.

evolutionary phases. This fact, together with the exuberance that speleothems usually present in Majorcan caves, is not at all favourable to speleogenetic knowledge of our endokarst.

In order to establish the genetic classification of caves and shafts in our island, we have opted for the use of a criteria similar to the adopted more frequently

Context morfo-hidrogeològic / *Morpho-hydrogeological frame*	Tipus de cavitats / *Cavity types*	Calcàries mesozoiques plegades / *Folded mesozoic limestones*		Calcarenites miocenes post-orogèniques / *Post-orogenical miocene calcarenites*
		Serra de Tramuntana	**Serres de Llevant**	**Migjorn**
Avencs vadosos / ***Vadose shafts***	Avencs de dissolució vadosa / *Vadose dissolution shafts*	●	○	
	Avencs d'origen mecànic / *Mechanical shafts*	●	○	
Coves situades a la zona vadosa / ***Vadose-located caves***	Coves clàstiques / *Breakdown caverns*	●	○	
	Coves estructurals / *Structurally controlled caves*	●		
Coves freàtiques / ***Phreatic caves***	Galeries de drenatge / *Drainage conduit-caves*	●		
	Coves laberíntiques / *Network caves*	○	○	
Coves litorals / ***Littoral caves***	Coves de la zona de mescla costanera / *Coastal mixing-zone caves*	○	○	●
	Coves càrstico-marines / *Marine-karstic caves*	○	○	●

○ presència / *presence* ● abundància / *abundance*

Taula I:
Classificació espeleogenètica de les coves i els avencs de l'illa. S'indica l'abundància relativa de les distintes tipologies en les principals regions càrstiques de Mallorca.

Table I:
Speleogenetic classification of caves and shafts of the island. The relative abundance of different typologies is shown in the main karstic regions of Mallorca.

A l'hora d'establir la present classificació genètica de les coves i els avencs de l'illa, s'ha optat per la utilització d'un criteri semblant a l'adoptat més sovint en els manuals recents sobre geomorfologia càrstica (FORD & WILLIAMS, 1989; JENNINGS, 1985; SWEETING, 1972; WHITE, 1988). D'aquesta manera, s'han distingit quatre categories principals basades sobretot en el context hidrogeològic en el qual s'ha produït la gènesi de les cavitats observades. Les categories espeleogenètiques establertes, juntament amb els tipus de cavitats representats en cadascuna d'elles, apareixen recollits en la Taula I. Tot seguit ens ocuparem de glossar per separat el context morfo-hidrogeològic propi de les distintes classes proposades, així com de descriure les tipologies d'avencs o coves que les integren.

in recent handbooks on karstic geomorphology (FORD & WILLIAMS, 1989; JENNINGS, 1985; SWEETING, 1972; WHITE, 1988). In this way, four main categories have been distinguished above all based on the hydrogeological context in which the genesis of the observed cavities has been produced. The established speleogenetic categories, together with the types of cavities represented in each of them, are shown in Table I. We will now comment separately on the morpho-hydrogeological context characteristic of the different proposed categories, describing at the same time the typologies of shafts or caves that integrate them.

AVENCS VADOSOS

Dins aquesta categoria s'inclouran totes les cavitats verticals la formació inicial de les quals —i la seva evolució posterior— ha tingut lloc íntegrament dins la *zona vadosa* del carst (denominada també *zo-*

VADOSE SHAFTS

In this category we will include all the vertical cavities whose initial formation —and their subsequent evolution— has taken place in the karstic vadose zone *(also called* infiltration zone*); that is to say, on the upper part of the limestone massif (Figure 1), which is presided by a fast vertical flowing of meteoric waters. In most of the cases, they are*

na d'infiltració); és a dir, a la part superior del massís calcari (Figura 1), la qual es troba presidida per una ràpida circulació vertical de les aigües meteòriques. En la majoria dels casos, són avencs de dissolució que assoleixen amb relativa freqüència profunditats superiors al centenar de metres. En aquest primer gran grup es diferencien les següents tipologies:

dissolution shafts that attain depths of over a hundred metres with relative frequency. In this first group we can distinguish the following typologies:

***Vadose dissolution shafts**. It deals, without doubt, with the most representative type of cavity in the island, particularly in Serra de Tramuntana mountain*

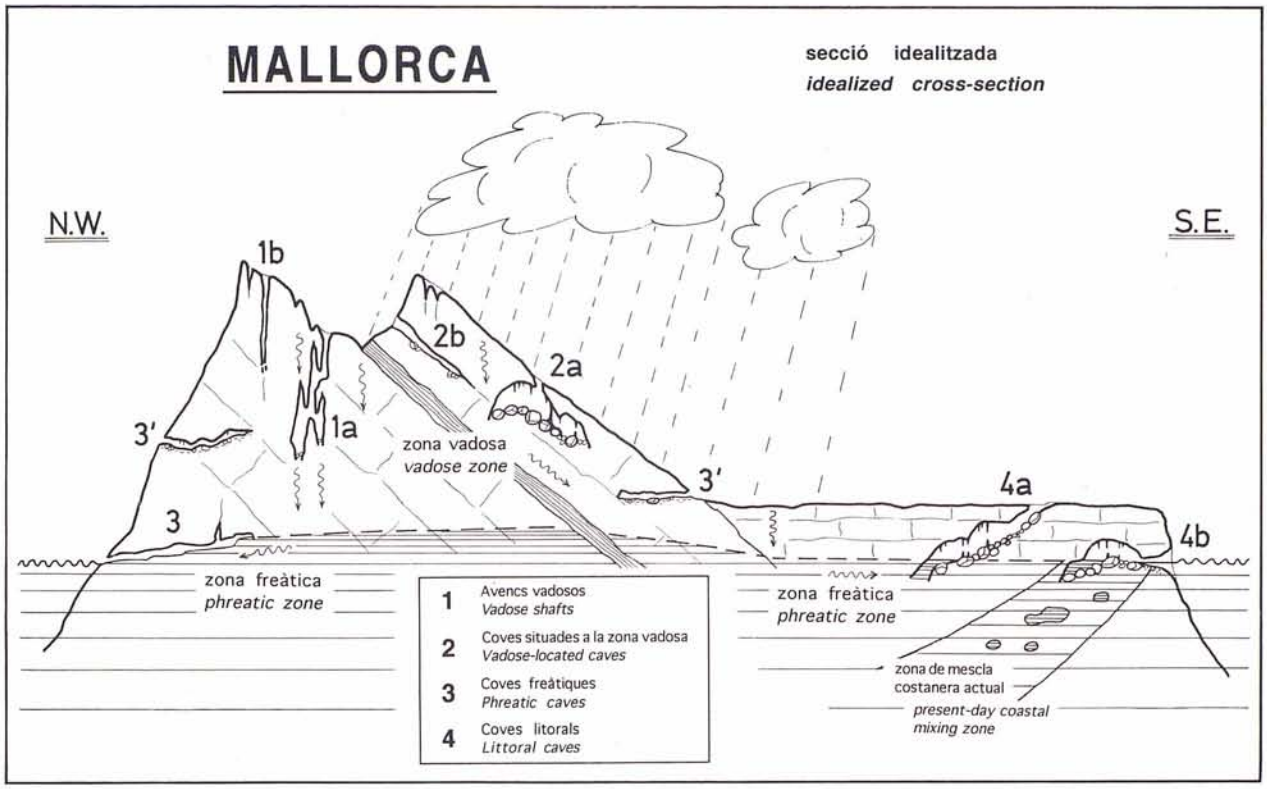

Figura 1: Representació esquemàtica dels tipus de cavitats presents a Mallorca, realitzada sobre un perfil ideal de l'illa. 1a: avenc de dissolució vadosa; 1b: avencs d'origen mecànic; 2a: cova clàstica; 2b: cova estructural; 3: cova freàtica, encara amb activitat hidrològica; 3': coves freàtiques antigues; 4a: cova de la zona de mescla costanera, morfològicament molt evolucionada; 4b: cova càrstico-marina.

Figure 1: Schematic representation of the cavity types present in Mallorca, outlined on an ideal cross-section of the island. 1a: vadose dissolution shaft; 1b: mechanical shafts; 2a: breakdown cavern; 2b: structurally controlled cave; 3: phreatic cave, still presenting hydrological activity; 3': ancient phreatic caves; 4a: coastal mixing-zone cave, morphologically very evolved; 4b: marine-karstic cave.

Avencs de dissolució vadosa. Es tracta, sense dubte, del tipus de cavitat més ben representat a l'illa, en particular a la Serra de Tramuntana. Inclou tot un variat conjunt d'avencs generats per dissolució a la zona vadosa, com a resultat del drenatge en profunditat de les precipitacions. En aquest context ens trobam des de petits avencs de lapiaz, fins alguns avencs de muntanya amb una morfologia que palesa una important alimentació nival, passant per les nombroses i majors cavitats verticals de dissolució assimilables als *gouffres d'absortion* —avencs d'absorció— de GÈZE (1953).

Aquests darrers avencs estan formats per un o per varis buits de tendència vertical (Figura 2), assentats sobre fractures, els quals unint-se entre si poden assolir a Mallorca desnivells propers als dos-

range. It includes a varied group of shafts generated by dissolution in the vadose zone, as a result of the vertical infiltration of atmospheric precipitations. In this context we encounter from small karren pits to some mountain shafts with a morphology that proves an important nival nurture, going through the numerous and major vertical cavities of dissolution assimilable to the gouffres d'absortion *—absorption shafts— from GÈZE (1953).*

These last shafts are formed by one or various voids of vertical tendency (Figure 2), settled on rock fractures, which on joining together can attain in Mallorca a depth of about two hundred metres. Some of the vertical unities that integrate these cavities form impressing pits of over 100 metres in depth (Photo 1), as the case of Avenc des Travessets (Artà), Avenc

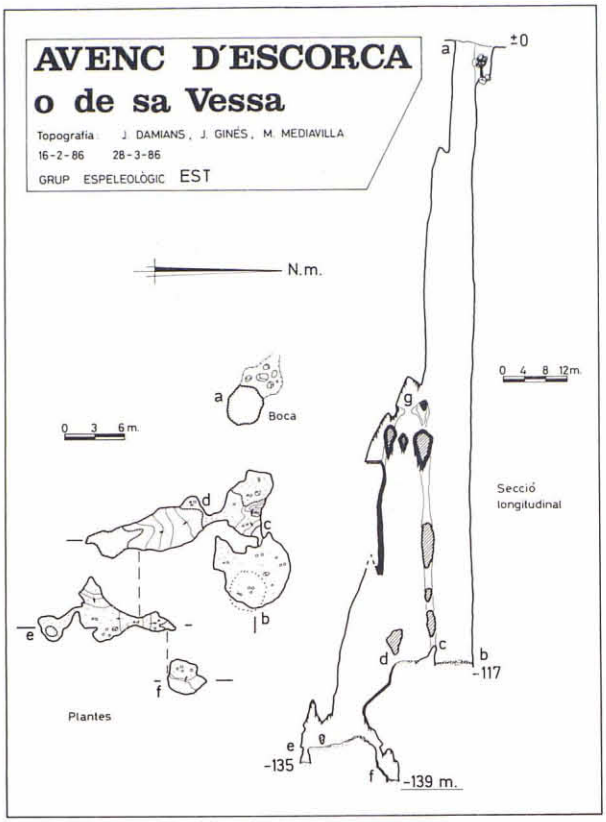

Figura 2: Topografia d'un espectacular exemple d'avenc de dissolució vadosa.

Figure 2: Topographical survey of a spectacular example of vadose dissolution shaft.

cents metres. Algunes de les unitats verticals que integren aquestes cavitats formen impressionants pous de més de 100 metres de fondària (Foto 1), com és el cas de l'Avenc des Travessets (Artà), l'Avenc Fonda (Pollença), o l'Avenc d'Escorca, l'Avenc de Femenia i l'Avenc de s'Aigo (tots tres en el municipi d'Escorca).

Avencs d'origen mecànic. Són avencs de planta rectilínia i desnivell ocasionalment notable, la gènesi dels quals es veu condicionada pels processos de distensió mecànica que afecten les elevacions muntanyoses de les serres mallorquines. En unes ocasions es tracta d'escletxes paral·leles i molt properes a grans penya-segats, provocades pel desferrament gravitacional de la massa rocosa pròxima al front de l'espadat. Serien les *fentes de décollement* —escletxes de desferrament— de RENAULT (1967), o el que GÈZE (1953) anomena *gouffres tectoniques* (avencs tectònics).

En altres casos són avencs que, sense estar lligats directament a la presència de penya-segats, representen importants fractures penetrables de tendència subvertical gairebé no retocades pels processos de carstificació. Les cavitats d'aquestes característiques abunden en algunes elevacions de la

Fonda (Pollença), or Avenc d'Escorca, Avenc de Femenia and Avenc de s'Aigo (all three in the Escorca municipality).

Mechanical shafts. *They are rectilinear plan cavities, occasionally with a notable depth, whose genesis is conditioned by mechanical distension processes that affect the mountaineous heights of the Majorcan ranges. Sometimes they are parallel crevices located very near some great cliffs, provoked by the gravitational detach of the rocky mass near the cliff front. They would be the* fentes de décollement *—detach crevices— from RENAULT (1967), or the one that GÈZE (1953) calls* gouffres tectoniques *(tectonic shafts).*

In other cases they are potholes that, without being bound directly to the presence of cliffs, represent important penetrable fractures of a subvertical tendency practically not retouched by karstification processes. The cavities of these characteristics are abundant in some heights of Serra de Tramuntana, such as Mola des Ram situated between Esporles and Puigpunyent villages. The most remarkable example of this kind of shafts is probably Avenc de ses Papallones (TRIAS, 1979), situated in the municipality of Bunyola, which attains a depth of -142 metres.

VADOSE-LOCATED CAVES

This kind assembles several types of horizontal tendency cavities, that have two common defining features: its present morphology prevents from finding out what the initial voids that originated the caverns were like, being these ones now integrated in the vadose zone of the karstic massif. Logically, a former excavation phase in phreatic conditions of those primigenial voids cannot be discarded; in this case it would deal with what BÖGLI (1980) rates as secondary vadose cave, *in contrast with the former category of shafts whose vadose character is totally primary. Two main types of caves can be distinguished that assemble the mentioned characteristic features:*

Breakdown caverns. *The morphology of these caverns is completely conditioned by the presence of great accumulations of blocks, which are the result of rocky collapses that affect the vaults and walls of the cavities. These mechanisms are usually called* clastic processes, *not very accurately, in the hispanic speleological bibliography (MONTORIOL-POUS, 1951) corresponding to the term* incasion *proposed by BÖGLI (1980).*

In many Majorcan caves the magnitude of these phenomena is such, that no remains are left as what the initial voids —generated throughout the first excavation phases of the cavity— were like (Photo 2). As it has been suggested before, a past phreatic

Foto 1:
L'Avenc de Femenia (Escorca) és un impressionant avenc vadós de dissolució, localitzat a la Serra de Tramuntana mallorquina, format per un espectacular pou de120 metres de fondària .

Photo 1:
Avenc de Femenia (Escorca) is an impressing vadose dissolution shaft, located in Serra de Tramuntana mountains, integrated by a spectacular pit 120 metres deep.

Serra de Tramuntana, com la Mola des Ram entre les poblacions d'Esporles i Puigpunyent. L'exemple més notable d'aquesta classe d'avencs és probablement l'Avenc de ses Papallones (TRIAS, 1979), situat al terme municipal de Bunyola, el qual assoleix un desnivell vertical de -142 metres.

COVES SITUADES EN LA ZONA VADOSA

Aquesta classe agrupa diversos tipus de cavitats de tendència horitzontal, que participen de dos trets definitoris comuns: la seva morfologia actual impedeix esbrinar com eren els buits inicials que originaren les cavernes, trobant-se aquestes ara per ara integrades en la zona vadosa del massís càrstic. Lògicament, no es pot descartar una pretèrita fase d'excavació en règim freàtic d'aquells buits primigenis; es tractaria en aquest cas del que BÖGLI (1980) qualifica de *cova vadosa secundària*, en contraposició amb l'anterior categoria d'avencs el caràcter vadós de la qual és netament primari. Es poden distingir dos tipus principals de coves que reuneixen els trets característics esmentats:

Coves clàstiques. La morfologia d'aquestes cavernes es veu del tot condicionada per la presència de grans acumulacions de blocs, els quals són el resultat de despreniments rocosos que afecten les voltes i les parets de les cavitats. Aquests mecanismes es designen habitualment en la bibliografia espeleològica hispana sota l'expressió, no gaire afortunada, de *processos clàstics* (MONTORIOL-POUS, 1951) corresponent així mateix al terme *incasion* proposat per BÖGLI (1980).

En nombroses coves mallorquines la magnitud d'aqueixos fenòmens és tal, que no resten vestigis de com eren els buits inicials generats al llarg de les primeres fases d'excavació de la cavitat (Foto 2). Com ja s'ha insinuat abans, tampoc no es pot refusar un pretèrit origen freàtic per a aquestes cavernes, si bé el seu aspecte actual no aporta cap evidència que el recolzi.

origin of these caverns cannot be refused, although its current aspect does not show any evidence to give it any support.

The caves that can be included in this group present in general a subhorizontal tendency and an outstanding stalagmitic decoration; in some cases their chambers attain remarkable tridimensional magnitudes. The most representative example is without doubt Cova de sa Campana (Escorca), being the deepest cavity in Mallorca with a depth of -304 metres, and in which some of the chambers exceeds 100,000 m³ in volume (BARRERES et al., *1976; MIR & TRIAS, 1973). We also have to mention the existence of a few shafts, such Avenc de Son Pou (Santa Maria del Camí), constituted by spacious underground chambers that are accessible by means of breakdown openings situated in the zenith of the vault; these endokarstic forms would correspond to*

Foto 2: Aspecte de la sala principal de les Coves Petites (Capdepera). Els processos de reajustament mecànic que afecten les voltes i parets de les coves de l'illa, arriben a eliminar amb freqüència tot vestigi de les fases inicials d'excavació de les cavitats.

Photo 2: Aspect of the main chamber of Coves Petites (Capdepera). The mechanical readjustment processes that affect ceilings and walls of Majorcan caves often end up by eliminating all the traces of initial excavation phases of the cavities.

Les coves enquadrables dins aquest grup presenten en general una trajectòria subhoritzontal i una decoració estalagmítica destacable; en alguns casos les seves sales assoleixen unes magnituds tridimensionalment notòries. L'exemple més representatiu és sense dubte la Cova de sa Campana (Escorca), que és la cavitat més fonda de Mallorca amb un desnivell de -304 metres, i en la qual alguna de les sales ultrapassa els 100.000 m^3 de volum (BARRERES *et al.*, 1976; MIR & TRIAS, 1973). Hem d'esmentar també l'existència d'uns pocs avencs, com l'Avenc de Son Pou (Santa Maria del Camí), constituïts per espaioses sales subterrànies accessibles mitjançant obertures d'esfondrament situades en el zenit de la volta; aquestes formes endocàrstiques es correspondrien amb els *gouffres d'effondrement* —avencs d'esfondrament— de GÈZE (1953).

En relació amb els processos clàstics i les morfologies que es deriven de la seva actuació, convé al·ludir ara al següent fet: gairebé totes les tipologies subterrànies que es descriuran més endavant participen en major o menor grau dels trets definitoris del que hem convingut a denominar *coves clàstiques*. No obstant això, en uns casos la pervivència de vestigis dels buits inicials que originaren les cavitats, o en altres ocasions l'específic del context morfo-hidrològic actual, permeten que determinades cavernes es puguin adscriure a altres tipus espeleogenètics dotats d'un contingut molt més concret i diferenciat.

Coves estructurals. En aquest grup hi entren diverses coves, existents sobretot a la Serra de Tramuntana, i que consisteixen en grans sales subterrànies o successions d´àmplies cambres proveïdes d'una tendència general descendent. Les esmentades sales es desenvolupen a favor d'importants discontinuïtats estructurals subhoritzontals, com ara algunes falles o amb més freqüència plans d'encavalcament. Aquestes cavitats han estat retocades en major o menor mesura per processos clàstics, així com per dipòsits estalagmítics relativament abundants. Cavernes com la Cova de ses Meravelles (Bunyola), la Cova Morella i la Cova de Can Sion (Pollença) o la Cova de sa Tossa Alta (Escorca) representen exponents característics d'aquesta tipologia.

COVES FREÀTIQUES

Encara que no són massa nombroses, en les distintes regions càrstiques de l'illa hi ha coves que denoten una gènesi produïda per dissolució en règim freàtic (Foto 3). Ens trobam davant formes de conducció excavades originàriament a la banda inferior del massís càrstic, en la qual tots els buits existents —porositat tant d'origen primari (porus, fractures...) com secundari (cavitats de dissolució)— estan amarats d'aigua de manera permanent. És la *zona freàtica*, o zona de saturació, on el drenatge hipogeu s'organitza en sentit horitzontal, en direcció a les

the gouffres d'effondrement *—breakdown shafts— from GÈZE (1953).*

In relation to the breakdown or collapse processes and the morphologies that derive from their action, it is convenient to comment on the following fact: practically all the underground typologies that will be described subsequently participate to a certain extent in the defining features of what we have decided to call breakdown caverns. *However, in some cases the survival of remains of the initial voids that originated the cavities, or in other occasions the present specific morpho-hydrological context, allow certain caverns to be assigned to other speleogenetic types endowed with a much more specific and differentiated content.*

***Structurally controlled caves**. Several caves are included in this group, which are situated specially in Serra de Tramuntana, and that consist in big underground chambers or series of wide galleries provided with a general descendent tendency. The mentioned chambers develop in favour of important structural subhorizontal discontinuities, like some faults or more frequently overthrust planes. These cavities have been retouched to a certain extent by breakdown processes, as well as by relatively abundant speleothem deposits. Caverns such as Cova de ses Meravelles (Bunyola), Cova Morella and Cova de Can Sion (Pollença) or Cova de sa Tossa Alta (Escorca) represent typical examples of this typology.*

PHREATIC CAVES

Although they are not very numerous, in different karstic regions of the island there are caves that show a genesis produced by dissolution in the phreatic zone (Photo 3). We encounter drainage forms originally excavated in the lower part of the karstic massif, in which all the voids in existence —porosity both from a primary origin (pores, fractures...) or

Foto 3: Morfologies de dissolució en règim freàtic, observables a les galeries de la Cova de Cal Pesso (Pollença).

Photo 3: Phreatic dissolution morphologies which can be observed in the galleries of Cova de Cal Pesso (Pollença).

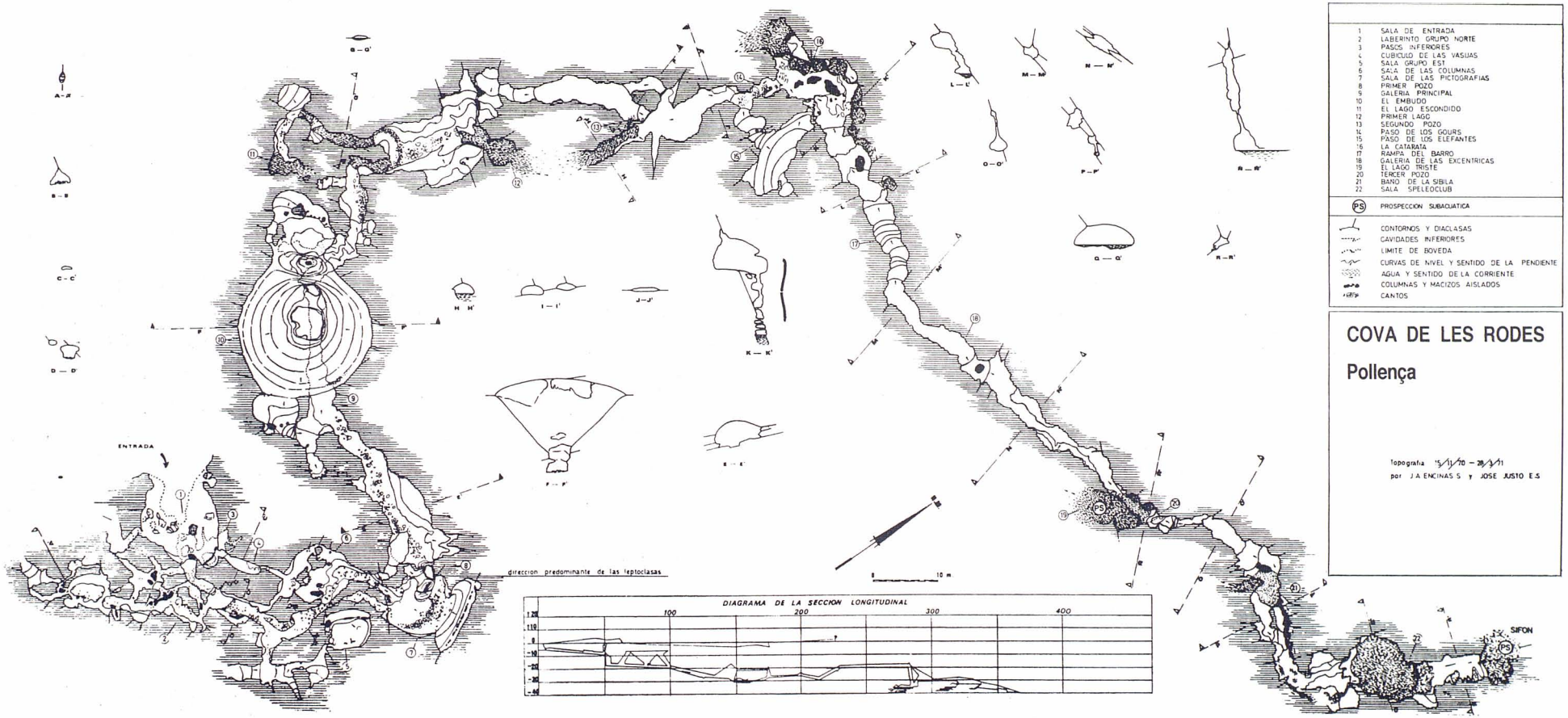

Figura 3: Topografia d'una cova d'origen freàtic, encara hidrològicament activa. Per algunes de les seves galeries discorre avui en dia un petit corrent subterrani perenne (Cova de les Rodes, Pollença, segons ENCINAS, 1972).

Figure 3: Topographical survey of a cave phreatic in origin, still hydrologically active. At present, a small permanent stream flows through some of its galleries (Cova de les Rodes, Pollença, after ENCINAS, 1972).

surgències encarregades d'evacuar les aigües que circulen per l'interior del sistema càrstic (Figura 1).

Algunes de les cavitats pertanyents a aquesta categoria són encara actives pel que fa a la seva funcionalitat hidrològica, i es veuen recorregudes avui en dia per petits corrents subterranis perennes. No obstant això, la majoria de les vegades aquests aparells endocàrstics han esdevingut desconnectats de la circulació subterrània activa, com a conseqüència de l'evolució geomorfològica del sistema càrstic, i han sofert sovint una intensa evolució morfològica ocorreguda ja en un medi vadós (processos clàstics, formació d'espeleotemes...). Dins la classe espeleogenètica que ens ocupa, es distingiran:

Galeries de drenatge. Es tracta de coves constituïdes per galeries rectilínies (Figura 3), no gaire ramificades, amb abundants morfologies arrodonides de dissolució en règim freàtic (cúpules, etc). En algunes ocasions discorren pel seu interior petits rius hipogeus, com passa a la Cova de les Rodes (Pollença) o a la Cova des Torrent de Cúber (Escorca). En altres casos són aparells no funcionals —com la Cova des Mirador (Escorca), la Cova de Canet (Esporles) o la Cova de Cal Pesso (Pollença)— que donen compte de la complexa i dilatada història geomorfològica dels relleus de la Serra de Tramuntana.

Coves laberíntiques. Aquest tipus de cavitat, generalment de dimensions reduïdes, està integrat per petits fragments inactius de xarxes laberíntiques de conductes, excavats en altre temps dins la zona inundada del massís càrstic. La Cova de Son Burguet (Puigpunyent) i la Cova d'en Tocahores (Petra) en són exemples ben representatius.

Tant en la present tipologia com en l'anterior, l'origen freàtic de l'excavació dels buits primigenis és del tot evident, malgrat l'ulterior evolució vadosa experimentada per les cavitats en qüestió. En ambdós casos sembla tractar-se d'una gènesi freàtica poc profunda, relacionada sovint amb la banda de fluctuació del pla de les aigües subterrànies, o zona epifreàtica.

COVES LITORALS

És aquesta una categoria molt ben representada en algunes de les àrees càrstiques de l'illa, en particular a la regió natural del Migjorn. Hi entren una interessant gamma de coves l'origen i posterior evolució morfològica de les quals estan condicionats, directament o indirecta, per la proximitat relativa de la línia de costa. Diferenciarem les dues tipologies següents:

Coves de la zona de mescla costanera. Les nombroses formes endocàrstiques existents en el Miocè post-orogènic del Sud i del Llevant de Mallorca ofereixen unes característiques peculiars, que han estat objecte de bastant atenció des de finals del segle

secondary (dissolution cavities)— are soaked with water permanently. It is the phreatic zone, *or saturation zone, where the underground drainage is arranged in a horizontal direction, towards the springs in charge of evacuating the waters that flow inside the karstic system (Figure 1).*

Some of the cavities that belong to this category are still active with regard to their hydrological functionality, and nowadays they are traversed by perennial but little important subterranean streams. However, most of the times these endokarstic phenomena have become disconnected from active underground flowing, as a result of the geomorphological evolution of the karstic system, and they have often undergone an intense morphological evolution already taken place in a vadose environment (breakdown processes, speleothem formation...). Within the speleogenetic category that we are dealing with, we can distinguish:

***Drainage conduit-caves**. They are caves formed by rectilinear passages (Figure 3), not very ramified, with abundant rounded solutional features characteristic of the phreatic zone (cupolas, etc). Sometimes, subterranean streams flow inside, as it occurs in Cova de les Rodes (Pollença) or in Cova des Torrent de Cúber (Escorca). In other cases they are non functional features —such as Cova des Mirador (Escorca), Cova de Canet (Esporles) or Cova de Cal Pesso (Pollença)— that reveal the complex and extensive geomorphological history of the reliefs in the Serra de Tramuntana area.*

***Network caves**. This kind of cavity, generally of reduced dimensions, is integrated by small inactive fragments of labyrinthine conduit networks excavated in the past inside the flooded part of the karstic massif. Cova de Son Burguet (Puigpunyent) and Cova d'en Tocahores (Petra) are very representative examples.*

Both in the present and former typology, the phreatic origin of the initial voids excavation is absolutely evident, in spite of the later vadose evolution experienced by these cavities. Both cases seem to deal with a shallow phreatic genesis, often related to the fluctuation zone of the underground water-table, or epiphreatic zone.

LITTORAL CAVES

This is a well-represented category in some of the karstic areas of the island, particularly in the natural region of Migjorn. We can include an interesting range of caves whose origin and later morphological evolution are conditioned, directly or indirectly, by the relative nearness to the coast line. We will differentiate the two following typologies:

***Coastal mixing-zone caves**. The numerous endokarstic forms existing in the post-orogenic*

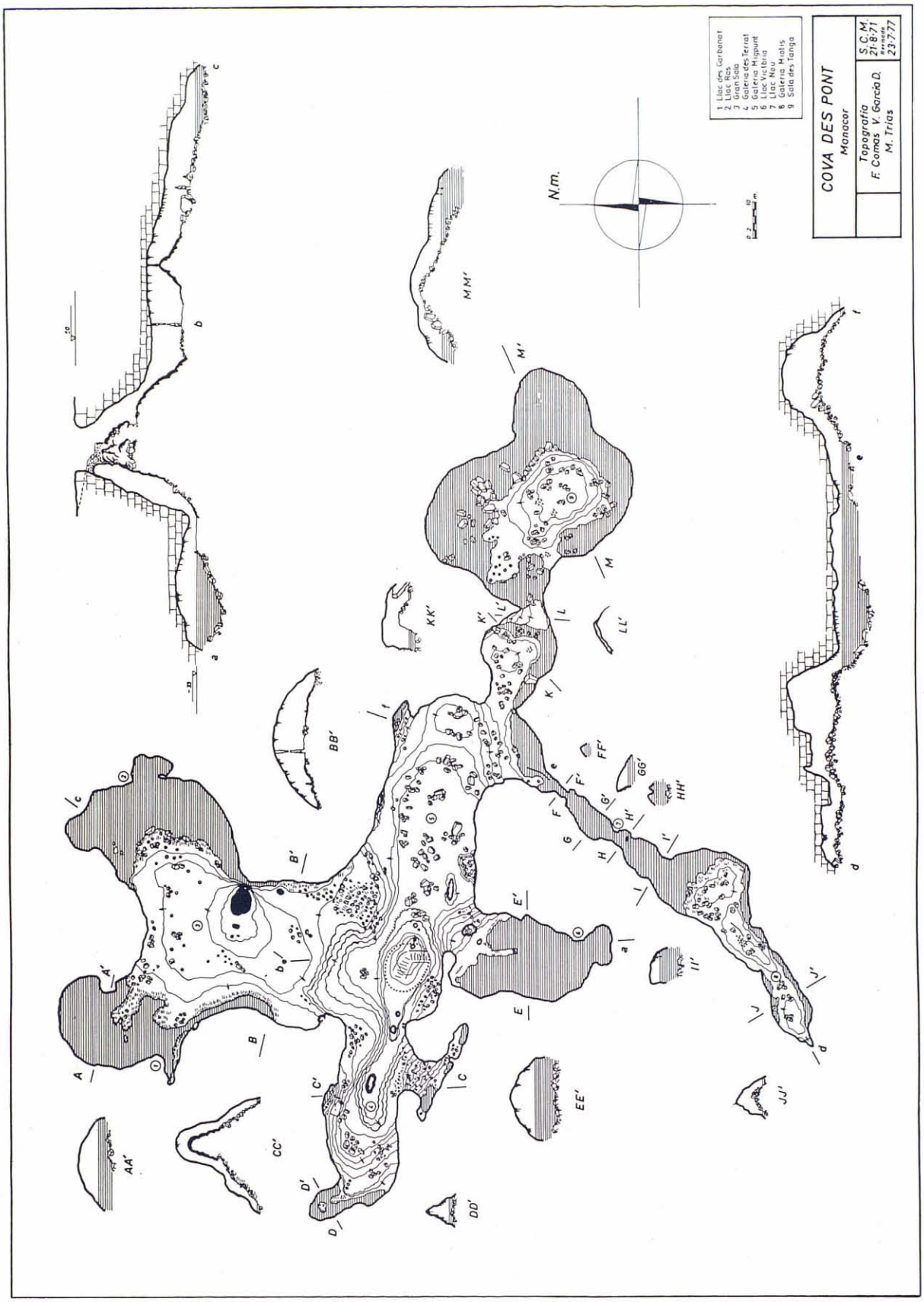

Figura 4: Topografia d'una cova típica del carst litoral que configura el Migjorn de Mallorca. Cal destacar la gran rellevància dels processos clàstics, així com la presència de petits llacs d'aigües salobres en correspondència amb l'actual nivell de la mar (Cova des Pont, Manacor, segons TRIAS & MIR, 1977).

Figure 4: Topographical survey of a typical cave from the littoral karst that constitutes the Migjorn area of Mallorca. The great relevance of breakdown processes must be emphasized, as well as the presence of small brackish pools in accordance with the current sea level (Cova des Pont, Manacor, after TRIAS & MIR, 1977).

passat, tal i com ja s'ha esmentat a l'apartat introductori.

Recentment s'ha suggerit un model genètic per a aquestes cavitats (GINÉS & GINÉS, 1992) que contempla la formació d'uns buits inicials, generats per dissolució en la zona freàtica litoral. Ara per ara està ben documentat l'actiu paper geoquímic dels ambients freàtics costaners en roques carbonatades, amb les conseqüents repercussions espeleogenètiques i geomorfològiques que es deriven dels processos de mescla entre aigües continentals dolces i aigües marines (BACK *et al.*, 1984).

Aqueixes cavitats primigènies han experimentat durant el Pleistocè successius esfondraments de les parets i les voltes (Figura 4), els quals s'alternen i coexisteixen al llarg del temps amb intenses fases d'estalagmitització. La gran rellevància que presenten els processos clàstics condiciona gairebé totalment l'aparença actual d'aquest tipus de coves, essent també responsable de la seva obertura a l'exterior mitjançant enfonsades de vegades bastant vistoses. L'evolució més recent d'aquestes cavernes no ha estat aliena a les oscil·lacions glàcio-eustàtiques de la Mediterrània, albergant reompliments molt específics (espeleotemes freàtics, bretxes ossíferes...) de gran valor espeleocronològic i paleoclimàtic; així mateix, el nivell actual de la mar determina la presència de llacs subterranis d'aigües salobroses (Foto 4), la superfície dels quals acusa la influència de fluctuacions menors com ara les marees.

Miocene limestones of the South and East of Mallorca (Migjorn area) offer some peculiar characteristics, which have been the object of a considerable attention from the end of the last century, as it has already been mentioned in the introductory section.

Recently, a genetic model for these cavities has been suggested (GINÉS & GINÉS, 1992) that deals with the formation of some initial voids, generated by dissolution in the littoral phreatic zone. At present, the active geochemical role of the coastal phreatic environments on carbonated rocks is well-documented, with the consequent speleogenetic and geomorphological repercussions that derive from mixing processes between fresh continental waters and sea waters (BACK et al., *1984).*

Those primitive cavities have undergone, during Pleistocene times, successive wall and ceiling collapses (Figure 4), which alternate and co-exist throughout time with intense stalagmitization phases. The great importance attained by breakdown processes conditions practically all the present aspect of this kind of caves, being also responsible for their opening to the exterior through collapse entrances that are quite conspicuous in some cases. The most recent evolution of these caverns has been affected by the glacio-eustatic oscillations of the Mediterranean, lodging frequently very specific infillings (phreatic speleothems, ossiferous breccias...) of a great speleochronological and paleoclimatic value; besides, the current sea level

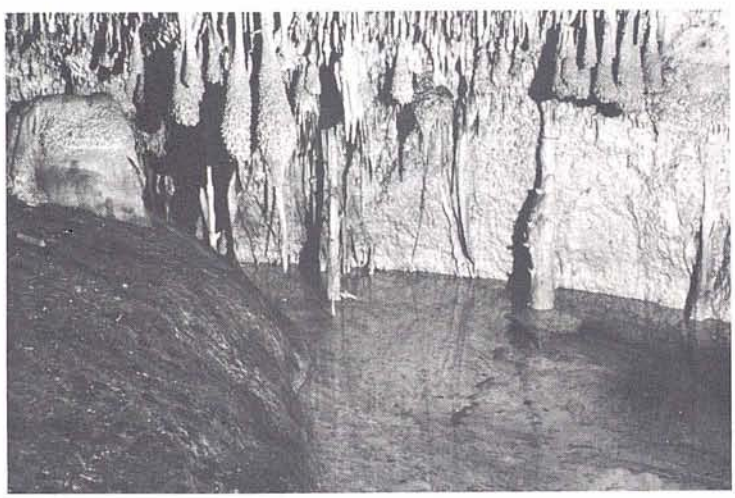

Foto 4:
Un dels nombrosos llacs d'aigües salobroses existents en les Coves del Drac (Manacor), la presència dels quals està controlada pel nivell marí actual. Es poden observar alguns exemplars d'espeleotemes freàtics corresponents a paleonivells de la mar Mediterrània.

Photo 4:
One of the numerous brackish pools that exist in Coves del Drac (Manacor), whose presence is controlled by the present sea level. Some phreatic speleothem examples can be observed which correspond to Mediterranean sea paleolevels.

Les localitats més il·lustratives de la tipologia descrita es localitzen a les rodalies de Portocristo, en indrets com Can Frasquet on es conten fins a 14 coves importants —Coves del Pirata, Cova des Pont...— en una extensió de tan sols 1 km² (TRIAS & MIR, 1977). Però, sense dubte, l'exemple paradigmàtic està representat per les Coves del Drac, famosa cova turística del terme de Manacor que compta endemés amb una extensa literatura espeleològica que en fa referència (vegeu GINÉS & GINÉS, 1992).

determines the presence of underground brackish pools (Photo 4), whose surface reveals the influence of minor fluctuations such as tides.

The most illustrative locations of the described typology are found in the outskirts of Portocristo, in places like Can Frasquet where until 14 important caves can be counted —Coves del Pirata, Cova des Pont...— in an extension of only 1 km².(TRIAS & MIR, 1977). But, no doubt, the paradigmatic example is represented by Coves del Drac, a famous touristic show-cave in the municipality of Manacor which has,

Coves càrstico-marines. En un medi insular com el nostre són bastant abundants les cavitats subterrànies que tenen l'accés a les proximitats de la línia de costa. En moltes ocasions es tracta d'autèntiques coves de gènesi marina excavades per l'acció erosiva, majoritàriament mecànica, lligada a la dinàmica litoral de les aigües marines. Aquests fenòmens no ofereixen en si un excessiu interès en relació a la finalitat d'aquest treball, ja que són formes del tot alienes als processos de carstificació.

No obstant això, hi ha una categoria de cavitats —molt ben representades a Mallorca— de gènesi en bona part marina i que a més mostren un elevat interès geomorfològic. És el que MONTORIOL-POUS (1971) anomena *captures càrstico-marines*, les quals consisteixen en cavernes d'un clar origen càrstic afectades en major o menor grau pels processos d'erosió costanera. Unes vegades són simplement coves càrstiques amb l'orifici d'accés obert gràcies a l'actuació de la dinàmica litoral, com és el cas de la Cova de na Barxa (Capdepera) o de la Cova de Cala Falcó (Manacor). En altres ocasions ens trobam davant aparells endocàrstics gairebé desmantellats del tot per l'evolució morfològica de la línia de costa (Foto 5); l'espectacular arc de la Cova Marina des Pont (Manacor) és un excel·lent exemple d'aquesta casuística. Dins les cavitats que reuneixen les característiques descrites sovintegen els dipòsits sedimentaris, de gran valor espeleocronològic, on s'intercalen complexes seqüències d'espeleotemes juntament amb bretxes ossíferes i sediments diversos d'origen marí.

moreover, an extensive speleological literature devoted to it (see GINÉS & GINÉS, 1992).

***Marine-karstic caves**. In an insular environment as ours, there is an abundance of underground cavities that have their entrances to the proximities of the coast line. Very often, they are genuine marine caves excavated by erosive action, mostly mechanical, related to the littoral dynamic of sea waters. These phenomena do not offer too much interest with regard to the aim of this work, since they are forms that do not take any part in karstification processes.*

However, there is a category of cavities —very well-represented in Mallorca— whose genesis is partially marine and that show a significant geomorphological interest. It is what MONTORIOL-POUS (1971) calls karstic-marine captures, *which consist of caverns that are clearly karstic in origin but affected to a certain extent by coastal erosive processes. Sometimes, they are simply karstic caves with their entrances opened thanks to the littoral dynamic action, such as the case of Cova de na Barxa (Capdepera) or Cova de Cala Falcó (Manacor). Other times, we encounter endokarstic forms practically dismantled by the morphological evolution of the coast line (Photo 5); the spectacular arch of Cova Marina des Pont (Manacor) is an excellent example of this casuistry. Sedimentary deposits of a great speleochronological value are frequent inside the cavities that assemble the described characteristics, where complex speleothem sequences are intercalated together with ossiferous breccia and various sediments marine in origin.*

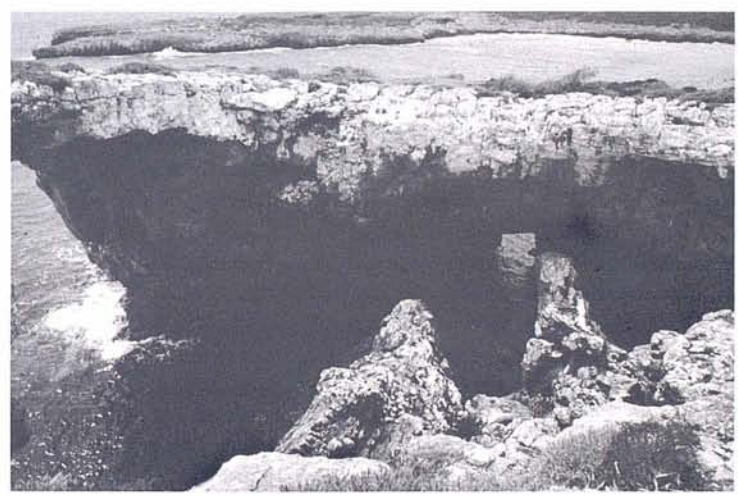

Foto 5:
La Cova Marina des Pont (Manacor) és un cas ben clar de cova càrstica gairebé totalment desmantellada pels processos d'erosió costanera.

Photo 5:
Cova Marina des Pont (Manacor) is a clear case of karstic cave almost totally dismantled by processes of coastal erosion.

Conclusió: distribució geogràfica de les categories espeleogenètiques

Amb la finalitat de sintetitzar al màxim el contingut d'aquestes pàgines, s'han confeccionat sengles gràfics (Taula I; Figura 1), els quals donen compte de

Conclusion: geographical distribution of speleogenetic categories

With the purpose of synthesizing the content of these pages to the utmost, several diagrams have been prepared (Table I; Figure 1), which assemble

les grans categories espeleogenètiques proposades així com de les diferents tipologies de cavitats que les integren.

S'ha aprofitat la Taula I per incloure-hi una valoració relativa sobre el grau de representació dels distints tipus de fenòmens endocàrstics a les principals regions càrstiques de l'illa. En aquest sentit, s'expressa per a cada tipus de cavitat la seva *abundància* significativa o tan sols la *presència* ocasional; convé consignar que, en elaborar l'esmentada taula, quan una determinada tipologia és francament rara dins una àrea geogràfica concreta ha estat considerada com a no present en ella.

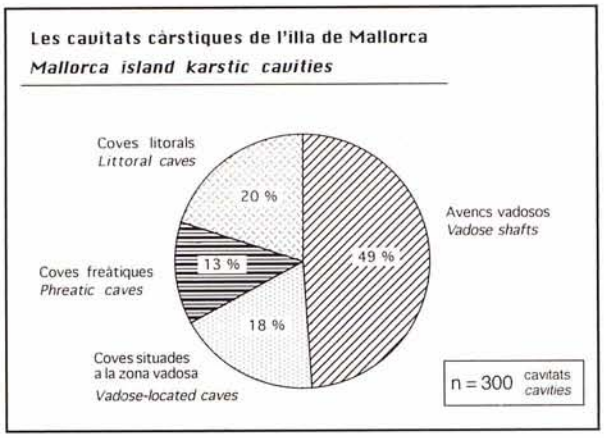

Figura 5: Distribució de les cavitats càrstiques del conjunt de l'illa entre les quatre grans categories espeleogenètiques que s'han distingit en el text.

Figure 5: Distribution of karstic cavities of the whole island among the four speleogenetic categories that have been distinguished in the text.

Pel que fa a les dimensions del milenar de coves i avencs coneguts ara per ara, aquestes poden esser qualificades de modestes: tan sols unes quantes coves superen el quilòmetre de desenvolupament horitzontal, i la profunditat màxima que assoleixen les cavitats supera de molt poc els 300 metres de desnivell.

Per acabar aquest treball, exposarem algunes consideracions sobre la distribució espacial de les categories espeleogenètiques distingides en el text. Les dades que s'expressaran es refereixen a una població de tres-centes coves i avencs, que es consideren representatius tant de les característiques morfològiques de les cavitats mallorquines, com de la seva abundància relativa respecte a la globalitat dels fenòmens subterranis de l'illa.

La Figura 5 palesa el predomini, a nivell del conjunt de Mallorca, de la categoria que hem denominat *avencs vadosos*. Aquesta classe suposa de fet gairebé el 50 % de les localitats estudiades, repartint-se la resta de manera bastant equilibrada entre les altres tres categories proposades.

La situació és prou diferent si observam per separat les formes hipogees de les principals regions

the speleogenetic categories proposed as well as the different typologies of cavities that compose them.

We have made use of Table I in order to include a relative assessment on the representation degree of the different kinds of endokarstic phenomena in main karstic regions of the island. In this sense, its significant abundance *or just the occasional* presence *have been pointed out for each type of cavity; it is convenient to state that, on elaborating the mentioned table, when a particular typology is clearly rare in a specific geographical area it has been considered as non existent.*

With regard to the dimensions of the more than a thousand of caves and shafts known up till now, these can be rated as modest: just a few caves exceed a kilometre of horizontal extension, and the maximum depth that the cavities attain exceeds just over 300 metres.

To complete this work, we will bring forward some considerations on the spatial distribution of the speleogenetic categories distinguished in the text. The data that will be mentioned refer to a population of three hundred caves and shafts, which are considered representative of both the morphological characteristics of Majorcan cavities and of their relative abundance with regard to the totality of the underground phenomena in the island.

Figure 5 shows the prevalence, on the whole of Mallorca, of the category that we have called vadose shafts. *This class involves in fact practically 50 % of the studied localities, the rest are spread quite evenly among the three other proposed categories.*

The situation is quite different if we observe separately the subterranean morphologies of the main karstic regions of the island (Figure 6). While the cavities in Serres de Llevant are distributed with relative homogeneity among the speleogenetic groups taken into consideration, in Serra de Tramuntana a vast majority of vadose shafts *can be observed followed at a certain distance by the categories that assemble both the* vadose-located caves *and the* phreatic caves. *However, the karstic zone of Migjorn presents a completely different endokarst, characterized by the almost total predominance of the category that we have distinguished under the name of* littoral caves.

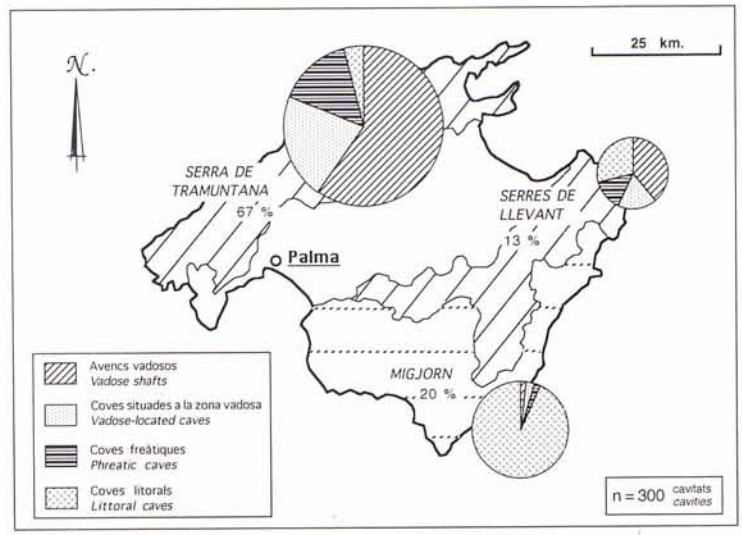

Figura 6:
Distribució de les categories espeleogenètiques proposades, dins les tres principals regions càrstiques de Mallorca.

Figure 6:
Distribution of the proposed speleogenetic categories, in the three main karstic regions of Mallorca

càrstiques de l'illa (Figura 6). Mentre les cavitats de les Serres de Llevant es distribueixen amb relativa homogeneïtat entre els grans grups espeleogenètics considerats, a la Serra de Tramuntana es constata un aclaparadora majoria d'*avencs vadosos* seguits, a bastant distància, de les categories que agrupen tant les *coves situades en la zona vadosa* com les *coves freàtiques*. La zona càrstica del Migjorn presenta en canvi un endocarst radicalment distint, caracteritzat pel predomini quasi total de la categoria que hem distingit sota el terme de *coves litorals*.

Agraïment

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

Acknowledgement

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

Bibliografia / *References*

BACK, W.; HANSHAW, B. B. & VAN DRIEL, J. N. (1984): Role of groundwater in shaping the eastern coastline of the Yucatan Peninsula, Mexico. In: LAFLEUR, R. G. (Ed.): *Groundwater as a Geomorphic Agent*. Allen & Unwin Inc. 281-293. Boston.

BARRERES, M.; FERRERES, J. & CARDONA, F. (1976): La cueva de Sa Campana y el karst de Castellots (Mallorca). *Speleon.* 22 : 43-74. Barcelona.

BÖGLI, A. (1980): *Karst hydrology and physical speleology*. Springer-Verlag. 284 pàgs. Berlin.

DARDER, B. (1925): La tectonique de la région orientale de l'ile de Majorque. *Bull. Soc. Géol. France.* 4 (25) : 245-278. París.

ENCINAS, J. A. (1972): Contribuyendo al estudio del karst del valle de Sant Vicenç de Pollença (Mallorca). Espeleogénesis y espeleografía. *Geo y Bio Karst.* 31: 15-22. Barcelona.

ENCINAS, J.A.; LLOBERA, M. & LLOBERA, P.J. (1974): Introducción a una clasificación espeleogenética de las cuevas y simas de Mallorca (Baleares). *Endins.* 1 : 3-10. Palma de Mallorca.

FAURA Y SANS, M. (1926): *Las cuevas de Mallorca.* Publ. Inst. Geol. Min. España. XIV Congreso Geológico Internacional. 78 pàgs. Madrid.

FORD, D.C. (1965): The origin of limestone caverns: a model from the central Mendip Hills, England. *Bull. Nat. Spel. Soc.* 27 : 109-132. Huntsville.

FORD, D.C. & EWERS, R.O. (1978): The development of limestone cave systems in the dimensions of length and depth. *Can. Journ. Earth Scienc.* 15 : 1783-1798.

FORD, D.C. & WILLIAMS, P.W. (1989): *Karst Geomorphology and Hydrology*. Unwin Hyman. 601 pàgs. Londres.

GAY, S. & CHAMPSAUR, B. (1885): *Album de las cuevas de Artá y Manacor.* Luis Fábregas - Librería Española. 50 pàgs + 2 plànols+ 25 gravats. Palma de Mallorca, Barcelona.

GÈZE, B. (1953): La genèse des gouffres. *1er. Cong. Intern. Spéleól.* 2 : 11-23. París.

GINÉS, A. & GINÉS, J. (1987): Características espeleológicas del karst de Mallorca. *Endins.* 13 : 3-19. Palma de Mallorca.

GINÉS, A. & GINÉS, J. (1992): Las Coves del Drac (Manacor, Mallorca). Apuntes históricos y espeleogenéticos. *Endins.* 17-18 : 5-20. Palma de Mallorca.

GINÉS, J. & GINÉS, A. (1974): Estudio estadístico de las cavernas de Mallorca. *Endins.* 1 : 11-16. Palma de Mallorca.

GINÉS, J. & GINÉS, A. (1989): El karst en las islas Baleares. In: DURÁN, J. J. & LÓPEZ, J. (Ed.): *El Karst en España.* Sociedad Española de Geomorfología. Monografía 4: 163-174. Madrid.

JENNINGS, J. N. (1985): *Karst Geomorphology.* Basil Blackwell. 293 pàgs. Oxford.

JOLY, R. de & DENIZOT, G. (1929): Note sur les conditions d'établissement des grottes du Dragon, Région de Manacor (Majorque, Baléares). *C. R. S. Soc. Géol. France.* 5 : 65-66. París.

LOZANO, R. (1884): *Anotaciones físicas y geológicas de la Isla de Mallorca.* Excma. Dip. Prov. Baleares. Imprenta Casa de Misericordia. 10-12. Palma de Mallorca.

MAHEU, J. (1912): Exploration et flore souterraine des cavernes de Catalogne et des Iles Baléares. *Spelunca.* 8 (67-68) : 1-108. París.

MARTEL, E. A. (1896): Sous Terre. Cueva del Drach, à Majorque. *Ann. Club Alpin Franç.* 23 : 1-32. París.

MIR, F. & TRIAS, M. (1973): Sobre el karst de la Cova de sa Campana i les seves concrecions excèntriques. *III Simp. Esp. Comunicacions.* 53-70. Mataró.

MONTORIOL-POUS, J. (1951): Los procesos clásticos hipogeos. *Rassegna Speleol. Italiana.* 3 (4) : 119-129. Como.

MONTORIOL-POUS, J. (1971): Estudio de una captura kárstico-marina en la isla de Cabrera (Baleares). *Acta Geológica Hispánica.* 6 (4) : 89-91. Barcelona.

RENAULT, P. (1967): Contribution à l'étude des actions mécaniques et sédimentologiques dans la spéléogenèse. Première partie. *Annales de Spéléologie.* 22 (2) : 211-267. Moulis.

SWEETING, M. M. (1972): *Karst Landforms.* The Macmillan Press. 362 pàgs. Londres.

TRIAS, M. (1979): L'Avenc de ses Papallones. *Endins.* 5-6 : 29-31. Palma de Mallorca.

TRIAS, M. & MIR, F. (1977): Les coves de la zona de Can Frasquet - Cala Varques. *Endins.* 4 : 21-42. Palma de Mallorca.

TRIAS, M.; PAYERAS, C. & GINÉS, J. (1979): Inventari espeleològic de les Balears. *Endins.* 5-6 : 89-108. Palma de Mallorca.

WHITE, W. B. (1988): *Geomorphology and hydrology of karst terrains.* Oxford University Press. 464 pàgs. New York.