

DATACIONES Th/U DE ESPELEOTEMAS FREÁTICOS CONTROLADOS POR EL NIVEL MARINO, PROCEDENTES DE CUEVAS COSTERAS DE MALLORCA (España)

per Paola TUCCIMEI ¹, Joaquín GINÉS ^{2,3}, Àngel GINÉS ^{2,4},
Joan J. FORNÓS ³ & Pierluigi VESICA ⁵

Resum

Actualment és possible constatar la formació d'espeleotemes freàtics en la superfície dels llacs salobrosos de nombroses coves costaneres de l'illa de Mallorca (Espanya); la seva presència registra amb precisió l'altura mitjana del nivell marí en el moment de la deposició d'aquests carbonats freàtics. Per tant, els dipòsits antics d'espeleotemes freàtics poden ser utilitzats per a reconstruir les fluctuacions de la Mediterrània durant el Pleistocè ja que existeixen, en diverses coves de l'àrea en estudi, abundants alineacions elevades d'aquests espeleotemes que delimiten paleonivells assolits per les aigües freàtiques.

S'han datat alguns espeleotemes freàtics, usant el mètode Th/U, amb la intenció de determinar la posició del nivell marí durant el Pleistocè mitjà i superior. Han estat reconegudes tres estabilitzacions altes de la Mediterrània a diferents altures —entre 1,4 i 2,5 metres per damunt de l'actual nivell de la mar— en coves localitzades en distints sectors de la costa oriental de Mallorca. Les esmentades estabilitzacions es remunten a edats entorn dels 83, 108 i 124 ka B.P. i poden ser relacionades amb diversos events menors dins de l'estadi 5 del registre marí d'isòtops d'oxigen. Així mateix, s'inclouen en aquesta nota algunes dades mineralògiques sobre els espeleotemes datats.

Es poden observar diferències d'altura de fins 1 metre en mostres pertanyents al mateix paleonivell marí. Hi són particularment ben documentades les corresponents al subestadi isotòpic 5e, el qual es presenta registrat a altituds majors en les localitats més septentrionals. Aquestes anomalies altimètriques han de ser explicades en base a una deformació tectònica recent de l'àrea investigada.

Abstract

Phreatic speleothems form today at the surface of the brackish pools existing inside littoral caves of Mallorca island (Spain); their occurrence directly identifies the height of the sea level at the time of carbonate deposition. Therefore, ancient phreatic speleothems can be used to reconstruct Mediterranean fluctuations during the Pleistocene, since many raised alignments of these deposits are present in several caves of the studied area.

Some phreatic speleothems have been dated using the Th/U method in order to determine the position of the sea level during the Middle and Upper Pleistocene. Three high sea-stands have been recognized at different heights —between 1.4 and 2.5 meters above current sea level— in caves located in various sectors of the eastern coast of Mallorca. They date back to around 83, 108 and 124 ka B P and can be related to several minor events within stage 5 of the marine oxygen isotope record. Some mineralogical data about the analyzed samples are also included in this paper.

Differences in height of about 1 meter can be observed in samples corresponding to the same sea paleolevel. Those which are particularly well-documented pertain to substage 5e, with higher elevations towards the northernmost localities. These altimetric disturbances could be explained in terms of a tectonic tilt of the investigated area.

1 Dip. Scienze Geologiche, Università "Roma Tre", Roma, Italia.

2 Grup Espeleològic EST. Palma de Mallorca.

3 Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca.

4 Museu Balear de Ciències Naturals, Sóller, Mallorca.

5 Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali, CNR, Roma, Italia.

Introducción

Mallorca es una isla situada en el Mediterráneo occidental y constituida mayoritariamente por materiales carbonatados, que muestra fenómenos kárstico-costeros muy interesantes en cada una de sus diferentes regiones naturales. Numerosas cuevas kársticas litorales están presentes en toda la isla, siendo en particular abundantes a lo largo de su costa oriental. Dichas cavidades han experimentado una compleja evolución morfológica durante el Pleistoceno, y contienen depósitos que incluyen brechas con restos paleontológicos así como destacables espeleotemas. Los mencionados depósitos son de gran interés cronológico y paleoclimático (GINÉS & GINÉS, 1986; 1995) debido al hecho de que su deposición estuvo afectada con frecuencia por las oscilaciones marinas del Cuaternario.

Esta nota aporta un conjunto de informaciones suministradas por el estudio de espeleotemas freáticos de cuevas costeras mallorquinas, relacionados con paleoniveles marinos pleistocénicos. En este sentido, se ha desarrollado a lo largo de los últimos cuatro años un programa de estudios isotópicos de estos espeleotemas, el cual incluye dataciones efectuadas mediante el método Th/U que son el objeto de estas páginas.

Los espeleotemas freáticos en las cuevas de Mallorca

Las áreas kársticas del litoral de Mallorca presentan muchas cuevas parcialmente inundadas por aguas salobres (GINÉS, 1995), como consecuencia de la subida post-glacial del nivel marino. La inundación parcial de tales cuevas costeras creó lagos subterráneos, que algunas veces alcanzan grandes dimensiones. Estos lagos salobres representan un medio freático costero –controlado por el nivel del mar–, donde tienen lugar oscilaciones periódicas del plano de las aguas ajustadas a fluctuaciones marinas menores (mareas, oscilaciones barométricas).

Un gran número de diferentes tipos de espeleotemas freáticos están asociados con este singular ambiente geoquímico. Hoy en día, es frecuente la formación de calcita flotante sobre la superficie de estos lagos hipogeos; al mismo tiempo, llamativos sobrecrecimientos de carbonatos son observables en las orillas de dichos lagos y también alrededor de aquellas estalactitas o estalagmitas situadas en el actual rango de fluctuación de las aguas freáticas (POMAR *et al.*, 1979). También es común encontrar cristalizaciones freáticas similares, de calcita y/o aragonito, situadas algunos metros por encima de los actuales lagos salobres (GINÉS *et al.*, 1981b); mediante las bandas de espeleotemas que constituyen estas cristalizaciones, en el interior de algunas cavidades costeras se genera un detallado registro de antiguos paleoniveles marinos correspondientes a fluctuaciones de signo glacio-eustático.

Buena parte de las cristalizaciones freáticas –tanto las antiguas como las actuales– se desarrollan sobre espeleotemas vadosos pre-existentes, adoptando morfologías por lo general abultadas y globulares (Foto 1). Algunas veces estos sobrecrecimientos de carbonatos forman prominentes fajas horizontales alrededor de estalagmitas y columnas; en muchos casos, en especial cuando el sobrecrecimiento freático afecta al extremo inferior de estalactitas finas, la morfología original del espeleotema puede verse muy modificada. Ocasionalmente, láminas de calcita flotante pueden quedar atrapadas entre las capas de crecimiento de estos recubrimientos freáticos.

Los espeleotemas freáticos de las cuevas de Mallorca ofrecen una gran variedad morfológica, textural y mineralógica, tal como se ha puesto de manifiesto en diversas publicaciones (GINÉS *et al.*, 1981b; POMAR *et al.*, 1976). Estos autores apuntan el significado paleoclimático de su mineralogía, relacionando la presencia de aragonito con eventos cálidos que, en los sedimentos de playa, conllevan la aparición de fauna malacológica termófila típica del Eutirreniense (último interglacial).

El interés principal de estos procesos de precipitación de carbonatos es el siguiente: antiguas fluctuacio-

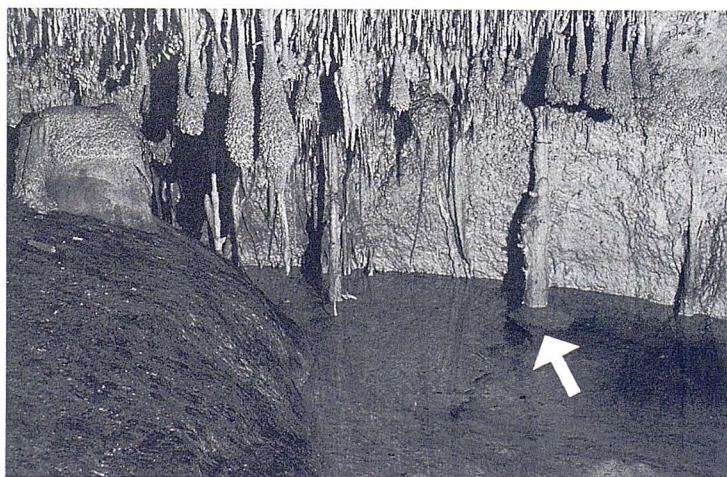


Foto 1:
Pequeño lago salobre en las Coves del Drac (Manacor). Obsérvese la presencia de espeleotemas freáticos antiguos por encima de la superficie del lago, así como un sobrecrecimiento cristalino subactual (señalado con una flecha) en el presente rango de fluctuación del plano de las aguas.

nes positivas del nivel marino, correspondientes a períodos interglaciales, han quedado registradas dentro de numerosas cuevas costeras por medio de alineaciones estrictamente horizontales de espeleotemas freáticos, situados a alturas diversas por encima de los actuales lagos subterráneos. La formación de esta clase de depósitos cristalinos está relacionada con paleoniveles alcanzados por el manto freático como resultado de las oscilaciones marinas glacio-eustáticas (GINÉS *et al.*, 1981a; POMAR *et al.*, 1987). El estudio de los espeleotemas freáticos situados por debajo del actual nivel marino representa una línea de investigación prometedora, que aportará mayores precisiones de cara al conocimiento de la historia de las oscilaciones del Mediterráneo durante el Pleistoceno.

En el caso de Mallorca, un gran número de paleoniveles de cristalizaciones freáticas han sido observados a alturas que abarcan desde el presente nivel marino hasta la cota de +40 metros s.n.m. En algunas publicaciones (GINÉS & GINÉS, 1974; GINÉS *et al.*, 1981a), se ha considerado la posibilidad de correlacionar altimétricamente estos depósitos con antiguas líneas de costa correspondientes al Pleistoceno medio y superior. Estas líneas de costa han sido identificadas por medio del estudio estratigráfico y paleontológico de las playas fósiles pleistocénicas de la isla, las cuales son bien conocidas gracias a las investigaciones sobre el Cuaternario llevadas a cabo por diversos autores (BUTZER, 1975; CUERDA, 1975).

En base a la interpretación geomorfológica mencionada más arriba, GINÉS & GINÉS (1974) sugirieron tempranamente que las cristalizaciones freáticas situadas a más de 30 metros sobre el actual nivel marino debían remontarse al menos al Paleotirreniense (interglacial Mindel - Riss). En 1981 se comenzó un programa preliminar de datación isotópica de espeleotemas freáticos de Mallorca. Los análisis fueron efectuados usando el método de las series de Uranio, y sus resultados confirmaron el modelo cronológico establecido previamente, basado en correlaciones altimétricas entre espeleotemas freáticos y depósitos de playa pleistocénicos. Los resultados de este programa de dataciones absolutas aportaron edades que abarcan desde 3.9 ka (cristalizaciones claramente post-glaciales) hasta >350 ka, alcanzando ya los límites de este método (HENNIG *et al.*, 1981; GINÉS & GINÉS, 1989, 1993a, 1993b). Las cristalizaciones freáticas analizadas cuyas edades son inferiores a 250 ka muestran una buena correlación con los eventos climáticos que implican un nivel marino similar o más alto que el actual (estadios 1, 5 y 7, los cuales representan pulsaciones de signo cálido); las muestras que aportan edades por encima de los 300 ka (paleoniveles situados a altitudes superiores a 30 metros s.n.m.) deben ser asignadas como mínimo a los estadios 9 o 11 del registro marino de isótopos de oxígeno establecido por SHACKELTON & OPDYKE (1973).

Dentro del contexto que se acaba de exponer, en 1994 tuvimos ocasión de emprender un nuevo programa de dataciones isotópicas de espeleotemas freáticos mallorquines, cuyos primeros resultados han sido avanzados de forma preliminar en VESICA *et al.* (1996) y TUCCIMEI *et al.* (1997).

Muestras estudiadas

Fueron obtenidas muestras de 12 espeleotemas freáticos, procedentes de 8 cuevas costeras de Mallorca (Figura 1), relacionados todos ellos presumiblemente con paleoniveles marinos interglaciales. La mayoría de

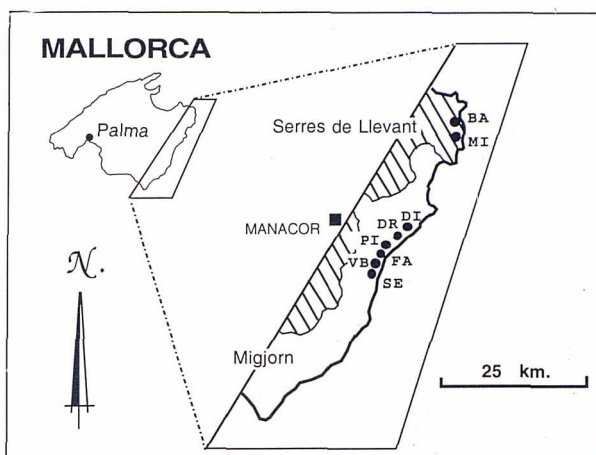


Figura 1: Mapa de localización de las cuevas investigadas.

BA: Cova de na Barxa; MI: Cova de na Mitjana; ambas en el municipio de Capdepera.
DI: Cova del Dimoni; DR: Covas del Drac; PI: Covas del Pirata; FA: Cova de Cala Falcò; VB: Cova de Cala Varques B; SE: Cova des Serral; todas ellas en el municipio de Manacor.

las cuevas investigadas se desarrollan en las calcarenitas post-orogénicas del Mioceno superior, que conforman la plataforma del Migjorn ubicada a lo largo del Sur y Sureste de la isla; por otra parte, sólo dos de las cavidades estudiadas –Cova de na Barxa y Cova de na Mitjana– se localizan en las calizas jurásicas plegadas, que integran el área montañosa de las Serres de Llevant. En la totalidad de las cuevas muestreadas abundan interesantes sobrecrecimientos freáticos de carbonatos, depositados sobre las paredes de las cavidades y también alrededor de estalactitas u otros espeleotemas aéreos.

Los espeleotemas freáticos recolectados registran diversas estabilizaciones marinas altas que se sitúan entre 1.4 y 5.8 metros por encima del presente nivel del mar, estando la mayoría de ellos localizados a altitudes que van desde 1.4 a 2.5 metros s.n.m.

Las informaciones altimétricas disponibles sobre los depósitos de playa pleistocénicos en Mallorca (BUTZER, 1975; CUERDA, 1975), sugieren que los paleoniveles marinos registrados por los espeleotemas muestreados deben pertenecer a fluctuaciones glacio-eustáticas positivas, que tuvieron lugar presumiblemente den-

tro del rango de aplicabilidad del método Th/U. En este contexto, se prepararon selectivamente 15 muestras, para proceder a su datación isotópica, con la intención de obtener información cronológica detallada sobre varias cuevas representativas, así como mayor precisión acerca de la historia del nivel del Mediterráneo a lo largo del Pleistoceno medio y superior.

Los datos referentes a las cuevas estudiadas, las muestras obtenidas, y las alturas de los paleoniveles marinos representados en cada localidad, aparecen reunidos en la Tabla I. La denominación de algunas muestras difiere ligeramente de la aportada en una nota preliminar anterior (TUCCIMEI *et al.*, 1997); este hecho se debe a que el propio desarrollo del programa ha obligado a realizar análisis complementarios y, en consecuencia, a reenumerar algunas de las muestras datadas con la intención de lograr una mayor claridad expositiva.

Para completar este apartado, incluiremos a continuación tan sólo algunas breves informaciones sobre las muestras analizadas y su localización en las cuevas investigadas:

– En la **Cova de Cala Falcó** (Manacor), a una altura de 1.9 metros s.n.m se recogieron diversas promi-

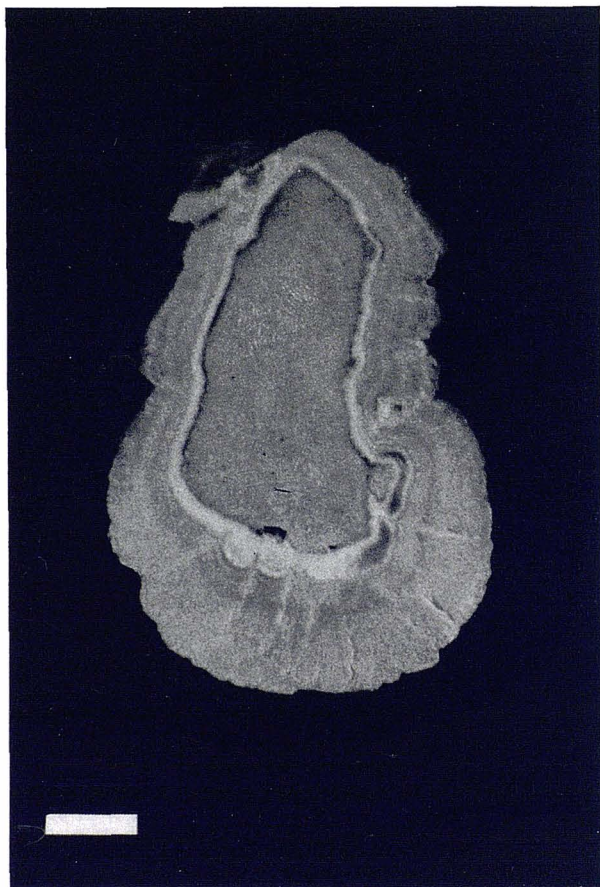


Foto 2: Sección longitudinal de la muestra *FA-D3-4*, procedente de la Cova de Cala Falcó (Manacor); la muestra pendía del techo en la posición que aparece en la fotografía. Se trata de una prominencia rocosa, dotada de un delgado sobrecrecimiento freático, correspondiente al final del último interglacial (83 ka). Escala gráfica = 1 cm.

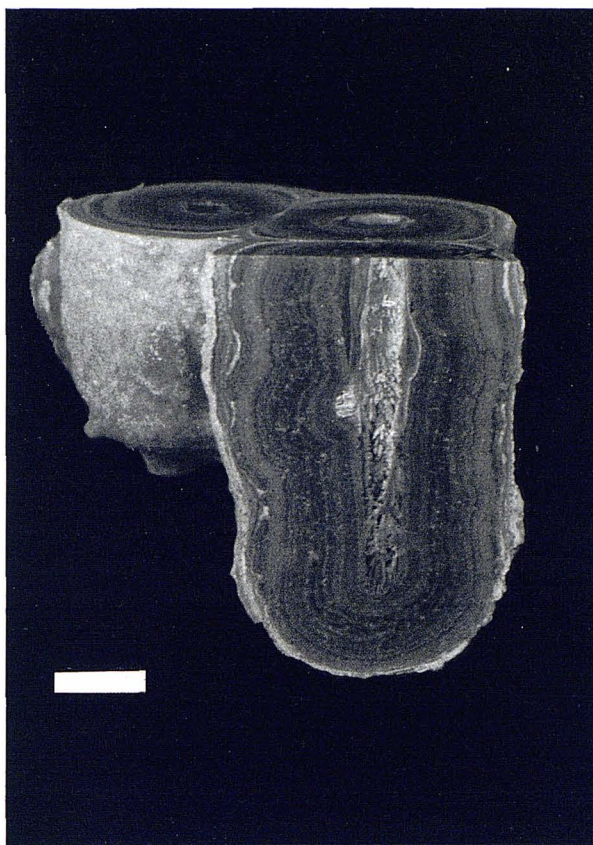


Foto 3: Muestra *VB-D2*, recolectada en la Cova de Cala Varques B (Manacor). Consiste en un conjunto de pequeñas estalactitas aéreas revestidas por un precipitado calcáreo de origen freático; la edad obtenida se sitúa en torno a los 83 ka. Escala gráfica = 1 cm.

nencias rocosas dotadas de un revestimiento freático de aproximadamente un centímetro de grosor máximo (Foto 2). En este caso el sobrecrecimiento freático no ha ocurrido sobre un soporte prominente constituido por un espeleotema aéreo, sino que tiene lugar sobre proyecciones rocosas relacionadas con la peculiar litología del complejo arrecifal del Mioceno superior, donde se halla excavada la cavidad. Las muestras fueron obtenidas en los alrededores de los pequeños lagos periféricos existentes en la zona septentrional de la cueva (ver topografía en TRIAS & MIR, 1977).

Muestra FA-D3-4: sobrecrecimiento freático sobre prominencia rocosa.

– Procedentes de la **Cova de Cala Varques B** (Manacor), se han analizado diversas cortas estalactitas recubiertas por un sobrecrecimiento freático centimétrico (Foto 3). Las estalactitas fueron recolectadas a +1.4 metros en las inmediaciones del lago que ocupa la cavidad de Norte a Sur, en el sector más próximo a la entrada de la caverna (TRIAS & MIR, 1977).

Muestra VB-D2: sobrecrecimiento freático alrededor de estalactita.

Muestra VB-D1-1: parte externa de sobrecrecimiento freático sobre estalactita.

Muestra VB-D1-2: parte interna del mismo sobrecrecimiento freático que la muestra anterior.

– En la pared oriental de la **Cova des Serral** (Manacor) se recolectó un fragmento de una abultada banda horizontal de cristalizaciones subacuáticas, situada a + 1.5 metros s.n.m. Se trata del mismo paleonivel datado años atrás (muestra *Serr10*; GINÉS & GINÉS, 1993b), si bien en esta ocasión ha sido muestreada la porción más interna del espeleotema.

Muestra SE-D2: parte interna de la mencionada banda de nivel.

– Algunas estalactitas provistas de sobrecrecimiento freático fueron recogidas en las **Coves del Pirata** (Manacor), las cuales registran un paleonivel marino situado a una cota de +2.1 metros. Estas estalactitas de formas redondeadas (Foto 4) abundan en las inmediaciones de los lagos que circundan el sector meridional de esta cueva (GINÉS & GINÉS, 1976).

Muestra PI-D1: revestimiento freático alrededor de estalactita.

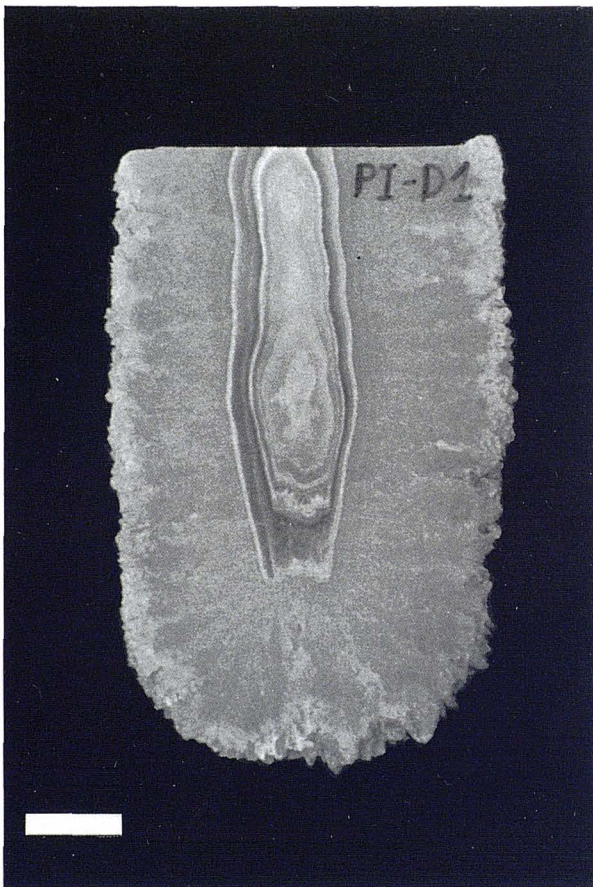


Foto 4: Sección longitudinal de la muestra *PI-D1* (Coves del Pirata, Manacor). Obsérvese la fina estalactita, que sirve de soporte a un delicado sobrecrecimiento freático atribuible al subestadio isotópico 5e (130 ka). Escala gráfica = 1 cm.

– En la interesante cavidad denominada **Cova del Dimoni** (Manacor) abundan los depósitos freáticos carbonatados, algunos de ellos constituidos por finas agujas aragoníticas. Concretamente, se han analizado

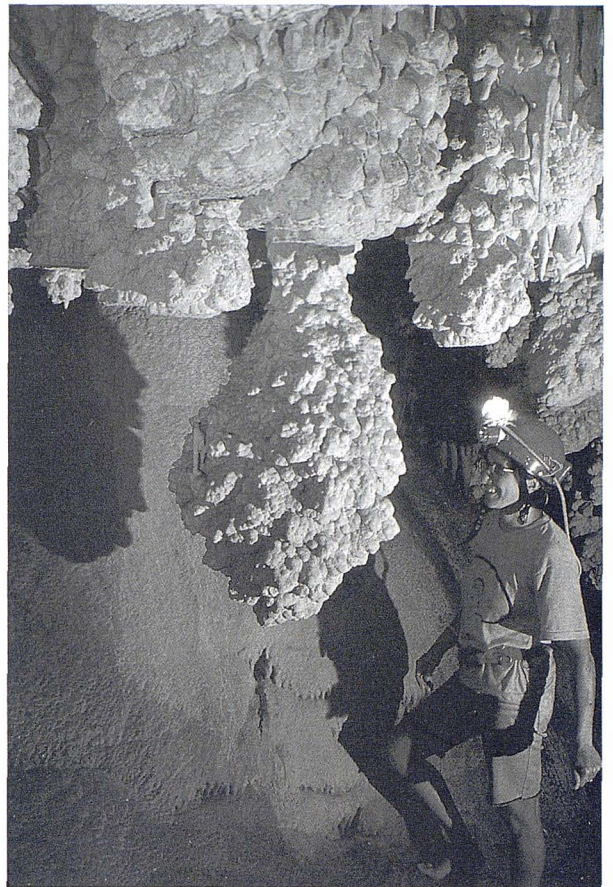


Foto 5: Espectacular espeleotema freático de la Cova de na Mitjana (Capdepera).

diversos espeleotemas que delimitan un claro paleonivel marino ubicado a una altura de 2.5 metros s.n.m.

Muestra DI-D3: sobrecrecimiento freático bulboso y de superficie lisa, sobre una fina estalactita.

Muestra DI-D1-1: parte externa de un recubrimiento parietal de textura acicular.

Muestra DI-D1-2: parte interna del mismo revestimiento freático.

– La **Cova de na Barxa** (Capdepera) presenta un paleonivel de espeleotemas freáticos localizado a una cota de +2.4 metros. Han sido recogidas varias estalactitas dotadas de un grueso revestimiento carbonatado, que les da una morfología mamelonar; dichos espeleotemas pendían del techo que se extiende por encima del lago principal de la cueva (ver topografía en ANDREWS *et al.*, 1989).

Muestra BA-D3: sobrecrecimiento freático masivo sobre estalactita.

– En la **Cova de na Mitjana** (Capdepera) existe un espectacular conjunto de grandes estalactitas bulbosas, como la de la Foto 5; estos espeleotemas freáticos registran un claro paleonivel marino situado en torno a los 6 metros s.n.m. (GINÉS *et al.*, 1975). A pesar de su aparente homogeneidad morfológica parece posible

reconocer la existencia de tres bandas de nivel distintas, localizadas a diferentes alturas (+3.9, +4.9 y +5.8 metros), de las que se han datado muestras correspondientes a cada una de ellas. Concretamente, el nivel de +3.9 metros fue ya datado con anterioridad, de tal modo que las muestras *MI-D1a* y *MI-D1b* se corresponderían con el paleonivel marino analizado mediante las muestras *Mitj7a* y *Mitj7b* de GINÉS & GINÉS (1993b).

Muestra MI-D1a: parte externa del sobrecrecimiento freático de cota +3.9 metros.

Muestra MI-D1b: parte interna del mismo sobrecrecimiento freático de la muestra anterior.

Muestra MI-D2: sobrecrecimiento freático de cota +4.9 metros.

Muestra MI-D3: sobrecrecimiento freático de cota +5.8 metros.

– Diversos paleoniveles freáticos aparecen representados en las **Coves del Drac** (Manacor), habiéndose datado uno de ellos situado a 3.3 metros s.n.m. La muestra analizada procede de las inmediaciones del **Llac Negre** (ver topografía en GINÉS & GINÉS, 1992), estando constituida por una estalactita provista de un revestimiento freático aragonítico de morfología exterior bulbosa y lisa.

Muestra DR-D4: Revestimiento freático sobre estalactita.

Resultados de las dataciones

Las dataciones absolutas de las muestras recolectadas fueron realizadas mediante el método de las series de Uranio (Th/U); los resultados analíticos obtenidos y las edades que dichos datos suministran aparecen recopilados en la Tabla I. Las edades calculadas van desde 83 ka hasta >350 ka, mostrando una buena correlación con los estadios 5 y 7 del registro de isótopos de oxígeno (Figura 2), los cuales corresponden a eventos de nivel marino alto asociados a pulsaciones climáticas de signo cálido. Una muestra procedente de las **Coves del Drac**, cuya antigüedad supera los límites de resolución del método, debe pertenecer como mínimo al estadio climático 9.

Se encuentran bien representadas diversas estabilizaciones marinas altas a edades de 83 ka, 108 ka y 124 ka B.P., cronologías que se correlacionan muy bien con las edades usualmente asignadas a los subestadios 5a, 5c, y 5e del registro isotópico marino (SHACKELTON & OPDYKE, 1973). Estos datos documentan tres estabilizaciones principales del Mediterráneo a alturas comprendidas entre 1.4 y 2.5 metros s.n.m., correspondientes al último acontecimiento interglacial, y de las cuales nos ocuparemos ahora con algo más de extensión.

Dos de los espeleotemas analizados, procedentes de la **Cova de Cala Falcó** y de la **Cova de Cala Varques B**, aportan edades situadas entre 71 ka y 83 ka (muestras *FA-D3-4*, *VB-D2* y *VB-D1-1*). Estas muestras

corresponden con bastante certeza al subestadio isotópico 5a, que a su vez se relacionaría con el piso Neotirreniense de la terminología marina mediterránea. Por otra parte, la muestra *DI-D3* de la **Cova del Dimoni** con una edad en torno a los 108 ka podría asignarse al subestadio 5c, al igual que sucedería con la muestra *Serr10* (GINÉS & GINÉS, 1993b) recolectada en la **Cova des Serral**.

Bastante más numerosas son las muestras datadas cuyas edades oscilan entre 112 ka y 130 ka (ver Tabla I y Figura 2); estos espeleotemas pueden ser asignados con bastante probabilidad al subestadio 5e, que se correlacionaría con los yacimientos típicos con fauna termófila atribuidos al Eutirreniense (CUERDA, 1975). Las muestras adscritas a este evento son: *VB-D1-2*, *SE-D2*, *PI-D1*, *DI-D1-1*, *DI-D1-2* y *BA-D3*, respectivamente de las siguientes localidades: **Cova de Cala Varques B**, **Cova des Serral**, **Coves del Pirata**, **Cova del Dimoni** y **Cova de na Barxa**.

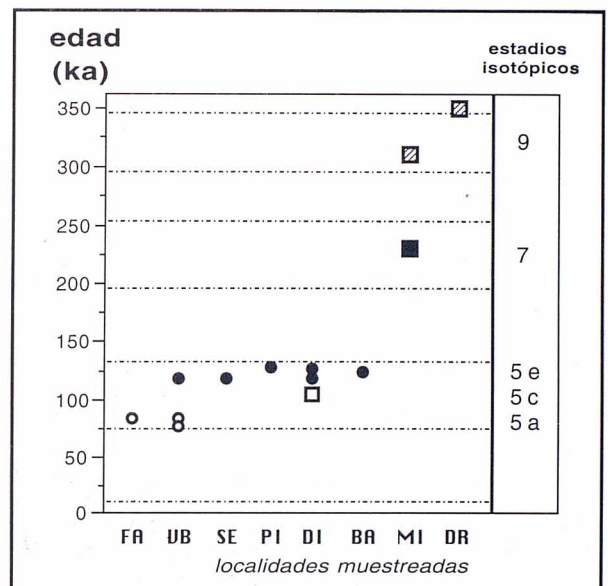


Figura 2: Edades obtenidas mediante el método Th/U de los espeleotemas freáticos estudiados en este programa de datación. Las cuevas están representadas en el mismo orden que en la Tabla I.

Recientes investigaciones (HILLAIRE-MARCEL *et al.*, 1996) permiten individualizar, dentro del subestadio 5e, dos estabilizaciones altas del Mediterráneo en torno a los 117 ka y 135 ka. Estos dos picos podrían ser reconocibles en los datos que se aportan ahora, si se atribuyen las muestras *PI-D1* y *BA-D3* a la estabilización de 135 ka y el resto (*VB-D1-2*, *SE-D2*, *DI-D1-1* y *DI-D1-2*) a la de 117 ka. De todas formas esta asignación más afinada resulta problemática, en razón de los relativamente amplios márgenes de error de algunas de las muestras citadas.

Un espeleotema de la **Cova de na Mitjana** (*MI-D2*) aporta una cronología de 232 ka, correlacionable con el estadio 7 del registro marino (Figura 2). Con respecto a las muestras datadas de esta localidad, hay que consig-

localidad	muestra	altura s.n.m. (m)	U (ppb)	234U/ 238U	(234U/ 238U) ₀	230Th/ 232Th	230Th/ 234U	edad (ka ± 2 σ)
Cv. de Cala Falcó	FA-D3-4 #	+ 1.9	542 ± 5	1.378 ± 0.003	1.528 ± 0.037	12.3 ± 0.2	0.554 ± 0.023	83.9 ± 5.0
Cv. C. Varques B	VB-D2 #	+ 1.4	228 ± 10	2.113 ± 0.099	2.41 ± 0.13	inf.	0.567 ± 0.025	83.4 ± 5.1
	VB-D1-1 #	+ 1.4	234 ± 3	2.100 ± 0.090	2.358 ± 0.12	12.1 ± 0.7	0.505 ± 0.008	71.3 ± 1.5
	VB-D1-2 #	+ 1.4	252 ± 4	1.519 ± 0.081	1.71 ± 0.08	inf.	0.632 ± 0.020	111.9 ± 5.7
Cova des Serral	SE-D2 *	+ 1.5	200 ± 4	1.453 ± 0.032	1.639 ± 0.046	240 ± 45	0.705 ± 0.019	121.3 ± 5.6
Coves del Pirata	PI-D1 *	+ 2.1	262 ± 9	1.663 ± 0.062	1.959 ± 0.092	inf.	0.745 ± 0.035	130.4 ± 14.0
Cova del Dimoni	DI-D3 *	+ 2.5	1887 ± 45	1.108 ± 0.015	1.147 ± 0.020	inf.	0.638 ± 0.020	107.9 ± 5.7
	DI-D1-1 *	+ 2.5	2640 ± 77	1.185 ± 0.013	1.255 ± 0.018	257.3 ± 25.4	0.660 ± 0.020	112.9 ± 5.8
	DI-D1-2 *	+ 2.5	1273 ± 48	1.090 ± 0.018	1.126 ± 0.025	inf.	0.676 ± 0.032	119.7 ± 10.0
Cova de na Barxa	BA-D3 *	+ 2.4	423 ± 19	1.430 ± 0.070	1.612 ± 0.103	inf.	0.715 ± 0.045	124.7 ± 14.0
Cv. de na Mitjana	MI-D1a *	+ 3.9	128 ± 9	0.791 ± 0.067	—	inf.	1.340 ± 0.112	—
	MI-D1b *	+ 3.9	52 ± 6	2.091 ± 0.257	—	inf.	10.403 ± 1.098	—
	MI-D2 *	+ 4.9	146 ± 4	1.057 ± 0.019	1.110 ± 0.037	46.85 ± 5.29	0.894 ± 0.024	231.9 ± 28
	MI-D3 *	+ 5.8	169 ± 1	0.972 ± 0.028	0.937 ± 0.035	51 ± 2	0.972 ± 0.035	> 300.7
Coves del Drac	DR-D4 *	+ 3.3	2888 ± 84	1.039 ± 0.016	—	inf.	1.038 ± 0.040	> 350

espectrometría de masa * conteo alfa

Tabla 1: Datos de las localidades y de las muestras obtenidas, así como resultados analíticos del programa de datación.

nar que las pertenecientes al paleonivel de +3.9 (*MI-D1a* y *MI-D1b*) no han suministrado relaciones isotópicas consistentes, que permitan aventurar una edad más o menos fiable. Perteneciente a este mismo paleonivel, se procedió a datar con anterioridad un espeleotema que arrojó una antigüedad de 88 ka (GINÉS & GINÉS, 1993b), si bien el espeleotema analizado había sufrido pérdidas post-deposicionales de Uranio. Por lo tanto, permanece abierta la incógnita acerca de si el mencionado paleonivel de +3.9 metros pertenece al subestadio 5a –como sugiere la datación efectuada hace años– o, por el contrario dicha edad no es fiable, tal y como podrían sugerir los análisis efectuados ahora.

También hay que consignar la presencia de dos espeleotemas (*MI-D3* y *DR-D4*), recogidos respectivamente en la **Cova de na Mitjana** y en las **Coves del Drac**, cuyas edades superan los 300 ka, ya en los límites de resolución del método Th/U. Estas muestras pueden ser atribuidas como mínimo al estadio 9, que se correspondería con el piso Paleotirreniense (interglacial Mindel - Riss).

Para finalizar se debe hacer referencia al siguiente hecho: cuando un determinado paleonivel marino se encuentra registrado en localidades diversas lo hace a alturas diferentes, que son siempre mayores en las localidades más septentrionales. En este sentido, los paleoniveles de espeleotemas freáticos pertenecientes a los subestadios 5a, 5c y 5e están registrados a mayor elevación conforme nos vamos desplazando en dirección Norte (Figura 3). Este hecho pone en evidencia una deformación tectónica del área investigada que se pro-

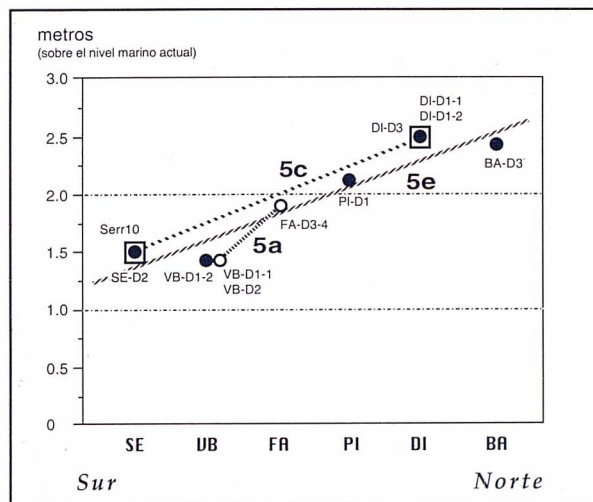


Figura 3: En este gráfico se recoge la altura a la que se encuentran los espeleotemas freáticos datados, pertenecientes a los diversos subestadios del último interglacial. Su elevación presenta una clara tendencia de incremento hacia el Norte, relacionable con deformaciones tectónicas recientes. La distribución latitudinal de las cuevas no está representada a escala. **Círculos blancos:** muestras atribuidas al subestadio 5a; **cuadrados:** muestras atribuidas al subestadio 5c; **círculos negros:** muestras atribuidas al subestadio 5e. Datos de la muestra *Serr10* según GINÉS & GINÉS (1993b).

dujo, al menos en parte, con posterioridad al último interglacial.

Los datos suministrados por el presente programa de dataciones confirman la hipótesis geomorfológica establecida previamente, que correlacionaba los espeleotemas freáticos de las cuevas costeras de Mallorca con

muestra submuestra	FA-D3-4			VB-D2					SE-D2			PI-D1		DI-D3				DI-D1-1/2			BA-D3				MI-D1a/b				MI-D2			MI-D3					
	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3			
LMC	X	X	-	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	X	X	X	X	-	X	-	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Calcita	X	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-			
HMC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Aragonito	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Dolomita	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Estadio isotópico	5 a			5 a					5 e			5 e		5 c				5 e			5 e				?			7			9 ?						
Basamento	m			m					m			m		m				m			Mz				Mz			Mz									

Tabla II: Relación de las mineralogías presentes en las muestras analizadas de espeleotemas freáticos.

1: submuestra más externa; 2 a 5 : submuestras obtenidas secuencialmente hacia el interior del espeleotema; X : presencia; - : ausencia; Mz : Mesozoico; m : Mioceno superior.

estabilizaciones del nivel marino asociadas a episodios interglaciales. Por lo tanto, los espeleotemas freáticos se muestran especialmente útiles de cara a contribuir al conocimiento de la historia del nivel del Mediterráneo durante el Pleistoceno medio y superior.

Mineralogía de los espeleotemas freáticos

Todas las muestras de espeleotemas recogidas para su datación fueron analizadas mediante difracción de Rayos X para observar su composición mineralógica. De cada revestimiento freático se recogieron diversas muestras secuenciadas, con el fin de detectar posibles cambios mineralógicos a lo largo de su crecimiento (Tabla II).

Las mineralogías presentes corresponden a calcita, calcita con bajo contenido en magnesio (LMC), calcita magnesiana (HMC), aragonito y dolomita. La mineralogía predominante corresponde a calcita con bajo contenido en magnesio (LMC), siguiéndole en importancia la calcita y el aragonito. La calcita magnesiana tan sólo está presente en las muestras de la **Cova de na Barxa** (BA-D3), mientras que la dolomita aparece en la citada localidad así como en la **Cova de Cala Falcó** (FA-D3-4).

En la mayor parte de las muestras se observa un incremento del contenido en magnesio hacia el interior del espeleotema. No parece constatarse a nivel general una relación clara de los aspectos mineralógicos con los estadios isotópicos ni con las rocas encajantes, excepto en algunos casos como la **Cova de na Barxa** que presenta un basamento dolomítico.

Aunque está demostrada la estrecha dependencia que presentan las mineralogías de los precipitados carbonatados con respecto a la temperatura ambiental de formación, así como a la presencia de determinados cationes —como Mg o Sr— dentro del sistema (RAO & ADABI, 1992; RAO, 1996), en las muestras analizadas

no parece observarse en primera instancia ninguna relación clara ligada a estos parámetros. Además resultan un poco contradictorios los análisis efectuados en algunas localidades, como la **Cova de Cala Falcó** o la **Cova de na Barxa**, donde la coexistencia de calcita con bajo contenido en magnesio junto con aragonito y dolomita podría ser explicada en base a motivos diferentes de los mencionados.

Por otra parte, el dominio de calcita y calcita con bajo contenido en magnesio, característico de una precipitación a temperaturas relativamente bajas, no se corresponde con el carácter cálido asociado a los estadios isotópicos indicados por las dataciones, los cuales se traducen en la presencia de fauna marina termófila característica de los yacimientos del Eutirreniense (CUERDA, 1975).

Conclusiones

Los resultados de estas investigaciones espeleocronológicas sobre varias cuevas costeras de la isla de Mallorca, pueden ser resumidos de la siguiente manera:

- Las edades obtenidas acerca de la deposición de espeleotemas freáticos en las localidades estudiadas abarcan desde 83 ka hasta >350 ka B.P.

- Los espeleotemas con edades inferiores a 250 ka se correlacionan bien con los estadios isotópicos 5 y 7 del registro marino, los cuales son eventos cálidos con un nivel marino asociado superior al actual.

- Están particularmente bien documentados algunos eventos menores dentro del estadio isotópico 5, es decir el último interglacial. Las edades aportadas de 83 ka, 108 ka y 124 ka, corresponden respectivamente a los subestadios 5a, 5c y 5e del registro marino de isótopos de oxígeno.

- El incremento de elevación hacia el Norte de los espeleotemas freáticos pertenecientes a un mismo estadio climático, suministra evidencias de una deformación

tectónica reciente del área estudiada, ocurrida con posterioridad al último episodio interglacial.

– La mineralogía predominante en las muestras analizadas es la calcita y la calcita con bajo contenido en magnesio, aunque también están presentes la calcita magnesiana, la dolomita y especialmente el aragonito.

– En definitiva, los espeleotemas freáticos se afirman como un buen registro de la historia pleistocénica del nivel marino, constituyendo también una herramienta muy útil de cara a investigaciones sobre geología estructural y geomorfología costera en general.

Agradecimientos

Esta investigación se ha beneficiado de dos ayudas económicas del *Museu Balear de Ciències Naturals* (Sóller, Mallorca), durante los años 1994 y 1995. Asimismo, este trabajo forma parte del proyecto de investigación de la DGICYT número PB94-1175.

Bibliografía

- ANDREWS, J.N.; GINÉS, A.; PONS-MOYÀ, J.; SMART, P.L. & TRIAS, M. (1989): Noves dades sobre el jaciment paleontològic de la Cova de na Barxa (Capdepera). *Endins*. 14-15: 17-25. Palma de Mallorca.
- BUTZER, K. W. (1975): Pleistocene littoral-sedimentary cycles of the Mediterranean basin: a Mallorquin view. In: K.W. Butzer & G.L. Isaac (eds.): *After the Australopithecines: stratigraphy, ecology and culture change in the Middle Pleistocene*. 25-71. Chicago.
- CUERDA, J. (1975): *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Instituto de Estudios Baleáricos. 304 pp. Palma de Mallorca
- 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. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*. 19: 11-2. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1986): On the interest of speleo-chronological studies in karstified islands. The case of Mallorca (Spain). *Com. 9^o Cong. Int. Espeleol.* 1: 297-300. Barcelona.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1989): Absolute dating of phreatic speleothems from coastal caves of Mallorca (Spain). *Proc. 10th Int. Congress Speleol.* 1: 191-193. Budapest.
- GINÉS, A. & GINÉS, J. (1992): Las Coves del Drac (Manacor, Mallorca). Apuntes históricos y espeleogenéticos. *Endins*. 17-18: 5-20. Palma de Mallorca.
- GINÉS, A.; GINÉS, J. & PONS-MOYÀ, J. (1975): Nuevas aportaciones al conocimiento morfológico y cronológico de las cavernas costeras mallorquinas. *Speleon*. Monografía I. V *Symposium de Espeleología. Cuaternario*. 49-56. Barcelona.
- GINÉS, A.; GINÉS, J. & POMAR, L. (1981a): Phreatic speleothems in coastal caves of Majorca (Spain) as indicators of Mediterranean Pleistocene paleolevels. *Proc. 8th Int. Congress Speleol.* 2: 533-536. Bowling Green.
- GINÉS, J. (1995): L'endocarst de Mallorca: els mecanismes espeleogenètics / Mallorca's endokarst: the speleogenetic mechanisms. In: A. Ginés & J. Ginés (eds.): *El carst i les coves de Mallorca / Karst and caves in Mallorca*. *Endins*. 20 / *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*. 3: 71-86. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1976): Les Coves del Pirata. *Endins*. 3: 41-45. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1993a): Speleochronological approach to some coastal caves from "Cap Vermell" area in Mallorca island (Spain). *Proc. XI Int. Congress Speleol.* 56-59. Beijing.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1993b): Dataciones isotópicas de espeleotemas freáticos recolectados en cuevas costeras de Mallorca (España). *Endins*. 19: 9-15. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J. & GINÉS, A. (1995): Aspectes espeleocronològics del carst de Mallorca / Speleochronological aspects of karst in Mallorca. In: A. Ginés & J. Ginés (eds.): *El carst i les coves de Mallorca / Karst and caves in Mallorca*. *Endins*. 20 / *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*. 3: 99-112. Palma de Mallorca.
- GINÉS, J.; GINÉS, A. & POMAR, L. (1981b): Morphological and mineralogical features of phreatic speleothems occurring in coastal caves of Majorca (Spain). *Proc. 8th Int. Congress Speleol.* 2: 529-532. Bowling Green.
- HENNIG, G. J.; GINÉS, A.; GINÉS, J. & POMAR, L. (1981): Avance de los resultados obtenidos mediante datación isotópica de algunos espeleotemas subacuáticos mallorquines. *Endins*. 8: 91-93. Palma de Mallorca.
- HILLAIRES-MARCEL, C.; GARIÉPY, C.; GHALEB, B.; GOY, J.L.; ZAZO, C. & CUERDA, J. (1996): U-Series measurements in Tyrrenian deposits from Mallorca - Further evidence for two Last-Interglacial high sea levels in the Balearic islands. *Quaternary Science Reviews*, 15: 53-62.
- 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 epiacuáticos. *Endins*. 5-6: 3-17. Palma de Mallorca.
- POMAR, L.; RODRÍGUEZ, A.; FORNÓS, J.J.; GINÉS, A.; GINÉS, J.; FONT, A. & MORA, A. (1987): Phreatic speleothems in coastal caves: a new method to determine sea-level fluctuations. In: C. Zazo (ed.): *Late Quaternary sea-level changes in Spain*. Museo Nacional de Ciencias Naturales C.S.I.C., Madrid, *Trabajos sobre Neógeno-Cuaternario*, 10: 197-224. Madrid.
- RAO, C.P. (1996): *Modern carbonates. Tropical, temperate and polar. Introduction to sedimentology and geochemistry*. University of Tasmania. 205 pp.
- RAO, C.P. & ADABI, M.H. (1992): Carbonate minerals, major and minor elements and oxygen and carbon isotopes and their variation with water depth in cool, temperate carbonates, western Tasmania, Australia. *Marine Geology*. 103: 249-272.
- SHACKELTON, N. J. & OPDYKE, N.D. (1973): Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of Equatorial Pacific core V28-238: Oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 10⁵ year and 10⁷ year scale. *Quaternary Research*. 3: 39-55.
- TRIAS, M. & MIR, F. (1977): Les coves de la zona de Can Frasquet - Cala Varques. *Endins*. 4: 21-42. Palma de Mallorca.
- TUCCIMEI, P.; GINÉS, J.; GINÉS, A. & FORNÓS, J.J. (1997): Th/U dating of sea level-controlled phreatic speleothems from coastal caves in Mallorca (Western Mediterranean). *Proc. 12th Int. Congress Speleol.* 1: 37-40. La Chaux-de-Fonds.
- VESICA, P.; TUCCIMEI, P.; TURI, B.; FORNÓS, J.J.; GINÉS, A. & GINÉS, J. (1996): Th/U dating and C - O isotope analyses of speleothems from coastal caves in Mallorca (Spain). *30th IGC, Abstracts*. 1: 87. Beijing.