

MORFOLOGIA, ESTRUCTURA Y ORIGEN DE LOS ESPELEOTEMAS EPIACUATICOS

por Luis POMAR (*) (**)
Angel GINES (**)
Joaquín GINES (**)

Resumen

Después de exponer brevemente el estado actual de los conocimientos existentes sobre los espeleotemas freáticos, se procede a delimitar el concepto de espeleotema epiacuático, analizándose su situación dentro del amplio conjunto de depósitos carbonatados específicos de las cuevas. Se describen a continuación las características morfológicas y texturales de los espeleotemas epiacuáticos de la Cova "A" de Cala Varques (Manacor, Mallorca), al tiempo que se apuntan algunos criterios interpretativos sobre la génesis de los mismos así como sobre ciertas particularidades de su crecimiento. Se alude también a las implicaciones que supone el actualismo genético que parece comprobarse a raíz de una de las experiencias realizadas. Este hecho, junto con la posibilidad de identificar fácilmente este grupo de espeleotemas freáticos, puede contribuir a una más adecuada interpretación de los depósitos de cristalizaciones subacuáticas que se han acumulado, en ciertas cuevas costeras de Mallorca, en correspondencia con los paleoniveles pleistocénicos del Mar Mediterráneo.

Abstract

After briefly explaining the present state of existing knowledge regarding the phreatic speleothems, we then delimit the concept of epiaquatic speleothems, analyzing their situation within the large group of carbonated deposits specific to the caves. A description follows of the morphological and textural features of the epiaquatic speleothems of cave "A" at Cala Varques (Manacor, Mallorca) at the same time offering some interpretative criteria concerning their origin, as well as regarding certain peculiarities of their growth. Allusion is also made to the implications emerging from the recent and actual genetics which seem to be proved by one of the experiments made. This fact, added to the possibility of easily identifying this group of phreatic speleothems, can contribute to a more adequate interpretation of the deposits of subaquatic crystallizations which have accumulated, in certain coastal caves of Mallorca, in correspondence with the Pleistocene paleo-levels of the Mediterranean Sea.

(*) Facultad de Ciencias de Baleares. Palma de Mallorca

(**) Grupo Espeleológico EST. Palma de Mallorca.

1. INTRODUCCION

1.1. Formaciones estalagmíticas y espeleotemas subacuáticos.

Es bien conocida la presencia de sedimentos químicos muy peculiares y específicos que crecen en el interior de las cavidades de origen cárstico. Las concreciones de las cuevas constituyen un mundo exótico y atractivo caracterizado por la gran abundancia de morfologías y disposiciones bajo las cuales se precipita el carbonato cálcico dentro de los ambientes cársticos subterráneos. Tal variedad de aspectos macroscópicos y de texturas microscópicas viene condicionada por la también extrema diversidad de las modalidades en las que tienen lugar los procesos de cristalización, tanto por lo que se refiere a la composición química de las aguas de infiltración, como por el papel que desempeña la presión parcial del dióxido de carbono, y también por lo que atañe al régimen de flujo del aporte y a otras circunstancias locales del microclima hipogeo.

El temprano interés despertado entre los investigadores de la naturaleza hacia la rareza de los depósitos estalagmíticos existentes en las cuevas, que se remonta hasta antes del siglo XVI, ha sido continuado hasta nuestros días, hallando expresión en una buena parte de la bibliografía espeleológica reciente, en la que se manifiestan criterios y actitudes muy similares a los de los antiguos estudiosos. Así, podemos comprobar como han prevalecido hasta ahora las descripciones de formas curiosas y las hipótesis más o menos afortunadas acerca de la génesis de ciertas estructuras, quedando al margen otros planteamientos más ambiciosos capaces de buscar correlaciones entre las concreciones de las cuevas y la historia del entorno geomorfológico que engloba a las cavernas. El interés actual dirigido hacia un conocimiento más preciso de la dinámica de los carbonatos y sus implicaciones en los problemas diagenéticos, así como el progresivo desarrollo de las técnicas de datación por isótopos, han ampliado mucho aquel panorama demasiado restringido.

Un intento de sistematización del conjunto de los minerales encontrados en las cuevas y de su confusa terminología ha sido realizado por HILL (1976). También WHITE (1976) y sobre todo SWEETING (1972) han contribuido a elaborar una clasificación práctica y manejable de las formaciones estalagmíticas o *espeleotemas*. Este último término encuentra cada vez mayor aceptación a pesar de tratarse de un neologismo (MOORE, 1952), ya que evita la ambigüedad de otras palabras antes más usuales, y por otra parte insiste en la especificidad del lugar donde se generan estos carbonatos de precipitación química, cuyas características son a menudo bastante singulares. Por ello en lo sucesivo adoptaremos el término *espeleotema* así como la subdivisión que de ellos hace SWEETING (1972). Este autor los agrupa en varios apartados atendiendo al modo como se verifica el aporte del agua: agua de goteo (*dripping water speleothems*), agua de percolación (*seepage water speleothems*), agua corriente (*running water speleothems*) y espeleotemas subacuáticos (*underwater speleothems*); siendo este último término el equivalente de los *subaqueous speleothems* de WHITE. Tampoco hemos de olvidar la zonación vertical del karst, tantas veces debatida a causa de los problemas que creaba a los hidrogeólogos en general y a los autores de teorías espeleogenéticas en particular. Nosotros adoptamos por su sencillez la terminología procedente de la bibliografía en lengua inglesa, en la que se distingue entre *zona vadosa* y *zona freática* (con todo el exceso de simplificación que ello suponga).

El concepto de *espeleotemas subacuáticos* (*underwater speleothems*) no implica que éstos hayan de corresponder necesariamente al medio freático, ya que son abundantes y numerosos los ambientes deposicionales subacuáticos instalados en plena zona vadosa de un macizo cárstico cualquiera; tal es el caso de los *gours*. Aunque hablar de *espeleotemas freáticos* puede parecer exagerado, la observación de importantes masas de precipitados subacuáticos encontrados en varias cuevas costeras de Mallorca nos permite argüir el hecho de que, en ciertas condiciones particulares, las aguas de determinadas capas cársticas están capacitadas para actuar como generadoras de espeleotemas (GINES y GINES, 1974).

Volviendo al concepto de *espeleotema subacuático* se constata que los datos bibliográficos disponibles son escasos y que, además, la mayor parte de ellos están referidos a estudios descriptivos que tratan de estancamientos ocasionales de aguas vadosas, como sucede en el caso concreto de los *gours* (*represas* en la bibliografía cubana, *rimstone dams* en la anglosajona). Los *gours* (ver GEZE, 1968) constituyen pequeños reductos deposicionales, alimentados por aguas de infiltración, en cuyas paredes interiores se disponen a microescala una amplia y caprichosa gama de concrecionamientos subacuáticos (*pool accretions*).

Aunque se han citado casos ilustrativos en que los *gours* van asociados a ríos subterráneos, jalonando parte de su recorrido, la bibliografía espeleológica registra muy escasas tentativas de correlacionar las acumulaciones fósiles de esta clase de espeleotemas (*running water speleothems* y *underwater speleothems*) con la evolución del nivel de base regional. Algunos datos sobre la situación actual de estas cuestiones quedan resumidos en el fragmento que trata de los espeleotemas subacuáticos en WHITE (1976). Por otra parte, en las ideas cíclicas acerca de la evolución del karst se tendía a ver la fase senil de un río subterráneo como una etapa muy propicia para el desarrollo de los *gours* (LLOPIS, 1970), los cuales progresivamente desarticulaban la circulación en las galerías todavía activas, hasta consumir la primera fase de fosilización química iniciadora de los procesos estalagmíticos.

Hasta la fecha no hemos podido encontrar estudios minuciosos sobre *espeleotemas subacuáticos* asociados con ríos subterráneos, a excepción de los datos recogidos por CABROL (1975) sobre los "champignons" de la Grotte de Lauzinas (Hérault, Francia). Es probable que la observación detallada de estos ambientes morfogenéticos subterráneos, controlados por un nivel de base continental, pueda proporcionar alguna información significativa sobre la morfología de los espeleotemas subacuáticos y sobre sus respectivos mecanismos de crecimiento. Esta confrontación se hace cada vez más necesaria pues, como veremos, la mayor parte de los conocimientos existentes sobre *espeleotemas freáticos* proceden del estudio de cavernas costeras, para las cuales el nivel de base marino supone un condicionante bastante decisivo. En efecto, los ejemplos más destacados que poseemos por lo que concierne a las fosilizaciones intensivas de cavidades, atribuibles a espeleotemas originados en medio subacuático, se hallan circunscritos a karsts litorales que han sido afectados por las oscilaciones del nivel del mar como consecuencia de los fenómenos glacioeustáticos acaecidos durante el Pleistoceno.

1. 2. Estado actual del conocimiento de los espeleotemas freáticos.

Las cuestiones que plantean los *espeleotemas freáticos* presentes en ciertas cavidades costeras van ligadas estrechamente tanto a la existencia de *lagos glacioeustáticos* dentro del medio cárstico subterráneo como al hecho, no menos importante, de que su nivel actual de inundación no es más que un episodio breve y por lo tanto inestable a escala geológica. Ambos aspectos serán, más adelante, convenientemente desarrollados.

Por otra parte las cristalizaciones subacuáticas que tapizan el interior de los *gours* tienen la desventaja de no representar fenómenos generalizables al conjunto del karst, ya que éstos forman unidades morfológicas dispersas en cuanto a su localización espacial dentro del macizo cárstico. Además los *gours* están sujetos a toda clase de perturbaciones aleatorias, en lo referente a las condiciones físico-químicas cambiantes del aire y del agua subterráneos, a los episodios irregulares de grandes aportes, a las etapas estables que favorecen las reacciones de equilibrio con la atmósfera de la cueva, y a los periodos de desecamiento más o menos completo de la cubeta del *gour*.

Es por todas estas razones que el campo de los espeleotemas subacuáticos, y los correspondientes modelos genéticos que puedan proponerse para interpretar sus mecanismos de crecimiento, será mucho más accesible a la investigación si se logra explicar la naturaleza del conjunto de procesos que tienen lugar en el interior de los lagos glacioeustáticos, cuyas circunstancias de homogeneidad y constancia ambientales los hacen comparables a auténticos laboratorios naturales.

La mayor parte de lo que se conoce hasta ahora sobre este conjunto de formas y materiales que designamos bajo la denominación de *espeleotemas freáticos*, procede de las observaciones realizadas en Mallorca y Cuba. Los primeros datos que poseemos tratando de esta temática se deben a RODES (1925), quien en su estudio sobre las oscilaciones del lago de las Coves del Drac (Mallorca) introduce varias observaciones, sumamente acertadas, donde se describen correctamente estos fenómenos. También JOLY (1929), en su descripción de las Coves del Drac, alude a "la forma especial, nunca observada en otra cueva, de las estalactitas que se avecinan al contacto de estos lagos"; hace notar a continuación que "en un nivel medio de 0,20 metros por encima del nivel más bajo de las aguas, las estalactitas en vez de ser cónicas tienen forma de porra". En el estudio de la Cova de Sa Bassa Blanca, GINES y GINES (1972, 1974) citan unos importantes revestimientos fósiles de cristalizaciones freáticas, que muestran una perfecta correlación altimétrica con respecto a los niveles litorales tirrenienses (BUTZER y CUERDA, 1962). Una serie de trabajos posteriores han ampliado la documentación disponible en este campo (GINES, 1973; POMAR et al., 1975; GINES et al., 1975; POMAR et al., 1976; TRIAS y MIR, 1977).

Paralelamente a estos hallazgos, los espeleólogos cubanos han realizado una aproximación bastante similar, tanto por lo que se refiere al estado actual de sus investigaciones acerca de las *formaciones fungiformes*, como por la evolución del proceso de interpretación seguido a través de las publicaciones que hemos podido consultar (NUÑEZ JIMENEZ, 1958; NUÑEZ JIMENEZ, 1967; NUÑEZ JIMENEZ, 1973). Del mismo modo FURREDDU y MAXIA (1964) atribuyen a un nivel tirreniense ciertas formaciones estalactíticas ("funghi", "pannocchie") de la Grotta de Nettuno (Alguer, Sardeña). HARMON, SCHWARCZ y FORD (1978) también dan cuenta de una estalagmita sumergida en las aguas de la Crystal Cave (Bermuda) que presenta un sobrecrecimiento bulboso de origen subacuático. Por último conviene consignar la revisión de los espeleotemas subacuáticos que hace WHITE (1976), donde se habla de capas cársticas (actuales o fósiles), las cuales sin pertenecer a karsts costeros se hallan saturadas en carbonato cálcico y precipitan revestimientos subacuáticos en torno a formaciones preexistentes.

Los primeros intentos de interpretación de los espeleotemas freáticos de la Cova de Sa Bassa Blanca tropezaron con una importante dificultad que venía dada por su variabilidad morfológica excesiva, la cual no permitía una clasificación coherente de los distintos tipos y estructuras. A esta dificultad, hay que añadir otra no menos importante: los materiales de la Cova de Sa Bassa Blanca pertenecen a paleoniveles de la capa cárstica y consiguientemente, el carácter fósil de los depósitos subacuáticos acumulados, impide una constatación experimental de los procesos de concrecionamiento freático.

La resolución de estos problemas requería por lo menos cinco etapas:

- a.- Elaboración de una tipología morfológica que facilitara el reconocimiento de visu de las distintas modalidades de espeleotemas freáticos.
- b.- Correlación entre los tipos morfológicos y las distintas texturas y estructuras cristalinas.
- c.- Planteamiento de hipótesis sobre el origen de cada uno de los tipos establecidos.
- d.- Comprobación experimental de los procesos de precipitación del carbonato, a ser posible en la propia cueva.
- e.- Establecimiento de modelos interpretativos para los fenómenos actuales observables, y extrapolación de éstos a los materiales fósiles presentes en las cavernas costeras.

De acuerdo con estos criterios, en una primera nota (GINES y GINES, 1974) nos limitábamos a esbozar una somera tabla de formas cuyo fin era exclusivamente descriptivo. En un trabajo posterior (POMAR et al., 1976) se estableció la naturaleza mineralógica y textural de estas cristalizaciones, permitiéndonos diferenciar tres tipos principales ("lisas", "rugosas" y "anguloso-quebradas") y apuntar algunos datos adicionales que hacían posible una primera tentativa de correlación entre morfologías externas y texturas internas. Se puso de manifiesto la existencia de espeleotemas subacuáticos de calcita y de aragonito correspondiendo específicamente a distintos niveles tirrenienses; siendo los de aragonito los que presentaban mayor potencia aparente.

El reciente hallazgo de un conjunto de morfologías subacuáticas que se están formando actualmente, y para las cuales parece factible sugerir un origen, estructura y petrología comunes, constituye el fundamento de esta nota. Estas formaciones (*espeleotemas epiacuáticos*) resultan muy fáciles de identificar (según se verá más adelante) y probablemente sean semejantes a los "funghi" sardos y a las *fungiformes* cubanas. Presentan además la ventaja de su actualismo en algunas cuevas mallorquinas; lo cual permitiría una aproximación a su interpretación genética, basada en métodos experimentales. Si se lograra la misma fortuna en el conocimiento de las cristalizaciones freáticas de aragonito, se abrirían entonces grandes perspectivas en el estudio estratigráfico y paleoambiental de los episodios interglaciares registrados en ciertas cuevas costeras.

Foto 1: Banda de cristalizaciones epiacuáticas establecidas sobre un conjunto de estalagmitas, en la pared Sur de la Cova "A" de Cala Varques (ver Figura 1). En la parte inferior de la fotografía, las aguas del lago distorsionan la simetría propia del sobrecrecimiento epiacuático.

Foto 2: Grupo de estalactitas, de la Cova "A" de Cala Varques, que muestran un revestimiento epiacuático de aspecto globoso, el cual enmascara la primitiva forma cilíndrica que caracteriza a las estalactitas fistulares. Nótese que el sobrecrecimiento también se prolonga a lo largo de la pared de la cueva; tal como se distingue en la izquierda de la fotografía.

Foto 3: Sección delgada de un fragmento de estalactita recubierta por sobrecrecimiento epiacuático. La imagen permite apreciar: el conducto central de la estalactita (A), la estalactita propiamente dicha (B), el revestimiento epiacuático (C) y las suturas (ver Fotos 11 y 12) de acreción (S). La disposición radial de los cristales del sobrecrecimiento origina una extinción óptica pseudoondulante. Esta muestra procede de la Cova "A" de Cala Varques.

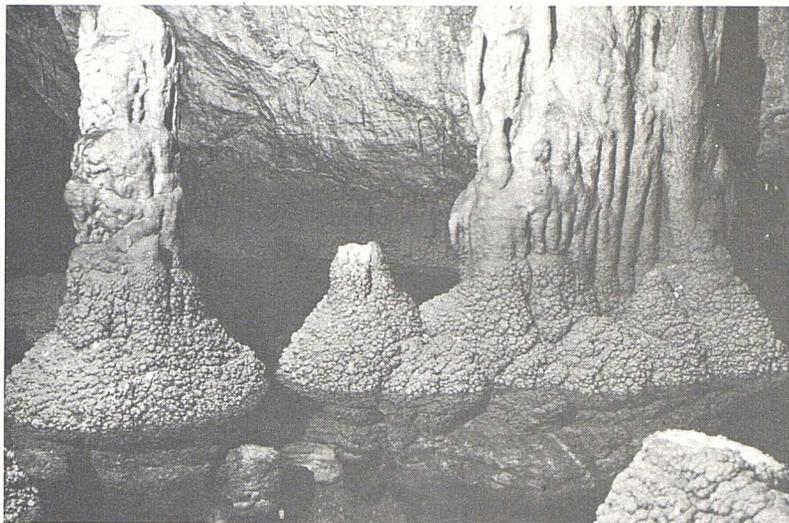


Foto 1

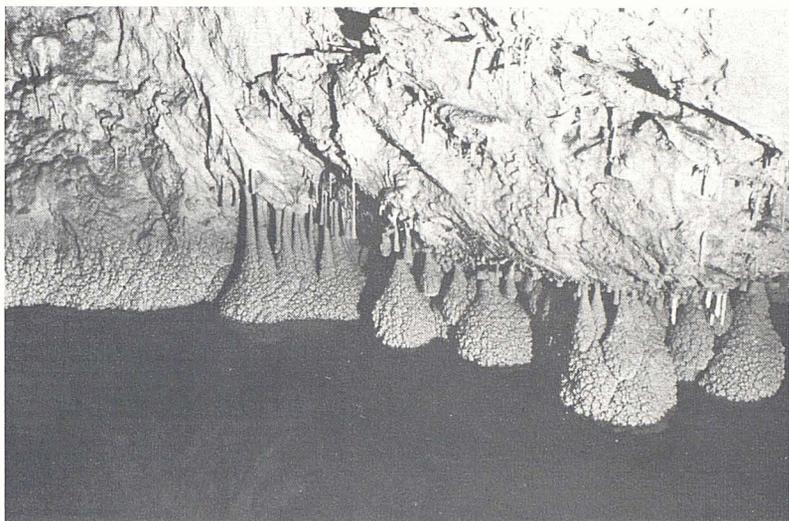


Foto 2

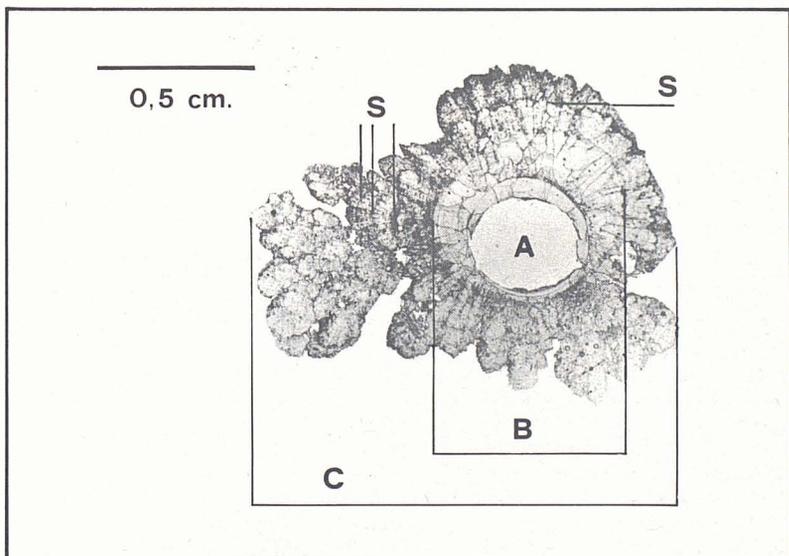


Foto 3

2. LAS CRISTALIZACIONES EPIACUATICAS DE LA COVA "A" DE CALA VARQUES

2. 1. Anotaciones preliminares; el Karst del Migjorn mallorquín.

Los materiales carbonatados del Mioceno Superior correspondientes a depósitos de plataforma (arrecifes, facies oolíticas...) y que, afectados por ligeros basculamientos, constituyen gran parte del litoral del Migjorn mallorquín, han permitido la génesis de un importante karst de características poco habituales. Son numerosas las cavidades subterráneas penetrables, las cuales han contribuido en gran medida a la importancia turística alcanzada por esta zona desde finales del siglo pasado.

Algunas de las ideas generales acerca de la zona cárstica que comentamos pueden ser consultadas en la bibliografía existente: la geografía física y humana de esta comarca aparece detalladamente descrita en ROSSELLO-VERGER (1964), mientras que los caracteres diferenciales de su karst quedan resumidos con ocasión de un reciente estudio biogeográfico (GINES y GINES, 1977); mayores precisiones sobre la tipología de sus cuevas, incluyendo topografías muy representativas, pueden encontrarse en el extenso y documentado trabajo de TRIAS y MIR (1977).

Las abundantes cuevas de esta región presentan unas dimensiones muy variadas y poseen, en líneas generales, características bastante uniformes; en ellas se observa un gran predominio de las morfologías clásticas y reconstructivas, así como la existencia, en muchas de ellas, de lagos con aguas salobres invadiendo sus cotas inferiores.

Dentro de la región cárstica de Migjorn, la zona de Can Frasquet - Cala Varques destaca tanto por la densidad de fenómenos subterráneos como por la variedad morfogenética de los mismos. Es en la propia Cala Varques y a tres metros sobre el nivel del mar, donde se abre la Cova "A" de Cala Varques (TRIAS y MIR, 1977). Una breve galería de techo poco elevado conduce, tras la superación de un paso estrecho, a una estancia irregular de dimensiones medias (treinta por cuarenta metros). Dicha sala muestra un considerable desarrollo tridimensional, hallándose presidida por una acumulación de bloques clásticos que, dispuestos aproximadamente en su centro, presentan una fuerte pendiente de acumulación. Las cotas más inferiores de la cavidad se hallan ocupadas por un rosario de pequeños lagos que circundan la sala en buena parte de su contorno. Es en el borde de estos lagos donde se localizan los *espeleotemas epiacuáticos* de los que trata el presente trabajo.

2. 2. Los lagos de la Cova "A" de Cala Varques.

Los lagos que encontramos en esta caverna, al igual que sucede en muchas otras cuevas de Mallorca, son producto de la inundación parcial de cavidades que han seguido una evolución morfológica reciente en condiciones netamente vadosas. Con el fin de exponer con la menor ambigüedad posible el marco donde se generan las cristalizaciones a las que se refiere esta nota, dedicaremos a continuación unas líneas a analizar las causas que motivan la existencia de estos *lagos hipogeos glacioeustáticos* (GINES y GINES, 1977) tan frecuentes en las cavidades costeras de nuestra Isla.

Las oscilaciones del nivel del Mediterráneo a lo largo del Cuaternario, implican la consiguiente fluctuación del nivel piezométrico de las capas cársticas litorales. De este modo, cavidades que habían experimentado un desarrollo morfológico en circunstancias vadosas (estadios con nivel del mar bajo) se vieron sometidas a sucesivos episodios de inundación, durante los periodos de ascenso relativo del nivel del mar; tales oscilaciones del nivel marino, ligadas a fenómenos glacioeustáticos, han quedado

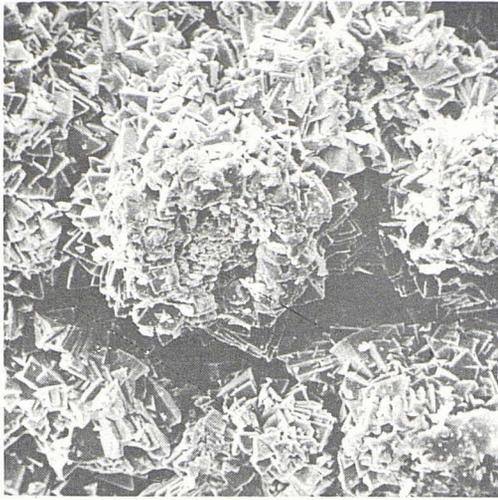
Electromicrofotografías de cristalizaciones epiacuáticas. Muestras recogidas en la Cova "A" de Cala Varques.

Fotos 4 y 5: Detalles de la superficie de la zona superior. Se aprecian claramente las protuberancias que constituyen estas cristalizaciones (Foto 4).

Fotos 6 y 7: Detalles de la superficie de la zona media. Obsérvese la mayor perfección de los cristales.

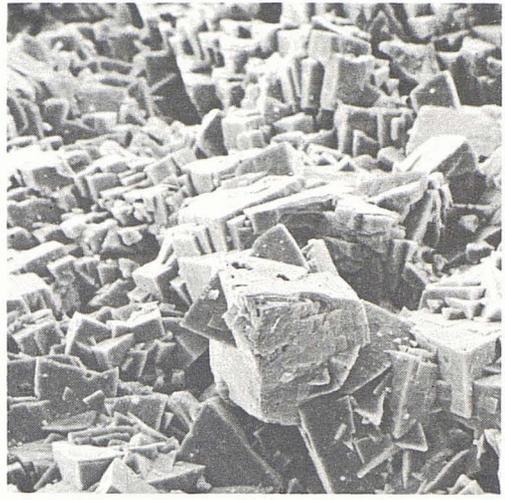
Foto 8: Sector ampliado de la Foto 7.

Foto 9: Detalle de la superficie de la zona inferior. Se puede observar la presencia de filamentos orgánicos, así como el neomorfismo degradante que afecta a los cristales.



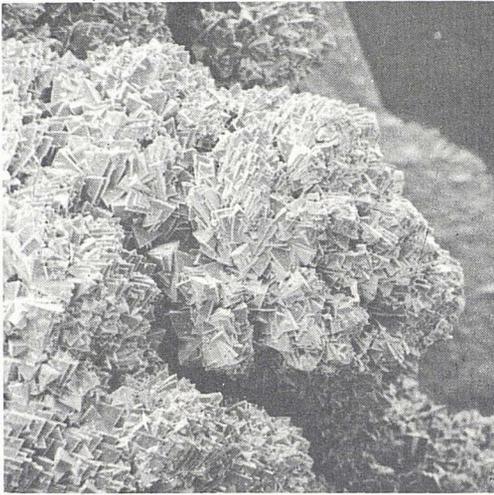
300 μ

Foto 4



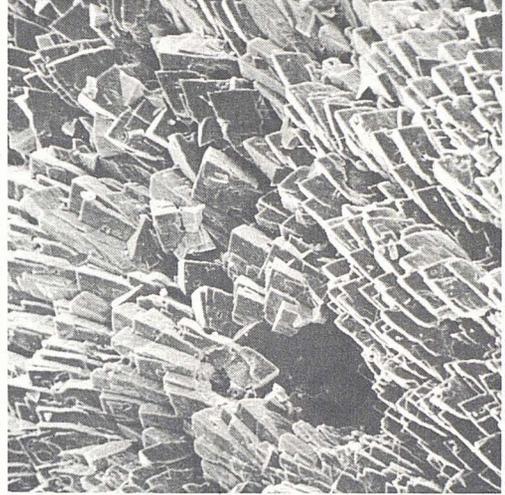
200 μ

Foto 5



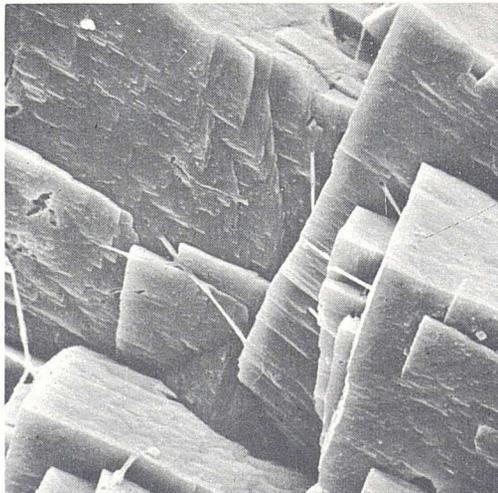
600 μ

Foto 6



400 μ

Foto 7



40 μ

Foto 8



300 μ

Foto 9

registradas en algunas cavernas mallorquinas mediante acumulaciones de cristalizaciones freáticas (espeleotemas subacuáticos, depósitos de cristalizaciones flotantes...) (GINES y GINES, 1974; POMAR et al., 1976).

Es un hecho generalizado, tanto en el caso del karst costero del Migjorn de Mallorca como en otros karsts isleños, la existencia de cuevas que presentan sus zonas más profundas ocupadas por las aguas. Estas cotas de inundación constituyen el límite superior del acuífero cárstico establecido en correspondencia con el actual nivel del Mediterráneo. Como hemos apuntado antes, nos hallamos ante cavernas que, aunque puedan ser atribuidas a procesos espeleogenéticos desarrollados en régimen freático, han sufrido una posterior e importante evolución en condiciones vadosas (procesos clásticos, procesos reconstructivos aéreos), y que luego se han visto en parte inundadas a causa del ascenso relativo del nivel del mar. Resulta conveniente precisar que la subida del nivel marino, a la cual acabamos de aludir, queda integrada dentro del conjunto de las oscilaciones que han afectado al Mediterráneo durante todo el Pleistoceno. Dentro de este contexto, la presencia de concreciones estalagmíticas sumergidas en estos lagos subterráneos indica un episodio de ascenso relativo del nivel del mar, con relación al momento en el que tuvieron lugar tales procesos morfogénicos de tipo vadoso.

Una de las características importantes de este tipo de lagos hipogeos es la subordinación que presentan, como parte visible de la superficie piezométrica, a las fluctuaciones del nivel marino, tanto más acusada cuanto más cercanos a la costa; de este modo cualquier oscilación altimétrica del nivel del mar (mareas, variaciones barométricas...) encuentra su correspondencia en la superficie de los lagos subterráneos (RODES, 1925). Si bien no disponemos de datos sistemáticos sobre las oscilaciones que afectan al plano de las aguas hipogeas en la Cova "A" de Cala Varques, se han podido constatar, en el curso de las diversas exploraciones efectuadas, unas variaciones en el nivel de sus lagos del orden de varios decímetros. Esta tendencia oscilante de la superficie de las aguas parece repercutir de manera decisiva en la morfogénesis de los *espeleotemas epiacuáticos* que nos ocupan.

2. 3. Descripción morfológica de los espeleotemas epiacuáticos.

En las orillas de los lagos glacioeustáticos de la Cova "A" de Cala Varques se han producido importantes procesos de concrecionamiento subacuático; estos procesos revisten extraordinario interés, no tan sólo por el particular conjunto morfológico a que dan lugar, sino también por el hecho de contribuir en gran manera a una más precisa interpretación de ciertos espeleotemas freáticos que ya habían sido anteriormente descritos en otras cavidades costeras de Mallorca (GINES y GINES, 1974; POMAR et al., 1976). Los *espeleotemas epiacuáticos* observados en esta caverna, así denominados por estar localizados en el límite superior (interfase agua - aire) del medio acuático donde se generan, presentan su máxima significación debido a su actualismo genético, lo cual comporta la posibilidad de establecer las condiciones en que se desarrollan estos depósitos, así como sus específicos mecanismos de crecimiento.

Coincidiendo con el plano de las aguas freáticas de esta cueva, se extiende una banda de concreciones de aspecto rugoso que contornea el perímetro de sus lagos. Dicha banda mantiene una amplitud constante cercana a la cincuentena de centímetros (fig. 1), dimensión que se corresponde con la amplitud de las fluctuaciones que afectan a la superficie de estas aguas subterráneas. En líneas generales esta faja de espeleotemas epiacuáticos se presenta como un engrosamiento abultado, estableciéndose a lo largo de las paredes de la cavidad, así como sobre aquellas concreciones aéreas que se hallan inundadas por las aguas (fotos 1 y 2).

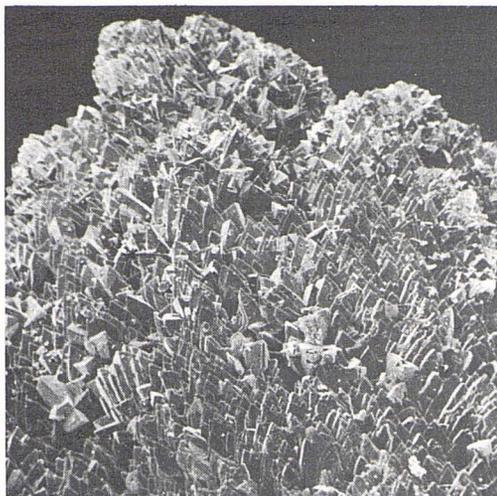
Esta banda de cristalizaciones muestra un perfil simétrico con respecto a un plano horizontal que coincidiere con la zona de mayor grosor de la concreción. Este grosor máximo, que correspondería al nivel más frecuente de las aguas, decrece progresivamente tanto hacia arriba como hacia abajo, dando

Electromicrofotografías de cristalizaciones epiacuáticas. Muestras recogidas en la Cova "A" de Cala Varques.

Foto 10: Aspecto de las cristalizaciones de la zona media en visión lateral.

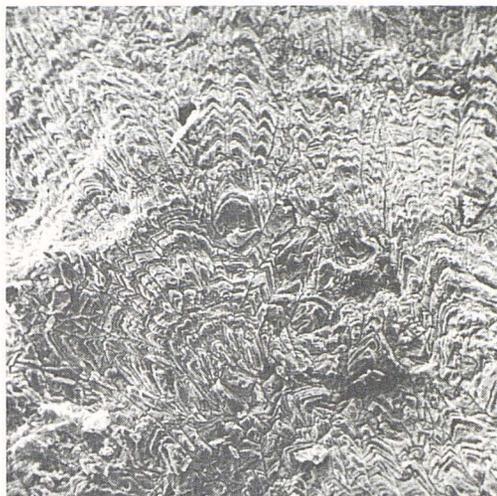
Fotos 11 y 12: Secciones conseguidas mediante fractura y posterior ataque con HCl diluido. Se puede apreciar la disposición radial de los cristales alargados de calcita (Foto 11), así como las sucesivas suturas de crecimiento (Foto 12). Compárense con la imagen de la Foto 3.

Fotos 13, 14 y 15: Romboedros de calcita precipitados sobre la superficie de un fragmento de estalactita que fue sumergido, durante el intervalo de un año, entre los límites de oscilación de los lagos de esta cueva.



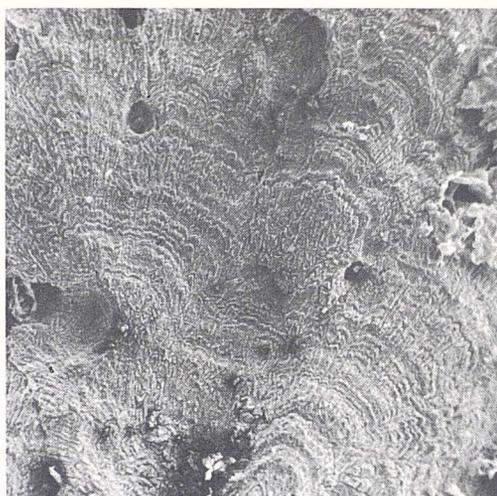
600 μ

Foto 10



300 μ

Foto 11



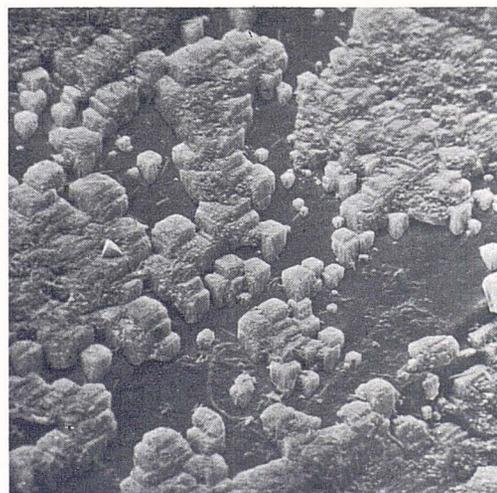
500 μ

Foto 12



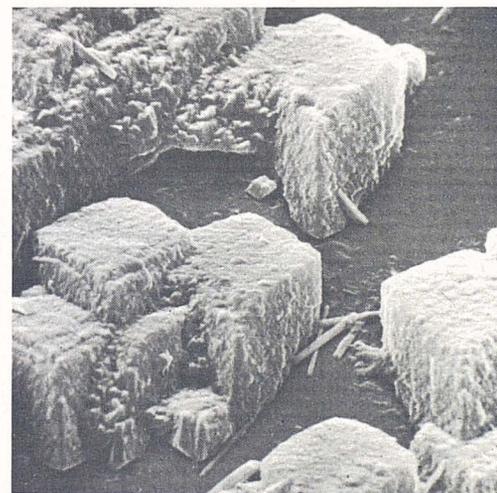
12 μ

Foto 13



40 μ

Foto 14



6 μ

Foto 15

Sección en la pared Sur
de la COVA "A" DE CALA VARQUES.

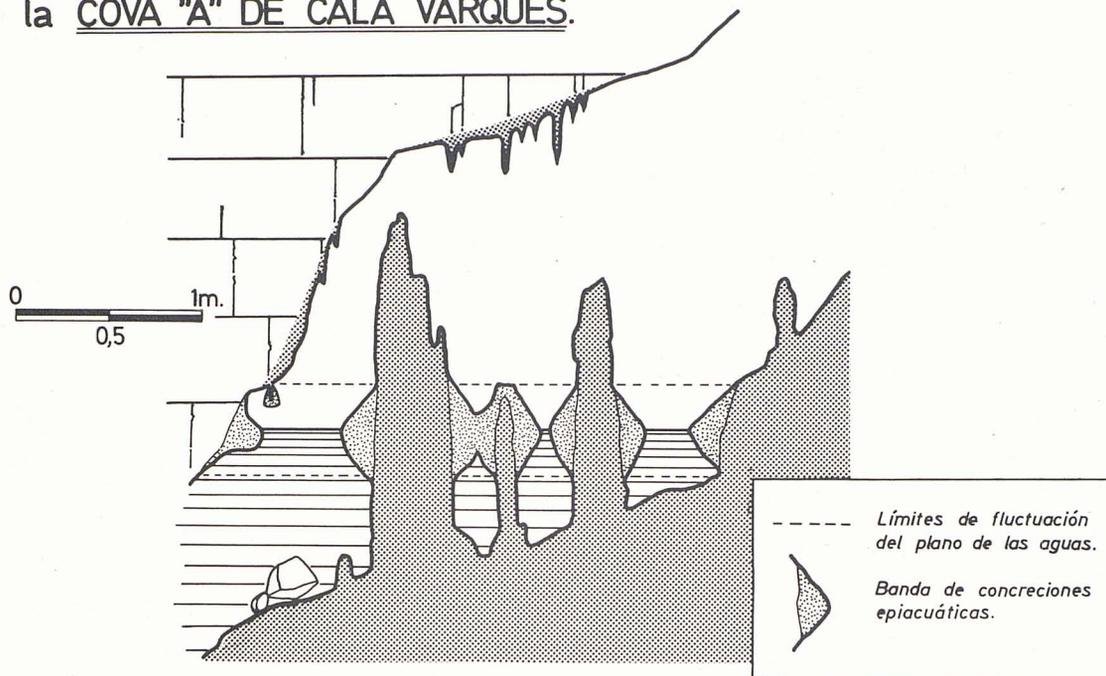


FIGURA 1

lugar a lo que denominaremos *zona superior* y *zona inferior* respectivamente (fig. 2 a). La pendiente de ambas zonas es aproximadamente de 45° , aunque la *zona inferior* puede presentar importantes anomalías. Un aspecto muy significativo, que conviene resaltar, es la semejanza existente entre el perfil de una banda epiaçuática y la curva normal de distribución de frecuencias (*Campana de Gauss*).

La morfología exterior de estos espeleotemas es "rugosa" de acuerdo con la terminología utilizada en POMAR et al. (1976), y encuentra sus más acusados paralelos en los *coralloidal speleothems* (HILL, 1976), para muchos de los cuales el citado autor apunta también una génesis subacuática (siempre que estos espeleotemas vayan asociados a líneas de nivel). Sin embargo, en detalle se observa una marcada zonación micromorfológica vertical, en contraposición a la simetría general de la concreción: la *zona superior* presenta una superficie constituida por pequeños nódulos rugosos poco prominentes (*nodular coralloids*), mientras que a medida que vamos descendiendo estas prominencias se van haciendo más patentes (foto 2), hasta constituir unas delicadas ramificaciones de varios centímetros de longitud (*cave corals*).

La forma y la posición espacial de los materiales que sirven de soporte al crecimiento de las concreciones epiaçuáticas, repercuten en el control de la morfología particular que adoptan dichas concreciones. Ello es debido a que el revestimiento epiaçuático presenta un ritmo de acreción que está condicionado por la fluctuación de la superficie de las aguas. En líneas generales pueden distinguirse dos grupos de formas.

Por una parte, cuando los espeleotemas epiaçuáticos tienen lugar sobre soportes que penetran más allá del *límite inferior de fluctuación* de las aguas, adoptan entonces la fisonomía simétrica antes descrita. Este es el caso de las concreciones epiaçuáticas a modo de collares sobre estalagmitas y columnas; en estas circunstancias la simetría en sección es bastante perfecta (fig. 1 y 2 d; foto 1). Si estos procesos tienen lugar sobre coladas aéreas o bloques clásticos dispuestos subverticalmente, la *zona inferior* alcanza un desarrollo tanto más escaso como menor sea el ángulo de inclinación de la superficie soporte (fig. 2 e).

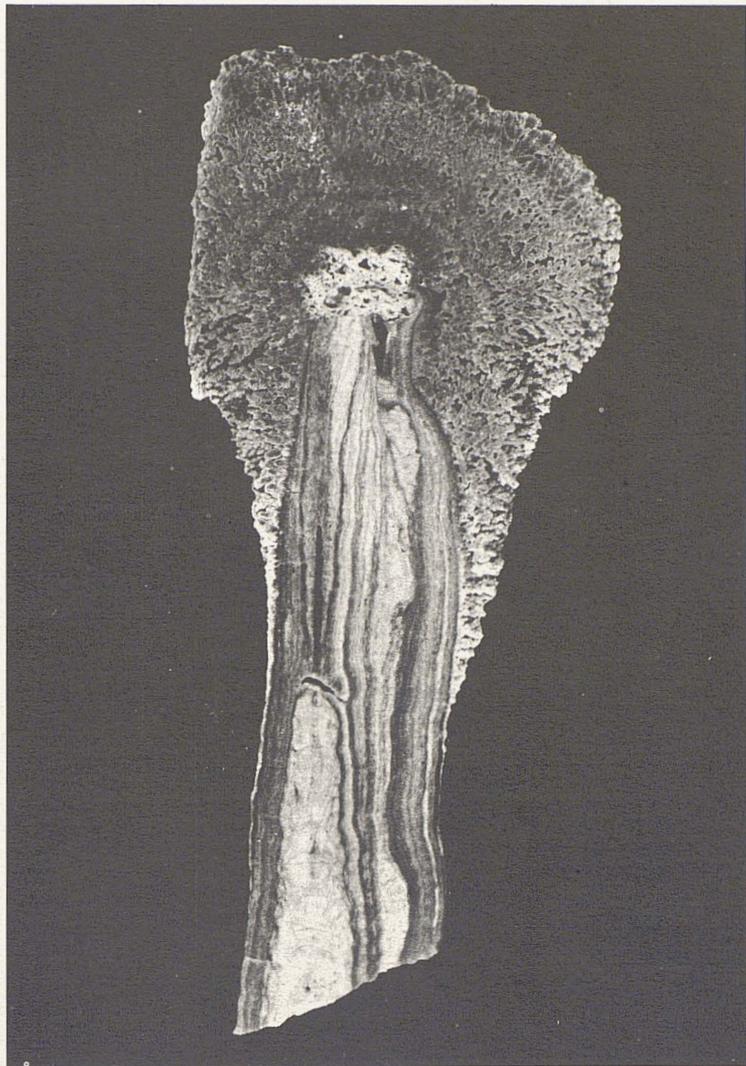
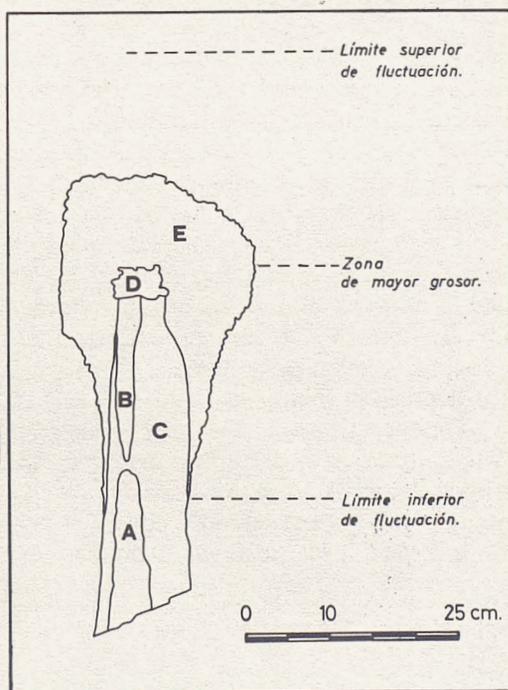


Foto 16

Foto 16: Sección longitudinal de estalagmita con revestimiento epiacuático. Cova "A" de Cala Varques (Manacor).

- a - Estalagmita
- b - Estalactita
- c - Conjunto estalactita-estalagmita (columna); truncada, probablemente, por movimientos de soliflucción.
- d - Cristalización enigmática. Posible acumulación de láminas de calcita flotante recrystalizadas.
- e - Revestimiento epiacuático que engloba pequeños fragmentos de canutos estalactíticos, así como laminillas de calcita flotante. Pueden observarse distintas bandas de crecimiento de diferente tonalidad.

Conviene especificar que el sobrecrecimiento que afectó a la estalagmita (al quedar sumergida en las aguas del lago) se vió accidentalmente perturbado cuando ésta se conjugó con otra estalagmita que había en sus proximidades. En consecuencia, la superficie relativamente recta que se ve en el lado izquierdo de la cristalización corresponde a la superficie de contacto con la otra estalagmita con la cual llegó a soldarse. Añadiremos también que el ápice aplanado que caracteriza a esta muestra, dando lugar a su peculiar forma de pera, obedece al hecho de que la formación estalagmítica que sirvió de soporte al revestimiento epiacuático, no llegaba a sobresalir por encima del límite superior de fluctuación de las aguas.



Por otra parte, en el supuesto de bandas de cristalizaciones generadas sobre soportes que se hundan sólo superficialmente en estas aguas hipogeas (sin llegar a rebasar el *límite inferior de fluctuación*), la *zona inferior* de los espeleotemas epiacuáticos puede llegar a estar ausente. Así sucede cuando estas concreciones crecen sobre sectores extraverticales de las paredes de la cavidad (fig. 2 f), y más concluyentemente todavía, cuando el sobrecrecimiento afecta a los extremos de estalactitas que penetran sólo levemente más allá del *límite superior de fluctuación* alcanzable por el plano de las aguas. En tales circunstancias la morfología resultante presenta una *zona superior* de forma cónica que se resuelve bruscamente en una superficie aplanada que la limita por debajo (fig. 2 g). Son las oscilaciones que sufre la superficie de las aguas las que determinan las peculiares morfologías que acabamos de describir. La ausencia de *zona inferior*, que caracteriza a este grupo de formas, se debe a que, durante gran parte del proceso de oscilación del plano de las aguas, el soporte permanece suspendido por encima de ellas, interrumpiéndose entre tanto el crecimiento de la cubierta epiacuática (fig. 2 b).

2. 4. Características texturales.

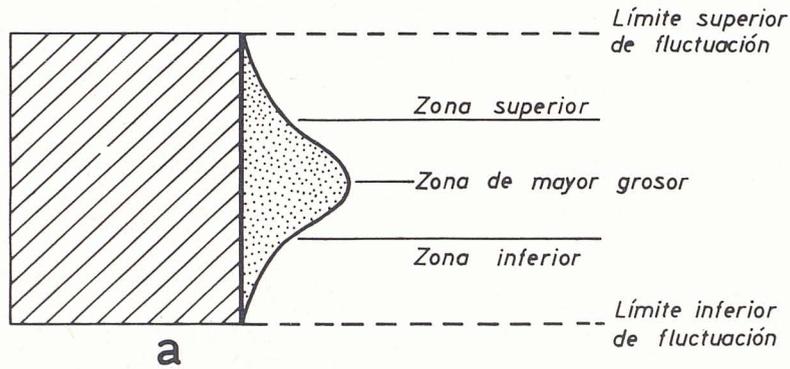
La zonación morfológica vertical (antes mencionada), que muestran estas concreciones, es el resultado de la ordenación a microescala de los cristales que las componen. Con el Microscopio Electrónico de Barrido se observa que en la parte superior la cristalización está formada por romboedros de Calcita de 10 a 100 micras, que adoptan en general una disposición radial alrededor de ciertos núcleos, constituyendo unas "protuberancias" de 0,2 a 0,3 mm. (foto 4). Sobre estas protuberancias se distinguen cristales micríticos de Calcita, así como abundantes irregularidades en el desarrollo de las caras de los cristales (foto 5). Tales características texturales se van modificando gradualmente hacia la zona media del espeleotema, donde se aprecia una mayor perfección tanto en la morfología como en la orientación de los cristales (fotos 6 y 7). En todas estas cristalizaciones se detecta la presencia de filamentos orgánicos no identificados (foto 8), que se hacen extraordinariamente abundantes en la parte inferior de la cristalización, paralelamente al incremento del grado de neomorfismo degradante que afecta a los cristales (foto 9).

El concrecionamiento epiacuático se genera por acreción de las "protuberancias" descritas (fotos 4 y 6). Ello se evidencia tanto en la visión lateral de dichas "protuberancias" (foto 10), como mediante la observación en sección de las mismas (fotos 11 y 12). Una imagen particularmente ilustrativa de todo ello se ha obtenido a través del estudio al Microscopio Electrónico de Barrido de una sección de estas cristalizaciones, previamente atacada con ácido diluido (Cl H) a fin de descascar los bordes de los cristales. En la foto 11 puede verse la disposición radial de los cristales elongados de Calcita, generados por la acreción de los romboedros, así como también las suturas transversales que evidencian distintas etapas de crecimiento. Pensamos que un estudio detallado de estas líneas de acreción puede permitir el desarrollo de criterios de datación relativa válidos para estas cristalizaciones. La foto 12 muestra un aspecto general de dichas suturas de crecimiento.

La existencia de las cristalizaciones que acabamos de describir, nos hizo altamente sugestiva la idea de que éstas se hallaran en un estadio activo de crecimiento. A fin de comprobar tal suposición dispusimos varios fragmentos de una fina estalactita, cuyas paredes exteriores son lisas, sumergiéndolos entre los límites de oscilación de las aguas durante el periodo de un año (Mayo 1977 - Junio 1978). Posteriormente preparamos una muestra de dicha estalactita para su observación al Microscopio Electrónico de Barrido, pudiendo constatar (foto 13) la existencia de pequeños romboedros de Calcita precipitados sobre la superficie del fragmento de estalactita; estos romboedros se disponen con el eje C aproximadamente perpendicular a la superficie de la estalactita que les sirve de soporte. Nótese también la existencia de pequeñas agujas (foto 13), probablemente de Aragonito.

También se advierte en estas muestras el crecimiento orientado de romboedros de Calcita, con una cara paralela a la superficie soporte, en asociación con cristales micríticos y pequeñas agujas de Aragonito (fotos 14 y 15). Localmente pueden verse romboedros con el eje C dispuesto perpendicularmente sobre los romboedros con el eje oblicuo (foto 14). Los hábitos de estos romboedros de Calcita son idénticos a los observados en las cristalizaciones epifreáticas.

Figura 2

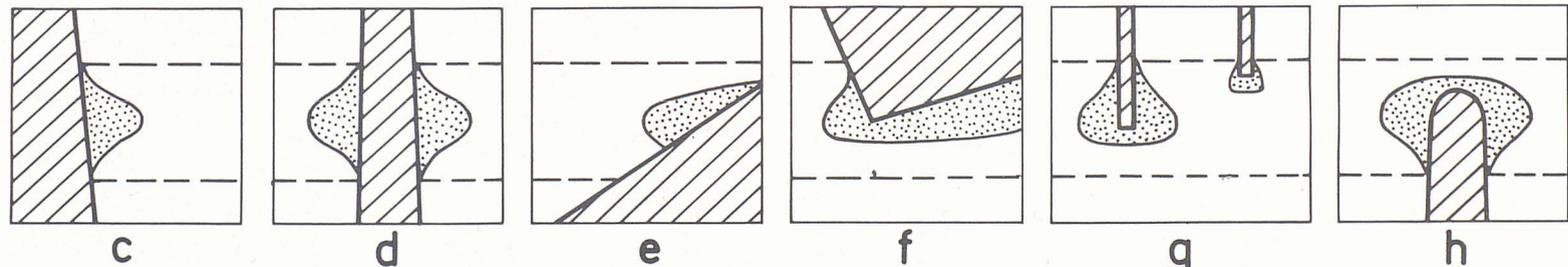
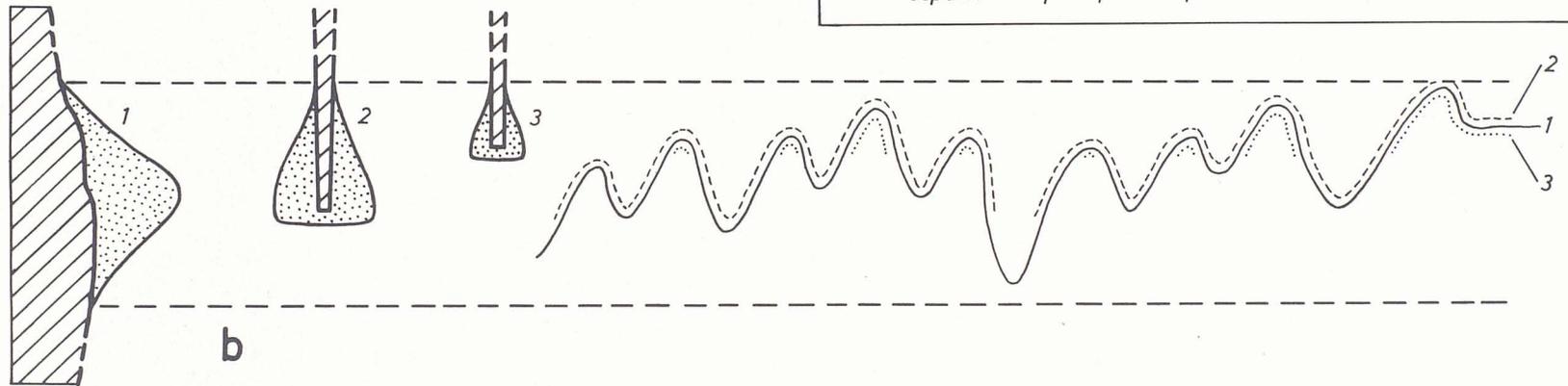


Espeleotemas epiacuáticos

a. Perfil típico de concrecionamiento epiacuático y nomenclatura adoptada en el texto para facilitar su descripción.

b. Ejemplo de gráfica en la que se representa una serie de oscilaciones del nivel piezométrico. Se indican con trazos distintos los respectivos intervalos en los cuales se produce sobrecrecimiento en las formaciones 1, 2 y 3.

c-h. Variabilidad morfológica de los espeleotemas epiacuáticos en función de las diversas conformaciones espaciales que puede presentar el soporte



3. CONCLUSIONES

A partir de todo lo expuesto se infiere:

1.- Los *espeleotemas epiacuáticos* se hallan genéticamente ligados a la interfase agua - aire de los lagos de algunas cavidades costeras. El aspecto de sus superficies presenta un cierto paralelismo con los revestimientos del interior de los *gours*, como consecuencia de los procesos de concrecionamiento subacuático que tienen ambos en común.

2.- En el caso de las cristalizaciones que nos ocupan, su desarrollo se muestra dependiente de la oscilación periódica de las aguas freáticas, que a su vez está condicionada por las fluctuaciones periódicas del nivel del mar (mareas, secas, etc.).

3.- La morfología macroscópica de estos espeleotemas se halla controlada por la posición y la inclinación de la roca o cristalización vadosa que les sirve de soporte.

4.- En la Cova "A" de Cala Varques las cristalizaciones epiacuáticas se hallan formadas por cristales de Calcita con hábito romboédrico, que crecen en forma radial alrededor de núcleos activos de crecimiento. En la morfología externa estos núcleos se manifiestan como "protuberancias", mientras que en sección, esta diversificación radial progresiva de las direcciones de crecimiento a microescala, es la responsable de la naturaleza pseudoondulante que presentan las direcciones de extinción óptica de los cristales.

5.- Estas cristalizaciones se presentan asociadas con la génesis de calcita flotante. En algunas ocasiones, las cristalizaciones epiacuáticas incluyen láminas de dicha calcita depositadas sobre su *zona superior*. Del mismo modo pueden encontrarse fragmentos de estalactitas que aparecen englobados dentro del sobrecrecimiento epiacuático.

6.- Aunque todavía no disponemos de datos suficientes, nos parece altamente sugestiva la idea de que el grosor de la concreción se corresponda con la curva de frecuencias del nivel piezométrico; de ser cierta esta suposición, el estudio de los grosores en los depósitos análogos fósiles (GINES y GINES, 1974; POMAR et al., 1976) sería de gran utilidad para interpretar las características de las fluctuaciones de la capa cárstica durante los estadios interglaciares del Pleistoceno.

7.- El actualismo genético, que presentan las cristalizaciones epiacuáticas de la Cova "A" de Cala Varques, se revela como uno de los factores más importantes para la determinación del significado genético de las cristalizaciones freáticas fósiles, que se hallan presentes en numerosas cavidades cársticas de Mallorca situadas en las proximidades de la línea de costa.

8.- Del estudio de las sucesivas etapas de crecimiento, que se ponen de manifiesto al seccionar estas cristalizaciones, se infiere la posibilidad de establecer una cronología relativa que podría ser de gran utilidad para el estudio de las concreciones fósiles de este tipo.

BIBLIOGRAFIA

- BUTZER K. W. y CUERDA J. (1962): "Coastal stratigraphy of Southern Mallorca and its implications for the Pleistocene chronology of the Mediterranean sea". *The Journal of Geology*. Vol. 70, nº 4, pp 398-416. Chicago.
- CABROL P. (1975): "Quelques types de concrétions calcitiques très rares rencontrées dans les grottes". *Travaux et Recherches. Bull. Féd. Tar. Spéleo-Archéol.*, nº 12, pp 97-111.
- FURREDDU A. y MAXIA C. (1964): "Grotte della Sardegna". Editrice Sarda Fossataro. 310 páginas. Cagliari.
- GEZE B. (1968): "La espeleología científica". Ediciones Martinez Roca. 191 páginas. Barcelona.
- GINES A. (1973): "Sobre el posible hallazgo de formaciones de edad Milaziense en Ses Coves Petites (Canyamel)". III Simposium Espeleología. Comunicaciones. pp 87-91. Mataró.
- GINES A. y GINES J. (1972): "Consideraciones sobre los mecanismos de fosilización de la Cova de Sa Bassa Blanca y su paralelismo con las formaciones marinas del Cuaternario". II Congreso Nacional Espeleología. Comunicación nº 13, 16 páginas. Oviedo.
- GINES A. y GINES J. (1974): "Consideraciones sobre los mecanismos de fosilización de la Cova de Sa Bassa Blanca y su paralelismo con las formaciones marinas del Cuaternario". *Bol. Soc. Hist. Nat. Bal.* Tomo XIX, pp 11-28. Palma de Mallorca.
- GINES A. y GINES J. (1977): "Datos bioespeleológicos obtenidos en las aguas cársticas de la Isla de Mallorca". 6è. Simposium d'Espeleologia. pp 81-95. Terrassa.
- GINES A., GINES J. y PONS J. (1975): "Nuevas aportaciones al conocimiento morfológico y cronológico de las cavernas costeras mallorquinas". *Speleon*. Monografía I. V Simposium Espeleología, Espeleocuaternario. pp 49-56. Barcelona.
- HARMON R. S., SCHWARCZ H. P. y FORD D. C. (1978): "Late Pleistocene Sea Level History of Bermuda". *Quaternary Research*, 9, pp 205-218. Washington.
- HILL C. A. (1976): "Cave Minerals". National Speleological Society. 137 páginas. Alabama.
- JOLY R. (1929): "Explorations spéléologiques à Majorque". *Rev. Géog. Phis. et Géol. Dyn.*, Tomo II, pp 1-13. Paris.
- LLOPIS LLADO N. (1970): "Fundamentos de hidrogeología cárstica (Introducción a la Geoespeleología)". Editorial Blume. 269 páginas. Madrid.
- MOORE G. W. (1952): "Speleothem - a new cave term". *Nat. Speleol. Soc. News*. Vol. 10, nº 6, p 2
- NUÑEZ JIMENEZ A. (1958): "Una nueva formación secundaria en la Espeleología". Actes du Deuxième Congrès International de Spéléologie. Bari. Tomo I.
- NUÑEZ JIMENEZ A. (1967): "Clasificación genética de las cuevas de Cuba". Academia de Ciencias de Cuba. 224 páginas. La Habana.
- NUÑEZ JIMENEZ A. (1973): "Las formaciones fungiformes y su importancia para conocer las fluctuaciones del mar". Actes du 6è. Congrès International de Spéléologie. Olomouc. Tomo I, pp 519-527. Praga.
- POMAR L., GINES A., GINES J., MOYA G. y RAMON G. (1975): "Nota previa sobre la petrología y mineralogía de la calcita flotante de algunas cavidades del Levante mallorquín". *Endins*, nº 2, pp 3-5. Palma de Mallorca.
- POMAR L., GINES A. y FONTARNAU R. (1976): "Las cristalizaciones freáticas". *Endins*, nº 3, pp 3-25. Palma de Mallorca.
- RODES L. (1925): "Los cambios de nivel en las cuevas del Drach (Manacor, Mallorca) y su oscilación rítmica de 40 minutos". *Mem. Acad. Cien. Art. Barcelona*. Vol. 19, Nº 7, pp 207-221. Barcelona.
- ROSSELLO VERGER V. M. (1964): "Mallorca. El Sur y Sureste". Cámara Oficial Comercio Industria Navegación de Palma de Mallorca. Gráficas Miramar. 553 páginas. Palma de Mallorca.
- SWEETING M. (1972): "Karst landforms". Mc Millan Press Ltd. 362 páginas.
- TRIAS M. y MIR F. (1977): "Les coves de la zona de Can Frasquet - Cala Varques". *Endins*, nº 4, pp 21-42. Palma de Mallorca.
- WHITE W. B. (1976): "Cave Minerals and Speleothems", en "The Science of Speleology", pp 267-327. Academic Press. Londres.