

ESTUDIO MORFOGENICO DE ES BOFADOR SANTA MARIA, MALLORCA

por

JOAQUIN MONTORIOL POUS

INTRODUCCION

Durante el verano de 1960, bajo nuestra dirección, el Grupo de Exploraciones Subterráneas (G. E. S.) de la sociedad de Ciencias Naturales C. M. Barcelonés, llevó a cabo una campaña de prospecciones, exploraciones y estudios geoespeleológicos en los alrededores de la bahía de Palma de Mallorca (Balears). Los resultados fueron óptimos, realizándose investigaciones en cavidades de notables dimensiones y elevado interés científico. Algunos de los resultados obtenidos fueron comunicados al **Symposium Internazionale di Varenna sui riempimenti naturali di grotte** (1960) (6) debido a su interés para el conocimiento de las alternancias, en profundidad, de los procesos litogénicos y clásicos (3) (4). La totalidad de los estudios efectuados en las cavernas exploradas, serán expuestos en un trabajo que tenemos en preparación.

Sin embargo, además de las cavidades situadas propiamente en los alrededores de la bahía de Palma, se reconocieron formaciones espeleológicas situadas en el interior de la isla. De

Entre ellas cabe destacar Es Bofador, cavidad justamente célebre por contener un excepcional yacimiento de **Myotragus balearicus**. **BATE.**

La primera exploración de esta cueva-sima fue realizada por miembros del G. E. S. del C. M. B., durante la expedición de 1955, quienes descubrieron el citado yacimiento. Durante los años 1956 y 1957, el G. E. S. del C. M. B. llevó a cabo nuevos reconocimientos con objeto de recoger restos de **Myotragus**, que pueden ser admirados, convenientemente montados, en la Sección de Paleontología del Museo de la Ciudad de Sabadell. Posteriormente la cavidad recibió numerosas visitas, a pesar de lo cual no se había realizado su estudio geoespeleológico. Es por ello que aprovechamos nuestro desplazamiento a Mallorca, para realizar un nuevo descenso a la cueva-sima, efectuando su levantamiento topográfico y recogiendo los datos que han servido para la redacción del presente trabajo. Hallándose Es Bofador distante de las demás cavidades estudiadas en el transcurso de la campaña y no guardando la menor relación con ellas, hemos decidido darlo a conocer separadamente.

Antes de terminar esta introducción, debemos citar a don Jorge de Mier y a don Francisco Monmany, sin cuya eficaz colaboración no hubieran podido llevarse a cabo las investigaciones realizadas.

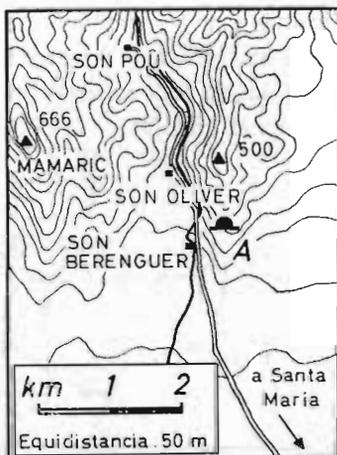
SITUACION (Figs. 1, 2, y 3).

La boca de la cavidad se abre a la izquierda hidrográfica del torrente de Son Pou, a 400 m. del mismo y a 250 m. sobre el nivel del mar. Para dirigirse a la cueva-sima hay que abandonar el camino carretero Santa María -Son Pou a la altura de Son Berenguer (fig. 1), o sea cerca del punto en que el torrente de Son Pou abandona las últimas estribaciones de la Serra Nord y penetra en la llanura aluvial.

La situación de la cavidad en relación con la geología regional puede apreciarse en la fig. 2, basada en los trabajos de Fallot (2). Las calizas en las que aparece desarrollada la sima buzan 50° al N30E. La dirección y el valor del buzamiento varía

aigo según los lugares; así al pie del cerro en donde se abre la caverna, los estratos buzan 30-40° al N30E, mientras que en el fondo de la cavidad el buzamiento es de 40° al N10E. La cueva

Fig 1 Situación topográfica de Es Bofador. En A. boca de la cueva-sima.



aparece estructurada sobre los planos de estratificación, de tal manera que las diaclasas han jugado un papel practicamente nulo en su génesis.

El buzamiento ha comunicado, además, un típico carácter a la morfología de las zonas subhorizontales que se hallan al

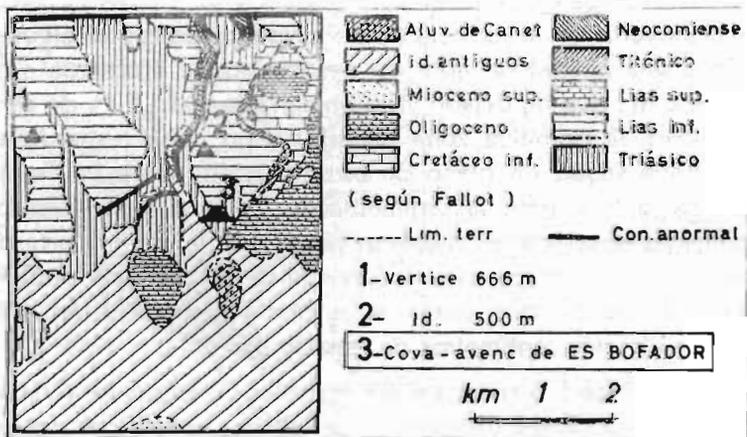


Fig 2 Situación de la cavidad en relación con la geología regional

pie del cerro. En efecto, la intersección de los paquetes de estratos con la superficie topográfica ha dado lugar a una disposición en superficie quebrada distribuída en bandas, en las que las zonas en relieve aparecen constituidas por las calizas triásicas y las zonas deprimidas por las arcillas que se han acumulado allí. Como es natural, los cultivos y árboles frutales están acumulados en las bandas arcillosas, lo cual imprime un curioso aspecto al pequeño paisaje local (fig. 3).

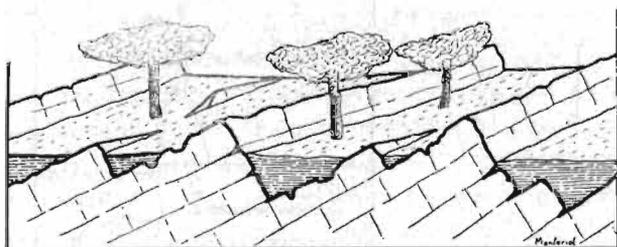


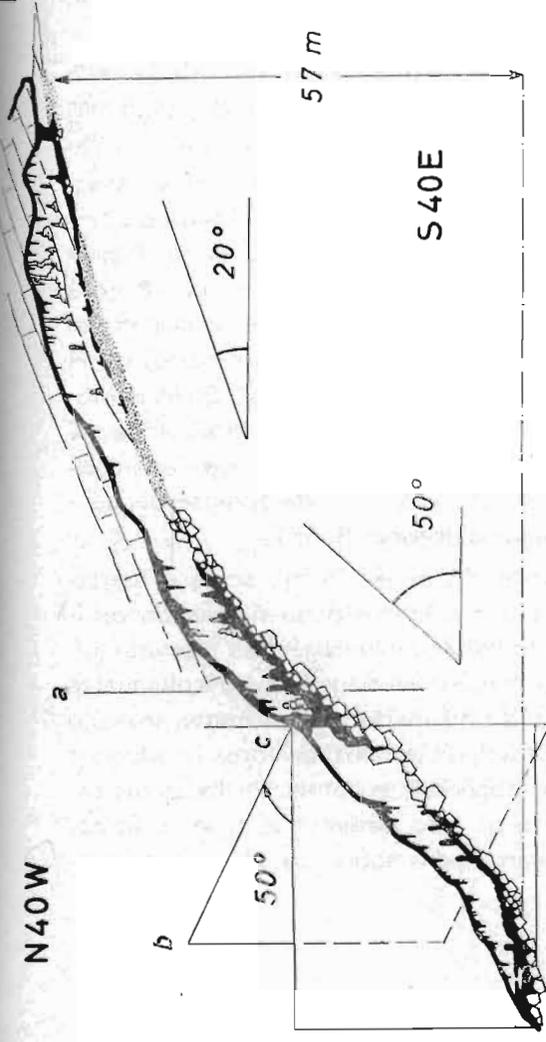
Fig. 3 Ver explicación en el texto

ESPELEOGRAFIA Y ESPELEOMORFOLOGIA (Fig. 4)

La boca de la cavidad, orientada al SE., era de muy difícil forzamiento, apareciendo constituída por un exíguo espacio libre entre la mesa de sedimentos arcillosos y las calizas que forman la bóveda. En la actualidad no presenta dificultad alguna, gracias a una agotadora labor de desobstrucción efectuada a lo largo de 6 m., que ha dejado libre un corredor de 1,5 m. de alto. En realidad, la primitiva zona de infiltración debió extenderse, estructurada según un plano de estratificación, sobre un frente de varios metros, pero la sedimentación arcillosa y los macizos litoquímicos obstruyentes acabaron taponando la mayor parte de la misma (el fenómeno estuvo a punto de borrar todo vestigio de entrada, puesto que, antes de la citada desobstrucción, sólo aparecían algunos centímetros de espacio libre).

En realidad, a pesar de sus notables dimensiones y de su aparente complicación topográfica, la caverna consta de una cavidad única, multipartida por un excepcional desarrollo de los

N40W



(SANTA MARIA, MALLORCA)

LEVANTADO POR

JOAQUIN MONTORIOL POUS

CON LA COLABORACION DE

Jorge de Mier Gracia

- | | | | |
|---|--|---|---|
|  | ESTALACTITAS, COLUMNAS Y ESTALAGMITAS (EN SECCION) |  | RAMPA DE MATERIALES CLASICOS |
|  | IDEM FUERA DE SECCION |  | IDEM CEMENTADOS |
|  | GOUR |  | ARCILLAS Y COSTRA LITOGENICA ROTA POR SOLIFUSSION |
|  | COLADA LITOGENICA |  | EXCENTRICAS |



a

c

b



W40S

E40N

N10E

-61 m

procesos reconstructivos (su recorrido es de 430 m.). Esta oquedad forma una gran rampa de 132 m. de longitud real, cuyo punto terminal alcanza la profundidad de -61 m.

Su anchura es considerable, oscilando alrededor de los 50 m., pero alcanzando, en algunos puntos, casi 70 m. Sus límites laterales son imprecisos e irregulares, ya que la cavidad sufre un progresivo acuñaamiento, habiéndose acumulado en las zonas deprimidas gran cantidad de materiales clásticos, a los que se han superpuesto abundancia de formas quimiolitogénicas. Es por ello —y por creer que no presentaba ningún interés para el estudio morfogénico— que en la fig. 4 hemos prescindido de la planimetría, dando únicamente la sección boca-fondo (N40W), un detalle del punto más profundo (sección N10E) y una sección transversal (E40N) por el punto más ancho.

A lo largo de la sección principal, la altura de la bóveda oscila entre 4 m. y 7 m., existiendo, no obstante, zonas mucho más deprimidas.

La parte superior de la rampa, hasta -16 m., ofrece poca inclinación, alternando zonas subhorizontales con otras algo inclinadas, y presentando en promedio una pendiente de 20°. El proceso reconstructivo ha alcanzado notable desarrollo, pudiéndose observar una gran riqueza de forma (estalactitas, estalagmitas, columnas, concreciones parietales, coladas). El piso sufre, en el sentido de la pendiente, la siguiente transición: a) Coladas litogénicas compactas; b) Coladas litogénicas fracturadas por la soliflujión de los sedimentos arcillosos subyacentes, que aparecen visibles en muchos puntos; c) Arcillas (en esta zona se encuentra el yacimiento de **Myotragus balearicus BATE**).

La zona intermedia, de -16 m. a -44 m., aparece fuertemente inclinada y cortada por numerosos pequeños saltos verticales (promedio 50°). Las formas quimiolitogénicas alcanzan un gran desarrollo, ofreciendo macizos estalagmíticos y columnares muy robustos. El piso se halla constituido por un fuerte acúmulo de materiales clásicos de considerable tamaño, libres en algunos puntos y fosilizados por la litogénesis en otros. En todos los casos, el proceso reconstructivo ha sido posterior al quimioclástico, pues las formas axiales desarrolladas sobre los bloques presen-

tan sus ejes orientados según la vertical. (En algunos puntos en donde aparecen formas ligeramente desviadas, se observan asimismo resquebrajaduras de las costras litoquímicas, lo cual prueba que ambos fenómenos van ligados a una reciente soliflucción de los materiales subyacentes).

Hacia la mitad de la zona descrita, aparece la más amplia sección transversal de la cavidad (ver sección W40S-E40N). Particular interés reviste su extremo NE., ya que presenta un proceso litogénico completamente diferente del que existe en el resto de la caverna. En efecto, en vez de las formas robustas puede apreciarse una fantástica profusión de concreciones gráciles, con extraordinaria cantidad de estalactitas excéntricas y algunas isotubulares. Muchas de las excéntricas nacen directamente y horizontalmente de los macizos reconstructivos parietales, a pesar de lo cual poseen canal central perfectamente desarrollado. (Aquí no puede observarse ningún caso de nacimiento directo y horizontal de una excéntrica a partir de la pared caliza, pero en algunos casos en que lo habíamos observado (7), carecían de canal central). En esta zona existen también algunos gours, en los que puede observarse el mecanismo que ha dado origen al revestimiento de la cubeta: a) Formación de finas películas de carbonato cálcico que flotan sobre la superficie del agua; b) Crecimiento en espesor que provoca su caída en el fondo; c) Formación, en el fondo, de una masa compacta estratificada (se aprecia, de arriba hacia abajo, la sucesión: 1- Películas sueltas superpuestas; 2- Películas semisoldadas; 3- Masa compacta estratificada).

En la zona terminal de la rampa (de -44 m. a -61 m.) la pendiente sufre una paulatina disminución, acabando por presentar el piso una disposición horizontal o subhorizontal. El fin de la parte penetrable de la caverna viene determinado por el acuñamiento de los materiales clásticos contra los estratos que forman la bóveda. En el extremo N40W (-57 m.) los sedimentos clásticos se hallan totalmente enmascarados por la litogénesis que pone de manifiesto la existencia de antiguos pequeños depósitos hídricos, mientras que en el extremo N10E (-61 m.) los productos clásicos aparecen libres y, en algunos puntos, dispuestos a contrapendiente.

ESPELEOGENESIS (Figs. 5, 6 y 7)

Antes de estudiar la morfogénesis general de la cueva-sima, queremos analizar con detalle el mecanismo que ha provocado la acumulación de productos clásticos a partir de la ruptura de pendiente de la cota -44 m. En otra ocasión intentamos esclarecer el citado mecanismo (5), pero creemos necesario aportar nuevas sugerencias.

a) Sobre la acumulación de productos clásticos a partir de las rupturas de pendiente.

Son muchas las cavidades en rampa que presentan, a lo largo de su desarrollo, una o más rupturas de pendientes, presentándose en casi todas ellas (si se trata de oquedades morfológicamente evolucionadas) acúmulos de materiales clásticos a partir de los tramos mayormente inclinados. La primera vez que nos llamó

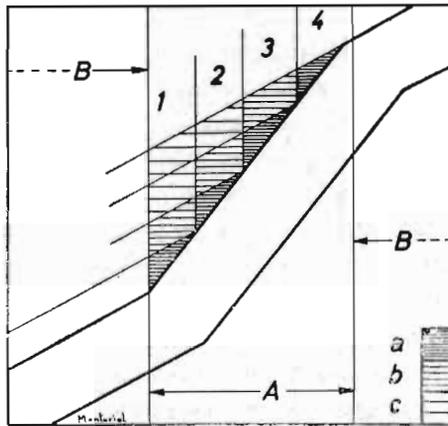


Fig 5 Ver explicación en el texto

la atención la disposición citada fue en la Cova de la Rabosa (5), en donde el fenómeno, al existir más de un cambio de pendiente, se repetía. Entonces creimos que la explicación total del hecho residía en el ángulo que formaba el plano de la oquedad con el plano del buzamiento. En efecto, las zonas menos inclinadas coincidían con el buzamiento, mientras que las más inclinadas intersec-

taban sucesivos planos de estratificación, lo que daba lugar a una disposición cantilevar (1) de los estratos, consecuencia de lo cual era la producción de procesos clásticos locales al quedar en falso los extremos dirigidos hacia la boca. No obstante, creemos que el mecanismo, contrariamente a lo que creímos en un principio, no se desarrolla, al menos corrientemente, a partir de su escalón único. Basta observar la esquematización geométrica de la fig. 5. Supongamos que un cierto volumen de roca (zona A) es litológicamente débil (físico-química y microtectónicamente), hallándose entre zonas resistentes (zonas B), de tal manera que existe una rampa única de fuerte inclinación que interesa la zona débil (A) (desarrollada precisamente a expensas de ella). Si consideramos la banda vertical 1, vemos que la porción en disposición cantilevar del primer estrato (a_1) es muy exígua, no hallándose en suficiente desequilibrio. Lo mismo podemos decir de las porciones a_2 , a_3 , a_4 , correspondientes a las bandas verticales 2, 3 y 4. Si consideramos el segundo estrato (lo seguimos de abajo hacia arriba), sólo estará en desequilibrio (débil debido a su poca longitud) la porción a_2 , puesto que la b_1 descansa sobre la corta prolongación inferior, aminorándose la tensión al alejarnos de la zona hueca. Igual ocurrirá en las porciones b_2 , b_3 , y, con mayor razón en las c_1 , c_2 , etc. Debido al poco desarrollo de los volúmenes a , no llegará a producirse hundimiento ninguno (naturalmente, prescindiendo de la existencia de un posible proceso quimioclástico general que interese toda la cavidad).

Después de cuanto acabamos de decir, veamos, geoméricamente esquematizado (fig. 6), el mecanismo clástico a partir de tres pequeños escalones primitivos (se produciría a partir de otro número cualquiera), localizados en la zona débil A (fig. 6-1) situada entre las zonas resistentes B. Las zonas rayadas designadas a , son las que quedan en disposición geométrica suficiente para el hundimiento, mientras que las zonas rayadas designadas b , quedan en situación geoméricamente insuficiente para provocar el hundimiento. Después del desprendimiento de las porciones a , quedan en disposición favorable las situadas inmediatamente encima, y así sucesivamente, prosiguiendo el fenómeno según puede apreciarse en figs. 6-2, 6-3, 6-4 y 6-5. Así pues, al

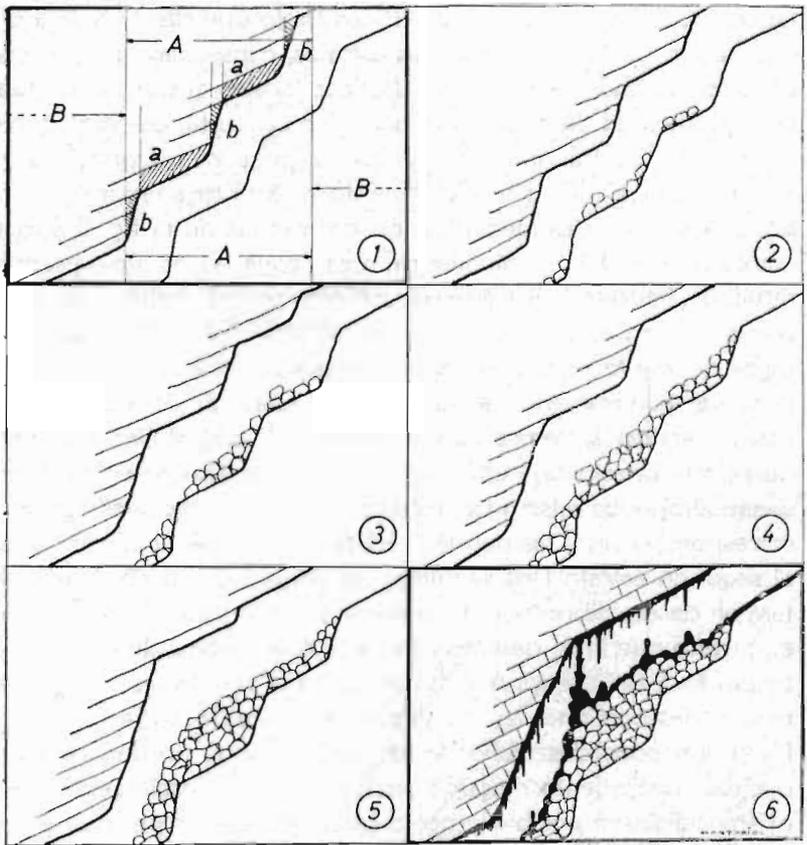


Fig 6 Ver explicación en el texto

final, habrán desaparecido los tres escalones, apareciendo una rampa única y cesando el mecanismo por haberse alcanzado la disposición de la fig. 5 (hacia arriba y hacia abajo de la rampa —zonas B— no se producen hundimientos, a pesar de que en el límite inferior de la misma queda una gran porción de estrato en disposición cantilevar, ya que las condiciones litológicas no son favorables, lo que queda puesto de manifiesto por el hecho de que allí acababan los primitivos escalones).

Obsérvese que los sucesivos aportes de materiales clásticos son mayores en la parte en donde se localiza la nueva ruptu-

ra de pendiente, lo cual hace que si bien el suelo autóctono de la caverna continúa presentando el triple escalón (ahora fosilizado), el piso visible, al igual que el techo, ofrece un escalón único, debido a la sedimentación clástica compensadora (o sea que, a medida que nos acercamos al borde de la ruptura de pendiente del piso, el estrato clástico aumenta en potencia, cosa que hemos comprobado directamente introduciéndonos, dificultosamente, entre los bloques). Siendo la zona débil favorable a las infiltraciones, en la zona del escalón se desarrollará corrientemente un abundante proceso litogénico, presentando, al final, el aspecto de la fig. 6-6.

Como es natural, parte de los materiales clásticos se precipitan rampa abajo, con lo cual tales productos se extienden hasta puntos muy inferiores a los que ha tenido lugar el proceso descrito (en el caso concreto de Es Bofador, hasta el fondo de la cavidad). Esta soliflucción hará que la disposición de los materiales clásticos al término de todo el mecanismo, no tenga exactamente la disposición teórica de la fig. 6-6, sino la de la fig. 7, con una ruptura de pendiente de menor valor y una distribución de la rampa clástica según A-A'. Ello imprimirá a la oquedad la siguiente disposición tridimensional (que se comprueba en la inmensa mayoría de las rampas hipogeas evolucionadas) (ver fig. 7): 1 y 1') Altura promedio de la cavidad en la zona considerada (correspondiente a la existencia antes de los procesos clásticos); 2) Altura máxima, localizada en el punto en que comienza la mayor pendiente de la bóveda (producida por el hecho de que la soliflucción ha anulado la sedimentación clástica compensadora); 3) Altura mínima, situada en el punto en que la bóveda pierde la fuerte inclinación (producida por la irrupción en tal lugar de los productos clásticos procedentes del escalón). (Como es natural, tales puntos pueden aparecer desplazados hacia arriba o hacia abajo, por un menor o un mayor valor de la soliflucción).

b) **Morfogénesis general**

Aparte del mecanismo descrito en el apartado anterior, la evolución morfológica de Es Bofador no ofrece complicación alguna, reduciéndose a las siguientes fases.

Fase 1 - Génesis de la oquedad.—Su origen hay que buscarlo en infiltraciones difusas a través de los planos de estratificación, que dieron lugar a fenómenos de erosión-corrosión. Tales infiltraciones siguieron el buzamiento hasta alcanzar una zona

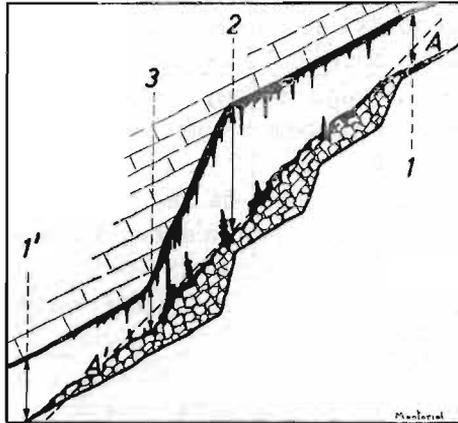


Fig. 7 Ver explicación en el texto

litológicamente débil (química o mecánicamente), a partir de la cual se hundieron a través de pequeños resaltes, siguiendo una pendiente media superior a la de los planos de estratificación.

Fase 2 - Proceso quimioclástico.—Preferentemente localizado en la zona de mayor pendiente media, gracias al mecanismo descrito en el apartado correspondiente.

Fase 3 - Sedimentación arcillosa.—Localizada en las zonas subhorizontales o de escasa pendiente.

Fase 4 - Proceso litogénico.—Se trata del último proceso en la evolución de la caverna, por cuanto fosiliza tanto los sedimentos arcillosos como los productos quimioclásticos (Las arcillas y las formas reconstructivas estuvieron a punto de obstruir totalmente la entrada de la cavidad).

(Fenómenos subactuales) - **Soliflucción.**—Resquebrajamiento de las coladas quimiolitogénicas por soliflucción de los sedimentos subyacentes.

EDAD

Englobando las arcillas el ya citado yacimiento de **Myotragus balearicus BATE**, mamífero que vivió preferentemente durante el cuaternario antiguo de las Baleares, los procesos erosivos, corrosivos y quimioclásticos debieron desarrollarse durante el Terciario, mientras que la sedimentación arcillosa y los procesos quimiolitogénicos debieron tener lugar durante el Cuaternario.

BIBLIOGRAFIA

- (1) DAVIES, W. E.—Mechanics of cavern breakdown. *Bulletin of National Speleological Society*, n. 13 pp. 36-43, 6 figs., 5 fots. Washington, 1951
- (2) FALLOT, P.—Etude géologique de la Sierra de Majorque. *Edit. Bergeranger*, 480 pp., 18 láms., 214 figs., 3 map. París, 1922.
- (3) MONTORIOL POUS, J.—Los procesos clásticos hipógeos. *Rassegna Speleologica Italiana*, anno IV, pp. 109-129, 5 figs., 2 fots. Como 1951.
- (4) MONTORIOL POUS, J.—Nuevas observaciones sobre los procesos clásticos hipógeos. *Rassegna Speleologica Italiana*, anno VI, pp. 103-114, y figs., 2 fots. Como 1954.
- (5) MONTORIOL POUS, J. y ANDRÉS BILLET, O.—Estudio geoespeleológico de varias cavidades del borde oriental de la Sierra del Boix. *Speleon*, T. VI, núm. 4, pp. 257-277, 7 figs. Oviedo, 1955.
- (6) MONTORIOL, J. et ERASO, A.—Etude de plusieurs cas d'alternance en profondeur des morphologies lithogéniques et clastique. *Atti del Symposium Internazionale di Varenne sui riempimenti naturali di Grotte*, mem. V, *Rassegna Speleologica Italiana*, 16 pp., 12 figs. Como 1961.
- (7) THOMAS CASAJUANA, J. M. y MONTORIOL POUS, J.—Estudio geoespeleológico de las formaciones hipógeas de Sa Teulada. *Speleon*, T. III, número 4, pp. 159-181, 7 figs. Oviedo, 1952.