

# LAS CRISTALIZACIONES FREATICAS

L. POMAR (\*) (\*\*)  
A. GINES (\*\*)  
R. FONTARNAU (\*\*\*)

Resumen. Résume. Abstract.

1. Introducción.
2. Las cristalizaciones flotantes.
  2. 1. Características de la calcita flotante.
  2. 2. Características del aragonito flotante.
  2. 3. Discusión.
3. Los depósitos de cristalizaciones flotantes. Características diagenéticas.
  3. 1. Los depósitos actuales.
  3. 2. Los depósitos fósiles.
  3. 3. Discusión.
4. Las cristalizaciones subacuáticas.
  4. 1. Las cristalizaciones lisas.
  4. 2. Las cristalizaciones rugosas.
  4. 3. Las cristalizaciones anguloso- quebradas.
  4. 4. Discusión.
5. Consideraciones. Conclusiones.
6. Agradecimientos.
7. Bibliografía citada.
8. Apéndices: Figuras.  
Fotografías.

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

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

(\*\*\*) Servicio de Microscopia Electrónica. Universidad de Barcelona.

## RESUMEN

Las oscilaciones del nivel del Mediterráneo durante el Pleistoceno, implican la consiguiente oscilación del nivel freático de las zonas litorales; las cotas alcanzadas por dicho nivel freático durante el Pleistoceno medio y superior han quedado registradas, en el interior de algunas cavidades del karst mallorquín, a través de las cristalizaciones freáticas que cada época ha originado. En este trabajo se analizan las principales características de estas cristalizaciones.

En el grupo de las cristalizaciones que se forman actualmente en la superficie del agua, flotando por tensión superficial, aparecen láminas de Calcita flotante ("Calcite Rafts") con cristales romboédricos, y láminas flotantes de Aragonito con cristales de hábito prismático. En ambos casos los cristales tienen un crecimiento rápido y se disponen radialmente alrededor de un núcleo que, por lo general, es de materia orgánica. En los depósitos de estas cristalizaciones se observa una fuerte microsparitización de los romboedros calcíticos; en los depósitos actuales este proceso está relacionado con la actividad de microorganismos. Los depósitos aragoníticos, tanto actuales como fósiles, presentan claras huellas de inversión a Calcita.

Entre las cristalizaciones formadas bajo la superficie freática, se reconocen tres tipos: *Cristalizaciones de agujas de Aragonito*, dispuestas radialmente sobre los extremos de estalactitas vadosas u otro soporte, con morfología externa lisa y frecuentes huellas de Inversión ("decalcificaciones"); *Cristalizaciones de calcita con extinción pseudoondulante*, con morfología externa "rugosa" que da formas de gran belleza; *Cristalizaciones de calcita romboédrica*, creciendo indistintamente sobre cristalizaciones aragoníticas, de calcita pseudoondulante, o sobre la roca carbonatada de la pared de la cavidad.

Podemos suponer que las diferencias petrológicas, geoquímicas y mineralógicas existentes en los depósitos de las diferentes épocas pleistocenas, permitirán precisar las condiciones climáticas en que se han formado, así como la evolución de éstas en el tiempo.

## RESUME

Les oscillations du niveau de la Méditerranée pendant le Pléistocène, comportent l'oscillation de la nappe phréatique des zones littorales; les hauteurs que cette nappe phréatique a atteint pendant le Pléistocène Moyen et Supérieur ont restées enregistrées, à l'intérieur de quelques cavités du karst Majorquin (Espagne), parmi les cristallisations phréatiques que chaque époque a originé. Dans ce travail on analyse les principales caractéristiques de ces cristallisations.

Dans le groupe des cristallisations qui sont en train de se former actuellement sur la surface de l'eau, on y trouve des lames de Calcite "Flottante" ("Calcite Rafts") avec des cristaux rhomboédriques et des lames flottantes d'Aragonite au cristaux prismatiques. Dans l'un et l'autre cas les cristaux ont un accroissement très rapide en se disposant radialement autour d'un noyau que, fréquemment, est en matière organique. Dans les dépôts de ces cristallisations on peut observer une forte microsparitisation des rhomboèdres calcitiques; et dans les dépôts actuels, ce processus est en relation avec l'activité des microorganismes. Les dépôts aragonitiques, même les actuels comme les fossiles, présentent des traces très claires d'une inversion à Calcite.

Parmi les cristallisations formées sous la surface phréatique, on peut y reconnaître trois types: *Cristallisations d'aiguilles d'Aragonite*, disposées radialement sur les bouts de stalactites vadose, ou n'importe quel autre support, avec une morphologie externe lisse et des fréquentes traces d'inversion ("decalcifications"); *Cristallisations de Calcite avec extinction pseudoondulante*, avec une morphologie externe "rugueuse" que permet des formes d'une énorme beauté; *Cristallisations de Calcite Rhomboédrique*, qui accroissent, indistinctement, sur des cristallisations Aragonitiques, de Calcite pseudoondulante, ou sur les roches carbonatées des murs de la cavité.

On peut supposer que les différences pétrologiques, géochimiques et minéralogiques existantes dans les dépôts des époques pléistocènes, nous permettront de préciser les conditions climatiques dans lesquelles se sont formés, ainsi que l'évolution de ceux-ci à travers le temps.

## ABSTRACT

Oscillations in the level of the Mediterranean sea during the Pleistocene produced corresponding oscillations in the level of the ground water-table, in the coastal areas. The levels reached by the ground water-table in the middle and upper Pleistocene have been recorded inside some caves in the Majorcan karst, by means of the phreatic crystallisations left by each epoch. In this study, we propose to analyse the principal characteristics of these crystallisations.

In the group of crystals that forms at the present time, floating at the water surface by means of surface tensions, we find rhombohedrally crystallized floating calcite (calcite rafts) and floating plates of aragonite (whose crystals are grouped in prismatically - shaped rods). In both cases growth is rapid and the crystals are formed radially around a nucleus, often of organic material. In these deposits we can often observe a strong microsparitisation of the rhombohedral crystals; in the present day deposits this process is related to the activity of microorganisms. The deposits of aragonite, both present-day and ancient, show clear traces of a process of conversion into calcite.

Among the crystals formed below the water surface we can recognize three types; 1.— *Needle - like crystals of aragonite*, arranged radially around the tip of those stalactites which penetrate the water surface, or around any other suitable support. These have a smooth outer texture, and frequently show signs of the process of conversion into calcite. 2.— *Calcite crystals with a pseudo-undulating profile* and a wrinkled outer texture, often forming themselves into very beautiful shapes. 3.— *Rhombohedral calcite crystals*, growing indiscriminately on the aragonite crystals, the pseudo-undulating calcite, or on the limestone rock of the cave walls.

We may suppose that the petrological, geochemical and mineralogical differences existing in the deposits left by the different Pleistocene epochs, will allow us to determine the climatic conditions under which they were formed, and by the same token, the evolution with time undergone by these conditions.

# 1. INTRODUCCION

La Telodiagénesis, definida por CHOQUETTE y PRAY (1970), comprende todas las transformaciones que ocurren en las rocas como consecuencia de la actuación de los procesos de meteorización. Estos autores sitúan el límite inferior de actuación de los procesos telodiagenéticos ligeramente por debajo del nivel freático, comprendiendo la totalidad de la zona vadosa. THRAILKILL (1968) confiere a dicho límite una importante función genética de la mayor parte de las cavidades —cavidades freáticas— que pueden evolucionar a vadosas por descenso del nivel piezométrico y a clásticas por derrumbamientos internos. Esta concepción freática de la génesis de las cavidades cársticas —al menos en su estadio inicial— es mantenida por los autores anglosajones principalmente, atribuyendo a la capa freática un papel esencialmente corrosivo.

La existencia de cristalizaciones freáticas es un aspecto apenas conocido del comportamiento químico y morfogénico de algunas capas cársticas. Por lo general las formaciones engendradas en medio acuático han sido consideradas como productos ocasionales de procesos no generalizados en el ámbito cárstico; tal es el caso de la "calcita flotante" y de las cristalizaciones que tienen lugar en el interior de los "gours". Sin embargo JOLY (1929) refiriéndose a las Coves del Drach expone una serie de consideraciones sobre la génesis de dicha cueva, y entre ellas aparece una intuitiva descripción de estalactitas con revestimiento subacuático: "...lo que nos llamó inmediatamente la atención, en esta cueva, amplia y abundantemente decorada de concreciones, es la presencia de pilares estalagmíticos y estalagmitas en el fondo del agua de los lagos actuales por una parte, y por otra parte, la forma especial, nunca observada en otra cueva, de las estalactitas que se avecinan al contacto de estos lagos: a un nivel medio de 0,20 mts. por encima del nivel más bajo de las aguas, las estalactitas en vez de ser cónicas tienen forma de porra (massue)".

NUÑEZ (1967) cita excelentes ejemplos de concrecionamiento en medio freático al referirse a cuevas de las comarcas cubanas de Pinar del Río (Llanura cársica meridional) y Cayo Caguanes (provincia de las Villas). Así mismo relaciona el origen de algunas de las formaciones de la afamada Cueva de Bellamar (Matanzas) con similares mecanismos de cristalización subacuática en condiciones de inundación freática. Son de gran interés las observaciones que hace en torno a la calcita flotante, a las formaciones fungiformes, y a la problemática de las estalagmitas sumergidas en los lagos de aquellas cuevas. El planteamiento que propone sobre las causas de lo que denomina "segunda inundación" de aquellas cavidades del litoral cubano, prefigura varios de los recientes criterios que hoy aplicamos para las cuevas de Mallorca.

Son GINES y GINES (1974) quienes, al describir los mecanismos de fosilización de la Cova de Sa Bassa Blanca (Mallorca), ponen de manifiesto la importancia de los procesos de precipitación de Carbonatos que ocurren en la capa freática durante el Pleistoceno superior, al demostrar el paralelismo existente entre las cotas del nivel del mar establecidas por BUTZER y CUERDA (1962) para el Mediterráneo durante dicho piso y las cotas de las cristalizaciones cársticas.

La determinación de las condiciones genéticas de las cristalizaciones freáticas adquiere un singular relieve por incidir de forma directa sobre la compleja y polémica dinámica de los Carbonatos, principalmente por lo que respecta a sus condiciones de precipitación y de estabilidad. Estas consideraciones revisten una mayor importancia en el caso de algunos sistemas cársticos mallorquines que, por su relación estrecha con el nivel marino, presentan la posibilidad de determinar con precisión, algunas de las características de las aguas cársticas (nivel, salinidad, temperatura, etc.) durante el Pleistoceno.

## 2. LAS CRISTALIZACIONES FLOTANTES

La existencia de cristalizaciones de carbonato cálcico flotando en la superficie de lagos hipogeos y de ciertos "gours" ha sido observada en numerosas ocasiones por espeleólogos y karstólogos, sin que hasta la fecha haya sido objeto de un estudio detallado. ADDISON (1972, pág. 332) se refiere a estas cristalizaciones diciendo que son "chapitas de calcita reprecipitada formando una lámina sobre toda o parte de la superficie de un lago subterráneo estático en condiciones que favorecen el desprendimiento de  $CO_2$ " y SWEETING (1972, pág. 189) afirma que "en muchas cuevas existen chapas de cristales de calcita (CALCITE RAFTS), los cuales generalmente no miden más de una centésima de pulgada, se aguantan por tensión superficial y son fácilmente destruidas". Ningún autor describe cristalizaciones de otra mineralogía que la Calcita.

En las zonas telodiagenéticas del karst mallorquín son frecuentes estas cristalizaciones en los lagos hipogeos. Las características comunes a los lagos en que éstas ocurren son fundamentalmente: una cierta renovación de aire desde el exterior, así como un estatismo casi total de las aguas, mientras que la mayor o menor salinidad (concentración de cloruros) no parece tener influencia sobre la aparición de las cristalizaciones flotantes. Las aguas extraídas del subsuelo presentan también formación de cristalización flotantes a las pocas horas de hallarse en reposo. Mineralógicamente estas cristalizaciones pueden ser de Aragonito o de Calcita.

## 2. 1. CARACTERISTICAS DE LA CALCITA FLOTANTE

La calcita flotante está formada por finas laminillas de color blanco, suspendidas en la superficie del agua por tensión superficial. La más mínima perturbación mecánica en la superficie del agua, como puede ser el goteo estalactítico o cualquier otra perturbación natural o artificial, hace que la calcita precipite al fondo del lago. Dichas laminillas están constituidas por cristales de calcita con hábito romboédrico (POMAR et al. 1975) (foto 1). Los romboedros se disponen con el eje C, en general, orientado en sentido radial alrededor del núcleo de cristalización, formando a modo de rosetas (foto 2), que se unen entre sí por intercrecimiento de los romboedros. La cara aérea de las laminillas es perfectamente plana como consecuencia de que la precipitación se produce por debajo de la interfase aire - agua (ver fotos 3 y 4). En la foto 3 puede observarse la cara lisa (subaérea) y los romboedros creciendo hacia abajo, "colgados"; así mismo se aprecia un detalle de dos rosetas seccionadas, en una de las cuales se adivina el núcleo de cristalización. En la foto 2 pueden observarse dos núcleos de cristalización superpuestos y la existencia de una "dust line" indicadora de una interrupción en el crecimiento (BRICKER, 1972). Es importante resaltar la existencia de romboedros con aristas curvas, que indican un crecimiento cristalino rápido a partir de una solución (ver fotos 3, 5 y 6).

La nucleación de la calcita flotante sucede en dos formas. Por una parte se observan numerosos y diminutos cristales (ver foto 4) que poseen aristas de 5 micras de longitud junto con otros cristales que alcanzan tamaños mayores, con aristas oscilando entre las 10 y 20 micras, formados a partir de una polinucleación. Por otra parte, se observa que son muy abundantes, en las láminas de calcita flotante, las "rosetas" con crecimiento cristalino radial. Estas "rosetas" se destacan por un crecimiento mucho más rápido, superando en tamaño las diminutas generaciones cristalinas iniciales (foto 5); llegan a alcanzar longitudes que oscilan sobre las 500 micras. (Un crecimiento prolongado puede originar láminas de más de 1 mm. de grueso). La foto 6 muestra un aspecto frontal de una de estas "rosetas" en la que se aprecia perfectamente la posición radial de los ejes de los romboedros, así como la curvatura de las aristas producida por un crecimiento más rápido de las caras que de los vértices del cristal. El núcleo de cristalización de estas rosetas corresponde siempre (ver foto 3) a materia orgánica mucilaginoso, identificada tras la disolución de la calcita en HCl diluido.

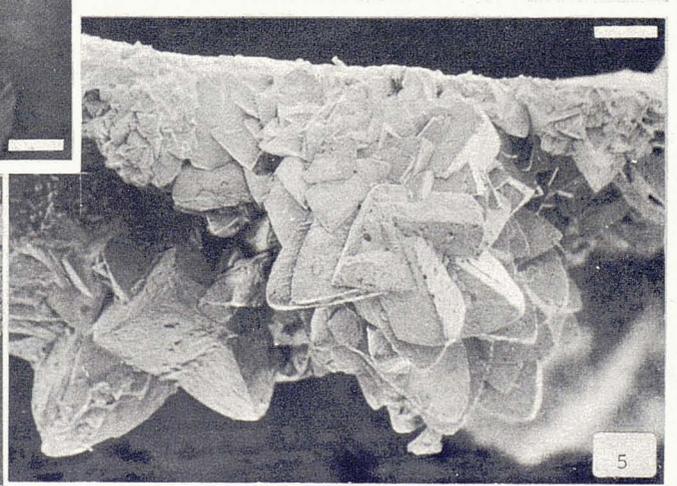
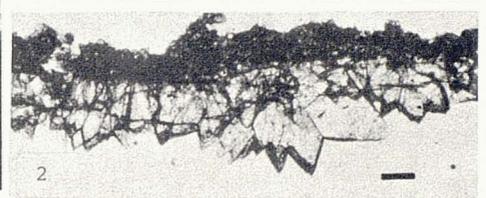
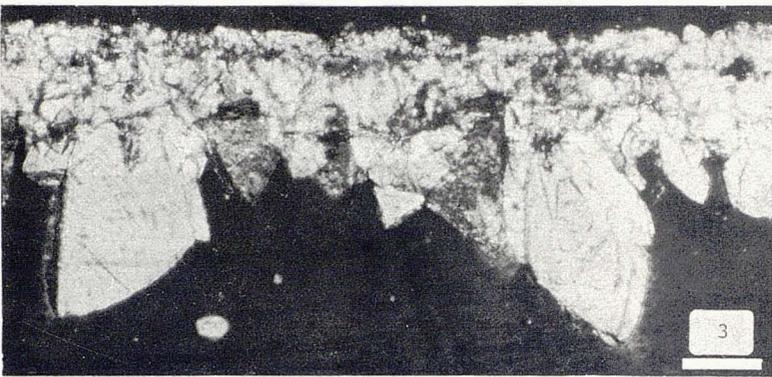
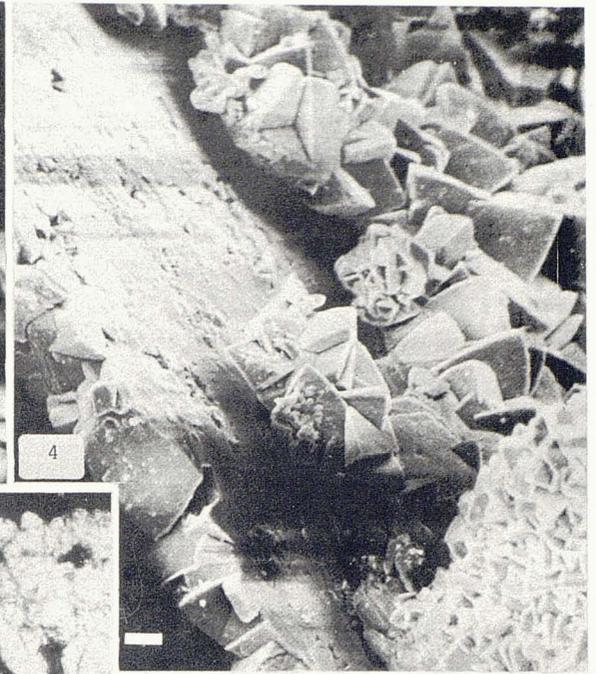
Las aguas en que se producen estas cristalizaciones de calcita flotante tienen concentraciones de Ca y de Mg menores a 700 ppm. La relación Ca/Mg oscila entre 1/2 y 1/3. La concentración de cloruros es elevada, aunque no se han realizado determinaciones cuantitativas, y los sulfatos presentan concentraciones apreciables. La concentración de Sr era inferior a los límites detectables.

En las muestras de calcita flotante, la concentración en Sr oscila entre 350 ppm y 650 ppm según las cavidades. El contenido en Fe no presenta un comportamiento definido mientras que el Mn sólo se ha detectado en muestras fósiles.

---

### LAMINA I

- Foto 1:  
Aspecto de una lámina de calcita flotante con el microscopio óptico y los nícoles cruzados. (Escala 50 micras).
- Foto 2:  
Sección de una laminilla de calcita flotante. Nótese la microsparita en la cara aérea, la disposición radial de los romboedros y las líneas de crecimiento (Dust line). (Escala 100 micras).
- Foto 3:  
Sección de calcita flotante. Nótese la existencia de suturas de crecimiento, la microsparitización de la primera generación, la sobreimpresión de grandes cristales en la última etapa y la materia orgánica (isótropa) en algunos núcleos. (Escala 50 micras).
- Foto 4:  
Electromicrofotografía de calcita flotante en un estadio muy inicial. (escala 10 micras).
- Foto 5:  
Electromicrofotografía lateral de una lámina de calcita flotante, mostrando varias "rosetas". (Escala 50 micras).
- Foto 6:  
Electromicrofotografía de la cara acuática de una lámina de calcita flotante, mostrando frontalmente una roseta. Se pueden distinguir aristas curvas de crecimiento en los romboedros. (Escala 10 micras).
- Foto 7:  
Electromicrofotografía de la cara aérea de una laminilla de calcita flotante. Nótese la presencia de enigmáticos cuerpos romos. (Escala 10 micras).
- Foto 8:  
Láminas de aragonito flotando en la superficie del agua (Escala 4 cm.)



## 2. 2. CARACTERISTICAS DEL ARAGONITO FLOTANTE

En muchas de las aguas extraídas del subsuelo de Mallorca, ya sea a través de pozos o de sondeos, tras experimentar cierto reposo aparece una cristalización flotante blanca de carbonato cálcico (foto 8). Mediante difracción de rayos X se ha determinado que corresponden a cristales de Aragonito (ver gráfica 2).

El Aragonito flotante cristaliza en forma de agregados radiales, unidos entre sí, formando finas láminas en la superficie del agua. La foto 9 muestra una lámina por su cara inferior (acuática) en la que se observa el intercrecimiento de los agregados hemisféricos radiales. En la foto 10 aparece una sección de una laminilla en la que se observa uno de los agregados seccionados. La lámina tiene 20 micras de grosor; este grosor es el correspondiente a la longitud de los cristales, que tienen un diámetro de una micra.

La cara aérea de la lámina es lisa —al igual que la de la calcita flotante— a causa de que el crecimiento se realiza solamente en la fase acuosa (esta cara aérea corresponde a la interfase aire-agua). Foto 11; nótese la unión de los agregados por intercrecimiento de los cristales. Observados en detalle (foto 12), los agregados muestran la perfecta disposición radial de los cristales, haciéndose patente al mismo tiempo una colonización biológica de naturaleza filamentososa.

Las experiencias en curso sobre la cristalización del Aragonito flotante, pese a hallarse en sus fases iniciales, muestran una clara dependencia de: la velocidad de cristalización con respecto al incremento de temperatura sufrido por el agua, la presencia y actividad de microorganismos y la existencia de cuerpos extraños en la superficie susceptibles de actuar como núcleo de cristalización.

## 2. 3. DISCUSION

Las condiciones que controlan la cristalización de carbonato cálcico en la superficie del agua, independientemente de la especie mineralógica del precipitado, son: tranquilidad y estatismo de la superficie del agua, presencia de cuerpos extraños, posibilidad de intercambio y renovación del aire en contacto con la superficie del agua, elevación de la temperatura y presencia y actividad de microorganismos.

Todo ello nos sugiere que la cristalización de los carbonatos en la superficie se produce por una fuga del CO<sub>2</sub> disuelto en el agua; esta fuga estaría provocada por una disminución de la solubilidad de dicho gas (incremento de la temperatura) o por un descenso de su presión parcial encima de la superficie (aireación de la cavidad o recipiente en que se produce la cristalización). Como consecuencia de la fuga de CO<sub>2</sub> disuelto, se origina una saturación de carbonato junto a la superficie, que da lugar a la precipitación. La presencia de microorganismos y de materia orgánica, que se manifiestan como aceleradores de la velocidad de cristalización, podría actuar mediante dos mecanismos, ya sea creando un microambiente básico a su alrededor, ya sea mediante la absorción de CO<sub>2</sub> en su actividad metabólica, procesos ambos que favorecen la cristalización del carbonato. Tampoco se desprecia una actuación pasiva como núcleo de cristalización.

Estas afirmaciones, que se presentan como conclusiones provisionales, son aptas solamente como hipótesis de trabajo. Quedan todavía por determinar las causas que bloquean la cristalización de la calcita para permitir la del aragonito, en unas condiciones que contradicen las citadas en algunos trabajos, tales como concentraciones de Sr, Mg, Na, etc. (ver FOLK, 1974; LEITMEYER, 1910; FYFE y BISCHOFF, 1965).

## 3. LOS DEPOSITOS DE CRISTALIZACIONES FLOTANTES

### Características diagenéticas.

En numerosas cavidades mallorquinas, se observa la existencia de depósitos formados por acumulación de cristalizaciones flotantes, actuales o pleistocenas. Todas ellas manifiestan la existencia —actual o pretérita— de importantes procesos de recristalización en el sentido amplio dado por FOLK (1965).

---

Texto de la FIGURA 1:

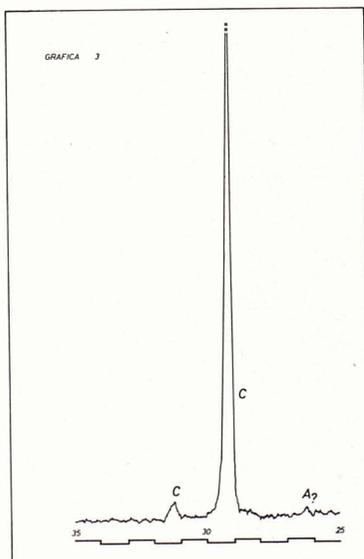
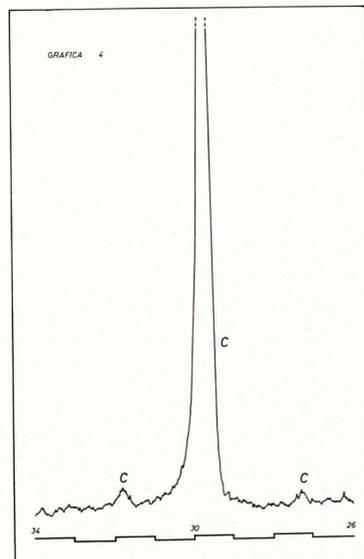
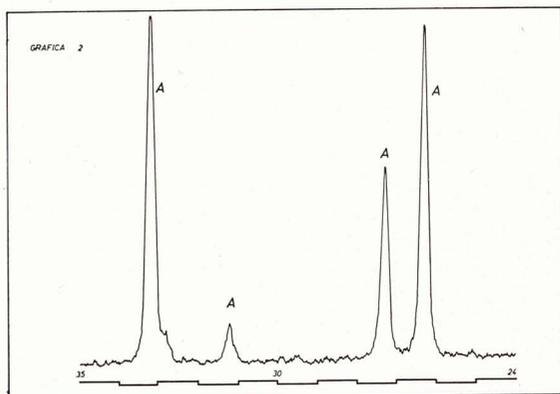
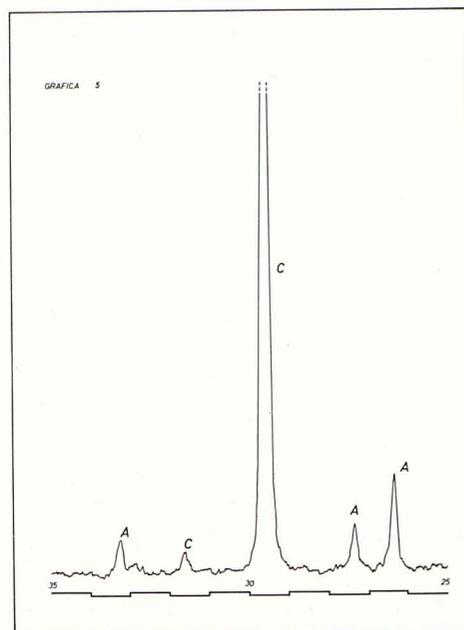
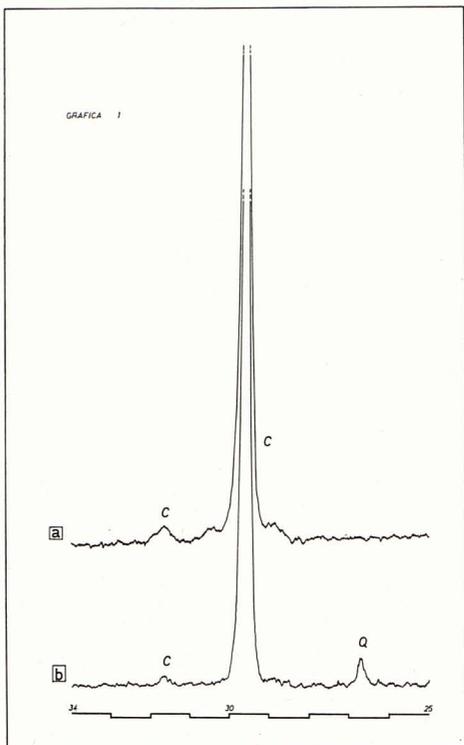
GRAFICA 1.- Difractograma de dos muestras de Calcita flotante.

GRAFICA 2.- Difractograma de una muestra de Aragonito flotante.

GRAFICA 3.- Difractograma de una muestra procedente de un depósito actual de Calcita flotante.

GRAFICA 4.- Difractograma de una muestra de un depósito de Calcita flotante de un gour desecado.

GRAFICA 5.- Difractograma de una muestra de Aragonito de origen flotante, parcialmente invertido a Calcita, procedente de un depósito del Eutyrenniense.



### 3. 1. LOS DEPOSITOS ACTUALES

Se forman en el fondo de los lagos hipogeos y presentan una coloración parda. Tras la disolución del carbonato (Calcita) en HCl diluido se aprecia que dicha coloración corresponde a microorganismos, a acumulación de materia orgánica y en menor grado a una débil deposición de arcillas en suspensión. Con el microscopio óptico en lámina delgada se aprecia un importante proceso de recristalización degradante (microsparitización) que afecta en su totalidad a las láminas más finas y, sólo parcialmente, a las gruesas (fotos 13, 14); esta microsparitización se produce mediante procesos de disolución-corrosión (foto 15) ligados a la actividad de microorganismos (foto 16). Son frecuentes también, sobre las laminillas, cristales de carbonato tamaño microsparta (5 a 10 micras) de hábito romboédrico (foto 17). El primer estadio de microsparitización se manifiesta como una disolución parcial de los cristales acompañada de una fragmentación (desconchamiento), en presencia de abundantes filamentos orgánicos (foto 18).

Otra característica textural importante que aparece en estos depósitos es la presencia constante de cristales aciculares dispuestos en agregados radiales, reemplazando, unas veces, a las láminas de calcita o creciendo sobre éstas (fotos 19, 20); la abundancia relativa de dichos agregados guarda una relación inversa con la profundidad a que se halla la muestra con respecto al nivel del agua, por lo que parece probable que su génesis pudiera estar relacionada con las fluctuaciones del nivel piezométrico. La detección de Aragonito en estas muestras mediante los datos obtenidos por Difracción de Rayos X, nos sugiere que los agregados fibroso radiales pueden corresponder a dicho mineral.

En los análisis geoquímicos realizados, se ha puesto de manifiesto que las muestras de calcita flotante recogida del fondo presentan un enriquecimiento en Mn, en aguas con temperaturas generalmente superiores a las de la superficie y con concentraciones en cationes divalentes mucho más elevadas.

### 3.2. LOS DEPOSITOS FOSILES

Las oscilaciones que presenta el nivel del mar durante el Pleistoceno se traducen en oscilaciones del nivel piezométrico de las aguas cársticas de las cavidades, en los sistemas cársticos litorales. Ello ha permitido el estudio de muestras procedentes de depósitos de cristalizaciones flotantes formadas durante el Pleistoceno, y que se hallan a distintas cota topográficas sobre el nivel piezométrico actual.

A un nivel de +2 mts. sobre la superficie piezométrica actual, se ha localizado un depósito de laminillas de Calcita cuya morfología externa permite atribuirle un origen flotante. Estas laminillas presentan un recubrimiento estalagmítico en forma de colada. En lámina delgada se constata que las laminillas originales han sufrido un importante proceso de recristalización (fotos 21 y 22) que ha cambiado totalmente la textura primitiva: la antigua textura romboédrica se presenta como un cemento pseudodrusy. La cristalización de esta calcita flotante corresponde al Neotyreniense (GINES y GINES 1974). La textura de la colada que la recubre evidencia procesos de precipitación subacuática (ver apartado 4) (Muestra procedente de la Cova de Sa Bassa Blanca, Alcudia).

A un nivel de +6 a +8 mts. sobre el nivel freático actual se han recogido muestras de calcita flotante fósil. Estas laminillas no presentan evidencia alguna de haber sufrido procesos posteriores de precipitación. Estas láminas (foto 23) ponen de manifiesto una acusada microsparitización, a la vez que se observa sobre ellas la presencia de cristales alargados, que podrían corresponder a escalenoedros o a romboedros muy agudos

---

#### LAMINA II

Foto 9:  
Electromicrofotografía de la cara acuática de una lámina de aragonito flotante. Nótese la existencia de numerosas "rosetas". (Escala 100 micras).

Foto 10:  
Electromicrofotografía de una "roseta" seccionada a nivel del núcleo. (posición invertida) (Escala 10 micras).

Foto 11:  
Electromicrofotografía de la cara aérea del aragonito flotante; las "rosetas" unidas por intercrecimiento son manifiestas. (Escala 10 micras).

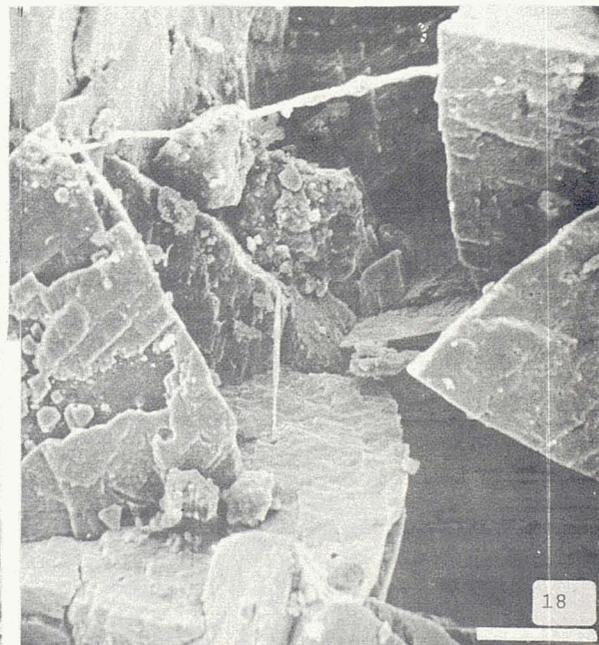
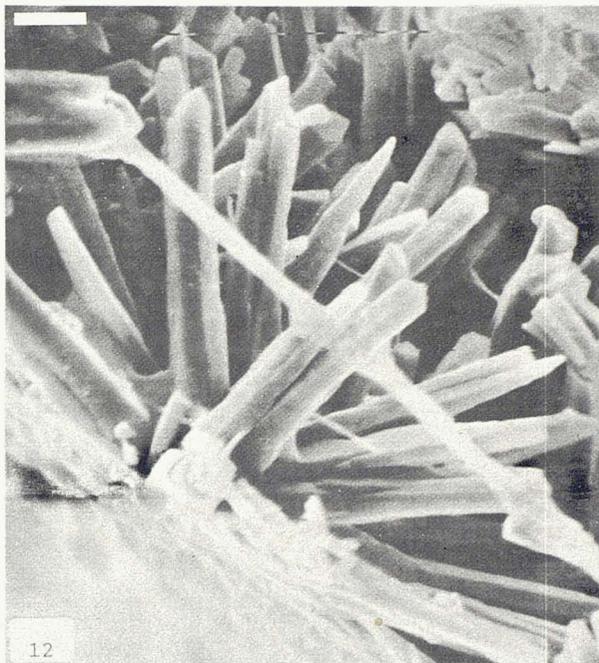
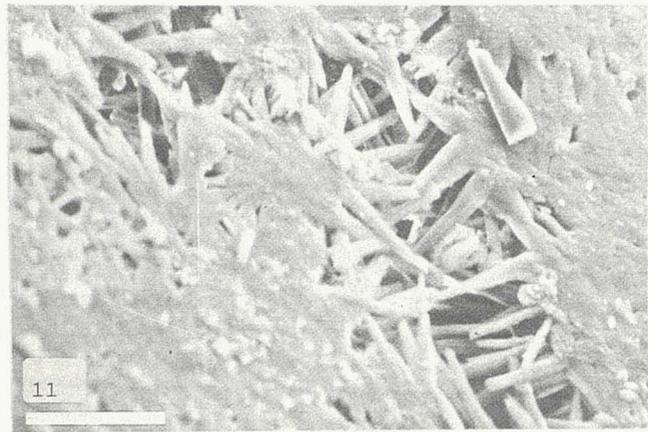
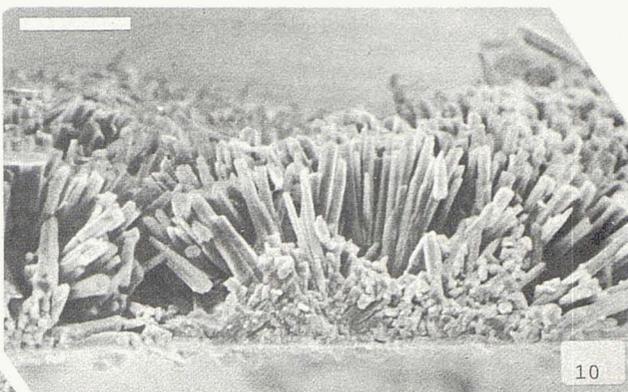
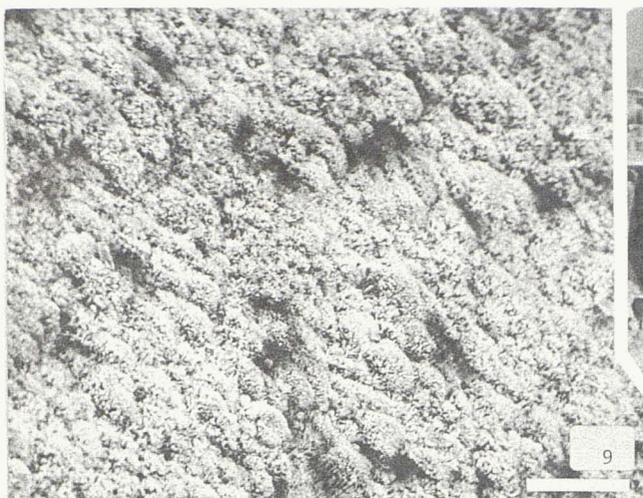
Foto 12:  
Electromicrofotografía de una "roseta". Nótese la posición radial de las agujas formadas por la combinación de dos prismas rómbicos y la presencia de filamentos orgánicos. (Escala 2 micras).

Fotos 13, 14 y 15:

Ver lámina III

Fotos 16, 17 y 18:

Electromicrofotografías de la cara acuática de una lámina de calcita flotante recogida del fondo de un lago hipogeo; son evidentes las señales de disolución (16 y 18) asociadas a gran proliferación de microorganismos. Localmente se aprecian procesos de precipitación (17) (Escala. Fotos 16 y 17, 20 micras; foto 18, 1 micra).



como los descritos por FOLK (1974) para la Calcita Magnesiana. Todas estas laminillas se hallan fuertemente cementadas por Calcita y por Oxidos de Fe. En relación con los datos aportados por BUTZER y CUERDA (1962) cabe atribuir a esta calcita flotante un probable origen Eutyrreniense (Tirreniense II). (Muestra procedente de la Cova Marina des Pont, Manacor).

Un depósito formado por la sedimentación de láminas flotantes de calcita en un "gour", actualmente desecado, también ha puesto en evidencia los procesos de microsparitización sufridos por la calcita romboédrica. Las fotos 24, 25, 26 y 27 tomadas con Microscopio Optico en lámina delgada y con nicoles cruzados dan cuenta de ello. La foto 24 tomada sobre una lámina vista en posición frontal muestra la microsparitización y la micritización de los cristales originales, de los que todavía queda algún relicto. La foto 25 corresponde a la misma muestra vista en sección; en la foto 26 se aprecia la total microsparitización sufrida por las láminas más finas y un inicio de recristalización en las láminas de mayor grosor. Finalmente la foto 27 proporciona una visión de conjunto a menor aumento. (Muestra procedente de la Cova de na Mitjana, Capdepera).

A 3,80 mts. sobre el nivel piezométrico actual se han recogido muestras de un depósito de cristalizaciones flotantes. La cota de este depósito se corresponde con un nivel de precipitación de Aragonito sobre las paredes y concreciones ya existentes en dicha cueva, en condiciones subacuáticas, a una cota del nivel freático fósil de 3,90 mts. que permite atribuirle su origen durante el Eutyrreniense (Tirreniense II). En lámina delgada, estos depósitos manifiestan una acusada disposición laminar de masas micríticas-microsparíticas (ver fotos 28, 29) entre los cuales se observa la existencia de cristales aciculares, existiendo todos los pasos intermedios entre las agujas y la textura microsparítica. Con el Microscopio Electrónico de Barrido se observa la existencia de masas de cristales aciculares asociados en placas. Estos cristales, aparecen en el interior de la muestra, en una graduación completa a texturas micríticas calcíticas: pueden observarse cristales aciculares aragoníticos con señales de una corrosión incipiente (foto 30) y mostrando la simultánea aparición de cristales de calcita —Cemento— (ver flechas); progresivamente, y al tiempo que la corrosión de los cristales aumenta (foto 31) se observa gran desarrollo de cemento, quizás tipo menisco, que empasta tanto los restos de cristales aciculares como los posibles granos detríticos, y rellena completamente los poros, llegándose a observar (foto 32) una masa homogénea carbonatada de tipo microsparítico. (Muestra procedente de la cova de sa Bassa Blanca, Alcudia).

Los análisis mineralógicos por difracción de Rayos X han identificado la presencia simultánea de Aragonito y de Calcita (Low-Mg Calcita) que, juntamente con el hábito de los cristales, hace que interpretemos las agujas como Aragonito y el cemento —originado por la corrosión— como Calcita. El mecanismo de la inversión Aragonito-Calcita consistiría en una disolución-precipitación.

### 3. 3. DISCUSION

Los depósitos de cristalizaciones flotantes se originan cuando cualquier perturbación mecánica en la superficie del agua hace que éstas se precipiten al fondo.

La existencia de depósitos de este tipo de cristalizaciones a diversas cotas sobre el nivel freático actual, en lagos hipogeos relacionados con el mar, (o asociados a "gours" actualmente desecados) evidencia la existencia de estos procesos en épocas anteriores. La coincidencia de estas cotas con las establecidas por BUTZER y CUERDA (1962) para los depósitos de playa del Pleitoceno, hace que a aquellos materiales se les puedan atribuir las edades correspondientes a la de la playa de la misma cota (GINES y GINES, 1974).

Los depósitos formados en la actualidad experimentan, ya en sus primeros momentos, una intensa microsparitización; este proceso se produce paralelamente al desarrollo de una importante microflora heterótrofa.

---

#### LAMINA III

Fotos 13 y 14:

Sección de calcita flotante hundida. La microsparitización es muy intensa en las láminas más finas. Nótese las suturas de crecimiento en las láminas más gruesas. (foto 13, nicoles paralelos; foto 14, nicoles cruzados). (Escala 500 micras).

Foto 15:

Sección de calcita flotante hundida. Roseta nucleada por materia orgánica, y microsparitización. (Escala 200 micras).

Fotos 16, 17 y 18:

ver lámina II.

Fotos 19 y 20:

Secciones de calcita flotante hundida. Crecimiento neomórfico de cristales aciculares de Aragonito, fibroso-radiados. (Escala foto 19, 200 micras; foto 20, 10 micras).

Fotos 21 y 22:

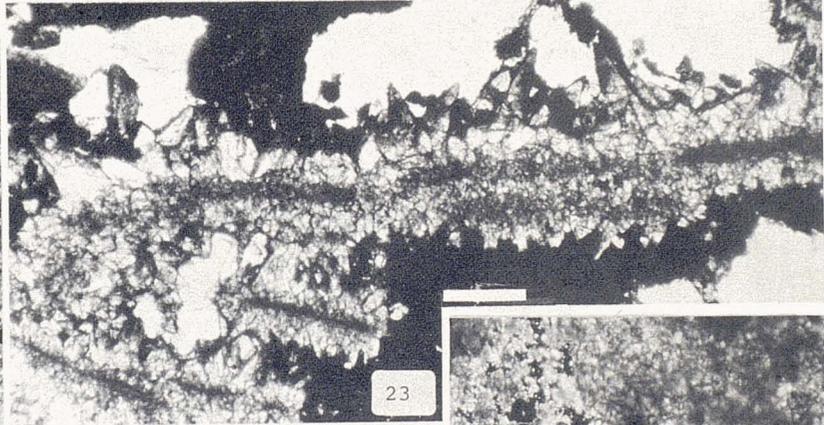
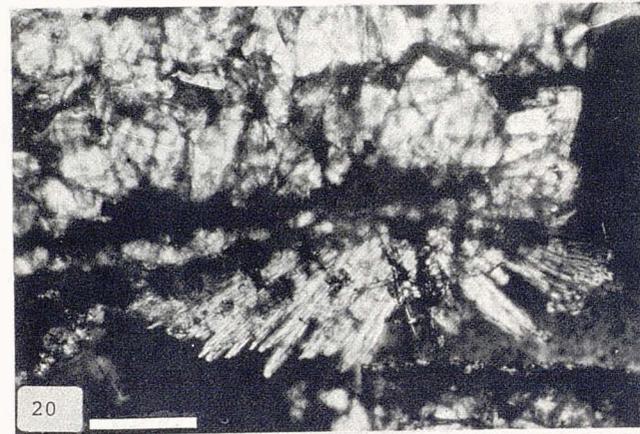
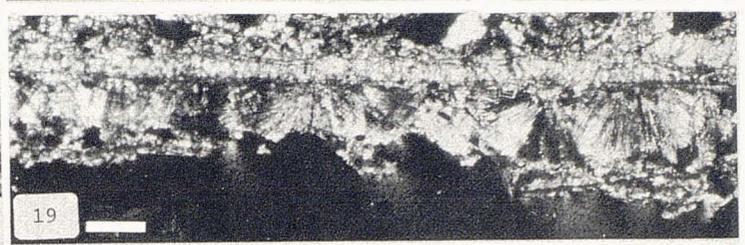
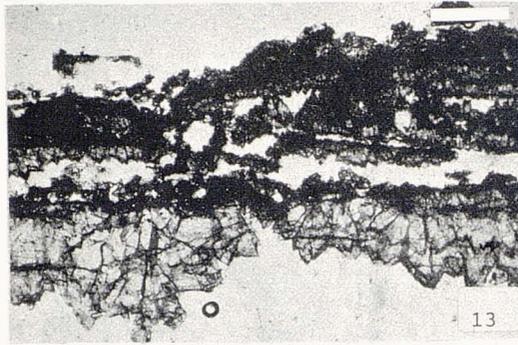
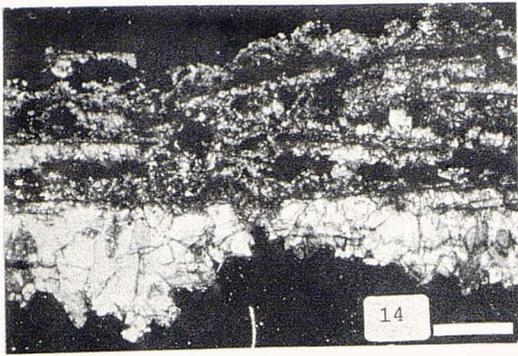
Lámina fósil de calcita flotante neomorfizada y recubierta por colada posterior; vista en sección. (Escala 1 mm.).

Foto 23:

Calcita flotante fósil, con crecimientos posteriores escalenoédricos y precipitación de cemento ferruginoso. (Escala 200 micras).

Foto 24:

Calcita flotante fósil, microsparitizada; visión frontal. (Escala 200 micras).



En las calcitas, el proceso constituye una recristalización degradante y en los Aragonitos una inversión a Calcita. En ambos casos el mecanismo de disolución-precipitación, es el más satisfactorio como responsable del proceso.

La identidad de texturas entre depósitos actuales en estadio diagenético avanzado y las correspondientes a épocas anteriores del Pleistoceno, nos hace suponer una permanencia de los procesos durante dicho periodo, o al menos durante sus fases diagenéticas activas.

En un medio no agresivo, la calcita flotante sufre un recubrimiento carbonatado subacuático y en este caso los procesos neomórficos conducen a una recristalización agradante, resultando una textura de cemento tipo drusy.

## 4. LAS CRISTALIZACIONES SUBACUÁTICAS

La existencia de cristalizaciones de Carbonato Cálcico formadas en el interior de la capa cárstica, en condiciones claramente subacuáticas, ha despertado escasamente la atención de los investigadores. Quizás ello sea debido a la primacía que se otorga a los procesos corrosivos bajo la superficie freática y a la escasa abundancia de precipitados formados en tales condiciones. Los pocos autores que tratan tan importante tema (ver Introducción), dedican su atención a las descripciones morfológicas de las concreciones, apuntando una génesis subacuática pero sin dar mayores precisiones acerca de la naturaleza de las mismas.

En este apartado describimos las características petrológicas y mineralógicas de algunas cristalizaciones formadas en medio freático durante el Pleistoceno medio y superior en varias cavidades mallorquinas, y particularmente en la Cova de Sa Bassa Blanca en Alcudia, basándonos en el trabajo previo de GINES y GINES (1974). En éste se realiza una clasificación morfológica de las concreciones, de génesis subacuática, formadas a cotas diferentes como consecuencia de los distintos niveles piezométricos que han existido durante el Pleistoceno, motivados por las fluctuaciones del nivel del mar (ver figura). Estos autores distinguen entre formas cenitales (fotos 33, 34 y 35), formas parietales (fotos 33 y 35) y formas pavimentarias (fotos 33 y 36), según se hallen colgadas del techo, sobre la pared o sobre el pavimento respectivamente. También resaltan la morfología de estas formas distinguiendo superficies lisas (fotos 33, 35, 37 y 38), rugosas (fotos 33, 35 y 36) y anguloso-quebradas (foto 34), al tiempo que afirman que las formas con superficie lisa suele presentar síntomas de decalcificación.

Un análisis detallado de todas estas formas nos revela que dicha morfología superficial (lisa, rugosa o quebrada) es consecuencia de la naturaleza aragonítica o calcítica de las cristalizaciones y de los hábitos en que éstas se presentan.

El hecho de que estas cristalizaciones subacuáticas, presenten unas características morfológicas, mineralógicas y petrológicas propias, nos hace albergar la esperanza de que en un futuro próximo sea posible determinar las principales características físicas y químicas de las aguas cársticas y sus variaciones durante dicho periodo (Pleistoceno medio y superior), a través del análisis de estos depósitos carbonatados. Sin embargo limitaremos aquí nuestra atención, al análisis textural y mineralógico de las formas principales que aparecen y de la problemática que plantean.

### 4. 1. LAS CRISTALIZACIONES "LISAS"

Las cristalizaciones subacuáticas cuya morfología superficial es lisa, corresponden a cristalizaciones de Aragonito, de hábito acicular, que crecen perpendicularmente a la superficie que les sirve de base. Dicha base puede ser una estalactita vadosa previa o bien la pared de la cavidad. Muchas de estas cristalizaciones son in-

---

#### LAMINA IV

Foto 25:

Calcita flotante fósil, totalmente microspartizada. (Escala 10 micras).

Foto 26:

Calcita flotante fósil neomorfozada a textura empalizada (Escala 200 micras).

Foto 27:

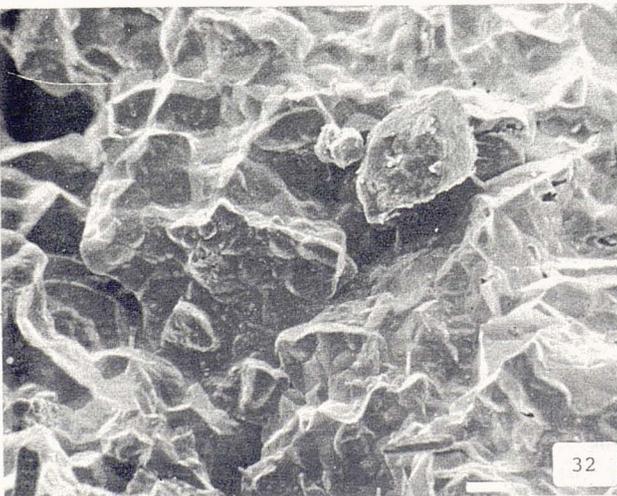
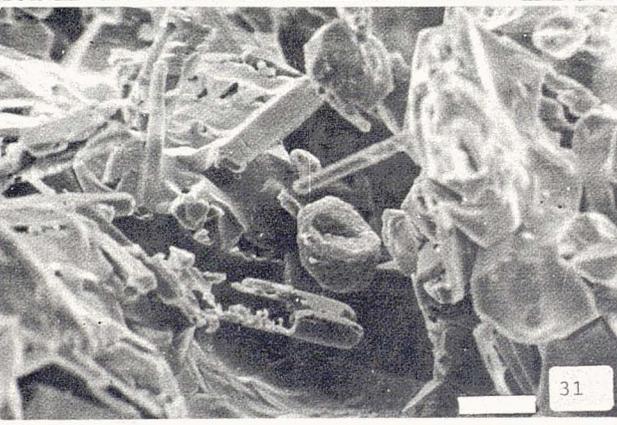
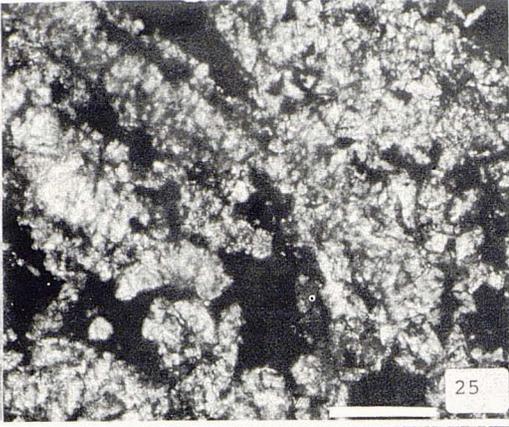
Láminas de calcita flotante fósil parcialmente microspartizada. (Escala 200 micras).

Fotos 28 y 29:

Lámina delgada de un depósito fósil de aragonito flotante. Obsérvense las agujas de aragonito y su transformación en Microsparita. (Escala 200 micras).

Fotos 30, 31 y 32:

Secuencia de electromicrofotografías mostrando el proceso de inversión que afecta a la muestra de la foto 28. Las agujas de aragonito presentan procesos de disolución asociados a la precipitación de cemento calcítico: romboédrico en sus primeras etapas (foto 30, flechas) y Menisco en las ulteriores (fotos 31 y 32). (Escala 10 micras).



dicativas de paleonivel freático. Si la cristalización de aragonito se dispone sobre una espelotema cenital precedente, los cristales crecen perpendicularmente a la superficie (foto 37) mientras que si lo hacen sobre las paredes, se disponen en agregados radiales contiguos (foto 40) que confieren a la pared un aspecto botroidal (c en foto 34). Las cristalizaciones aragoníticas pueden presentar varias generaciones superpuestas; en este caso las diferentes generaciones pueden estar separadas por una fila capa calcítica (remarcada en trazo en la foto 37) presentando, la más externa, numerosas protuberancias como consecuencia de que las nuevas generaciones ya se producen en forma de agregados radiales (fotos 37 y 38). El carácter "liso" de la pared externa de las cristalizaciones corresponde a la existencia de una capa de calcita formada por cristales de 500 micras, aproximadamente, de diámetro (foto 41).

GINES y GINES (1974) notan la existencia de procesos de "decalcificación" en las muestras "lisas", aragoníticas; nuestras observaciones han evidenciado que dichas decalcificaciones corresponden a una inversión aragonito-calcita. Esta inversión puede ser responsable de la autofracturación de muchas de estas concreciones, quizás debida al aumento de volumen que implica dicha transformación mineralógica.

## 4. 2. LAS CRISTALIZACIONES "RUGOSAS"

Las cristalizaciones con superficie "rugosa" se hallan siempre sobreimpuestas a cristalizaciones aciculares aragoníticas, ya sea en concrecionamiento cenital o parietal. En el concrecionamiento pavimentario no ha podido constatarse directamente esta superposición debido a que en los niveles inferiores no existen formas "lisas"; no obstante, a partir de otras observaciones sobre el afloramiento se ha podido deducir que se trata del mismo caso.

En las fotos 33, 35 y 36 se observan varios ejemplos de este tipo de cristalizaciones. La foto 42 muestra dos secciones, de una forma cenital, realizadas a nivel del "cuello"; en ella se observa la estalactita vadosa inicial (e), la envuelta radial aragonítica de color blanco (a) y la cristalización calcítica (c) que confiere la forma "rugosa" a la concreción. La foto 40 muestra una sección de otra forma cenital, realizada a nivel de la base y la foto 43 un detalle de la misma. En estas fotos se distinguen las agujas de aragonito y la calcita "rugosa" externa.

La observación de estas cristalizaciones en lámina delgada revela una extinción anómala en sus cristales; la foto 44 muestra un aspecto general, y en ella se aprecia el aragonito acicular, los cristales calcíticos de pequeño tamaño y sobre ellos, la calcita de "superficie rugosa". En esta foto tomada con nícoles cruzados —y en las fotos 45 y 46 que muestran un detalle de la misma— se observan los cristales presentando una

---

### LAMINA V

Foto 33:

Cristalizaciones subacuáticas en la Cova de Sa Bassa Blanca; A) Estalactitas vadosas recubiertas por cristalizaciones aragoníticas; N) y N') línea de nivel marcada por la formación de calcita "rugosa" sobre la capa aragonítica. B) Línea de nivel marcada por engrosamiento de las cristalizaciones. (Foto GINES y GINES, 1974).

Foto 34:

Cristalizaciones subacuáticas en la Cova de Sa Bassa Blanca; N) Nivel marcado por las cristalizaciones calcíticas sobre estalactitas recubiertas de aragonito subacuático; C) Cristalizaciones aragoníticas revistiendo las paredes; D) Cristalizaciones aragoníticas con precipitación calcítica sobreimpuesta. (Foto GINES y GINES, 1974).

Foto 35:

Detalle de la calcita "rugosa" sobre estalactitas recubiertas de Aragonito. (Foto GINES y GINES, 1974).

Foto 36:

Cristalizaciones subacuáticas en la Cova de Sa Bassa Blanca, recubriendo paredes, estalactitas y estalagmitas. Los paleoniveles piezométricos se hallan perfectamente marcados. (Foto GINES y GINES, 1974).

Fotos 37 y 38:

Cristalizaciones aragoníticas sobre estalactitas vadosas; dispuestas en varias generaciones, con capa de calcita intermedia (Foto 37, trazos).

Foto 39:

Aspecto de una muestra de cristalizaciones "rugosas". Se trata de dos estalactitas vadosas, adosadas por crecimiento de la cubierta subacuática (ver sección de la misma muestra en la foto 42). Obsérvese el detalle de la superficie en este tipo de formaciones.

Foto 40:

Sección apical de una cristalización "rugosa", mostrando la envuelta aragonítica y la calcita "rugosa".

Foto 41:

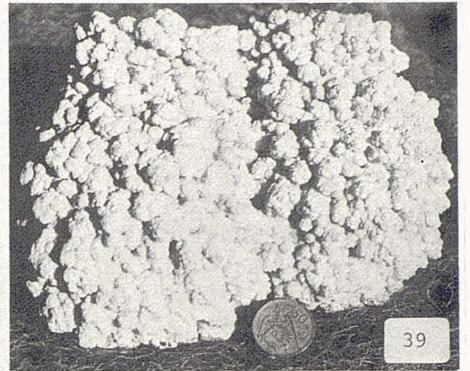
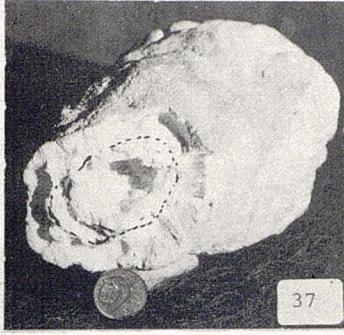
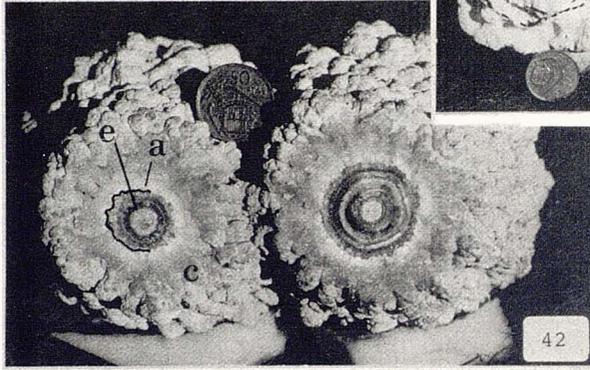
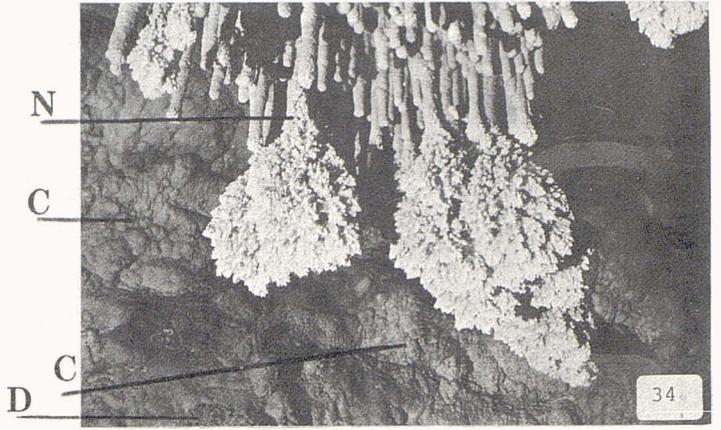
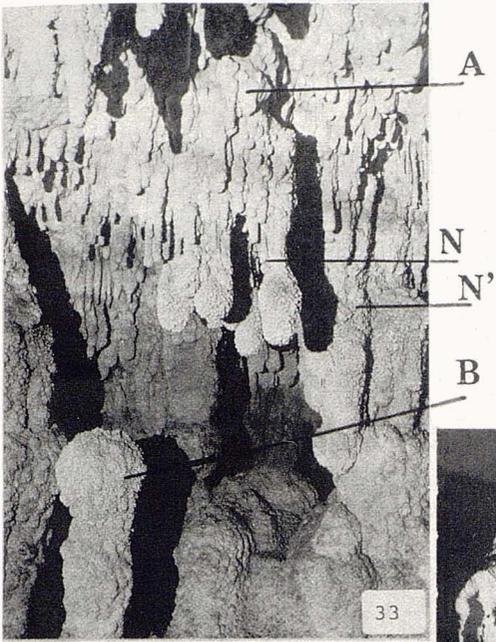
Ver lámina VI

Foto 42:

Sección de las cristalizaciones "rugosas"; E) Estalactita vadosa; A) Envuelta aragonítica; C) Calcita "rugosa".

Foto 43:

Detalle ampliado de la formación representada en la foto 40. En ella se puede apreciar la zona de transición entre los agregados radiales de aragonito acicular y la capa externa de calcita "rugosa". Nótese la ausencia de caras de exfoliación en la calcita rugosa.



extinción no uniforme, pseudoondulante. En algunos cristales se evidencia una extinción en subcristales muy difusos (foto 44 centro). Observando la cristalización en todo su conjunto (fotos 43 y 44) se comprueba que los macrocristales son alargados y están dispuestos centrífugamente alrededor de la cristalización aragonítica, que les sirve de soporte.

Los macrocristales presentan numerosas ramificaciones divergentes que se detectan como torsiones de las direcciones de extinción. Dentro de cada uno de los cristales "divergentes" se observa idéntica tendencia, dando en su conjunto una estructura harto compleja.

La foto 47 muestra una sección de una estalactita, con crecimiento de aragonito centrífugo y la posterior envuelta "rugosa" con extinción no uniforme. Los bordes externos de estas cristalizaciones rugosas presentan corrosiones que marcan bandas horizontales.

### 4. 3. LAS CRISTALIZACIONES "ANGULOSO-QUEBRADAS"

Las cristalizaciones subacuáticas incluidas en este tercer gran grupo de concreciones presentan un aspecto externo anguloso (foto 34) y comprenden tanto formas cenitales como formas parietales.

Estas cristalizaciones pueden crecer tanto sobre estalactitas vadosas sumergidas, como sobre espeleotemas con recubrimiento de Aragonito subacuático —concreciones "lisas"— e incluso sobre cristalizaciones "rugosas" de calcita pseudoondulante. El hábito de estos cristales es escalenoédrico y crecen en sentido del eje principal; sobre las caras se presentan numerosos romboedros de menor tamaño, cuyos ejes forman ángulos agudos con el eje del cristal principal (aproximadamente 45 grados). Sobre estos cristales secundarios se observan a su vez cristales romboédricos creciendo de idéntica forma (foto 48). Todo este sistema de cristales da lugar a un conjunto de cristales polimaclados creciendo adosados (fotos 49 y 50).

La foto 49 muestra una sección de la parte exterior de la cristalización que aparece en la foto 34; esta forma crece sobre una estalactita recubierta por una envuelta aragonítica acicular sobre la que se dispone una capa de calcita con extinción no uniforme (foto 47); la foto 51 muestra un detalle de la morfología externa de los romboedros: la existencia de planos superpuestos evidencia procesos de crecimiento rápido en el seno de una solución.

Localmente, estas cristalizaciones presentan huellas de procesos corrosivos intensos (fotos 52, 53 y 54). Los romboedros iniciales aparecen intensamente corroidos (foto 53) y se presenta una segunda generación de romboedros de calcita, de menor tamaño (foto 54), sin señal alguna de corrosión y con cristales indicando una clara precipitación vadosa (foto 54, flecha). Es frecuente observar cadenas bacterianas asociadas a estas corrosiones (foto 53, flecha).

Constituye un caso particular dentro de estas cristalizaciones, la existencia de microrugosidades en la superficie de revestimientos parietales (D en foto 34). Estas formas están producidas por agregados radiales, hemiesferulíticos de aragonito, con romboedros de calcita sobre sus vértices y también en los espacios interaculares (fotos 55 y 63). Los cristales de Aragonito crecen a partir de núcleos puntuales, en disposición radial

---

#### LAMINA VI

Foto 41:

Aragonito fibroso-radiado y capa de calcita sobreimpuesta. (nícoles cruzados). (Escala 1 mm.).

Fotos 42 y 43:

ver lámina V.

Foto 44:

Aspecto de una sección de calcita "rugosa" sobreimpuesta a una capa aragonítica. Nótese la extinción no uniforme de los cristales de calcita y su disposición ramificada (nícoles cruzados). (Escala 1 mm.).

Fotos 45 y 46:

Detalle de la foto 44 mostrando la extinción no uniforme, pseudoondulante, de la calcita (nícoles cruzados). (Escala 200 micras).

Foto 47:

Estalactita en su zona terminal, recubierta por aragonito fibroso-radiado y calcita con extinción no uniforme (nícoles cruzados). (Escala 1 mm.).

Foto 48:

ver lámina VII.

Foto 49:

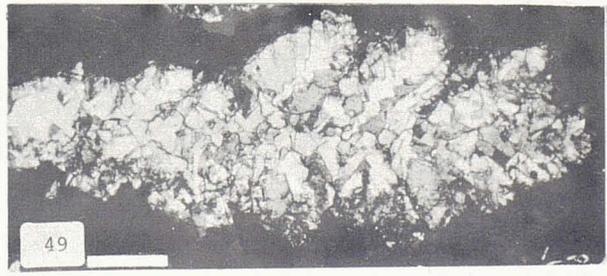
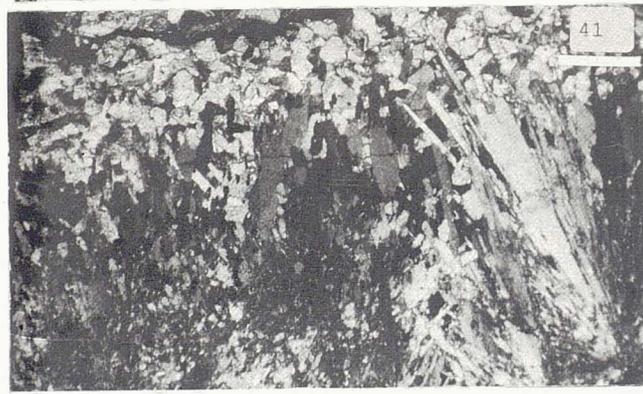
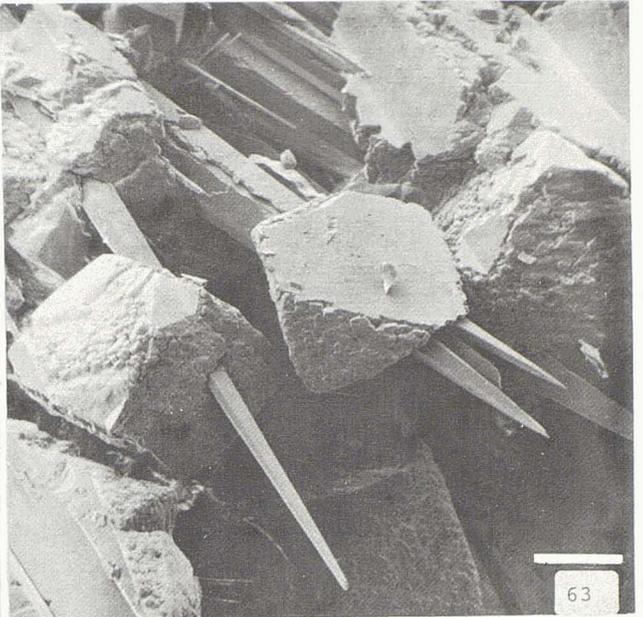
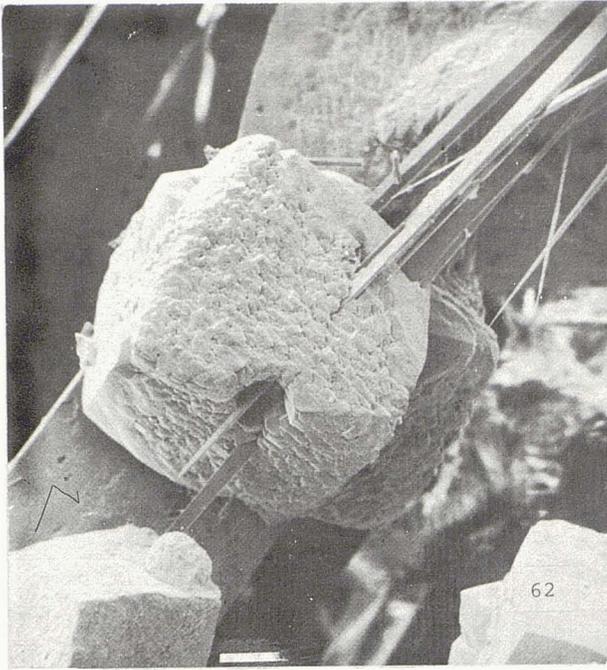
Calcita "quebrada" de crecimiento subacuático. Nótese su típica maclación y compárese con la de la foto 44. (nícoles cruzados). (Escala 1 mm.).

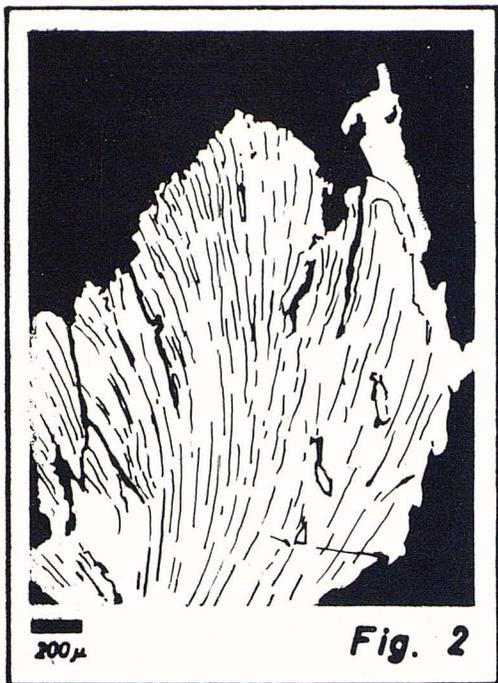
Fotos 50 a 61:

ver láminas VII y VIII.

Fotos 62 y 63:

Electromicrofotografías de romboedros sobreimpuestos a las agujas aragoníticas. Nótese la superficie de los romboedros, corroida y las agujas sin evidencias de procesos de disolución que les hayan afectado. (Escala foto 62, 50 micras; foto 63, 100 micras).





Direcciones de extinción del cristal que aparece en la foto 45.

(foto 55); entre los grandes cristales aciculares se produce una segunda generación que, arrancando de aquellos, rellena los espacios intercristalinos iniciales (fotos 56 y 57). Esta segunda generación comporta cristales aciculares aragoníticos y romboédricos de calcita (foto 57), aunque estos últimos se hallan fundamentalmente recubriendo los extremos exteriores de los cristales de aragonito. La foto 55 nos permite apreciar un aspecto general de este tipo de concrecionamiento; la foto 59 muestra un detalle de un extremo acicular de aragonito recubierto por romboedros de calcita visto en lámina delgada, y la foto 60 muestra el mismo detalle con el Microscopio Electrónico de Barrido. En las fotos 62 y 63 se pueden distinguir cristales aciculares de Aragonito con romboedros de calcita sobre impuestos. Los cristales aciculares de aragonito poseen una superficie lisa, ausente de cualquier signo de corrosión o de disolución, mientras los romboédros de calcita (identificada por difracción de rayos X) presentan unos caracteres morfológicos, sobre su superficie externa, que delatan la existencia de procesos de disolución posteriores a su precipitación. Las fotos 60 y 62 demuestran —además— que no todos los romboedros han sufrido estos procesos con la misma intensidad. La foto 61 nos enseña un detalle de dicha micromorfología superficial.

#### 4. 4. DISCUSION

La evidente precipitación de calcita sobre cristales aciculares de aragonito y la posterior corrosión de los romboedros calcíticos sin que existan huellas de dicho proceso sobre las agujas de aragonito, replantea el

---

#### LAMINA VII

Foto 48:

Electromicrofotografía de las cristalizaciones "quebradas". (Escala 30 micras).

Foto 49:

ver lámina VI.

Foto 50:

Sección longitudinal de los cristales de la foto 48. Nótese la maclación. (Escala 200 micras).

Foto 51:

Detalle de la foto 48. (Escala 125 micras).

Fotos 52, 53 y 54:

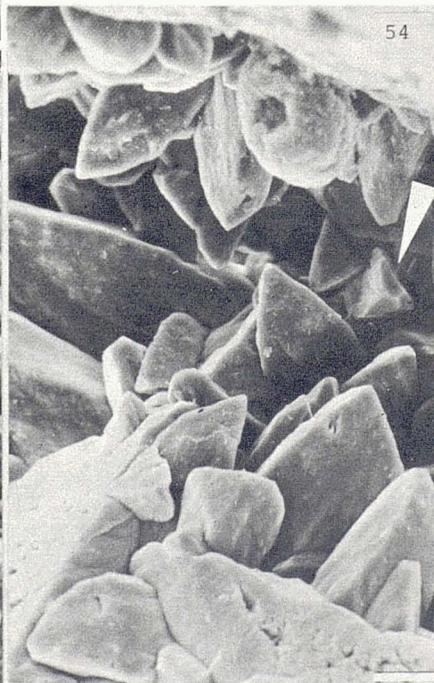
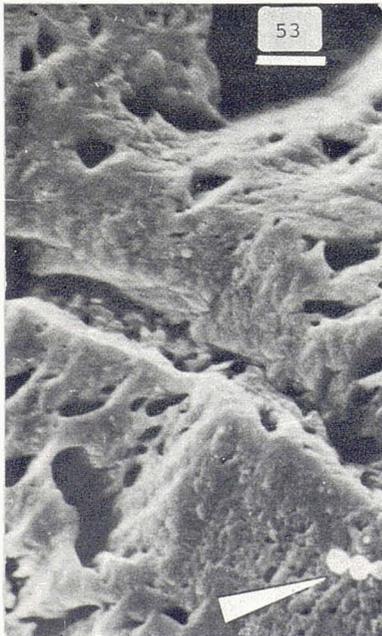
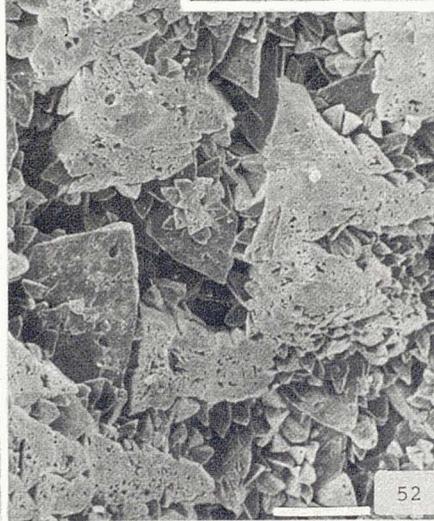
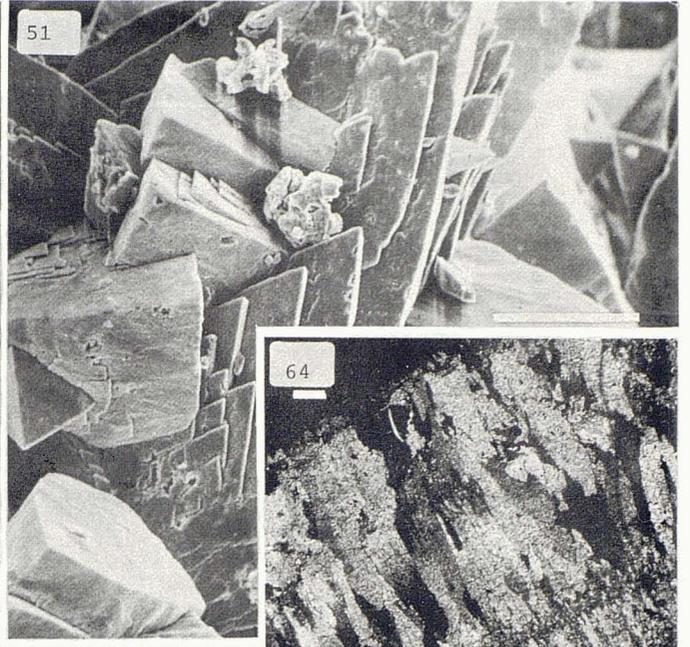
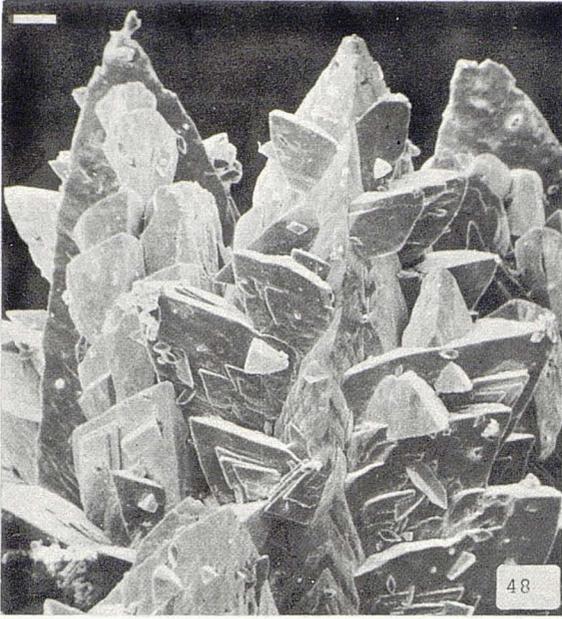
Electromicrofotografías de corrosiones realizadas en ambiente vadoso de los romboedros de precipitación subacuática, con la aparición de una segunda generación de romboedros (foto 54); en las corrosiones los microorganismos se hallan implicados. (Escala foto 52, 100 micras; foto 53, 2 micras; foto 54, 20 micras).

Fotos 55 a 63:

ver láminas VIII y VI.

Foto 64:

Sección de un depósito carbonatado mostrando una primera precipitación subacuática y una superposición de cementos vadosos, tipo "drusy". (Escala 200 micras).



todavía no resuelto problema del Aragonito y de la Calcita.

A partir de los datos obtenidos sobre las cristalizaciones de superficie "lisa", podemos establecer la existencia de procesos de precipitación de Aragonito en las aguas cársticas que, en el caso de la Cova de Sa Bassa Blanca, por su localización topográfica pueden situarse en el Paleotyrreniense (tirreniense I) y en el Eutyrreniense (tirreniense II). Algunas de estas recristalizaciones soportan una precipitación de calcita que posteriormente ha sufrido procesos corrosivos. Esto último es particularmente notable en las muestras del Neotyrreniense.

La existencia de cristales de calcita con extinción no uniforme, pseudoondulante, plantea problemas respecto a su interpretación genética. Por un lado debe considerarse la constante existencia de este tipo de cristalizaciones, sobre impuesta a cristalizaciones aragoníticas, afectándolas solamente hasta cotas muy bien definidas que marcan niveles. Debe también considerarse la prácticamente nula semejanza textural con las cristalizaciones calcíticas, tanto de origen subaéreo como subacuático (ver próximo apartado). ORTI (1975) destaca en los yesos secundarios los componentes N. U. E. C. (no uniform extinction components) entre los cristales de textura anhédrica; siempre como producto de la transformación anhidrita-yeso. En consecuencia resulta difícil admitir un origen primario para estos cristales con extinción no uniforme, y más por contraposición a las bien definidas texturas de precipitación. En nuestra opinión se puede sugerir, en este caso, un origen neomórfico de estas calcitas por inversión de cristales aciculares de aragonito preexistentes o bien, como hipótesis alternativa, un crecimiento en un medio que provoca una deformación de la red, continua y constante por medio de dislocaciones.

Las cristalizaciones "anguloso-quebradas" presentan morfología y texturas típicas de una precipitación en el seno de una solución, sin procesos neomórficos posteriores. Sólo localmente aparecen procesos de disolución-precipitación relacionados con actividad microbiana; este proceso degradante se identifica en el microscopio óptico como un proceso de microspartización, y macroscopicamente como una "decalcificación" por la aparente pérdida de la cristalinidad (macrocrystalinidad).

## 5. CONSIDERACIONES - CONCLUSIONES

En las cavidades cársticas en comunicación más o menos estrecha con el mar, tal como sucede con muchas de las existentes en Mallorca, las oscilaciones del nivel del Mediterráneo han implicado oscilaciones del nivel piezométrico, habiendo quedado éstas registradas desde el Pleistoceno medio en los depósitos carbonatados que cada época ha producido.

Los productos de precipitación freática, tanto superficial como subacuática, varían su naturaleza calcítica o aragonítica durante las épocas pleistocenas, alternando con procesos neomórficos degradantes y agradantes y con inversiones Aragonito -Calcita.

Los datos por nosotros obtenidos sobre las concentraciones del ion Mg en las aguas cársticas, pese a estar en una fase analítica inicial, permiten replantear el problema de la precipitación del Aragonito-Calcita; por un lado aparecen cristalizaciones actuales de calcita no magnesiana en aguas con un contenido de Mg, Cl, Na, B, etc, elevado —aguas salobres—; al mismo tiempo, en aguas con baja salinidad y un contenido en Mg no muy elevado se produce la cristalización de Aragonito. Sin embargo FOLK (1974) considera la concentración del Mg, en agua marina, como decisiva para la inhibición de la precipitación de calcita, basándose en los datos aportados por LEITMEYER (1910) FYFE y BISCHOFF (1965), y de acuerdo con CURL (1962), KITANO (1962 a) y SIMKISS (1964).

Igualmente la existencia de cristales de calcita precipitados sobre cristales aciculares de Aragonito, y aún la posterior disolución que afecta a la superficie de los primeros, sin que dicho proceso haya afectado a los

---

### LAMINA VIII

Foto 55:

Sección de un ejemplar de cristalización aragonítica de estructura fibroso-radiada. Obsérvese el crecimiento calcítico superpuesto a las agujas de aragonito. (Escala 1 mm.).

Fotos 56 y 57:

Detalle de la base de los cristales aragoníticos, mostrando el crecimiento de pequeñas agujas en una segunda generación. (Escala 200 micras).

Fotos 58 y 59:

Detalle de los extremos de las agujas aragoníticas con romboedros calcíticos sobreimpuestos. (Escala 200 micras).

Foto 60:

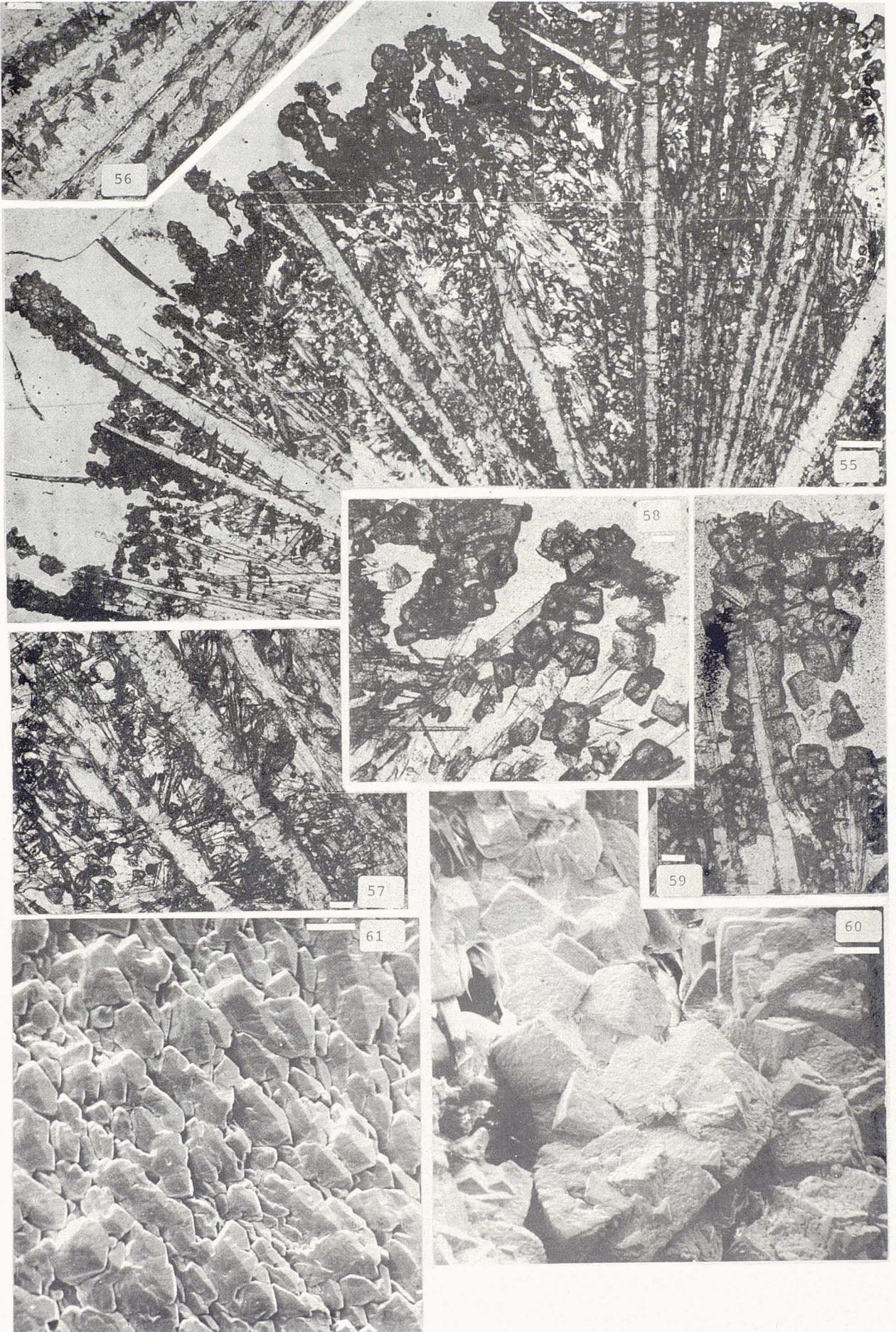
Electromicrofotografía de los romboedros calcíticos sobreimpuestos a las agujas aragoníticas. (Escala 200 micras).

Foto 61:

Detalle de la foto 60 mostrando la superficie de los romboedros, que evidencia procesos de disolución. (Escala 10 micras).

Fotos 62 a 64:

ver lámina VII.



segundos, replantea el problema de los campos de estabilidad de estos minerales en los ambientes cársticos. En este sentido la velocidad de difusión de los iones como condicionante de la precipitación de Aragonito y Calcita apuntada por POBEGUIN (1954) y los resultados obtenidos por KITANO et al. (1969) sobre la función de los compuestos orgánicos, enzimas y bacterias en la nucleación y crecimiento de los carbonatos polimorfos, indican una mayor complejidad en los factores responsables de la precipitación de uno u otro mineral.

Los procesos neomórficos que ocurren en la zona vadosa son predominantemente degradantes y se hallan relacionados con la actividad de microorganismos; fundamentalmente corresponden a decalcificaciones aparentes producidas por un mecanismo de disolución-precipitación. Las características micromorfológicas de las zonas afectadas por los procesos corrosivos ponen en evidencia, de acuerdo con las ideas expresadas por POMAR (1976), la dependencia de éstos con respecto al metabolismo de los microorganismos. Los procesos agradantes se producen fuera de la intervención biológica, lo mismo que algunas de las inversiones Aragonito-Calcita.

La presencia de microorganismos en la nucleación de las cristalizaciones flotantes, si bien no puede considerarse como responsable ni como inductora de su proceso genético, se presenta como potenciadora del mismo.

En definitiva debe considerarse incorrecto, o al menos incompleto, el postulado sobre el origen exclusivamente marino del cemento aragonítico como criterio utilizable en determinaciones paleoambientales (SCHROEDER, 1973), a la vez que debe tenerse en cuenta, cada vez más, la compleja variedad de los procesos naturales motivada en gran parte por la actividad biológica. El problema del Aragonito-Calcita, su ocurrencia y sus rangos de estabilidad en los medios naturales, queda todavía por resolver.

## AGRADECIMIENTOS

Debemos dejar constancia de nuestro agradecimiento a D. Guillermo Alcover por las facilidades y atenciones que nos ha concedido para la visita de la Cova de Sa Bassa Blanca.

Al Dr. M. Esteban de la Sección de Petrología C.S.I.C., a F. Calvet del Dpto. Petrología de la Universidad de Barcelona y a J. Ginés del Comité Balear d'Espeleología, por sus críticas, orientaciones y constante colaboración.

A M. Roura y M. Baucells del Servicio de Espectroscopia de la Universidad de Barcelona, por las facilidades y ayuda en las determinaciones geoquímicas.

Al Dr. D. Travería y al Dr. D. M. Font Altaba por la realización de las difractometrías de Rayos X y los análisis de Fluorescencia de Rayos X.

A J. Pons y al resto de compañeros del Grupo Espeleológico EST por su incuestionable colaboración y ayuda.

A C. Miró, por el esmero puesto en la confección del presente trabajo.

A María Cirerol y Robin Haird, quienes nos han facilitado las respectivas traducciones del resumen.

## BIBLIOGRAFIA

- ADDISON K.; 1972.- "Selected Glossary". pp 332-335 in Karst Landforms. Mc Millan press. London.
- BRICKER; 1972.- "Carbonate cements". *The Johns Hopkins Press*. 376 pp.
- BUTZER K. W., CUERDA J.; 1962.- "Coastal stratigraphy of Southern Mallorca and its implications for the Pleistocene chronology of the Mediterranean Sea". *Jour. Geol.* 70; 398-416. Chicago.
- CHOQUETTE P. W., PRAY I. L. C.; 1970.- "Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates". *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 54: 207-250
- GURL R. L.; 1962.- "The Aragonite-Calcite problem" *Bull. Nat. Spel. Soc.* vol. 24 pp 57-73.
- FOLK R. C.; 1965.- "Some aspects of recrystallization in ancient limestones" *Soc. Econ. Palaent. Mineral. Spec. Publ.* 13: 14-48.
- FOLK R.C.; 1974.- "The natural history of crystalline calcium carbonate: effect of Magnesium content and salinity". *Jour. Sedim. Petro.* 44: 40-53.
- GINES A., GINES J.; 1974.- "Consideraciones sobre los mecanismos de fosilización de la Cova de Sa Bassa Blanca y su paralelismo con las formaciones marinas del Guaternario". (Comunicación en el II Cong. Nac. Spel. Oviedo 1972). *Bol. Soc. Hist. Nat. Bal.* 19: 12-28.
- FYFE, BISCHOFF; 1965.- "The calcite-aragonite problem". *Soc. Econ. Palaeont. Mineral Spec. Public.* n.º 13; 3-13.
- JOLY R.; 1929.- "Explorations spéléologiques a Majorque (1929)" *Rev. Géog. Phys. Géol. Dyn.* 18 pags.
- KITANO Y.; 1962.- "The behavior of various inorganics ions in the separation of calcium carbonate from a bicarbonate solution" *Bull. Chem. Soc. Japan.*; 35:1972-1980.

- KITANO Y., KANAMORY N., TOKUYAMA A.; 1969.— "Effects of organic matter on solubilities and crystal form of carbonates". *Am Zool.* 9:691-688.
- LEITMEYER H.; 1910.— "Zur kenntnis der Carbonate; Die Dimorphie des Kohlensauren Kalkes. I: teil". *Nehes. Jahrb. Mineral.* 1: 49-74.
- NUÑEZ A.; 1967.— "Clasificación genética de las cuevas de Cuba". *Acad. Ciencias. Cuba*, La Habana 224 págs.
- ORTI F.; 1975.— "Componentes petrográficos de Yeso Secundario". *Dip. Imperial Col.* Londres (en prensa).
- POBEGUIN T.; 1954.— "Contribution a l'étude des carbonates de Calcium, precipitation du Calcaire par les végétaux; comparaison avec le Monde Animal". *Ann. Sci. Nat. Botanique* 15: 29-109.
- POMAR L.; 1976.— "Procesos telodiagenéticos en rocas carbonatadas del litoral Catalán y Baleares: Su relación con microorganismos". Tesis doctoral (inérita) 1 vol. 321 pp., 60 fig. y 1 Apéndice con 307 fotos.
- POMAR L., et alt.; 1975.— "Nota previa sobre la petrología y mineralogía de la calcita flotante de algunas cavidades del Levante Mallorquín". *Endins.* 2: 3-5.
- SCHROEDER J.; 1973.— "Submarine and vadose cements in Pleistocene Bermuda Reef Rock" *Sedim. Geol.* 10: 179-204.
- SIMKISS K.; 1964.— "Variations in the crystalline form of Calcium Carbonate precipitated from artificial sea water". *Nature*, 201: 492-493.
- SWEETING M.; 1972.— "Karst landforms". Mc. Millan Press Ltd. pp 362.
- THRAILKILL J.; 1968.— "Dolomite cave deposits from Carlsbad Caverns" *Jour. Sedim. Petrol.* 38: 141-145.