

Motlles naturals de microperforacions a eolianites del Pleistocè i Pliocè mallorquí

per F. CALVET* i R. FONTARNAU**

* Departament de Petrologia i Geoquímica de la Universitat de Barcelona.

** Servei de Microscòpia Electrònica. Universitat de Barcelona.

ABSTRACT

In this paper natural casts of microborings, of LMC at present, in substrates of mollusc fragments, are reviewed. The aragonite in the shells was dissolved in vadose continental conditions, with the subsequent exposure of the casts and micritic envelope.

The materials which permit the observation of the natural casts are principally eolianites of the Riss and Pliocenic ages, of various outcrops in Majorca (Fig. 1). The eolianites are composed fundamentally of mollusc fragments, rodoficea algae, foraminifera, and lithoclasts. They present meniscus, drusy and blocky type cements. The presence of natural casts of microborings is related to the diagenetic stage in which the eolianites are found. This stage must have experienced almost total dissolution of the aragonite in order to expose the casts. The diagenetic stage corresponds to stage IV according to Land et al. (1967) and stage III according to Gavish and Friedman (1969).

Four types of cast have been observed: a) filamentous casts with a radial disposition and a diameter of between 8 and 12 μm , with little branching (Photos 1 and 2). These characteristics coincide with those of the septate green algae. b) Filamentous casts with criss-crossing distribution. The casts are arranged in all directions but the ones perpendicular and parallel to the substrate predominate. Numerous branchings. Diameter between 7 and 12 μm . (Photos 3 and 4). They were perhaps produced by the algal boring activity (clorofíciae?). c) Semispherical casts situated in the periphery of the fragments whose diameter is from 15 to 40 μm and which penetrate from 20 to 40 μm . (Photos 5 and 6). We attribute them to microborings produced by sponges (*Cliona*). d) Spherical casts situated in the interior of the fragments whose diameter is between 40 and 50 μm (Photos 7 and 8). We attribute them to fungal sporangium, and some of them to sporangium of green algae.

The casts are formed by three types of LMC crystals. a) Homogeneous masses of calcite, with anhedral crystals. They constitute an anhedral micritic-microsparitic fabric (Fig. 2a, photos 9 and 11). b) Pseudorhombohedral subhedral crystals of 0.5 to 6 μm (Fig. 2b, photos 9, 11 and 12). c) Rhombohedral euhedral crystals measuring 0.5 to 12 μm , but the average size varying from 2 to 4 μm . These crystals tend to have the c-axis perpendicularly or obliquely orientated with respect to the direction of the filamentous casts (Fig. 2c, photo 13), or the c-axis in a radial disposition forming rosettes in the semispherical or spherical casts (Photos 12 and 14).

We interpret the original mineralogical content of the casts as being of HMC. In marine conditions part of the microborings were filled with HMC cement. When the sediment came under vadose continental conditions, the aragonite as well as the HMC became unstable. In the first diagenetic stages the transformation of HMC to LMC occurs. This transformation takes place passing from an orientated crystalline fabric to a non-orientated one (photo 10) or to an anhedral microsparitic fabric (photo 9), both of LMC. Later, these fabrics of LMC are gradually reorganised into a hipidiotopic and finally idiotopic texture (photos 12, 13 and 14), with a progressive increase in crystal size (agradating neomorphism) (photo 15), which connects with the first phases of the continental cementation. The great similarity of the microcrystalline fabrics of the casts and the micritic envelopes is to be noted (photo 16).

In conclusion, the diagenetic history of the material studied comprises two phases (Fig. 3): (1) A first phase in marine conditions where the fragments originate. These are perforated by microorganisms, and some of the microborings will be filled by aragonite cement or HMC. (2) A second phase in vadose continental conditions. In the first stages the transformation HMC - LMC of the casts (and the subsequent reorganisation of the LMC) and the initial cementation of the meniscus cement, and perhaps in the interior of the empty microborings, take place. The dissolving of the aragonite follows (that of the substrate as well as

the possible aragonitic cement which filled the microborings) with the resulting exposure of the casts and micritic envelope.

RESUM

En aquest treball estudiem els motlles naturals de microperforacions, actualment de LMC, en substrats de fragments de mol·luscs. L'aragonita de les closques fou dissolt en condicions vadoses continentals, amb la consegüent posada en relleu dels motlles i de la «micrítica envelope».

Els materials estudiats són eolianites d'edat Riss i Pliocenes, de diversos afloraments de Mallorca. Hi hem observat quatre tipus de motlles que suposem que foren produïts per l'acció perforant de quatre microorganismes diferents. S'hi analitza la història diagenètica dels motlles.

INTRODUCCIÓ

L'activitat perforant dels microorganismes es coneix des de mitjan segle XIX. Els microorganismes perforants o endolítics, que penetren en els substrats carbonatats, són principalment algues endolítiques (comprenen algues clorofícies, algues cianofícies i algues rodofícies) i fongs heterotròfics. Les microperforacions són conegudes en el registre fòssil d'ençà del Precàmbric (Golubic, 1973). Entre els primers treballs sobre aquest tema destaquen: el de Nadson (1927) que descriu algues clorofícies i cianofícies com a agents de la destrucció de closques carbonatades i reconeix la distribució en profunditat de les microperforacions; el de Pia (1937) que realitza una primera síntesi de tot el que hom coneixia, tant de les microperforacions recents com de les fòssils, i el de Frey (1945) que estudia els organismes endolítics principalment del mar Mediterrani.

Durant els últims anys, diversos autors analitzen la taxonomia, la morfologia i la distribució, tant horitzontal com vertical, de microorganismes perforants en els sediments carbonatats recents (Swinchatt, 1969; Perkins i Halsey, 1971; Rooney i Perkins, 1972; Edwards i Perkins, 1974; Golubic et al. 1975; Perkins i Tsentas, 1976, etc.). Les diferents zonacions verticals es basen en el fet que les algues endolítiques són fotosintètiques i dominen fins al nivell de compensació de la llum, mentre que els fongs endolítics, pel fet d'ésser heterotròfs, són més abundants a mesura que disminueix la llum. Aquestes zonacions han estat utilitzades com a indicadors batimètrics i paleobatemètrics. Hessland (1949), Boekshotten (1966) citen l'ús de les microperfora-

cions fòssils com a indicadors paleobatimètrics. Per alguns autors (Perkins i Halsey, 1971; Nease i Wolf, 1971; Edwards i Perkins, 1974) les algues sinfonàcies (família de les clorofícies) poden tenir una aplicació paleoecològica en tant que indicadors de zones temperades. Friedman et al. (1971) posen en dubte la utilitat batimètrica de les microporacions.

Les perforacions fòssils són sovint plenes de diversos materials com «chalk» fosforitzat (Bromley, 1970), minerals ferruginosos (Hessland, 1949; Gatrall i Golubic, 1970; Kobluk i Risk, 1974 i 1977a). En sediments pleistocens hom ha citat microporacions plenes de minerals carbonatats, com calcita normal (Winland, 1971) i aragonita (Harris, 1977, i Harris et al. 1977). Fins i tot a vegades no tan sols s'observa la microporació, sinó que també poden ésser preservats els organismes endolítics, com mostren Nease i Wolf (1971).

Si les perforacions fòssils són plenes de materials menys solubles que el substrat, per efecte de la dissolució diferencial es formaran motlles naturals, o bé poden provocar-se, els motlles, mitjançant la dissolució artificial del substrat (Gatrall i Golubic, 1970). Golubic et al. (1970) han introduït una tècnica per tal de crear motlles artificials de microporacions, especialment per a sediments recents.

El nostre treball queda emmarcat a l'observació de motlles naturals actualment de LMC, en els quals l'aragonita del substrat fou dissolt per les condicions de la diagènesi continental vadosa.

DESCRIPCIÓ DEL MATERIAL I ESTADI DIAGENÈTIC

Els materials que permeten l'observació de motlles naturals de microporacions són principalment eolianites d'edat Riss i Pliocenes. Els afloraments d'edat Riss estudiats en detall, són situats a l'àrea de can Picafort, i el d'edat Pliocena es troba situat a Son Mulet (Lluçmajor), (Butzer i Cuerda, 1972; Cuerda, 1975). Vegeu fig. 1.

La composició de les eolianites és molt variable i oscil·la en funció de l'estratigrafia, de l'aflorament, de la situació dins l'aflorament, de les làmines. Malgrat la variabilitat, els principals components petrogràfics són els fragments de mol·luscs (de 20 % a 40 %), algues rodofícies (de 10 % a 30 %), els foraminífers (de 10 % a 30 %), i els litoclasts de (5 % a 20 %), i d'altres components en menors proporcions. Les eolianites són cementades per ciment menisc de LMC, típic de la zona vadosa continental, i per una primera generació de ciments «drusy» i «blocky» de LMC, que omplen part de les porositats intrapartícula i interpartícula respectivament. Els fragments de mol·luscs han sofert un procés de dissolució quasi total de l'aragonita amb la posada en relleu de la «micritic envelope» i dels motlles de les microporacions. D'un 5 % a un 10 %, i a alguns afloraments la totalitat dels fragments de mol·luscs, han sofert un procés neomòrfic. Les algues rodofícies i els foraminífers porcellanats són compostos en aquests nivells de LMC, ja que en els primers estadis de la diagènesi es realitza la transformació HMC-LMC.

La presència de motlles naturals de microporacions és relacionada amb l'estadi diagènètic en què es troben les eolianites. Aquest estadi ha d'haver experimentat la dissolució total o quasi total de l'aragonita, i la cementació parcial de la porositat interpartícula i intrapartícula, perquè s'eviden-

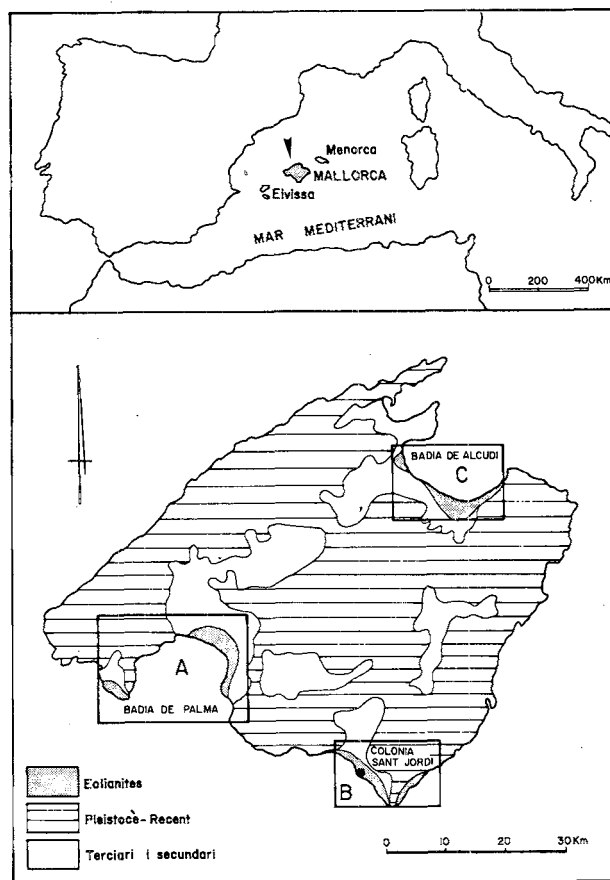


Fig. 1. Situació de l'illa de Mallorca. Esboç del mapa geològic de l'illa de Mallorca (dades de Ll. Pomar, 1979), amb la localització de les tres àrees estudiades.

ciïn els motlles. Així, els motlles naturals es relacionen més amb tots aquells sediments que es troben en aquest estadi diagènètic que no pas amb l'edat estratigràfica de les eolianites. Trobem estadis diagènètics similars en materials d'edat ben diferent; per exemple, el grau diagènètic semblant de certs afloraments d'eolianites del Riss i del Pliocè. Per tant, l'estadi o grau diagènètic d'un aflorament depèn de la seva història diagènètica, i no de l'edat estratigràfica. Això mostra l'heterogeneïtat de la diagènesi, d'acord amb Land et al. (1967) i Schroeder (1972).

L'estadi diagènètic dels materials amb motlles naturals de microporacions correspon al nivell d'edat Tirrenia I de Calvet i Esteban (1977), a l'estadi IV de Land et al. (1967), a l'estadi III de Gavish i Friedman (1969), i al nivell d'edat Belmont de Ristvet (1971).

En quant a l'ús de la microscòpia de «Scanning», les mostres es varen muntar sobre els corresponents portamos-tres amb plata coloidal i es recobriren posteriorment amb una capa d'or d'uns 350 Å de gruix per mitjà d'un diòde de «sputtering». Les observacions es duren a terme en un microscopi Stereoscan S-4 (Cambridge Scientific Instruments Ltd.) utilitzant potencials d'acceleració de l'ordre dels 20 kV.

DESCRIPTIVA DELS MOTLLES

Morfologia

En el material estudiat hem observat quatre tipus de motlles: a) motlles filamentosos o tubulars amb disposició radial i un diàmetre de 8 μm a 12 μm . b) Motlles filamentosos o tubulars amb hàbit entrecreuat i diàmetre de 7 μm a 12 μm . c) motlles semiesfèrics adossats a la paret dels fragments de mol·luscs. I d) motlles quasi esfèrics situats a l'interior dels grans.

Motlles filamentosos amb disposició radial. Aquest tipus de disposició és denominada en hàbit «cluster». Els motlles són perpendiculars o oblics a la paret del substrat, i en general rectilinis, o lleugerament corbats (Fots, 1 i 2). Les dimensions de llargada són compreses entre 30 μm , i la dimensió mitjana depèn de la colònia «cluster». Així, hi ha colònies amb motlles de 140 μm de llargada i 12 μm de diàmetre, i colònies de 60 μm de llargada i 8 μm de diàmetre. Hi ha certa variabilitat en el diàmetre dels motlles, variant de 6 μm a 16 μm , fins i tot en un mateix motlle. Però les dimensions de diàmetre més comunes són les compreses entre 8 μm i 12 μm . Presenten poques bifurcacions.

Motlles filamentosos amb hàbit entrecreuat. Els motlles es disposen en totes direccions, essent uns corbats i d'altres rectes, i amb bifurcacions dicotòmiques. Malgrat certa disposició a l'atzar presenten dues direccions principals de penetració que són les més o menys perpendiculars i paral·leles al substrat. Tot aquest conjunt de motlles s'entrecreuen entre ells, i donen l'aparença d'un entrecreixat (Fots 3 i 4). El diàmetre dels motlles varia de 5 μm a 14 μm , però per terme mig varia de 7 μm a 12 μm .

Motlles semiesfèrics adossats a les parets dels fragments de mol·luscs. El diàmetre varia de 15 μm a 40 μm , i penetren cap a l'interior de 20 a 50 μm . (Fots. 5 i 6).

Motlles esfèrics situats a l'interior dels grans. En general s'observen en grups, i si són aïllats hi ha restes de motlles filamentosos a les proximitats. Tenen un diàmetre comprès entre 40 μm i 50 μm . (Fots. 7 i 8).

De l'ampla variabilitat i disposició dels motlles, podem concloure'n que quasi no hi ha cap control per part del substrat que, en aquest cas, són fragments de mol·luscs, inicialment d'aragonita. Perkins i Hasley (1971), Golubic et al. (1975) remarquen la inexistència de control quan els substrats són aquest tipus de component. Aquesta observació és vàlida per a tots els motlles, excepte pels filamentosos disposats amb hàbit entrecreuat, on hom observa dues tendències de disposició, que representen dues direccions de més fàcil penetració. Aquestes direccions posen en relleu cert control microestructural o estructural dels fragments de mol·luscs.

El material dels motlles

La mineralogia actual dels motlles és de calcita amb contingut baix de magnesi (comprovat per Raigs X i tincions selectives). Els motlles són constituïts per tres tipus de cristalls: masses homogènies de calcita constituïdes per cristalls anhedrals, cristalls pseudoromboèdrics i cristalls romboèdrics euhedrals. A totes les mostres hi ha passos graduals entre aquests tres tipus de textures cristal·lines.

Les masses homogènies i globuloses són constituïdes per

cristalls —si es veuen— informes i anhedrals, i formen una fabrica microesparítica pastosa (fig. 2-a, fot. 9). Aquesta fabrica s'observa en els motlles filamentosos de diàmetre més uniforme i a la part més interna dels motlles semiesfèrics i esfèrics (fot. 11).

Els cristalls pseudoromboèdrics subhedrals constitueixen el segon tipus de fabrica. Varien de 0,5 μm a 6 μm de llargada. Quan els motlles són filamentosos els eixos *c* dels cristalls van girant progressivament al voltant del motlle, i es disposen, en línies generals, perpendiculars a la direcció del motlle, (fig. 2-b, fot. 9). També presenten una fabrica microcristal·lina desorientada (fot. 10). En el cas dels motlles semiesfèrics, o esfèrics, els cristalls subhedrals es troben a les parts més internes del motlle, i l'eix *c* tendeix a adoptar una direcció radial (fots. 11 i 12).

Els cristalls romboèdrics mesuren de 0,5 μm a 12 μm i més de llargada, però la mida mitjana és compresa entre 2 μm i 4 μm . Sovint els romboedres són euhedrals perfectes. Les dimensions dels romboedres varien dins un mateix motlle. Les orientacions de l'eix *c* tendeixen a ésser perpendiculars a oblics a la direcció dels motlles filamentosos (fig. 2-c, fot. 13), i a adoptar posicions radials quan es tracta de motlles semiesfèrics i esfèrics, formant com rosetes. A més, en aquests dos últims tipus de motlles, els romboedres són situats a les parts més externes (fots. 12 i 14).

INTERPRETACIÓ

Els organismes perforants

Un cop vista la morfologia dels motlles, analitzarem quins foren els organismes microperforants. El primer problema que se'ns planteja és si és possible d'establir analogies entre les perforacions recents i les trobades a les roques fòssils. Aquestes analogies són molt poc conegudes, i la bibliografia que es refereix a aquest problema és molt escassa. Destaquen els treballs de Hessland (1949) i el de Gatrall i Golubic (1970). Aquest últim compara motlles de microperforacions omplertes de pirita del Juràssic amb microperforacions recents. Harris (1977) i Harris et al. (1977) fan la mateixa cosa amb microperforacions en oïds recents i Pleistocens. Perkins i Tsentas (1976) creuen que, en general, els microperforants en els fragments de mol·luscs en roques carbonatades pleistocenes i miocenes són morfològicament semblants. El segon problema, són els pocs coneixements que hi ha sobre la taxonomia de la majoria d'espècies microperforants, sobre llurs cicles de vida i llur variabilitat morfològica, d'acord amb Golubic et al. (1975). Hom sap que una mateixa espècie, quan està subjecta a condicions ecològiques variables o a diferents substrats, pot produir perforacions amb

Fot. 1. Motlles del tipus filamentosos amb disposició radial (fletxa). Envolta micrítica (m).

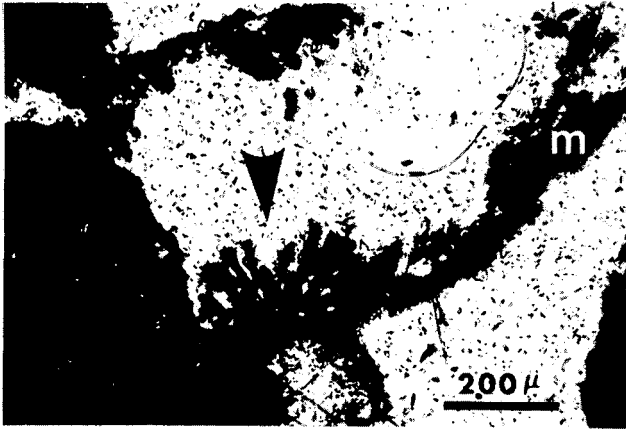
Fot. 2. Motlles del tipus filamentosos amb disposició radial a l'interior d'un fragment de mol·lusc totalment dissolt i amb la consegüent posada de relleu dels motlles i de l'envolta micrítica (m).

Fot. 3. Fragment de mol·lusc totalment dissolt, amb abundants motlles del tipus d'hàbit entrecreuat, i on s'observen les dues direccions principals de penetració.

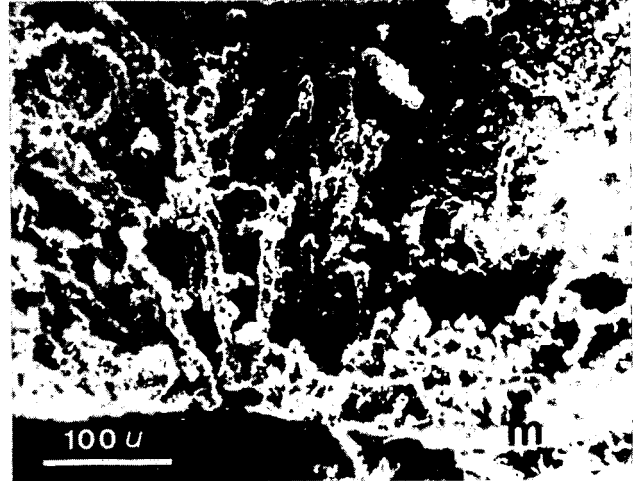
Fot. 4. Motlles filamentosos amb hàbit entrecreuat. Hi ha una certa variabilitat en el diàmetre dels motlles així com abundants bifurcacions dicotòmiques (fletxes). Al centre hi ha un motlle esfèric, que podria correspondre a un esporangi algal o fúngic (e). Envolta micrítica (m), ciment (c).

Fot. 5. Fragment de mol·lusc totalment dissolt, essent l'envolta micrítica la que preserva la forma original del fragment. Motlles amb hàbit semiesfèric adossats a les parets dels grans (fletxes).

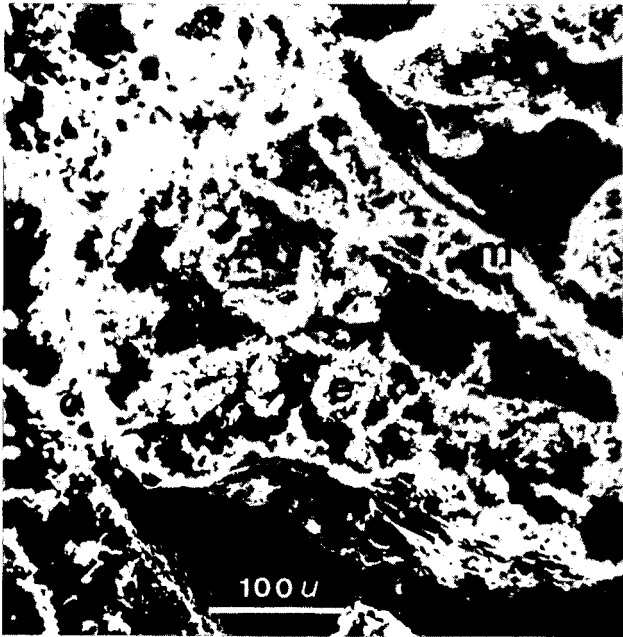
Fot. 6. Motlles d'hàbit semiesfèric (e). A la part superior hom observa un motlle d'aquest tipus seccionat. Envolta micrítica (m) i ciment (c).



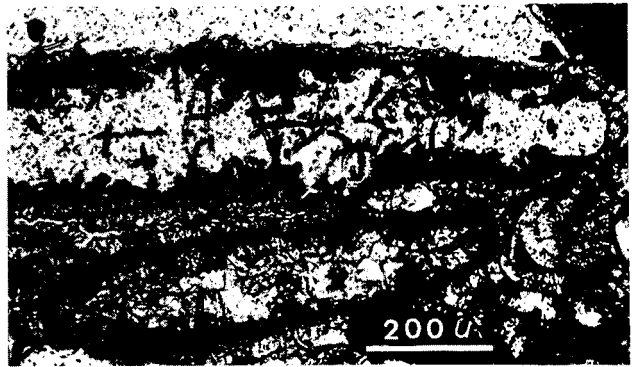
1



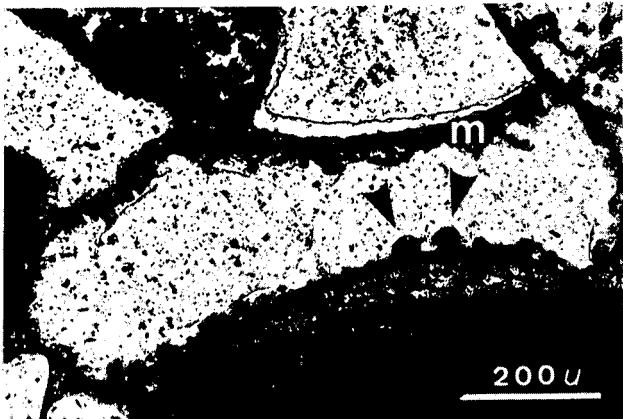
2



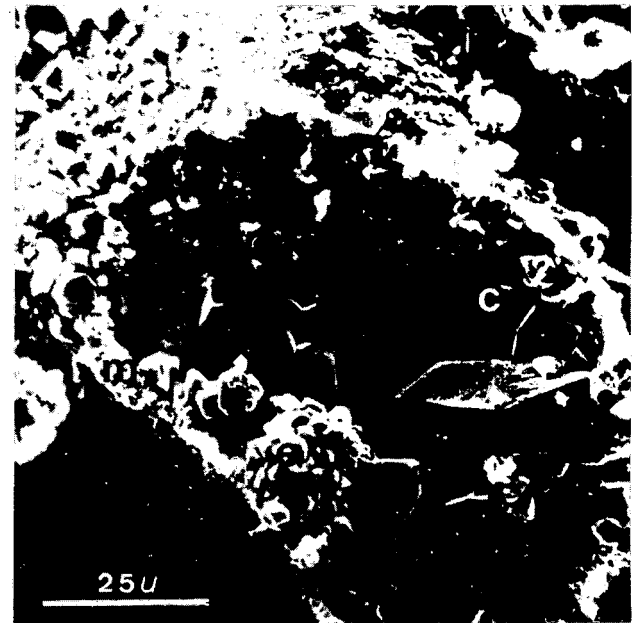
4



3



5



6

morfologies molt diferents, i que morfologies semblants de perforacions poden ésser produïdes per diferents organismes perforants, Boekschoten (1966). I si a aquests problemes hi afegim que nosaltres tan sols conservem els motlles de les microperforacions, veurem que no és gaire senzill buscar l'organisme o els organismes que les provocaren i que, per efecte de la diagènesi, nosaltres interpretem com a motlles naturals.

Malgrat les limitacions esmentades, intentarem de donar unes idees dels possibles microorganismes que van produir les microperforacions. Podem sintetitzar que entre els materials estudiats hi ha quatre tipus d'hàbits dels motlles. Això indica que es produeixen quatre morfologies de perforacions i que, per tant, hom pot suposar que podrien ésser provocades per quatre tipus de microorganismes perforants.

Motlles filamentosos amb disposició radial. Els motlles rectes o lleugerament corbats, de diàmetre comprès entre $8\ \mu\text{m}$ i $10\ \mu\text{m}$, i disposició radial han estat atribuïts per Perkins i Halsey (1971), Rooney i Perkins (1972), i Edward i Perkins (1974) a algues verdes septades («septate green algae»). Aquests caràcters coincideixen molt amb els que nosaltres hem trobat, exceptuant un lleuger augment del diàmetre. Malgrat això, considerem les «septate green algae» com els microorganismes que van produir les microperforacions que trobem com a motlles filamentosos amb disposició radial.

Motlles filamentosos amb hàbit entrecreuat. No disposem de prou criteris per a determinar quins organismes van

produir les microperforacions que hi ha com a motlles filamentosos amb hàbit entrecreuat. Possiblement foren produïdes per l'activitat algal (clorofícies?, cianofícies?).

Motlles semiesfèrics adossats a les parets dels fragments de mol·luscs. Per la seva forma, situació en el fragment i dimensions, els atribuïm a motlles produïts per esponges, en concret *Cliona*. Alexandersson (1972) troba perforacions molt semblants a aquests motlles.

Motlles esfèrics situats a l'interior dels grans. Possiblement els motlles esfèrics són causats pels esporangis de fongs i també per esporangis de clorofícies. Cal precisar que quasi mai no hem observat motlles atribuïbles a filaments de fongs, que tenen de $1\ \mu\text{m}$ a $4\ \mu\text{m}$ de diàmetre. A causa del seu petit diàmetre són fàcilment destruïts al llarg de la història diagenètica, i resten únicament els esporangis en forma de motlles. Els motlles esfèrics tenen un diàmetre comprès entre $30\ \mu\text{m}$ i $50\ \mu\text{m}$, dimensions que coincideixen amb els diàmetres d'esporangis de fongs citats per Perkins i Halsey (1971) i Edwards i Perkins (1974).

L'ompliment de les microperforacions

La mineralogia que constitueix actualment els motlles naturals és de calcita amb baix contingut de magnesi, però això no vol pas dir que fos la mineralogia inicial. Poden haver-hi tres possibilitats de la mineralogia inicial, que són: calcita amb alt contingut de magnesi, calcita amb baix contingut de

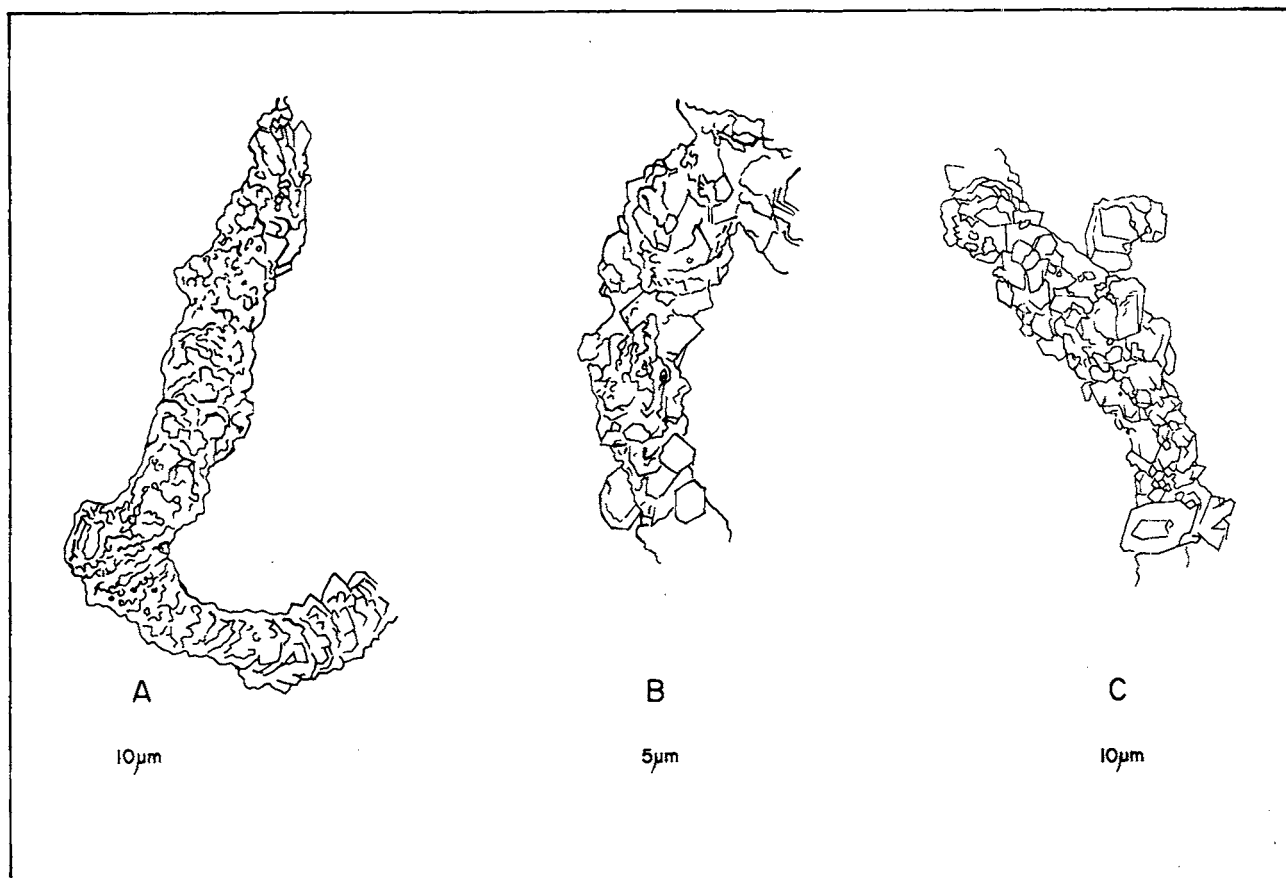
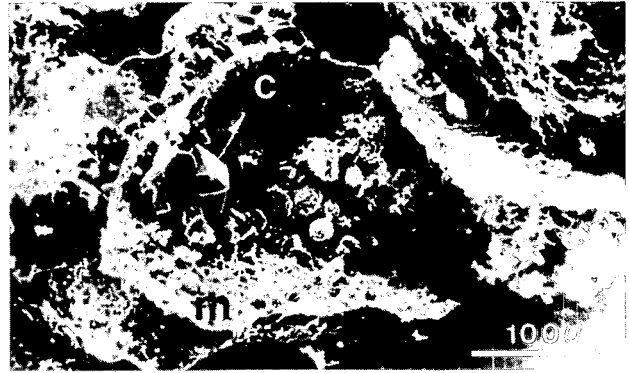


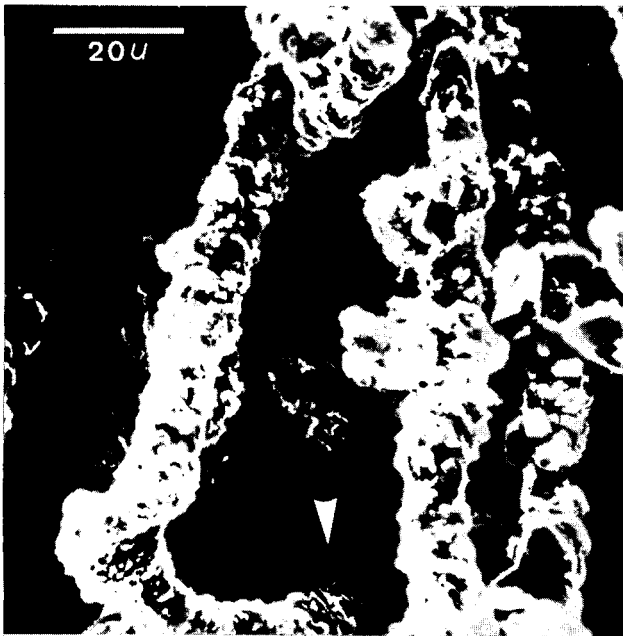
Fig. 2. El material dels motlles. (Vegeu text).



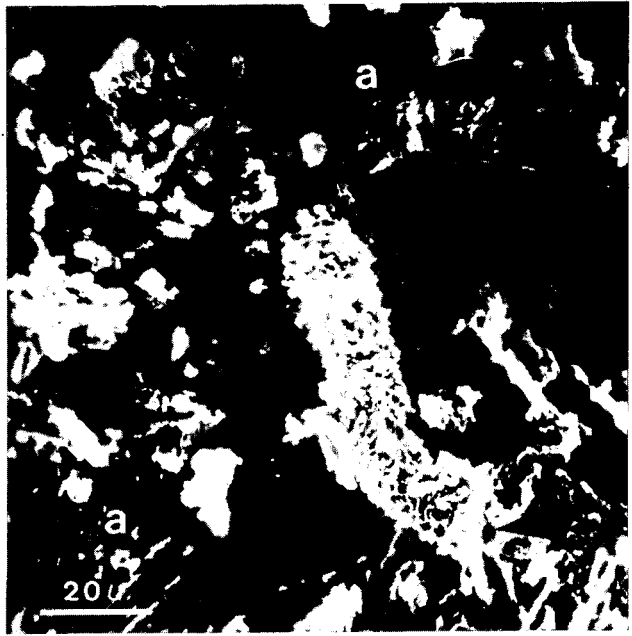
7



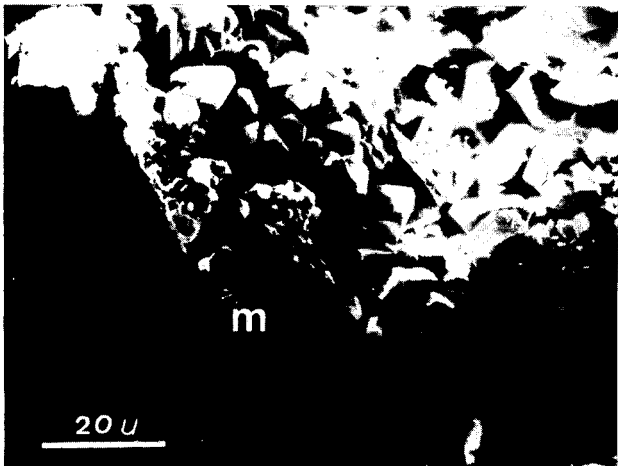
8



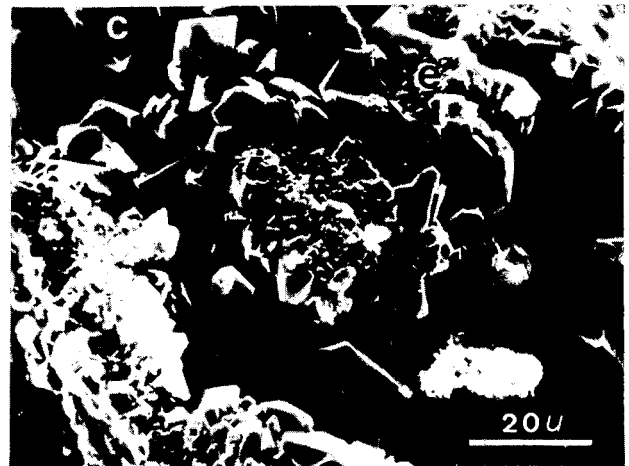
9



10



11



12

magnesi i aragonita. A més, hi ha la possibilitat que les microperforacions s'hagin omplert en condicions marines o en condicions continentals. De possibilitats teòriques d'ompliment (d'acord amb la mineralogia i el medi diagenètic de cementació) només n'hi ha quatre, que discutirem d'una a una. Aquestes possibilitats són: ompliment de calcita amb alt contingut de magnesi en condicions marines, ompliment amb calcita amb baix contingut de magnesi en condicions marines, ompliment d'aragonita en condicions marines i ompliment de calcita amb baix contingut de magnesi en condicions continentals.

Ompliment de calcita amb alt contingut de magnesi en condicions marines. Les cites de perforacions i microperforacions omplertes de HMC en el medi marí són abundants (Winland, 1968 i 1971; Alexandersson, 1972; Schroeder, 1972; i d'altres).

La HMC que omplia les perforacions va sofrir la transformació HMC-LMC, quan els components van passar a les condicions vadoses continentals. D'acord amb la bibliografia existent, aquesta transformació es realitzà en els primers estadis de la diàgenesi continental.

El ciment de HMC, que omplia les microperforacions, presumiblement tenia hàbit romboèdric o els eixos-*c* dels cristalls orientats cap a l'interior de la microperforació (fos de morfologia filamentosa, semiesfèrica o esfèrica). Aquesta disposició no és observada en cap motlle. I en comptes de la fàbrica original hi ha una fàbrica microesparítica pastosa (fot. 9), o una fàbrica microcristal·lina desorientada (fot. 10). Per tant, interpretem que la transformació HMC-LMC del material que omplia les microperforacions, ha implicat un canvi de la textura cristal·lina de la HMC inicial.

Hi ha un segon procés, en continuïtat amb l'anterior, que de forma progressiva reorganitza la fàbrica microesparítica pastosa o la microcristal·lina desorientada a una textura hipidiotòpica i finalment idiotòpica, constituïda per cristalls romboèdrics euhedrals de LMC, de 0,5 μm a 12 μm de llargada (fots. 12, 13 i 14). La reorganització té un caràcter centrífug i produeix un augment de la dimensió dels cristalls. En realitat es tracta d'un procés neomòrfic agradable. La reorganització segueix els traçats dels motlles, i produeix certa deformació en la direcció, i variació del diàmetre dels motlles. L'orientació dels cristalls té una disposició radial, i l'eix-*c* tendeix cap a l'exterior del motlle, just el contrari de la disposició de la HMC dins la microperforació.

La reorganització de la LMC es realitza mitjançant l'aparició de nous cristalls que engloben i digereixen els de la fàbrica prèvia. En alguns motlles hi ha cristalls que pràcticament els travessen (fot. 15). És molt important de destacar la gran similitud de fàbriques microcristal·lines entre els motlles i les «micritic envelopes» (fot. 16), que fan sospitar processos de reorganització semblants en ambdós casos, i que permet una interpretació coherent dels mecanismes de conservació de les «micritic envelopes».

Ompliment de calcita amb baix contingut de magnesi en condicions marines. L'existència de ciments de LMC en condicions marines és molt limitada, i en concret a l'interior de les microperforacions només ha estat citat per Kobluk i Risk (1977 b), en substrat de calcita espàtica. Descartem aquesta possibilitat als materials estudiats per: a) les poques possibilitats de la precipitació de ciment de LMC en condicions marines a l'interior de microperforacions, i b) que les úniques citades són en substrat de calcita espàtica, mentre que en el nostre cas, els substrats eren de fragments de mol·luscs d'aragonita.

Ompliment d'aragonita en condicions marines. Les cites de microperforacions omplertes de ciment d'aragonita en condicions marines són abundants (Bathurst, 1966 i 1971; Winland, 1968 i 1971; Alexandersson, 1972; Schroeder, 1972; Harris, 1977; Harris et al. 1977 i d'altres). És evident, que quan es van formar els grans en condicions marines, hi hagué un important percentatge de microperforacions que foren omplertes per ciment d'aragonita. En passar el sediment a les noves condicions diagenètiques —medi continental vadós— l'aragonita de les closques esdevé inestable i es dissolt. Per tant, l'aragonita que omplia les microperforacions també serà dissolta a les noves condicions diagenètiques, si no hi ha un procés de «replacement» aragonita - aragonita (més estable) com el citat per Harris (1977) i Harris et al. (1977). Aquest procés és molt poc comú, i només explica la preservació de l'aragonita fins a certs límits de l'evolució diagenètica, però que no serveix per a explicar la conservació d'aquests motlles en el material estudiat per nosaltres, on quasi no hi ha aragonita. Podem concloure dient que si bé hi hagueren microperforacions omplertes d'aragonita, són esborrades al llarg de la història diagenètica per la dissolució de l'aragonita. Per tant, la possibilitat de microperforacions omplertes originalment d'aragonita queda eliminada.

Ompliment de calcita amb baix contingut de magnesi en condicions continentals. Molt possiblement els grans originals presentaven microperforacions sense omplir, i d'altres omplertes de ciment HMC i d'aragonita. Les dues últimes possibilitats ja han estat analitzades. És possible que quan els grans van passar a les condicions continentals, part de les microperforacions buides, fossin omplertes per ciment de LMC, mineralogia típica del medi continental. El problema és diferenciar texturalment aquests ompliments i els de HMC, ja que pels processos diagenètics (transformació HMC-LMC, i reorganització posterior) s'homogeneïtzen les dues textures a textures hipidiotòpiques i idiotòpiques similars.

CONCLUSIONS: LA HISTÒRIA DIAGENÈTICA

Un cop vista la morfologia dels motlles i la descriptiva del material que els constitueixen, de les interpretacions dels possibles organismes perforants i de la mineralogia inicial de l'ompliment, estem en condicions d'analitzar la història diagenètica dels components estudiats.

Les roques analitzades són eolianites constituïdes en gran part de fragments de mol·luscs, i també d'altres components

Fot. 7. Microperforacions filamentoses formant un entrecreixat atribuïbles a fongs i microperforacions esfèriques atribuïbles a esporangis fúngics (fletxes), a l'interior d'un fragment de mol·lusc.

Fot. 8. Motlle amb hàbit esfèric (e) a l'interior del gra. Envoltat micrítica (m), ciment (c).

Fot. 9. Motlles filamentosos. El de l'esquerra constituït per cristalls anhedrals pastosos. Observeu el començament del procés de reorganització de la fàbrica anedral pastosa cap a l'exterior del motlle i amb les arestes corbes (fletxes). Els motlles de la dreta estan en un estadi més avançat de reorganització.

Fot. 10. Motlles filamentosos constituïts per una fàbrica microcristal·lina desorientada. En aquest motlle hom observa que el centre de la perforació no fou totalment omplert pel ciment original (fletxa). Els motlles filamentosos es posen de relleu mitjançant la dissolució de l'aragonita (a).

Fot. 11. Motlles amb hàbit semiesfèric (fletxes). L'interior del motlle és constituït per una pasta de cristalls anhedrals-subhedrals. Envoltat micrítica (m), ciment (c).

Fot. 12. Motlles amb hàbit esfèric (e) seccionats. L'interior és constituït per cristalls d'anedrals a subhedrals, mentre que la part externa la formen cristalls de subhedrals a euhedrals, amb l'eix-*c* en disposició radial, formant resetes. Observeu el procés de reorganització de cristalls romboèdrics, on queden restes no «digerits» d'una fàbrica prèvia (fletxa), i la continuïtat entre els cristalls reorganitzats i els cristalls de ciment (c).

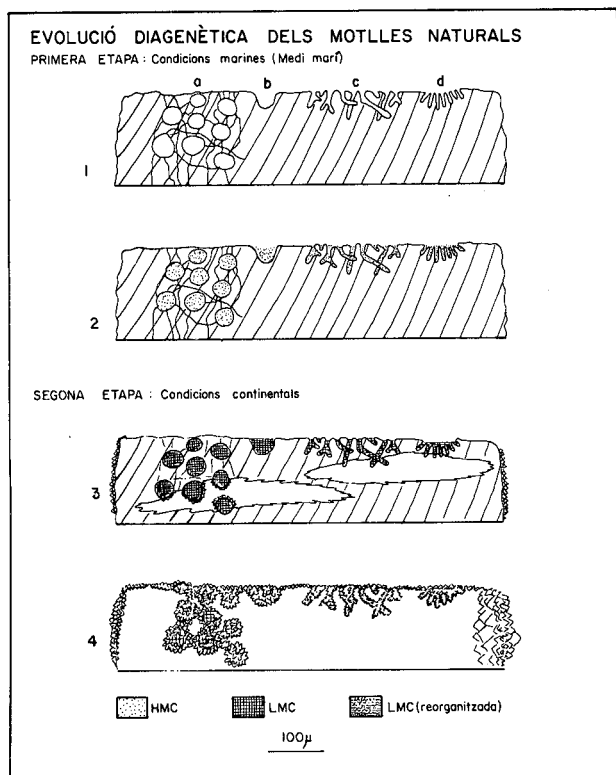


Fig. 3

esquelètics d'origen marí. És típic que les eolianites del Pliocè, Pleistocè i Recents de Mallorca, siguin formades en gran part per grans d'origen marí. Molt breument podem esquematitzar que la història diagenètica d'aquests components passa per dues etapes (fig. 3).

(1) Una primera etapa en condicions marines. Aquesta etapa és pre-deposicional. És on s'origina el sediment per «breakdown», bioerosió, etc. dels components esquelètics, en una plataforma sòma carbonatada.

A mesura que els fragments són perforats, les microperforacions queden buides (Alexandersson, 1972, Golubic et al. 1975), i de forma progressiva, algunes de les quals seran omplertes per ciment, tant d'aragonita com de HMC. Tan sols podrem observar en el registre fòssil aquelles que són omplertes per HMC, i part de les que queden buides, que podran omplir-se de ciment de LMC en condicions continentals. Alhora, en aquestes condicions marines es produirà un procés de formació de la «micritic envelope» principalment pel mecanisme de «boring and infilling».

(2) Una segona etapa en condicions continentals vadoses. Un cop que els grans foren transportats al lloc d'enterrament definitiu (eolianites), aquest sediment pràcticament només ha estat en condicions vadoses des de la seva deposició fins a l'actualitat.

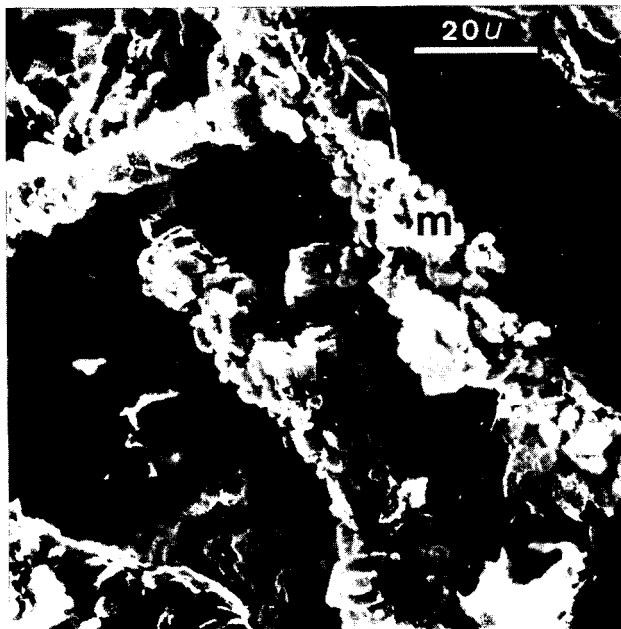
Les noves condicions continentals provoquen la inestabilitat de l'aragonita i HMC estables en condicions marines. En aquestes condicions continentals es produeix la dissolució de l'aragonita de les closques de mol·luscs i es forma una porositat mòldica i la consegüent posada en relleu de la «micritic envelope». Si a aquests grans hi havia perforacions sense omplir, o omplertes d'aragonita, seran totalment esborrades del registre fòssil, a condició que les primeres no

s'omplir per ciment de LMC en condicions continentals, i les d'aragonita no sofreixin un procés de «replacement». Les microperforacions que foren omplertes per ciment de HMC es conservaran en el registre fòssil en forma de motlle natural, quan es dissolgui l'aragonita de les closques dels mol·luscs, prèvia transformació HMC-LMC i reorganització de LMC.

Paral·lelament a la dissolució de l'aragonita precipita ciment menisc de LMC típic de condicions vadoses continentals, i uns primers estadis de ciment «blocky» a la porositat interpartícula i de ciment «drusy» a la porositat mòldica.

BIBLIOGRAFIA

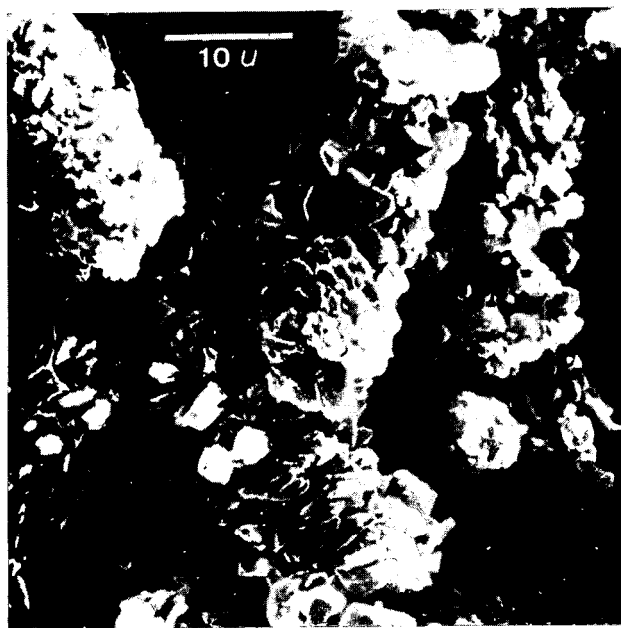
- ALEXANDERSSON, T. (1972): Micritization of carbonate particles: processes of precipitation and dissolution in modern shallow-marine sediments. *Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala*, v. 3, p. 201-236.
- BATHURST, R. G. C. (1966): Boring algae, micrite envelope and lithification of molluscan biosparites. *Geol. Jour.*, v. 5, p. 15-32.
- BATHURST, R. G. C. (1971): *Carbonate sediments and their diagenesis*. Developments in Sedimentology, n.º 12. Elsevier Publishing Company. Amsterdam, 620 p.
- BOEKSCHOTEN, G. J. (1966): Shell borings of sessile epibiontic organism as paleoecological guides (with examples from the Dutch coast). *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, v. 2, p. 333-379.
- BROMLEY, R. G. (1970): Borings as trace fossils and *Entobia cretacea* Portlock, as an example. A. T. P. CRIMES i J. C. HARPER (eds.), *Trace fossils*. *Geol. Jour., Spec. Issue 3*, p. 49-90.
- BUTZER, K. W. i J. CUERDA (1962): Coastal stratigraphy of Southern Mallorca and its implications for the Pleistocene chronology of the Mediterranean Sea. *Jour. Geol.*, v. 70, p. 386-416.
- CALVET, F. i M. ESTEBAN (1977): Evolució diagenètica en los sedimentos carbonatados marinos del Pleistoceno de Mallorca. *Bol. Soc. Hist. Nat. de Baleares*, v. XXII, p. 96-118.
- CUERDA, J. (1975): *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Diputació Provincial de Baleares. 304 p.
- EDWARDS, B. D. i R. D. PERKINS (1974): Distribution of microborings within continental margin sediments of the southeastern United States. *Jour. Sed. Petrol.*, v. 44, p. 1122-1135.
- FREMY, P. (1945): Contribution à la physiologie des Thallophytes marines perforant et cariant les roches calcaires et les coquilles. *Ann. Inst. Oceanogr.*, v. 22, p. 107-144.
- FRIEDMAN, G. M., C. D. GEBELIN i J. E. SANDERS (1971): Micritic envelopes of carbonate grains are not exclusively of photosynthetic algal origin. *Sedimentology*, v. 16, p. 89-96.
- GATRAL, M. i S. GOLUBIC (1970): Comparative study on some Jurassic and Recent endolithic fungi using a scanning electron microscopy. A. T. P. CRIMES i J. C. HARPER (eds.), *Trace Fossils*. *Geol. Jour., Spec. Issue 4*, p. 167-178.
- GAVISH, E. i G. M. FRIEDMAN. (1969): Progressive diagenesis in Quaternary to Late Tertiary Carbonate Sediments: Sequence and time scale. *Jour. Sed. Petrol.*, v. 39, p. 980-1006.
- GOLUBIC, S. (1973): The relationship between blue-green algae and carbonate deposits. A. N. G. CARR i B. A. WHITTON (eds.), *The biology of blue-green algae*. Oxford, Blackwell, p. 434-472.
- GOLUBIC, S., G. BRENT i T. LeCAMPION-ALSUMARD (1970): Scanning electron microscopy of endolithic algae and fungi using a multi-purpose casting embedding technique. *Lethaia*, v. 3, p. 203-209.
- GOLUBIC, S., R. PERKINS i K. S. LUKAS (1975): Boring microorganisms and microborings in carbonate substrates. A. R. W. FREY (ed.), *The study of Trace Fossils*. New York, Springer Verlag, Inc., p. 229-260.
- HARRIS, P. M. (1977): *Sedimentology of the Joulter's Cays ooid sand shoal Great Bahama Bank*. Thesis, Coral Gables, Florida, 452 p. Ph. D. dissert.
- HARRIS, P. M., K. J. LUKAS i R. B. HALLEY (1977): A comparison of endolith floras from Holocene-Pleistocene (Bahama-Florida) ooids: (Abstract). *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, v. 61, p. 793-794.
- HESSLAND, I. (1949): Investigation of the lower Ordovician of the Siljan district, Sweden. 11: Lower Ordovician penetrative and enveloping algae from the Siljan district. *Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala*, v. 33, p. 409-424.
- KOBLUK, D. R. i M. J. RISK (1974): Devonian boring algae or fungi associated with micrite tubules. *Can. J. Earth Sci.*, v. 11, p. 1606-1610.
- KOBLUK, D. R. i M. J. RISK (1977 a): Algal borings and framboidal pyrite in Upper Ordovician brachiopods. *Lethaia*, v. 10, p. 135-143.
- KOBLUK, D. R. i M. J. RISK (1977 b): Micritization and Carbonate grain binding by endolithic algae. *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, v. 61, p. 1069-1082.
- LAND, L. S., F. T. MACKENZIE i S. J. GOULD (1967): Pleistocene history of Bermuda. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 78, p. 993-1006.



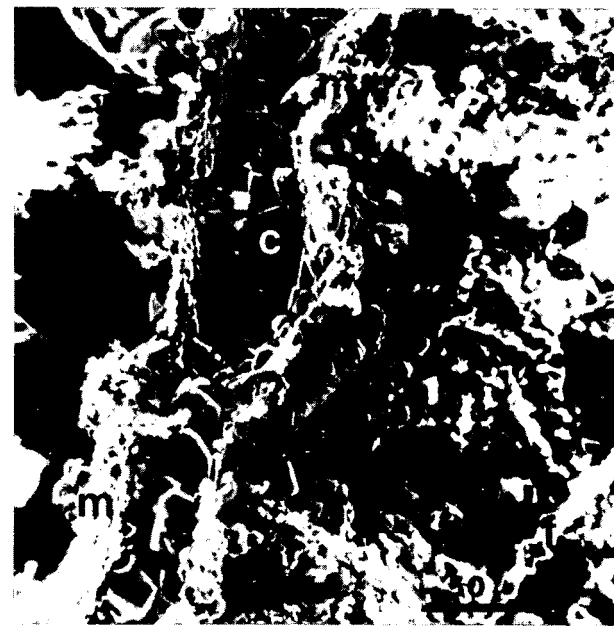
13



14



15



16

Fot. 13. Motlles amb hàbit filamentós constituïts principalment per cristalls romboèdrics. Alguns cristalls travessen part del motlle (fletxa). Observeu les fàbriques semblants entre els motlles i l'envolta micrítica (m).

Fot. 14. Motlle amb hàbit semiesfèric adossat a la paret del substrat. Agregat de cristalls euhedrals formant una roseta.

Fot. 15. Motlles filamentosos constituïts per cristalls anhedrals-subhedrals desorientats. Observeu el procés de reorganització de la fàbrica anhedral on

alguns cristalls pseudoromboèdrics han englobat i «digerit» la fàbrica prèvia (fletxa).

Fot. 16. Envolta micrítica mostrant el mateix procés de reorganització dels motlles. Els nous cristalls travessen l'envolta micrítica (fletxes). Motlles filamentosos (f) amb hàbit entrecreuat a l'interior d'un fragment de mol·lusc mostrant la mateixa fàbrica que les envoltes micrítiques. Cement (c). Envolta micrítica (m).

- NADSON, G. (1927): Les algues perforantes, leur distribution et leur role dans la nature. *Acad. Sci., Comptes Rendus*, v. 184, p. 1015-1017.
- NEASE, F. R. i F. A. WOLF (1971): A nonpetrified fossil alga from a phosphate mine site in eastern North Carolina. *Jour. Elisha Mitchell Sci. Soc.*, v. 87, p. 51-52.
- PERKINS, R. D. i S. D. HALSEY (1971): Geologic significance of microboring fungi and algae in Carolina shelf sediments. *Jour. Sed. Petrol.* v. 41, p. 843-853.
- PERKINS, R. D. i C. I. TSENTAS (1976): Microbial infestation of carbonate substrates planted on the St. Croix sheli, West Indies. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 87, p. 1615-1628.
- PIA, J. von (1937): Die kalkosenden thallophyteb. *Arch Hydrobiol.*, v. 31, p. 264-328, p. 341-398.
- RISVET, B. L. (1971): The progressive diagenetic history of Bermuda. *Bermuda Biol. Station for Research, Spec. Public.*, n.º 9, p. 118-157.
- ROONEY, W. S. Jr., R. D. PERKINS (1972): Distribution and Geologic significance of microboring organisms within sediments of the Arlington Reef Complex, Australia. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 83, p. 1139-1150.
- SCHROEDER, J. H. (1972): Fabrics and sequences of submarine carbonate cements in Holocene Bermuda cup reefs. *Geol. Rundschau*, v. 61, p. 708-730.
- SWINCHATT, J. P. (1969): Algal boring: a possible depth indicator in carbonate rocks and sediments. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 80, p. 1391-1396.
- WINLAND, H. D. (1968): The role of high Mg calcite in the perservation of micrite envelopes and textural features of aragonite sediments. *Jour. Sed. Petrol.*, v. 38, p. 1320-1325.
- WINLAND, H. D. (1971): *Diagenesis of Carbonate Grains in Marine and Meteoric Waters*. Thesis, Brown University, 320 p. Ph. D. dissert.

Rebut, febrer 1979.