

UNIVERSITAT DE BARCELONA  
Facultat de Geologia  
Departament de Geoquímica,  
Petrologia i Prospecció Geològica

***SEDIMENTOLOGIA, PETROLOGIA I GEOQUÍMICA  
(ELEMENTS TRAÇA I ISÒTOPS) DELS  
ESTROMATÒLITS  
DE LA CONCA EOCENA SUDPIRINENCA.***

**Anna Travé i Herrero**

**Barcelona'92**

## DESCRIPCIÓ DE LES FÀCIES SUPRAJACENTS A L'ESTROMATÒLIT.

En totes les columnes estratigràfiques realitzades al llarg del vorell de la conca (Nord, Est i Sud), s'indica el tipus de litofàcies que hi ha immediatament per sobre dels estromatòlits. Les fàcies que hi podem trobar són:

- Guixos
- Margues amb *slumps*
- . Sorres
- .Sediments flúvio-lacustres

L'estratigrafia general d'aquestes fàcies ha estat establerta en diferents àrees per Reguant (1967); Rosell-Ortiz (1983); Taberner (1983); Ortí *et al.*, (1984); Taberner i Santisteban (1984); Busquets *et al.*, (1985); i Sáez (1987).

## - GUIXOS

Els guixos han estat la base de diversos treballs petrogràfics realitzats per Ortí i Palou (1977), Ortí *et al.*, (1990, p.144-147), Ortí *et al.*, (1990, p.147-148), i de caire isotòpic per Utrilla (1989).

Aquesta litofàcies es situa per sobre dels estromatòlits i correspon al nivell que Reguant (1967) va anomenar nivell "y".

Els dipòsits de guix reconeguts al vorell oriental de la Conca de l'Ebre formen un cinturó al llarg de tot el vorell (Ortí i Palou, 1977; Busquets *et al.*, 1985), d'una potència que oscil·la entre 0 i 30 metres. Aquests dipòsits sulfatats mostren la següent seqüència evaporítica de la base al sostre:

1- Unitat inferior: formada per guix originàriament selenític, localment amb intercalacions anhidrítiques,

2- Unitat superior: formada per guix de color fosc, megacristal·lí, detrític o lenticular, segons les àrees. Actualment, el guix es troba en forma de guix secundari, preservant en molts casos pseudomorfs i textures originals.

A la base d'alguns dels estrats que formen aquests gresos es troben motlles amb morfologia cúbica que s'interpreten com a pseudomorfs de cristalls d'halita (Taberner, 1983).

Reguant (1967) va anomenar aquestes sorres nivell "H" o "Gres de La Noguera".

Aquestes seqüències estratocreixents i granocreixents de sorra han estat interpretades per Busquets *et al.*, (1985) com a seqüències de barra de desembocadura desenvolupades en un ambient lacustre. Riba *et al.*, (1975) les inclouen dins la part baixa del Complex de Sanaüja.

## - SEDIMENTS FLÚVIO-LACUSTRES

Els materials continentals flúvio-lacustres de la formació Artés han estat estudiats per Riba (1971) i Sáez (1987).

Es tracta de lutites i gresos amb una granulometria que varia de molt fina a grollera. Tant les lutites com els gresos presenten un color dominant vermellós i taques de descoloració. Els gresos presenten laminació creuada tipus *trough* i/o laminació paral.lela, malgrat que a vegades no s'hi observa cap estructura interna. Les lutites poden presentar laminació plano-paral.lela mil.limètrica o no presentar cap estructura. Podem trobar també, conglomerats amb geometries acanalades, intercalats entre aquests dipòsits.

Aquests dipòsits corresponen al nivell "Rs" definit per Reguant (1967), i també a la formació Artés fixada per Ferrer (1971).

Ortí (1990), divideix la seqüència evaporítica en tres unitats, de manera que inclou una unitat inferior formada per intercalacions de làmines estromatolítiques i làmines de guix. Atès que el tema base d'aquesta tesi són els estromatòlits, nosaltres hem inclòs aquesta unitat dins de les fàcies estromatolítiques, i la descriurem i interpretarem amb la resta de microfàcies.

1- UNITAT INFERIOR: Aquesta unitat té una potència màxima de 20 metres i és formada, actualment, per guix alabastrí secundari amb pseudomorfs de guix selenític. Els cristalls dels selenits tenen una llargada que varia de 2 a 10 cm de l'eix més gran, i es disposen perpendicularment a l'estratificació formant horitzons molt ben definits.

En alguns afloraments, com és el cas d'Òdena, s'hi reconeix l'anhidrita romanent del pas de guix selenític primari a anhidrita, i finalment a guix secundari. Aquesta anhidrita presenta una fàbrica esferolítica.

En d'altres zones, com és el cas del Pont del Llop, els cristalls individuals dels selenits haurien aconseguit una escala mètrica amb un desenvolupament màxim perpendicular a l'estratificació, formant estructures de "supercons" (Busquets *et al.*, 1985) semblants als descrits per Dronkert (1976) en el Messinià de Sorbas (Almeria). Actualment, el guix primari es troba reemplaçat i els pseudomorfs de selenits es preserven en guix alabastrí. A la part inferior d'aquesta unitat existeix un contingut bastant alt de carbonat micrític que progressivament va disminuint cap al sostre. Aquest carbonat presenta una distribució irregular i preserva la laminació original. En molts casos, el carbonat fossilitza les crestes dels selenits.

Aquest tipus de creixement selenític és típic d'ambients sedimentaris molt somers (Ortí i Shearman, 1977), els cristalls creixerien a la interfase sediment-aigua en una salmorra sobresaturada en sulfat de calci.

2- UNITAT SUPERIOR: És una unitat molt variable. Depenent de les diferents àrees és formada per guix megacristal·lí, detrític o lenticular, de color gris fosc a negre, molt replegat i amb estructures de lliscament internes. Existeixen bandes margoses subcentimètriques intercalades en el guix. En la matriu margosa es poden reconèixer localment els pseudomorfs de guix lenticular, amb una longitud de l'eix llarg d'1 a 3 mm.



La potència màxima d'aquesta unitat és d'uns 15 metres, i ve donada per la sobreposició de diferents masses esllavissades. Localment pot no trobar-se.

Per analogia amb ambients evaporítics actuals sembla que aquestes litofàcies evaporítiques han estat dipositades en aigües somes. Busquets *et al.*, (1985) apunten que la unitat superior de guix podria correspondre a fàcies dipositades en medis continentals.

### - MARGUES AMB SLUMPS

Aquesta litofàcies es troba entre les fàcies evaporítiques i els materials vermells continentals de la formació Artés. És el nivell que Reguant (1967) anomenà "sH".

Es tracta de margues amb nivells centimètrics de gresos intercalats que presenten estructures de *slumps*. Aquests nivells de gresos tenen entre 5 i 20 cm i internament poden presentar laminació paral·lela i/o *ripples* de corrent.

Una litofàcies margosa diferent, que es presenta en la mateixa posició estratigràfica per sobre dels guixos i per sota de les seqüències estratocreixents i granocreixents de sorra, és la que es troba a la zona del Pont del Llop i que és constituïda per unes margues de color molt fosc sense cap indicatiu de fauna, degut possiblement a què van dipositar-se en condicions d'anòxia. Reguant (1967) les inclou dins del mateix nivell "sH", i Busquets *et al.*, (1985) els donen el nom de "lutites grises superiors".

### - SORRES

Es tracta de gresos, de mida de gra de fi a mitjà a la base de les seqüències, i groller al sostre, de color beix, ordenats en seqüències granocreixents i estratocreixents.

Deponent dels llocs trobem dues o tres seqüències. Cada una d'aquestes seqüències pot assolir una potència màxima d'uns 3 metres.





## PETROLOGIA DELS ESTROMATÒLITS

Per fer una descripció petrogràfica completa de l'estromatòlit cal tenir en compte dos aspectes diferents: la macroestructura i la microestructura.

Amb el nom de macroestructura es defineix la natura dels estrats estromatolítics i la manera com aquests es presenten (estratiformes, plans, doms, columnes,...), mentre que la microestructura fa referència a les característiques microscòpiques de les propietats internes (Monty, 1976). Algunes microestructures que formen l'estromatòlit poden donar-nos informació de quina era la comunitat d'organismes (quan aquests es preserven) responsables de la seva construcció.

Donat que els nivells estromatolítics estudiats presenten sempre una mateixa macroestructura, de tipus plana-estratiforme, en aquest treball dedicarem especial atenció a les diferents microestructures, a fi de definir els diferents tipus de microfàcies estromatolítiques.

### MACROSTRUCTURA DELS ESTROMATÒLITS DE LA CONCA EOCENA SUDPIRINENCA.

Els estromatòlits de la zona d'estudi són en conjunt biostromes tabulars d'una potència que varia entre pocs centímetres i 1.75 metres. Són estromatòlits estratiformes que internament poden presentar laminació plana, ondulada, o crenulada, sempre dins de la definició d'estromatòlits no columnars.

En aquest treball anomenem "estromatòlit" a un conjunt de microfàcies genèticament diferents, algunes de les quals són d'origen orgànic i d'altres no. Dins d'algunes d'aquestes microfàcies s'hi poden reconèixer els microorganismes formadors de l'estromatòlit (aquest és el cas de les laminacions cianobacterianes, els biolaminoides i les laminacions bacterianes), en d'altres, l'evidència de l'existència d'aquests microorganismes és indirecta (com per exemple en les microfàcies peloïdal laminada, peloïdal grumollosa, i peloïdal pelsparítica). Alternant amb les anteriors, s'observen làmines mil·limètriques de natura detrítica que localment arriben a formar nivells centimètrics. Ocasionalment també hi trobem nivells no laminats.

En el conjunt d'estromatòlits estudiats s'han pogut diferenciar dues textures diferents. La primera, que anomenem "estromatòlit carbonatat", es caracteritza per presentar laminacions més o menys contínues, irregulars i ondulades, de caracter carbonatat. La segona, que anomenem laminacions alternants de guix i carbonat, és formada per l'alternança mil·limètrica de làmines carbonatades d'origen microbià, i làmines de guix, i es localitza per sota dels dipòsits evaporítics.

El conjunt d'aquest estromatòlit és format per diferents unitats que només s'estenen a una part de l'àrea total. Les diferents unitats es van succeint en el temps i en l'espai.

L'extensió lateral, global, de les diferents unitats que formen l'estromatòlit carbonatat és d'almenys 40 quilòmetres, i afloren tant en les parts més proximals, com en les parts més distals dels vorells de la conca.

L'extensió lateral dels estromatòlits formats per l'alternança de les làmines carbonatades i les làmines de guix ocupa una zona més reduïda, aflorant únicament a les parts relativament més distals dels vorells de la conca.

A les àrees més proximals de la conca l'estromatòlit carbonatat es troba per sobre de nivells carbonatats rics en foraminífers aporcellanats, mentre que a les zones més allunyades del vorell de la conca, es troba directament sobre sediments margosos. D'altra banda, l'estromatòlit format per l'alternança de laminacions de guix i carbonat reposa sempre sobre materials margosos.

Per sobre de l'estromatòlit, a les zones més proximals, s'observen sediments vermells lutífics i arenosos dipositats en un medi subaeri. A les zones més distals de la conca podem tenir margues fosques anòxiques, seqüències estratocreixents i granocreixents de sorra, dipòsits evaporítics, o bé, sediments vermells continentals lutífics i arenosos, semblants als de les zones proximals.

## **MICROSTRUCTURES I DISTRIBUCIÓ ESTRATIGRÀFICA DE LES DIFERENTS MICROFÀCIES ESTROMATOLÍTIQUES.**

En aquest apartat es descriuen les microfàcies de l'estromatòlit en funció de les diferents microstructures que presenta.

L'anàlisi sedimentològica d'aquests estromatòlits és el resultat de l'estudi detallat, nivell a nivell, dels principals afloraments.

Les diferents microfàcies estromatolítiques han estat establertes segons els organismes constructors (bacteris o cianobacteris), ja que, diferents organismes produeixen diferents tipus de laminacions amb formes i relleus diferents. Les microfàcies en què no ha estat possible reconèixer els organismes constructors s'han establert en funció de les característiques particulars de la laminació (morfologia i textura de les làmines), característiques que es coneixen també amb el nom de fàbrica segons Bertrand-Sarfati i Walter (1981).

Les tres microfàcies estromatolítiques descrites són:

- a.- laminacions cianobacterianes
- b.- laminacions bacterianes
- c.- biolaminoides

A més a més, s'han establert una sèrie de microfàcies directament lligades als estromatòlits, algunes especialment relacionades amb els estromatòlits cianobacterians i d'altres amb els estromatòlits bacterians.

Les microfàcies més estretament relacionades amb les laminacions cianobacterianes són:

- .- peloïdal laminada
- .- peloïdal pelsparítica

Les microfàcies més estretament relacionades amb les laminacions bacterianes són:

- .- dolmicrita
- .- micrita amb estructures fenestrals
- .- micrita amb fauna
- .- laminacions guix-estromatòlit.

A més d'aquestes microfàcies constructives, n'hi ha d'altres que hem anomenat "destructives", les quals afecten tant a les laminacions cianobacterianes, com a les bacterianes, i als biolaminoides. Aquestes microfàcies destructives són:

- .- bretxa pedogènica
- .- bretxa produïda pel creixement d'evaporites
- .- laminacions detrítiques

El fet d'incloure les laminacions detrítiques dins d'aquestes microfàcies destructives és degut a què l'arribada de sediment detrític a l'àrea on es desenvolupaven els estromatòlits impedia la seva instal·lació i, ocasionalment, provocava la destrucció per erosió de les estructures estromatolítiques prèviament formades.

D'altres microfàcies associades són:

- .- calcreta
- .- carniola

Atesa a la distribució areal limitada de les microfàcies reconegudes al llarg de tots els estromatòlits estudiats, i la complexitat que representa definir-les texturalment, hem cregut idoni fer una divisió per àrees a l'hora de descriure petrogràficament les microfàcies. Considerarem les tres mateixes àrees de l'apartat d'estratigrafia, que són:

- 1.- Vorell Nord (Zona de Sant Bartomeu del Grau)
- 2.- Vorell Est (Zona de Santa Eulàlia de Riuprimer - Tona)
- 3.- Vorell Sud (Zona de Collsuspina - Artés - Calders)

## VORELL NORD (ZONA DE SANT BARTOMEU DEL GRAU).

En aquest sector, que correspon al marge aflorant més septentrional de la conca, l'estromatòlit té una potència màxima d' 1.75 metres i mínima de 0.1 metres.

Aquests estromatòlits presenten morfologies planes o amb petites ondulacions, i es desenvolupen per sobre d'un *grainstone* de foraminífers aporcellanats i litoclastos amb envoltes oolítiques, que forma barres de fins a 2'8 metres de potència. Els estromatòlits es disposen cobrint i homogeneïtzant els relleus infrajacentes.

Les microfàcies pròpiament estromatolítiques que es desenvolupen al vorell Nord (zona de Sant Bartomeu) són laminacions cianobacterianes, laminacions bacterianes i biolaminoides.

### MICROFÀCIES 1 - LAMINACIONS CIANOBACTERIANES

#### Descripció:

Les làmines dels estromatòlits cianobacterians tenen una gran continuïtat lateral, i el grau d'herència és moderat.

La microestructura d'aquests estromatòlits (Làm. I, Fig. 1 i 2) és formada per una alternança de làmines clares (riques en sediment) i làmines fosques (riques en matèria orgànica). Aquesta alternança de làmines clares i làmines fosques és general per a tots els estromatòlits que hem estudiat, tanmateix, les característiques particulars de les làmines varien dels uns als altres. El conjunt de làmina clara i làmina fosca s'anomena doblet, les característiques del qual també varien en les diferents microfàcies de l'estromatòlit.

En aquestes laminacions cianobacterianes les làmines fosques tenen una gruixària d'entre 2 i 45 mm, són formades per micrita, i presenten una morfologia crenulada, mentre



que les làmines clares, d'entre 3 i 30 mm de gruix, són formades per calcita microsparítica. El pas de la micrita a la microsparita és gradual. Tot i que la major part de la roca és formada per calcita (entre un 70 i un 98.5 % segons les calcimetries), hi ha associat a les làmines clares, material terrigènic de gra molt fi com quars, feldspats, diferents minerals argilosos, i ocasionalment framboides de pirita.

A les làmines clares microsparítiques es poden observar unes estructures amb morfologia filamentosa en posició vertical o subvertical. A les làmines fosques aquestes estructures filamentoses es troben en posició horitzontal o subhoritzontal i són més difícils de reconèixer. Les observacions d'aquests estromatòlits fetes amb S.E.M. (microscopi electrònic de rastreig), també mostren l'existència d'aquestes estructures filamentoses d'1 a 10 µm de diàmetre, que interpretem com a filaments de cianobacteris (Làm. II, fig. 1 i 2; Là. III, figs. 1 i 2; Là. IV figs. 1 i 2).

Els organismes que s'hi poden trobar tant a les làmines fosques com a les clares són petits foraminífers aporcellanats, discòrbids i, ostràcodes de closca fina sense ornamentació.

En aquestes laminacions cianobacterianes és freqüent la presència d'abundants estructures fenestrals.

Les estructures fenestrals que trobem en aquests estromatòlits són de tres tipus diferents: horitzontals, irregulars, i globoses (Làm.I, fig.1), essent les horitzontals les més abundants. En aquestes mostres, la fàbrica "fenestral" pot presentar-se totalment buida (generant-se una porositat "fenestral"), omplerta per sediments geopetals (en forma de micrita homogènia, o bé de peloides), o omplerta per diferents tipus de ciments esparítics.

Finalment, cal ressaltar la presència de motlles d'evaporites. Els cristalls són de morfologia lenticular, de dimensions variables entre 1.87 i 4.1 mm respecte de l'eix més llarg, i d'entre 0.375 i 2.25 mm del més curt, aïllats entre la micrita, en agregats de "rosetes", o bé, formant un nivell continu amb l'eix llarg de les lentícules verticalitzat i perpendicular a la laminació estromatolítica (Làm. V, fig.1).

## LÀMINA I

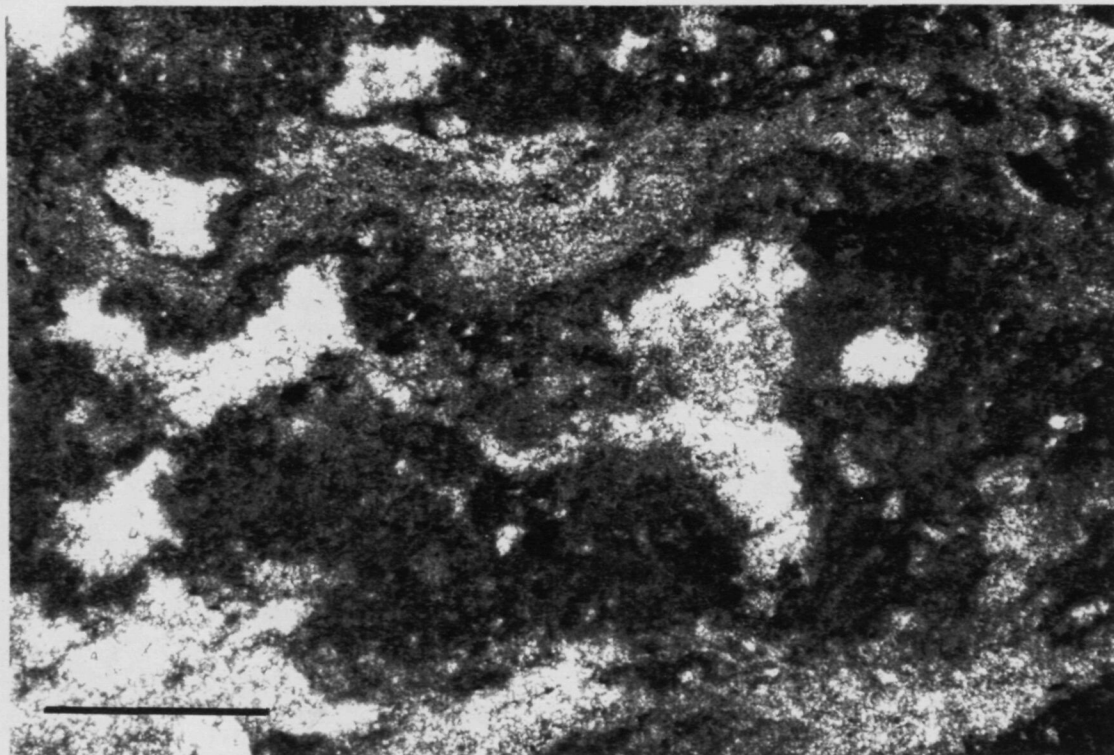


FIGURA 1 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN1). Microfàcies 1: laminacions cianobacterianes. Alternança de làmines clares microsparítiques de gruix molt irregular però molt contínues amb làmines fosques micrítiques i de major gruixària. La major part de les estructures fenestrals, principalment de tipus globular, es situen a les làmines fosques. L'escala és de 0.5 mm.

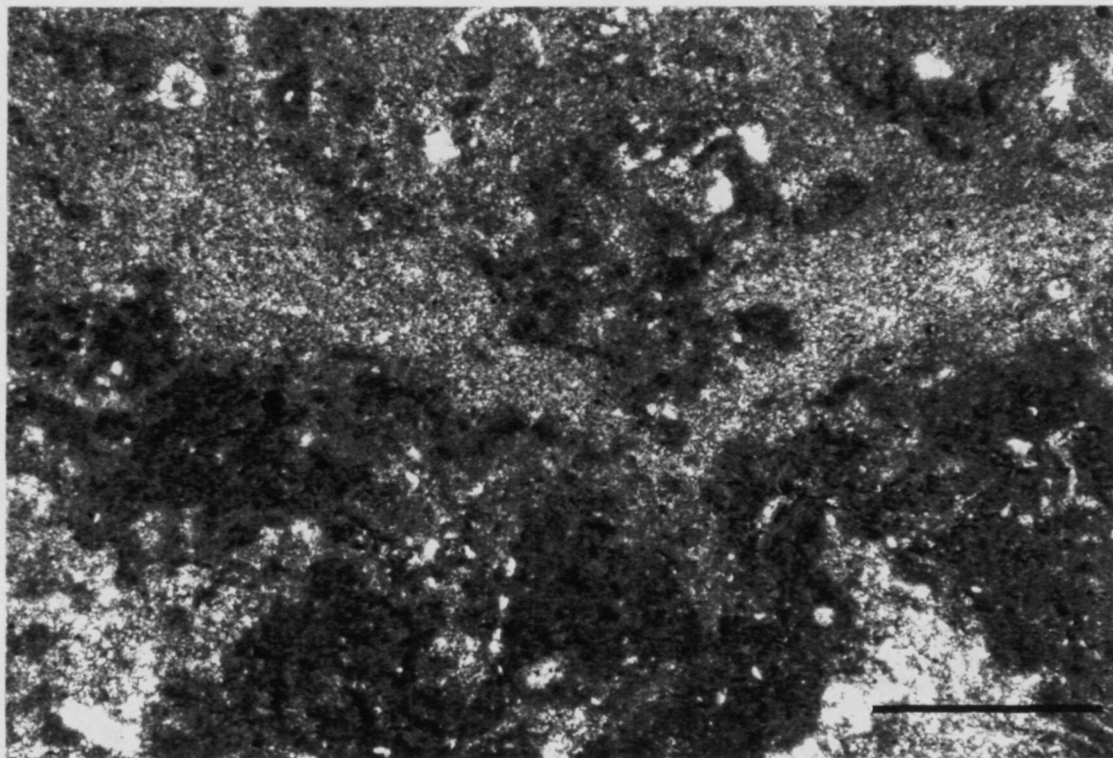


FIGURA 2 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN4). Microfàcies 1: laminacions cianobacterianes. Detall dels dos tipus de làmines que caracteritzen aquesta microfàcies. L'escala és de 0.5 mm.

## LÀMINA II

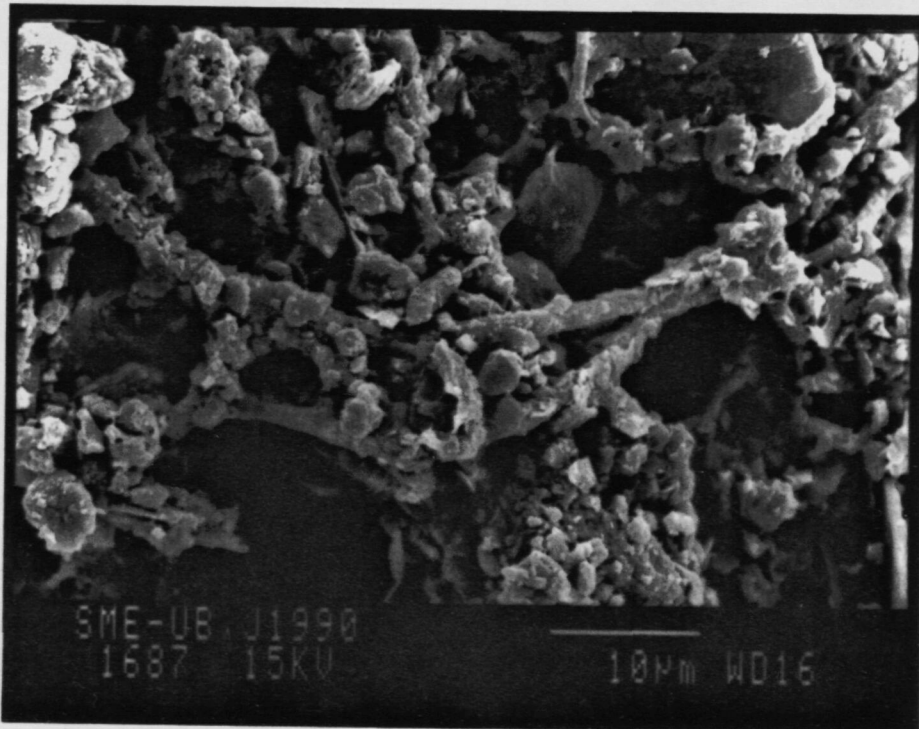


FIGURA 1 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN6). Microfàcies 1: laminacions cianobacterianes. Imatge amb SEM, de filaments atribuïts a cianobacteris, observi's el recobrint d'aquests filaments per partícules de micrita. Possiblement la precipitació d'aquesta micrita ha estat induïda pel propi filament.

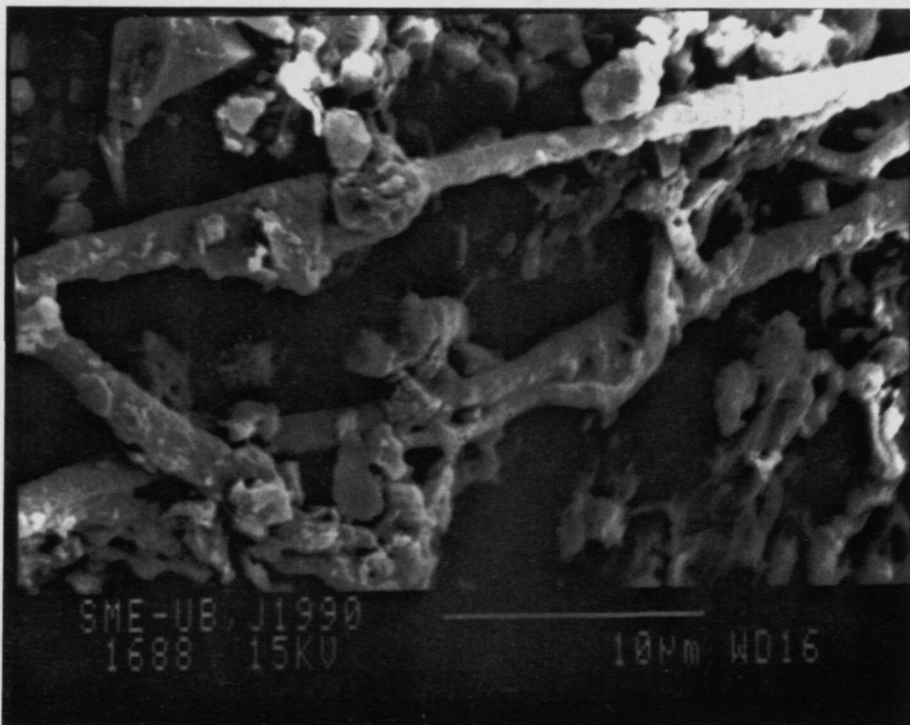


FIGURA 2 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN6). Microfàcies 1: laminacions cianobacterianes. Imatge amb SEM, de filaments atribuïts a cianobacteris.

### LÀMINA III

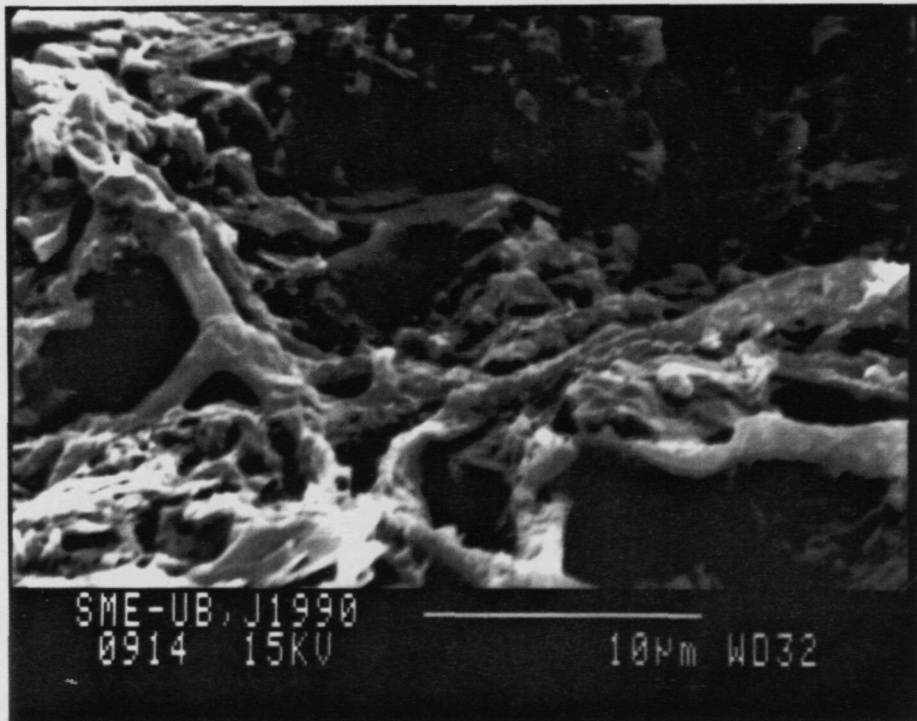


FIGURA 1.- (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN6). Microfàcies 1: laminacions cianobacterianes. Imatge amb SEM de filaments atribuïts a cianobacteris. En aquesta fotografia es pot veure llur estructura ramificada.

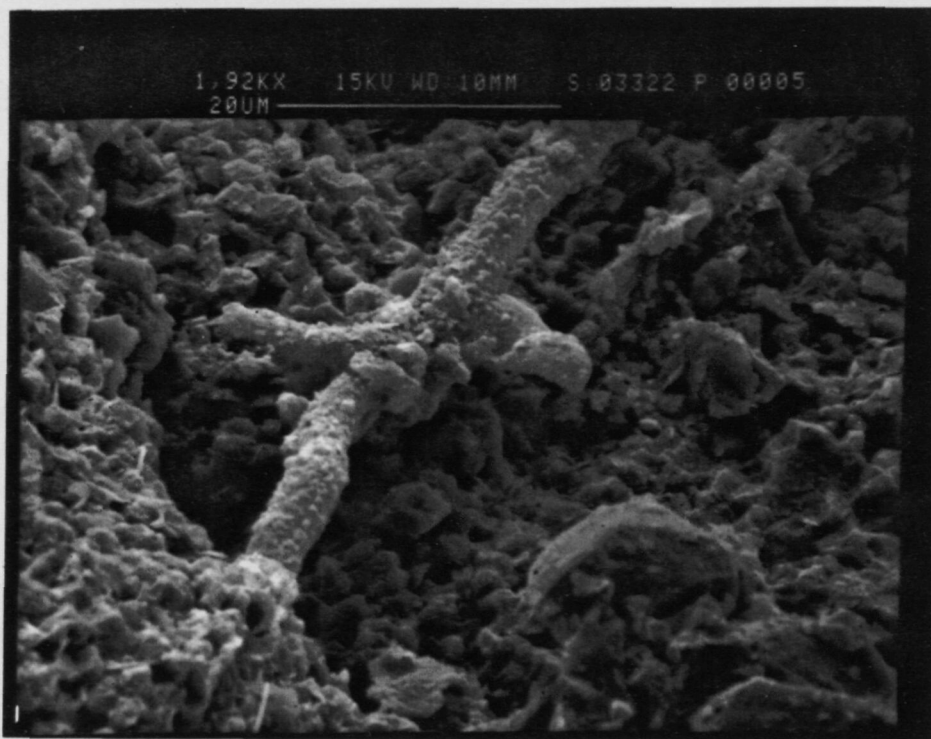


FIGURA 2 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN6). Microfàcies 1: laminacions cianobacterianes. Visió amb SEM d'un filament de cianobacteri on es pot veure la seva estructura ramificada i la superfície irregular.



## LÀMINA IV

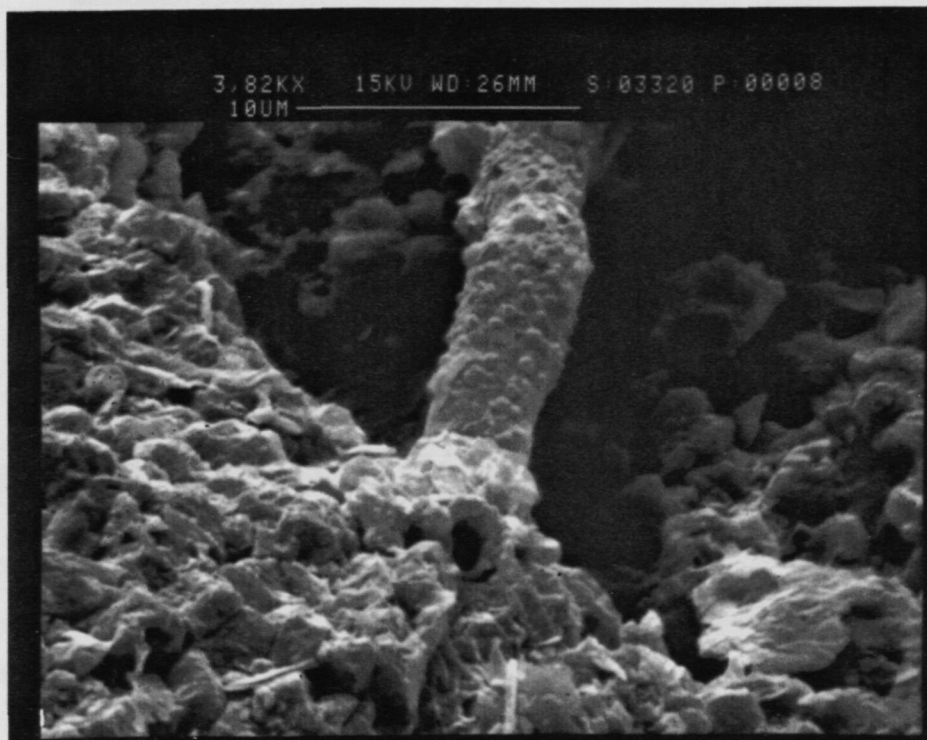


FIGURA 1 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN6). Microfàcies 1: laminacions cianobacterianes. Detall de la figura anterior, on s'observa el punt on el filament de cianobacteri s'integra dins la matriu micrítica.

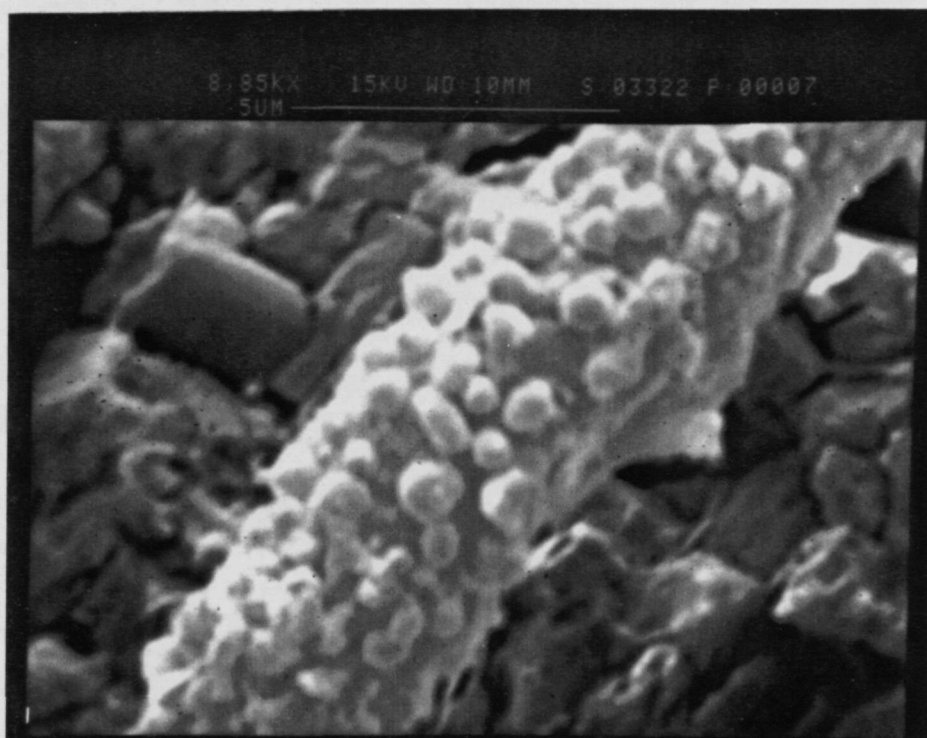


FIGURA 2 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN6). Microfàcies 1: laminacions cianobacterianes. Detall del mateix filament on s'observa com la irregularitat de la superfície del filament es causada per la presència d'unes estructures esfèriques de diàmetre inferior a 1 µm les quals podrien correspondre a bacteris.

### Distribució:

Aquesta microfàcies s'ha reconegut a les següents sèries (Fig. 13):

Aflorament nord del Roc Llarg (VN1)

Pedrera nova Casacoberta (VN4)

Costat esquerre pedrera petita (VN6)

A mig camí del Molí de la Codina (VN16)

Les sèries que presenten aquesta microfàcies es localitzen a la part aflorant més proximal del vorell Nord de la conca.

### Interpretació:

Els factors que poden donar lloc als doblets, constituïts per làmina fosca i làmina clara, són molt variats (biològics, geoquímics, físics, i sedimentològics). Per exemple, a les Bahames, Monty (1965b) reconeix una laminació primària originada pels cianobacteris *Phormidium* sp., els quals es caracteritzen per moviments fototàctics diaris d'acord amb les variacions diürnes de la intensitat de llum, on cada làmina té un gruix d'entre 10 i 600 µm. Un altre cas és el dels cianobacteris *Scytonema* sp., les tiges dels quals combinen el creixement horitzontal amb el creixement vertical (Monty 1965a), o bé l'alternança periòdica de diferents tipus de cianobacteris predominants (Monty 1965a, 1967). També poden originar doblets la precipitació de cristalls de diferents hàbits degut a variacions estacionals (Monty, 1976), i l'entrada periòdica de partícules detrítiques (Gebelein & Hoffman, 1968), entre d'altres.

En el cas dels doblets que trobem en la microfàcies de les làmines cianobacterianes, l'alternança de làmines clares i làmines fosques respon a condicions de creixement dels cianobacteris. Com ja hem assenyalat, els filaments que s'observen a les làmines clares estan en posició verticalitzada, mentre que els filaments de cianobacteris a les làmines fosques estan horitzontalitzats. En funció dels resultats obtinguts amb les anàlisis isotòpiques, on els valors de la  $\delta^{13}\text{C}$  i de la  $\delta^{18}\text{O}$  de les làmines fosques són sempre més positius que els de les làmines clares, podem interpretar aquesta alternança de làmines clares i fosques com una resposta als canvis estacionals, de manera que en els períodes

de més bon temps, de major evaporació i major temps de residència de l'aigua, es formarien les làmines fosques, i en períodes de noves entrades d'aigua es formarien les làmines clares.

El fet que les làmines fosques (micrítiques) siguin formades per sediment més fi que les làmines clares (microsparítiques), pot ser degut a què la matèria orgànica, més abundant a les làmines fosques, inhibeix el creixement dels cristalls de carbonat de calci. És un fet conegut que la matèria orgànica disseminada pot influir tant en la mida de gra com en la mineralogia del sediment (Schopf i Blacic 1971; Walter 1972, McKirdy 1976).

La fàbrica fenestral és molt típica en estructures estromatolítiques. Els factors que poden originar aquesta fàbrica són:

1- Els gasos generats durant la fotosíntesi o durant la descomposició bacteriana poden estendre's lateralment per discontinuïtats físiques entre làmines, produint un arrencament de cavitats allargades (estructures fenestrals horitzontals), o quedar atrapades al sediment, produint les estructures fenestrals globoses (Shinn 1968 i Shinn et al. 1969).

2- El dessecament del tapís cianobacterià o bacterià pot donar lloc a estructures fenestrals horitzontals (Logan 1974, i Hardie 1977).

3- El creixement actiu del tapís microbià fa que si l'espai disponible és limitat, el tapís adopti formes ondulades deixant cavitats per sota.

4.- Si la matèria orgànica del tapís s'oxida, donarà lloc a cavitats allargades verticals o horitzontals

5.- Els bacteris i els cianobacteris que contribueixen en la construcció del tapís microbià poden produir importants canvis en la concentració de  $\text{CO}_2$  i en els valors del pH, això pot donar lloc a la dissolució del carbonat i per tant a la formació de cavitats concentrades en determinats horitzons.

L'estudi petrogràfic de les estructures fenestrals presents en els estromatòlits estudiats no permet precisar l'origen concret en cada cas, encara que possiblement les fenestres

horitzontals estarien més lligades amb processos de dessecament, i les globoses amb l'escapament de gasos.

Un factor important en la preservació de les estructures fenestrals és que el sediment estigui mínimament consolidat.

Els cristalls de guix, aïllats o en "rosetes", mostren que les aigües intersticials que hi havia dins del tapís quan aquest encara no estava consolidat, ja eren aigües relativament evaporades i concentrades. Els horitzons de lentícules verticals de guix, coneguts com estructures de tipus *grasslike* (Richter-Bernburg, 1973) s'haurien format a la interfase sediment-aigua, cosa que indica condicions d'alta salinitat, no sols en les aigües intersticials sinó també en la salmorra lliure.

A nivell de conca, aquesta microfàcies es localitza a la zona protegida del mar obert per la presència del relleu de la barra oolítica infrajacent.

## MICROFÀCIES 2.- PELOÏDAL LAMINADA

### Descripció:

Es tracta de laminacions ben definides formades per una alternança de bandes més fosques i bandes més clares, bastant uniformes i contínues. El gruix de les làmines oscil·la entre 0.3 i 1 mm. Les làmines fosques són formades principalment per peloides de micrita de dimensions variables entre 0.02 i 0.1 mm respecte de l'eix curt, i de 0.06 a 0.3 mm de l'eix llarg. Aquests peloides poden trobar-se molt junts, originant una làmina de micrita homogènia. Les làmines clares són de microsparita amb peloides aïllats (Làm. V, fig. 2), i ocasionalment s'observen estructures filamentoses en posició vertical que podrien correspondre a filaments de cianobacteris. Observant aquests peloides amb el microscòpi electrònic, apareixen en forma d'estructures esfèriques o ovalades d'entre 10 i 25 µm de diàmetre (Làm. VI, fig. 1 i 2) formades internament per cristalls subhedral de micrita.

Localment, es pot observar com les bandes fosques recobreixen, estableixen i homogeneïtzen els petits relleus formats per les làmines clares. També localment, a les làmines fosques (peloïdals) s'hi observen unes petites esquerdes verticals molt poc desenvolupades, i que no traspassen les làmines clares.



Hi són molt abundants les estructures fenestrals horitzontals, quasi sempre omplertes per esparita a les parts inferiors i per microsparita amb inclusions de micrita a les parts superiors. D'altres cops, aquestes estructures fenestrals són omplertes per estructures geopetals.

Pràcticament no hi ha pseudomorfs de guix.

Podem trobar-hi ostràcodes, petits foraminífers aporcellanats i, molt ocasionalment discòrbids. A la part més alta de la columna VN6, i en aquesta microfàcies, s'han trobat coccolitofòrids (Làm. VII, figs. 1 i 2).

Distribució:

Aquesta microfàcies es troba en (Fig. 13):

- Aflorament nord del Roc Llarg (VN1)
- Aflorament sud del Roc Llarg (VN2)
- Pedrera nova Casacoberta (VN4).
- Costat dret pedrera petita (VN5)
- Costat esquerre pedrera petita (VN6)
- Continuació carretera (VN11)

Aquesta microfàcies forma un nivell continu a les zones més proximals, estenent-se almenys, al llarg de 2 km en direcció perpendicular a la línia de costa, i situant-se a les parts més baixes de l'estromatòlit.

Verticalment pot passar tant a la fàcies peloïdal grumollosa, com a una bretxa flotant, especialment al sostre dels diferents estrats.

És la microfàcies més abundant d'entre les associades amb les laminacions cianobacterianes.

## LÀMINA V

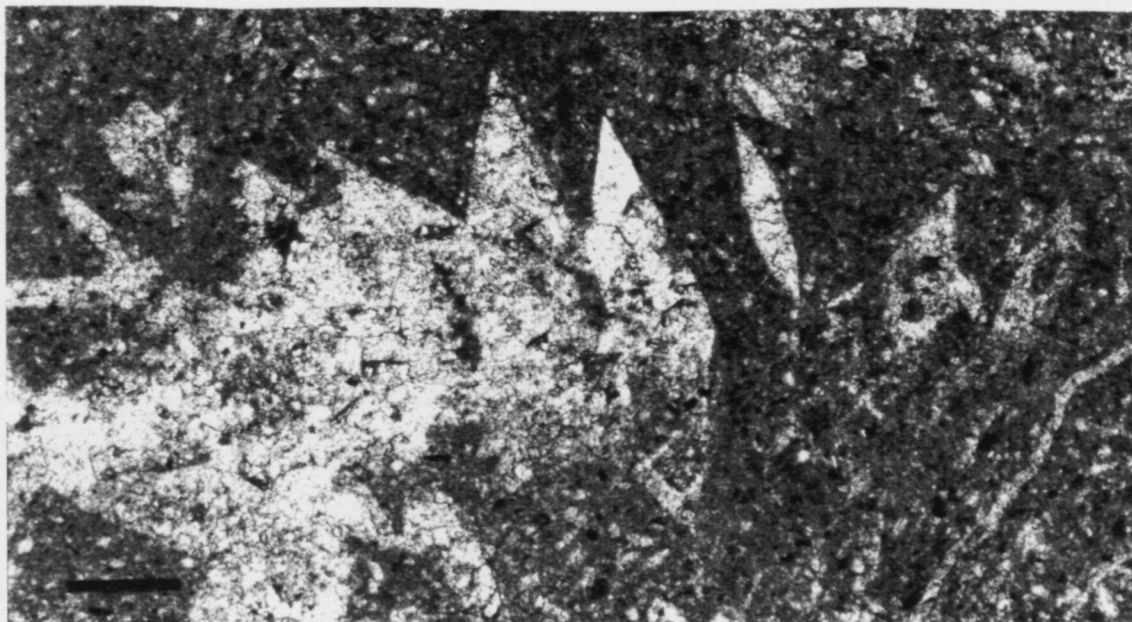


FIGURA 1 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN16). Microfàcies 1: laminacions cianobacterianes. A la part alta de l'estromatòlit podem trobar, dins d'aquesta microfàcies, uns nivells continus paral·lels a la laminació on els pseudomorfs, de les lenticules de guix, es disposen amb l'eix llarg perpendicular a la laminació. Aquest tipus de disposició dels cristalls de guix és conegut com estructures tipus *grasslike* segons Richter-Bernburg (1973) i Nurmi i Friedman (1977), i són formades a la interfase sediment-aigua en els moments de major concentració de les aigües. Aquesta disposició dels cristalls de guix, reconeguda al barranc de la Codina (perfil VN16), implicaria condicions de forta salinitat, no sols en l'aigua intersticial sinó també en l'aigua superficial lliure. L'escala és de 0.5 mm.

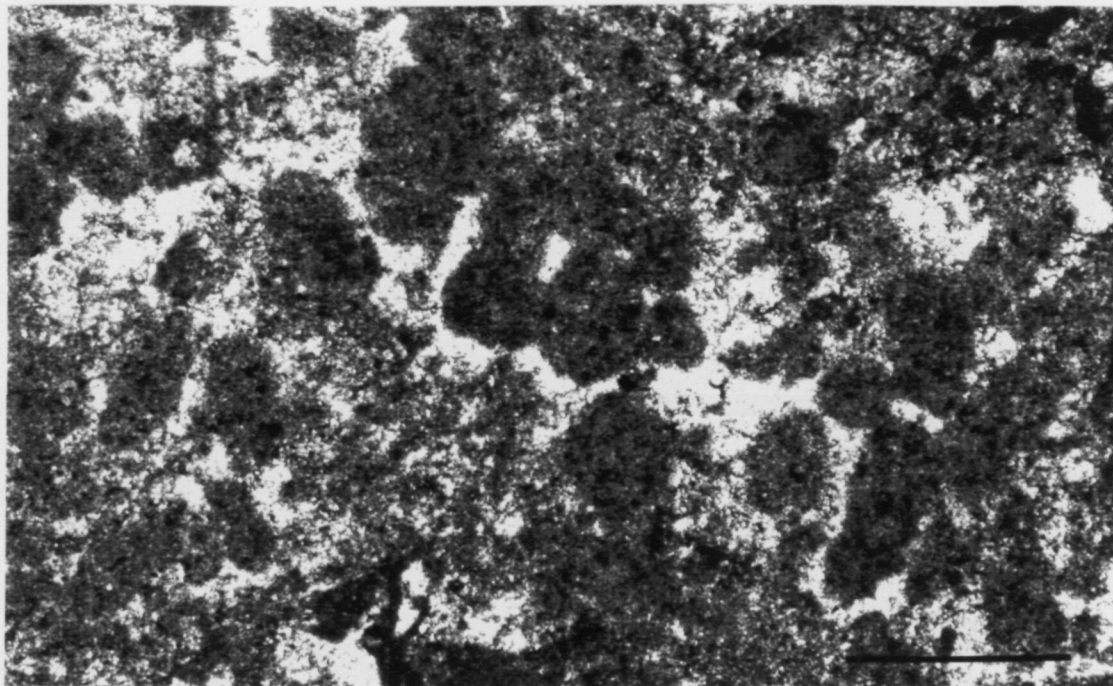


FIGURA 2 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN2). Microfàcies 2: peloïdal laminada. Aquesta microfàcies es caracteritza per l'alternança de bandes fosques constituïdes per peloides de micrita, i bandes clares formades principalment per microsparita amb alguns peloides, molt més escasos però que a les làmines fosques. Les làmines fosques poden donar, localment, una banda homogènia de micrita en la qual no s'hi diferencien les morfologies dels peloides. L'escala és de 0.5 mm.

## LÀMINA VI

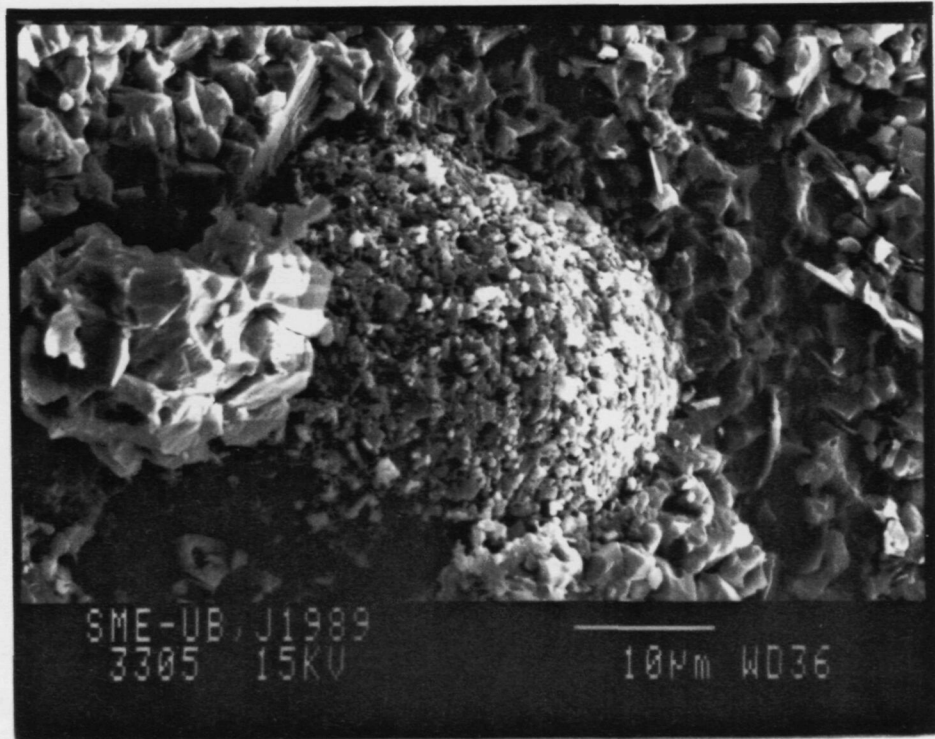


FIGURA 1 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN1). Microfàcies 2: peloïdal laminada. En aquesta imatge de SEM s'observa una secció de morfologia arrodonida amb un diàmetre aproximat d'unes 25 µm corresponent a un peloide.



FIGURA 2 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN6). Microfàcies 2: peloïdal laminada. Imatge amb SEM d'una secció d'un peloide amb morfologia ovalada. Observi's com aquest peloide és constituït per cristalls subhedrals de micrita.

## LÀMINA VII



FIGURA 1 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN6). Microfàcies 2: peloïdal laminada. Detall d'un tipus de coccolitofòrid trobat dins de la microfàcies de les laminacions cianobacterianes. La presència d'aquests coccolitofòrids a les mostres estromatolítiques no implica una làmina d'aigua gran, sinó que podrien haver arribat des de zones més centrals de la conca per l'acció dels corrents.

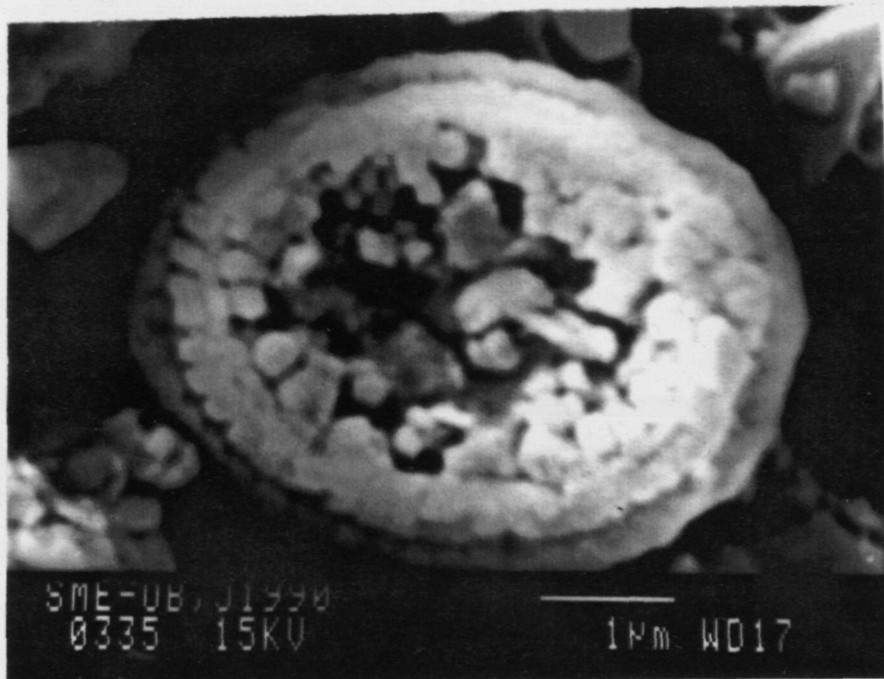


FIGURA 2 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN6). Microfàcies 2: peloïdal laminada. Detall d'un tipus de coccolitofòrid trobat a la mateixa microfàcies. Observi's en aquest cas la presència de dos escuts de plaquetes ben diferenciats.



### Interpretació:

Amb el nom de peloides es coneixen els grans formats per una massa microcristalina o criptocristalina de calcita magnesiàna, d'entre 20 i 60 mm de mida, d'orígens diferents (McKee i Gutschick, 1969). Els processos que poden originar peloides són molt variats, alguns dels citats en la bibliografia són:

- 1) l'origen fecal (Macintyre *et al.*, 1968),
- 2) quan la calcita provinent de pèllets o grumolls aragonítics és reemplaçada per aragonita en medis proximals, p.e. en plataformes de marea (Taylor i Illing, 1969),
- 3) que es tracti d'un estadi inicial de precipitació en el desenvolupament de ciments calcítics magnesiàns, originats per nucleacions espontànies de calcita a la columna d'aigua, deguts a una precipitació directa o bioinduïda (Macintyre, 1977),
- 4) un estadi intermedi del desenvolupament del ciment microcristal·lí de calcita magnesiàna, en el qual els peloides anirien augmentant de mida fins unir-se, finalment, per donar una fàbrica uniforme (Alexandersson, 1972a i 1972b),
- 5) seccions transversals de filaments algals (Schroeder, 1972), o bé
- 6) processos postdeposicionals d'agregació de micrita que anteriorment no tenia cap mena d'estructura (Pedley, 1979). Totes aquestes possibilitats, i d'altres, són discutides per Macintyre (1985).

En el cas de la microfàcies peloidal laminada, i tenint en compte que ens trobem en un medi colonitzat per cianobacteris, un altre possible origen que explicaria l'existència dels peloides, seria el de petits corrents a la superfície del tapís, que generarien petits cabdells formats pels filaments dels cianobacteris. Aquestes estructures de forma esfèrica o ovalada quedarien acumulades quan el corrent desaparegués. Aquest mecanisme de formació de "cabdells de filaments inicialment no consolidats" ha estat observat a les salines actuals de Santa Pola (Pueyo, comun. pers.). Tanmateix, l'origen dels peloides és molt complex i, l'estat actual dels coneixements no és suficient per poder determinar en cada cas quin ha estat llur origen.

La poca abundància de motlles de guix en aquesta microfàcies implicaria la seva deposició sota unes aigües poc evaporades i poc concentrades.

Les petites esquerdes que observem localment en els nivells peloïdals són fractures sinsedimentàries degudes a l'estratificació d'aigües de diferent salinitat, que s'han originat durant la diagènesi primerenca. Aquestes esquerdes, anomenades "esquerdes de sinèresi" únicament tenen un bon desenvolupament en els nivells peloïdals, mentre que els nivells estromatolítics recobreixen les fractures del sediment homogeneïtzant-lo.

La presència de coccolitofòrids en aquesta microfàcies és possiblement produïda per l'acció de tempestes que els han transportat des de les zones més distals de la conca.

### MICROFÀCIES 3.- PELOÏDAL GRUMOLLOSA.

#### Descripció:

Aquesta microfàcies és formada per peloides de la mateixa mida que els de la microfàcies peloïdal laminada, distribuïts en grumolls irregulars i aïllats entre micrita i/o microsparita (Làm. VIII, figs. 1 i 2). La distribució dels grumolls és molt variable, així com també ho són les seves dimensions.

El conjunt es podria descriure com una textura grumollosa en el mateix sentit en què Cayeux (1935) la va definir: una fàbrica amb molts grumolls o petits peloides envoltats de micrita o microsparita.

Localment, l'estructura original està fortament distorsionada degut a la biotorbació. Aquesta biotorbació dóna lloc a grumolls de micrita sense cap mena d'estructura interna aïllats entre microsparita i/o esparita.

Els organismes més abundants presents en aquesta microfàcies són ostràcodes, petits foraminífers aporcellanats i discòrbids.

Aquesta microfàcies peloïdal grumollosa, tot i que és freqüentment associada a les laminacions cianobacterianes, també pot associar-se a les laminacions bacterianes.

## LÀMINA VIII

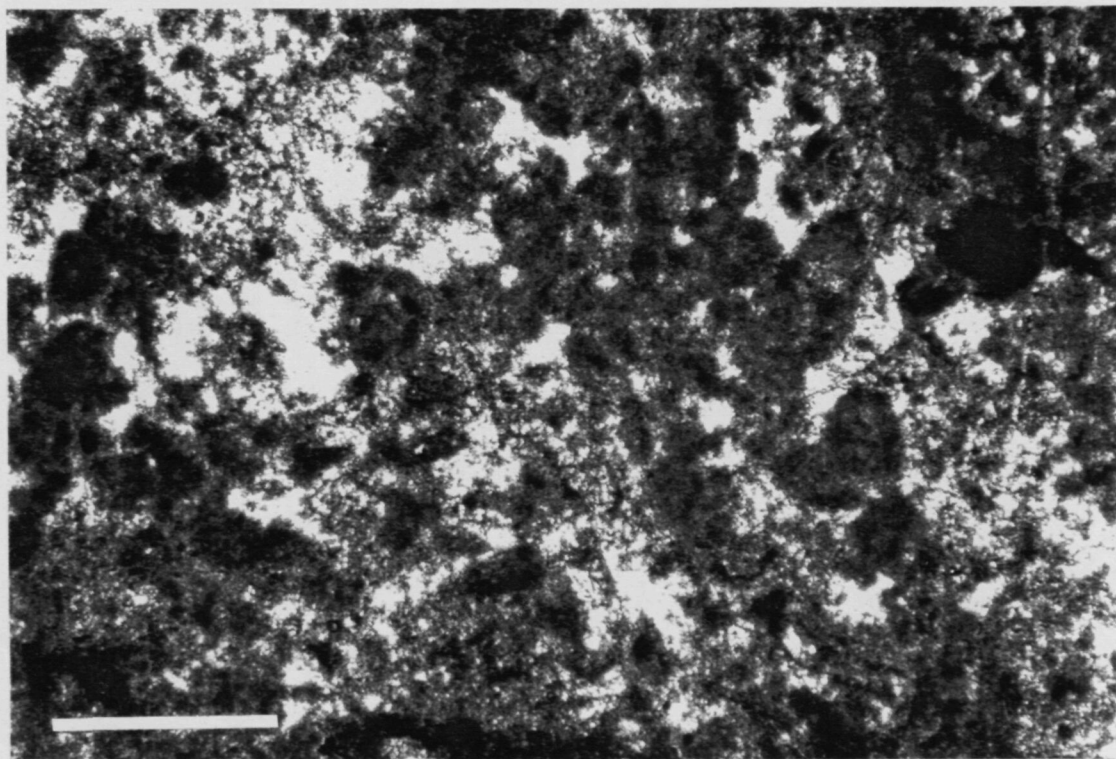


FIGURA 1 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN1). Microfàcies 3: peloidal grumollosa. Peloides distribuïts en grumolls irregulars, aïllats entre micrita o microsparita. L'escala és de 0.5 mm.

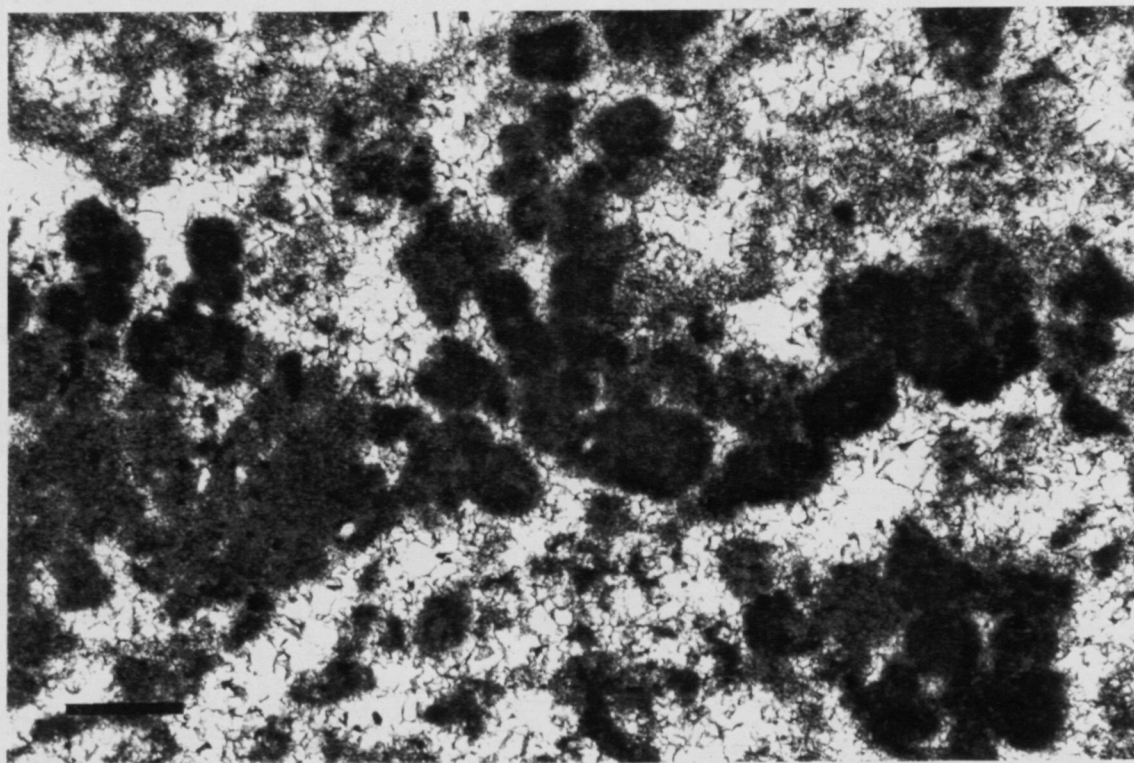


FIGURA 2 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN4). Microfàcies 3: peloidal grumollosa. Peloides envoltats de microsparita. L'escala és de 0.5 mm.

**Distribució:**

Les sèries que presenten aquesta microfàcies són (Fig. 13):

- Aflorament nord del Roc Llarg (VN1)
- Aflorament sud del Roc Llarg (VN2)
- Pedrera nova Casacoberta (VN4)
- Costat dret pedrera petita (VN5)
- Costat esquerre pedrera petita (VN6)
- Continuació carretera (VN11)
- Costat esquerre revolt paella (VN12)

Es troba en quasi bé totes les sèries estudiades a l'àrea de Sant Bartomeu del Grau, especialment a les parts més altes del paquet estromatolític.

**Interpretació:**

La semblança d'aquets peloides amb els de la microfàcies peloïdal laminada fa pensar en un mateix origen. La presència abundant de bioturbació assenyala que la distribució irregular d'aquests peloides en grumolls, és possiblement deguda a l'activitat d'organismes bioturbadors del sediment.

**MICROFÀCIES 4.- PELOÏDAL PELSPARÍTICA****Descripció:**

Es tracta d'una microfàcies peloïdal caracteritzada per peloides molt homogenis, allargats o arrodonits segons la secció, i de color fosc. Aquests peloides es troben juntament amb restes de gasteròpodes, petits foraminífers aporcellanats, ostràcodes i caròfits envoltats de microsparita.

**Distribució:**

Aquesta microfàcies es localitza en (Fig. 13):



- Aflorament sud del Roc Llarg (VN2)
- Pedrera nova Casacoberta (VN4)
- Costat dret pedrera petita (VN5)

Es situa just a la base de l'estromatòlit, per sobre del nivell de foraminífers aporcellanats amb envoltos oolítiques, i sols la trobem a les àrees més proximals, i distribuïda discontinuament.

#### Interpretació:

Per la morfologia, les dimensions i la homogeneïtat d'aquests peloides considerem que corresponen a peloides d'origen fecal: pèl.lets.

La semblança, tant per la mida com per la forma, d'aquests peloides amb els que figuren en Schreiber i Decima (1976, p.121), indica que podrien correspondre a diferents seccions de pèl.lets allargats del crustaci (filòpode) *Artemia salina* (L.). Aquest crustaci es troba actualment en el domini del sulfat de calci de les Salines de Santa Pola, on la salinitat varia entre 140 i 325 g/l. (Ortí *et al.*, 1984a; Ortí *et al.*, 1984b; Utrilla, 1985).

La presència de caròfits indica una influència d'aigües continentals.

Aquesta microfàcies es distribueix en àrees molt localitzades de poca extensió, així, podem considerar que podria haver-se format en basses aïllades d'una extensió inferior als 500 metres.

### RELACIONS ENTRE LES DIFERENTS MICROFÀCIES PELOÏDALS

La microfàcies peloïdal pelsparítica es localitza a la base del paquet estromatolític just per sobre de la discontinuïtat (superfície d'erosió i localment de carstificació) que la separa del nivell de foraminífers aporcellanats, localment oolític. Aquesta microfàcies està restringida a les àrees més proximals i forma un nivell continu amb una extensió areal d'uns 500 metres en una zona relativament deprimida i aïllada.

La microfàcies peloïdal laminada forma un nivell continu a la part inferior de l'estromatòlit a les zones més proximals, cobreix tota la microfàcies peloïdal pelsparítica

i s'estén cap a zones relativament més distals en una superfície de fins a 2 km en direcció perpendicular a la línia de costa.

La microfàcies peloïdal grumollosa es troba al llarg, tant a la vertical com a l'horitzontal, de tots els nivells estromatolítics, tant cianobacterians com bacterians, essent especialment abundant a la part superior i a les àrees més proximals.

## MICROFÀCIES 5.- MICRITA LAMINADA

### Descripció:

Es tracta d'una microfàcies molt micrítica (Làm. IX, fig. 1), amb constituents de quars de mida sorra fina dispersos. La laminació és fàcilment visible a macroscale però més difícil d'observar al microscopi. Hi ha pseudomorfs de guix amb morfologies prismàtiques i lenticulars reemplaçats per calcita.

Els organismes que s'hi troben són petits foraminífers aporcellanats (Làm. IX, fig. 2), discòrbids (Làm. X, fig. 1), i ostràcodes (Làm. X, fig. 2). També cal destacar en aquesta microfàcies la presència de caròfits.

Localment es troba molt bioturbada.

### Distribució:

Aquesta microfàcies es troba en les següents columnes (Fig 13):

- Entre la pedrera i el revolt de la carretera (VN7)
- Final del camí del molí de la Codina (VN14)
- Entre el molí i Sant Bartomeu (VN15)
- A mig camí del molí de la Codina (VN16)

Es troba a les parts més altes del paquet estromatolític, tant per sobre de les laminacions cianobacterianes com de les bacterianes.

## LÀMINA IX

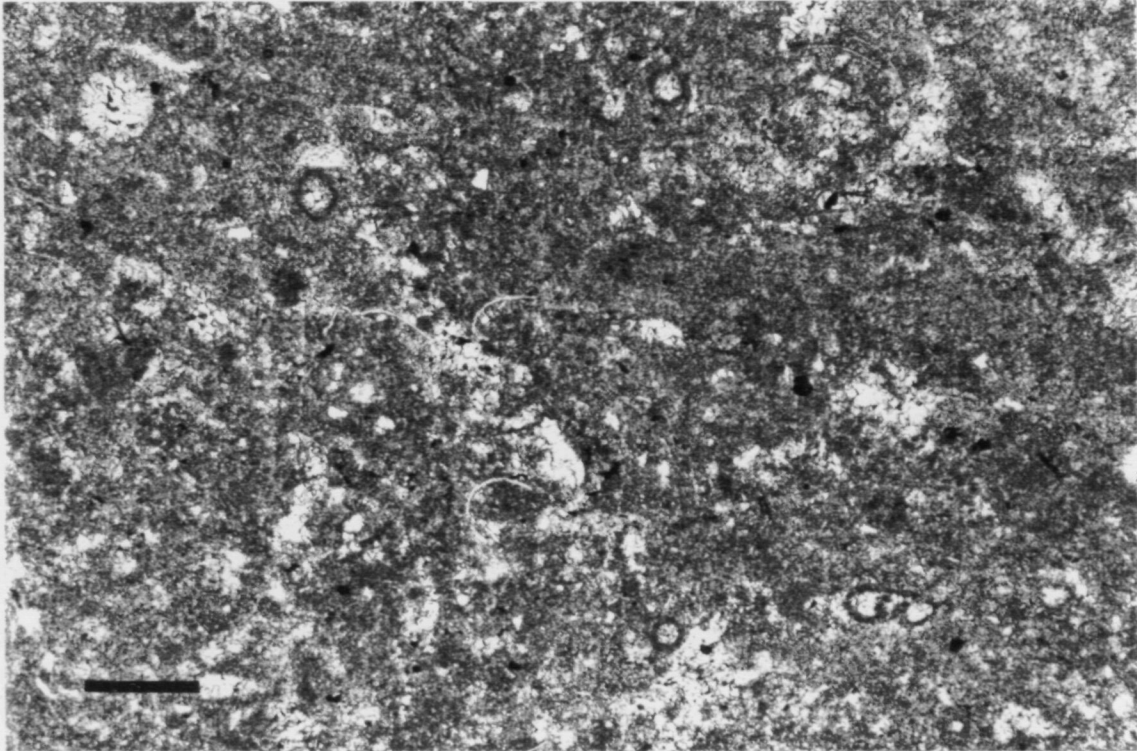


FIGURA 1 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN15). Microfàcies 5: micrita laminada. Es tracta d'una microfàcies molt micrítica amb components biògens i quars de mida molt fina dispersos a la matriu. La laminació d'aquesta microfàcies és aparent en mostra de mà, però molt difícil d'observar a escala microscòpica. En la fotografia es poden observar caròfits i ostràcodes. L'escala és de 0.5 mm.

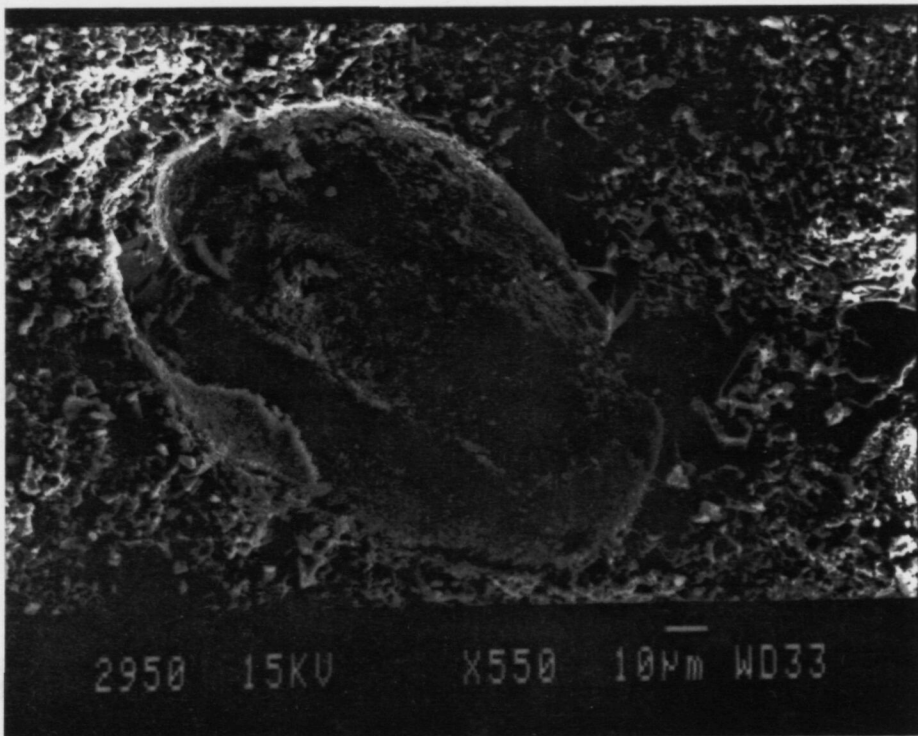


FIGURA 2 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN15). Microfàcies 5: micrita laminada. Detall amb SEM d'un foraminífer de petites dimensions amb creixement de tipus miliòlid.

## LÀMINA X

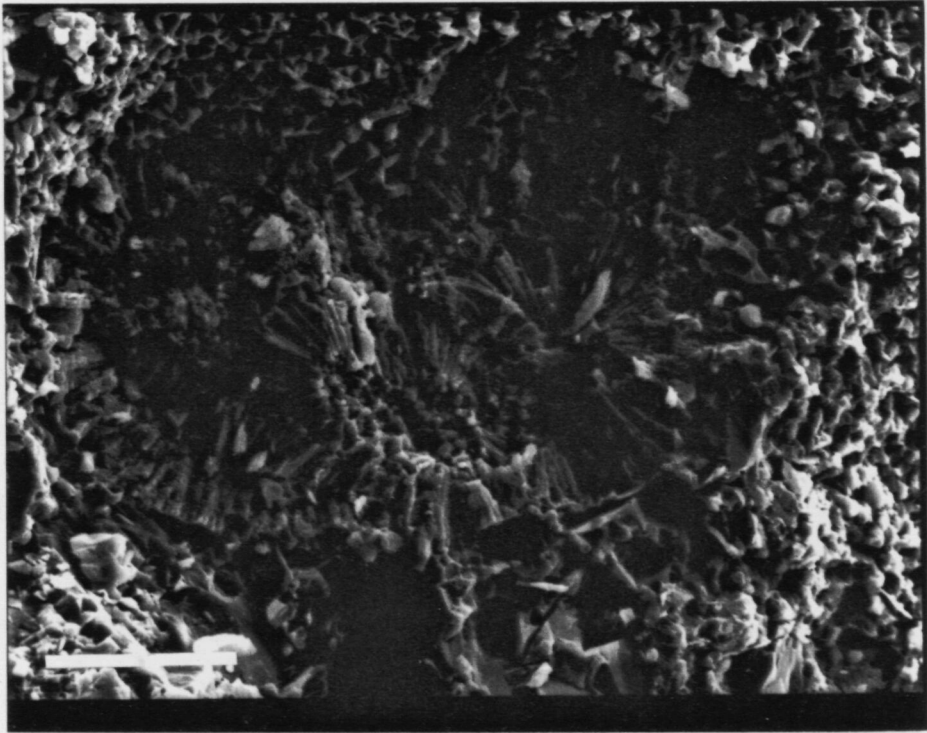


FIGURA 1 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN15). Microfàcies 5: micrita laminada. La fotografia mostra l'estructura, amb SEM, d'un foraminífer envoltat de calcita microcristal.lina. L'escala és de 10  $\mu\text{m}$ .

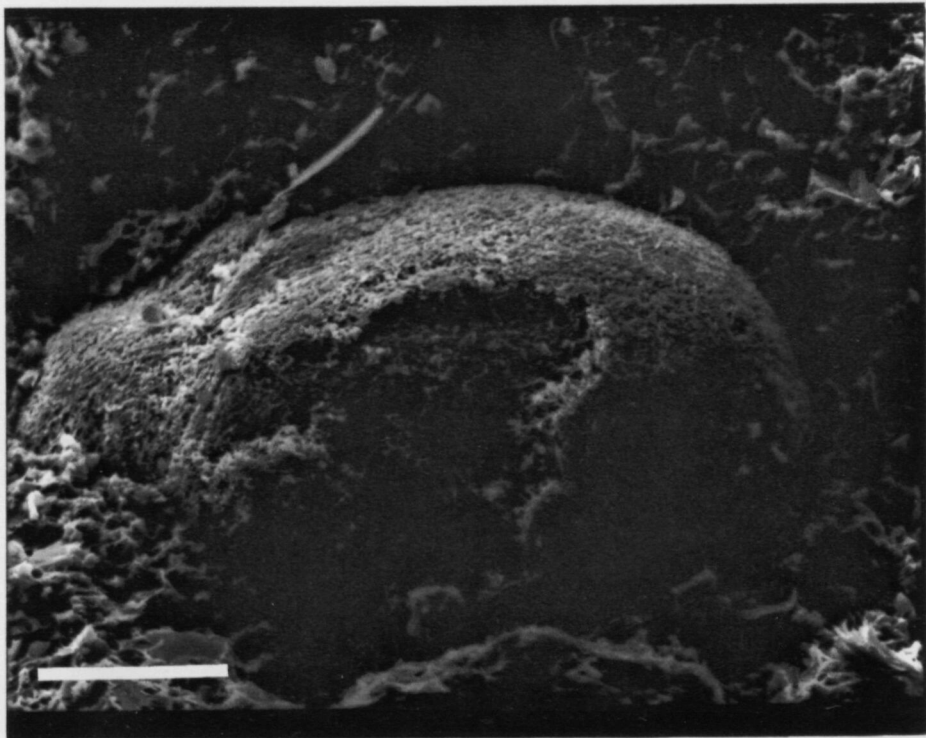


FIGURA 2 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN15). Microfàcies 5: micrita laminada. Ostràcode vist amb el microscopi electrònic de rastreig. L'escala és de 10  $\mu\text{m}$ .

### Interpretació:

La textura originalment laminada d'aquesta microfàcies, que és palesa en mostra de mà, queda parcialment destruïda com a resultat de la bioturbació del sediment carbonatat per part dels organismes, originant un sediment no laminat, clapejat i peloïdal. De les característiques petrogràfiques d'aquesta microfàcies, deduïm que la majoria dels organismes que bioturbaven, eren de cos tou o de closca poc calcititzada, la qual cosa explicaria el fet de no trobar-los conservats en el registre fòssil.

La presència de caròfits indicaria una influència d'aigües continentals, i les evaporites, denoten un cert grau d'evaporació i de concentració. Tot plegat, junt amb el caràcter fangós i sense estructures d'aquesta microfàcies, assenyalaria que es va originar en un medi molt som possiblement de tipus aiguamolls.

## MICROFÀCIES 6- BIOLAMINOIDES

### Descripció:

Es tracta d'un sediment laminat a macroskala, format per l'alternança de làmines fosques i làmines clares, de continuïtat lateral centimètrica (Làm. XI, figs. 1 i 2).

El terme "biolaminoide" l'utilitzem en el mateix sentit en què Gerdes (1987) el va definir: sediments biogènics on la laminació és menys evident que en les laminacions de cianobacteris filamentosos.

Localment presenta característiques molt semblants a la microfàcies de les laminacions cianobacterianes, però les laminacions són menys contínues i menys definides. No s'hi observa cap tipus d'estructura filamentosa.

Hi són molt abundants les estructures fenestrals amb morfologia allargada horitzontalment.

### Distribució:

Aquesta microfàcies es troba a les següents columnes (Fig. 13):



## LÀMINA XI

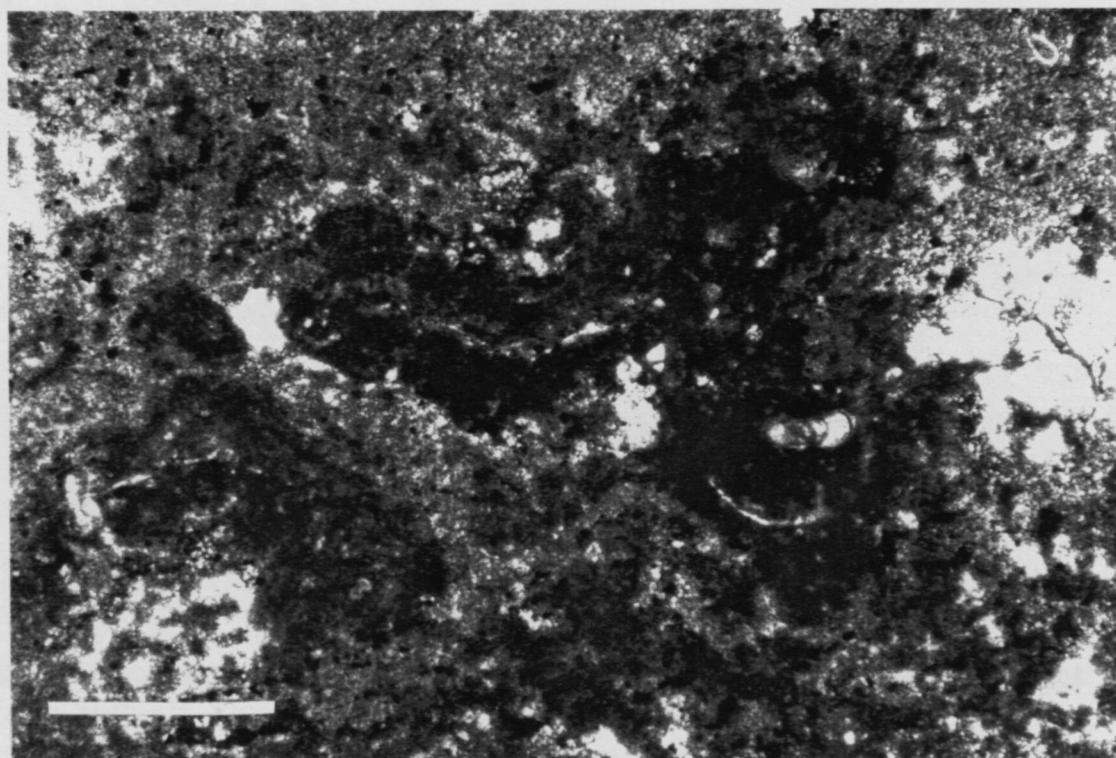


FIGURA 1 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN6). Microfàcies 6: biolaminoides. Es tracta d'un sediment laminat format per làmines fosques i làmines clares, però amb poca continuïtat lateral. Aquest tipus de laminació s'ha pogut originar per cianobacteris de tipus coccoide. L'escala és de 0.5 mm.

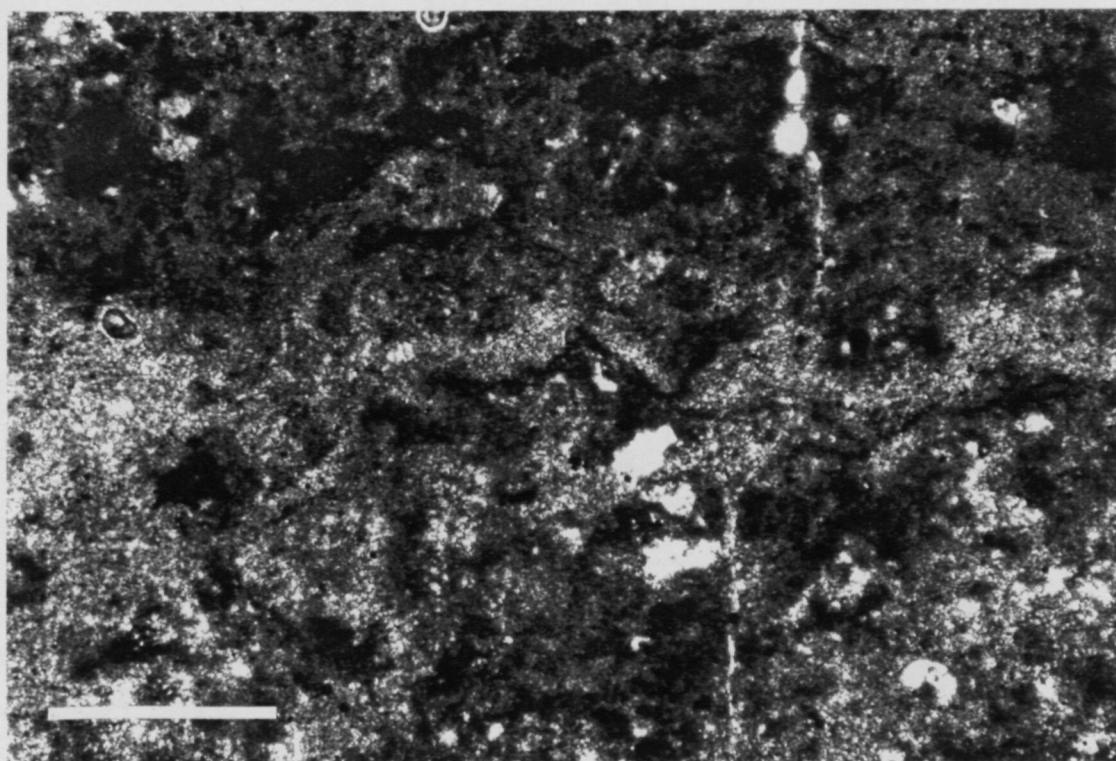


FIGURA 2 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN12). Microfàcies 6: biolaminoides. En les dues fotografies es pot veure la poca continuïtat de les làmines, la presència d'estructures microfenestrals i l'existència esporàdica de microfauna. L'escala és de 0.5 mm.

- Costat dret de la pedrera petita (VN5)
- Costat esquerre de la pedrera petita (VN6)
- Costat esquerre del revolt de la paella (VN12)

Aquesta microfàcies es troba en diferents punts a la vertical del paquet estromatolític. Es situa a la cresta de la barra infrajacent i s'estén cap a la zona protegida per aquesta. Quant a la seva situació dins del vorell de la conca, es troba en una posició intermèdia entre les laminacions cianobacterianes i bacterianes.

#### Interpretació:

Es tracta d'estructures organo-sedimentàries on possiblement els organismes constructors són cianobacteris de tipus coccoide. La morfologia coccoide d'aquests cianobacteris, a diferència dels de morfologia filamentosa, fa que no arribin a desenvolupar tapissos extensos i continus. A les salines de Santa Pola, Thomas (1984) i Ortí *et al.*, (1984) reconeixen el domini dels cianobacteris coccoïdes (principalment *Aphanothece*) en un rang de salinitat d'entre 125 i 325 gr/l. Els tapissos originats per aquests tipus de cianobacteris són gelatinosos i normalment poc laminats.

### MICROFÀCIES 7.- LAMINACIONS BACTERIANES

En les laminacions bacterianes existeix poca continuïtat lateral de les làmines, i el grau d'herència entre làmines consecutives és baix.

Tant les làmines fosques com les clares són formades principalment per micrita, i sovint es troben associades a intercalacions de nivells detrítics (Là. XII, fig. 1).

Es tracta d'una alternança de làmines fosques (de gruix al voltant de 0.3 mm) i làmines clares (de gruix al voltant de 0.5 mm) ondulades. Localment, les làmines clares es comporten com macrolàmines, és a dir, són compostes internament per l'alternança de làmines més primes (de 0.03 mm de gruix), fosques i clares (Là. XII, fig 2).

Quan s'observen aquests estromatòlits amb el SEM es pot veure que són formats per unes estructures de morfologia arrodonida (Là. XIII, fig. 1 i 2) o ovalada (Là. XIV, fig.1) formades actualment per calcita baixa en magnesi (LMC) amidant entre 0.15 i 0.7

## LÀMINA XIII



FIGURA 1 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN13). Microfàcies 7: laminacions bacterianes. Microfotografia feta amb SEM. Cossos de morfologia arrodonida d'un diàmetre d'aproximadament  $0.3\ \mu\text{m}$  atribuïts a bacteris, que s'uneixen en petites cadenes.

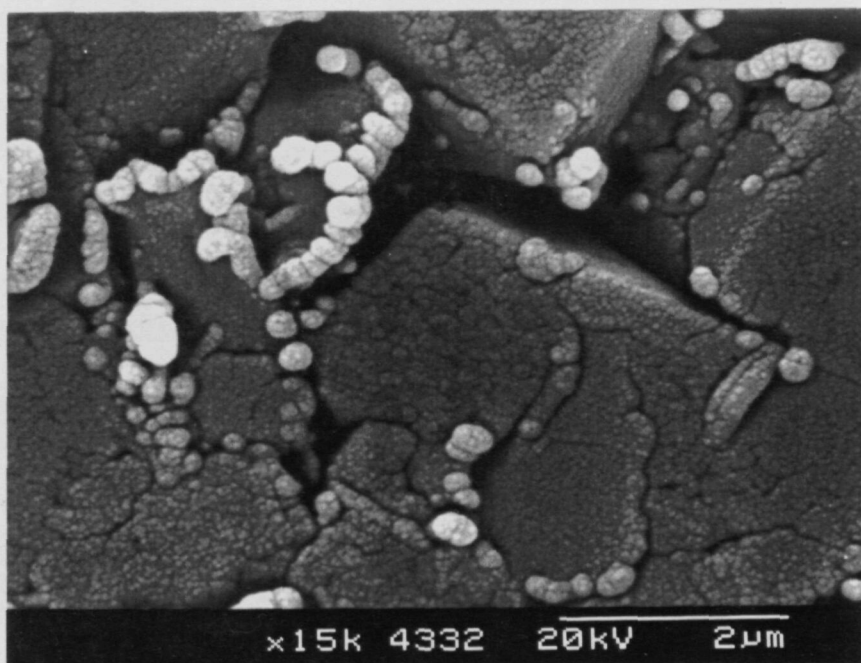


FIGURA 2 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN13). Microfàcies 7: laminacions bacterianes. Microfotografia feta amb SEM. Bacteris de morfologia arrodonida que s'uneixen en petites cadenes arquejades. Observi's com la superfície dels cristalls d'esperita és irregular, semblant-nos formada per la fusió dels bacteris?.



## LÀMINA XIV

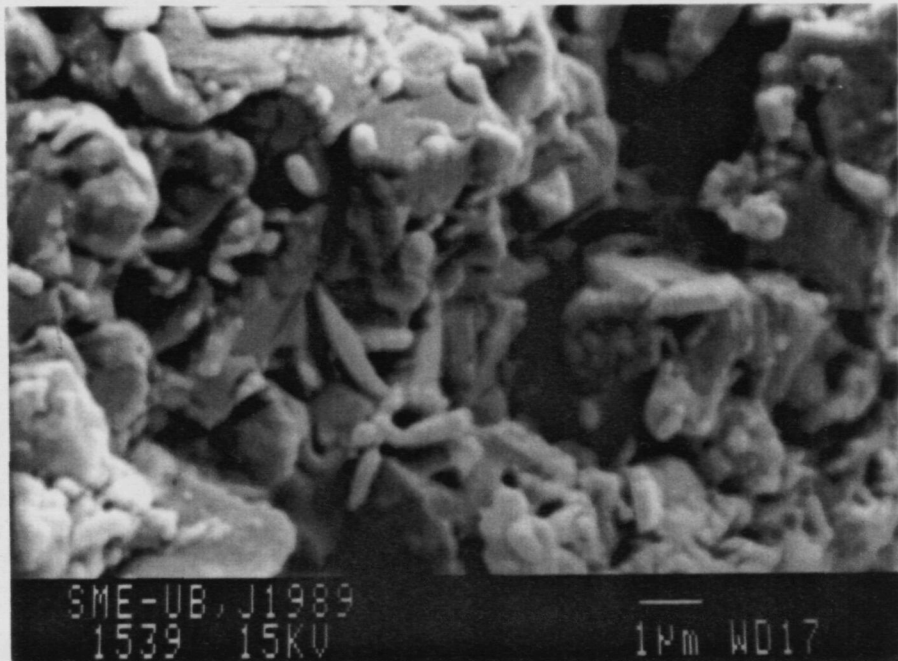


FIGURA 1 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN13). Microfàcies 7: laminacions bacterianes. Microfotografia feta amb SEM. Bacteris amb una morfologia de petits bastonets allargats. El diàmetre en secció axial és del mateix ordre que els bacteris de morfologia arrodonida, i la seva llargada pot arribar fins a 1.5 µm.



FIGURA 2 - (Zona de Sant Bartomeu, perfil VN13). Microfàcies 7: laminacions bacterianes. Microfotografia feta amb SEM. Colònia de bacteris. Cada una de les estructures esfèriques correspondria a un bacteri. Diferents bacteris s'uneixen en petites cadenes. El conjunt de vàries cadenes forma la colònia.

$\mu\text{m}$  de diàmetre que atribuïm a bacteris. Aquestes estructures individuals es combinen entre elles formant cadenes curtes, que s'uneixen formant unes estructures més complexes en forma de bastons o agregats que poden correspondre a colònies de bacteris (Làm. XIV, fig. 2).

La fàbrica d'aquests tapissos bacterians és densa i compacta. La mida de gra més abundant és calcita microcristalina. Els organismes més abundants a les laminacions bacterianes (Làm. XV, figs. 1 i 2) són els discòrbids (foraminífers) a diferència dels miliòlids (foraminífers) i els ostràcodes que dominaven en les laminacions cianobacterianes.

Tot i la seva microestructura densa i compacta, també s'hi observen estructures fenestrals, el tamany de les quals varia des de l'ordre de les micres fins al mil·límetre.

Els pseudomorfs de cristalls d'evaporites que trobem en aquestes mostres són motlles lenticulars, o bé motlles molt petits de secció quadrada o ròmbica concentrats en nius. Localment, també es troben feixos de pseudomorfs de cristalls prismàtics allargats d'evaporites que penetren en el sediment carbonatat.

Els pseudomorfs de cristalls d'evaporites es fan més abundants i de mida més gran a mesura que ens allunyem de les parts més proximals de la conca.

#### Distribució:

Aquesta microfàcies es troba a les següents sèries (Figs. 13):

- Entre la pedrera i el revolt de la carretera (VN7)
- Caminet proper al revolt (VN8)
- Carretera de Sant Bartomeu (VN9)
- Costat dret revolt paella (VN10)
- Pista del Pont del Llop (VN13)

Es localitza a la zona no protegida, existent davant la barra del nivell infrajacent. Per tant, aquestes laminacions es troben a zones més allunyades del marge de la conca que les laminacions cianobacterianes.