

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**

## COMPOSICIÓ ISOTÒPICA DELS CARBONATS ESTROMATOLÍTICS.

La precipitació de carbonat pot tenir lloc inorgànicament, formant-se un producte en equilibri isotòpic amb el medi on precipita, o bé, ser induïda biològicament. En aquest segon cas, depenent del tipus d'organisme i del seu procés metabòlic de secreció del carbonat, pot produir-se, o no, fraccionament isotòpic.

Fins ara hi ha pocs treballs que utilitzin l'anàlisi isotòpica per a l'estudi dels estromatòlits. Tots els realitzats, tant en medis actuals (Merz i Zankl, 1991; Thompson *et al.*, 1990, Thompson *et al.*, 1991), com en el fòssil (Casanova, 1986), s'han efectuat en un context d'aigua dolça, i tots ells coincideixen en les seves observacions afirmant que els cianobacteris no produeixen fraccionament isotòpic de l'oxigen en la precipitació de carbonat.

Respecte a la composició isotòpica del carboni 13 ( $\delta^{13}\text{C}$ ), en funció del tipus de taxó que construeix l'estromatòlit, i de quins siguin els seus efectes vitals, pot passar que es produeixi fraccionament isotòpic (Thompson *et al.*, 1990, Thompson *et al.*, 1991, i Merz i Zankl, 1991), o que no se'n produeixi (Casanova, 1986). El fraccionament isotòpic, és doncs, un caràcter específic.

Thompson *et al.*, (1990) i Thompson *et al.*, (1991) a l'estudiar la precipitació de calcita per part del cianobacteri *Synechococcus* sp. en medis continentals actuals, demostraren que la calcita precipitada bioinduidament tenia valors més positius de  $\delta^{13}\text{C}$  que els del carboni inorgànic dissolt en l'aigua (DIC). Això era degut a què durant la biosíntesi de la matèria orgànica, la cèl.lula extrau preferentment el  $^{12}\text{C}$  dissolt en l'aigua. A més, assenyalen l'existència d'un gradient isotòpic del carboni inorgànic dissolt en l'aigua (DIC) prop de la cèl.lula durant la fotosíntesi, que produeix que la precipitació de calcita a la superfície de la cèl.lula tingui valors més positius de  $\delta^{13}\text{C}$  (-2 a -1 ‰) que la calcita precipitada més lluny de la superfície de la cèl.lula (-5 a -2 ‰), de manera que a major distància de la superfície de la cèl.lula, més semblant serà la  $\delta^{13}\text{C}$  a la del medi.

Aquests autors també assenyalen que els valors de  $\delta^{13}\text{C}$  del carboni inorgànic dissolt en l'aigua (DIC) mostren unes oscil·lacions cícliques estacionals que varien des de  $-9.5$  ‰ durant l'hivern fins a  $-6.2$  ‰ durant l'estiu. Tenint en compte que l'estiu és el moment en què hi ha la màxima productivitat d'aquests cianobacteris, l'enriquiment en  $\delta^{13}\text{C}$  durant aquesta època és degut a l'assimilació, isotòpicament selectiva, del carboni per part de *Synechococcus* sp.

Merz i Zankl (1991) realitzaren un estudi semblant sobre la precipitació de carbonat per part dels cianobacteris filamentosos (*Schizothrix* sp. i *Scytonema* sp.). Aquests autors trobaren que la calcificació és selectiva segons els taxons de cianobacteris, i verificaren que hi ha taxons que precipiten carbonat, i d'altres no ho fan. A més, van observar que dins de les espècies que precipiten carbonat la morfologia dels cristalls de calcita és diferent en funció del taxó. Isotòpicament, el carbonat precipitat té uns valors d'  $1$  a  $3$  ‰ més enriquits en  $^{13}\text{C}$  que els que l'hi correspondria si precipités en equilibri amb el carboni inorgànic dissolt en l'aigua on es troba.

Pel que fa als bacteris, fins al moment no s'ha efectuat cap estudi que mostri si els seus efectes vitals produeixen, o no, fraccionament isotòpic.

## METODOLOGIA ANALÍTICA UTILITZADA

Previ a la selecció d'una mostra per a l'anàlisi isotòpica és necessari conèixer la seva mineralogia, saber què representa la mostra dins de la roca, és a dir, saber si es tracta d'un ciment, de la matriu, d'un bioclast,..., i a més cal que estigui formada per una única fase mineral.

Coneguda la mineralogia (per difracció de raigs X) i la petrografia, cal assegurar-nos de què la mostra que prenem estigui formada per una única fase mineral (entenent com a fase mineral una sola generació d'un determinat mineral formada per un mateix fluid). Això s'ha fet estudiant les mostres amb un microscopi dotat de catodoluminescència. Aquesta tècnica ens permet discernir entre calcites de diferents composicions químiques, originades per fluids diferents. Mostres que amb el microscopi òptic semblen homogènies, deixen de ser-ho a l'observar-les amb catodoluminescència.

Tots aquells components que eren diferenciables sota el microscòpi de catodoluminiscència i que podien ser mostrejats amb la microperforadora van ser escollits per al micromostreig.

Els components originals que es van triar són: 1- la micrita clara, homogènia o en forma de peloides i/o intraclastos, poc luminescent, 2- la micrita fosca, no luminescent, i 3- la microsparita, luminescent.

Els components diagenètics que es van triar són: 1- els ompliments esparítics de les esquerdes, poc luminescents, 2-els ompliments esparítics dels pseudomorfs de guix, molt luminescent, i 3- els ompliments esparítics que es troben coexistent amb celestina, dins els pseudomorfs de guix, molt luminescent.

Un cop elegides les àrees, es realitzà el mostreig amb una microperforadora marca Komet model H1 007 amb punta de carbur de tungstè (widia) de 0.7 mm de diàmetre, recollint uns 5 mg de mostra.

Seguidament es procedí a l'eliminació de la matèria orgànica de la mostra per oxidació, en un reactor de plasma d'oxigen a baixa temperatura durant un mínim de 4 hores.

A continuació es pesà 3 mg de mostra i s'atacà amb àcid fosfòric al 100%, a una temperatura constant de 25°C en el cas de les calcites i de 50°C en el cas de les dolomites, analitzant el CO<sub>2</sub> alliberat (McCrea, 1950).

L'aspecte més important a tenir en compte durant la preparació de la mostra és que no es produeixi fraccionament isotòpic, només així el gas resultant reflectirà la composició isotòpica de la mostra sòlida original. Això s'aconsegueix manipulant la mostra amb molta cura, evitant qualsevol contaminació i fent reaccionar la totalitat de la mostra, ja que les molècules amb diferents masses isotòpiques tenen diferents velocitats de reacció.

Totes les anàlisis s'han realitzat en un espectròmetre de masses VG Isogas SIRA 12 en el Laboratori d'Isòtops Estables de la Universitat de Liverpool. La precisió de l'espectròmetre amb el que vam treballar és de 0.015 ‰ per a la  $\delta^{18}\text{O}$  i de 0.026 ‰ per a la  $\delta^{13}\text{C}$ .



Per transformar els valors de  $\delta^{45}$  i  $\delta^{46}$  que ens dona l'espectròmetre a valors  $\delta^{13}\text{C}$  i  $\delta^{18}\text{O}$ , s'ha utilitzat el programa "correct-correct. versió 1.2" elaborat per H. Attenborough, de la Universitat de Liverpool (no publicat).

En el pas de carbonat sòlid a  $\text{CO}_2$  gas, de l'atac amb l'àcid fosfòric, només es recuperen dos dels tres atòms d'oxigen que conté el carbonat. Per corregir la pèrdua d'aquest àtom d'oxigen s'apliquen els "factors de fraccionament" a la  $\delta^{18}\text{O}$ . Els factors de fraccionament entre l'àcid i el  $\text{CO}_2$ , que hem utilitzat per a corregir la  $^{18}\text{O}$  són de 1.01025 per la calcita a  $25^\circ\text{C}$  (Sharma i Clayton, 1965; modificat per Friedman i O'Neil, 1977) i de 1.01011 per la dolomita a  $50^\circ\text{C}$  (Sharma i Clayton, 1965).

Tots els resultats obtinguts els presentem en l'anotació estàndart  $\delta(^{\circ}/_{\infty})$  en relació a l'estàndard internacional PDB (Craig, 1957). Aquest estàndard internacional representa la composició isotòpica del  $\text{CO}_2$  gas obtingut al fer reaccionar un especímen de *Belemnitella americana* de la formació Peedee del Cretaci del Sud de Carolina amb àcid fosfòric del 100%

L'estàndard intern del laboratori que hem utilitzat és un carbonat de la regió de Lincolnshire (anomenat LL2/3, 1985), que té uns valors de  $\delta^{13}\text{C}$  igual a 3.401 PDB i  $\delta^{18}\text{O}$  igual a 0.014 PDB.

La reproductibilitat de les mostres ( $\sigma$ ) que s'han fet per duplicat és inferior al 0.185  $^{\circ}/_{\infty}$  per a la  $\delta^{18}\text{O}$ , i inferior al 0.05  $^{\circ}/_{\infty}$  per a la  $\delta^{13}\text{C}$ .

## RESULTATS ISOTÒPICS EN ROCA TOTAL

A fi de comparar els valors isotòpics resultants d'un mètode de macromostreig (o roca total) amb els resultats d'un mètode de micromostreig (on es separen els diferents components que formen l'estromatòlit), i per a poder valorar la precisió d'ambdós mètodes, es va aplicar el mètode del micromostreig en tots els vorells de la conca estudiats, i es va triar una zona per a l'estudi isotòpic de roca total.

L'estudi isotòpic de roca total es va realitzar en les mostres del vorell Nord de la conca (zona de Sant Bartomeu). En total es van analitzar 81 mostres, repartides en 14 columnes estratigràfiques, i pertanyents a 5 microfàcies diferents:

- 1.- laminacions bacterianes (15)
- 2.- laminacions cianobacterianes (24)
- 3.- biolaminoides (29)
- 4.- calcretes (4)
- 5.- laminacions bacterianes del nivell superior carbonatat estromatolític (9).

Tots els valors de  $\delta^{13}\text{C}$  i  $\delta^{18}\text{O}$  obtinguts es troben en la taula 4.

**TAULA 4 - VALORS ISOTÒPICS EN ROCA TOTAL.**

MOSTRA	COL	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	TIPUS
MA172	VN9	0.036	-3.759	L. BACTERIANES
MA173B	VN9	0.024	-3.50	L. BACTERIANES
MA175	VN9	-0.241	-3.434	L. BACTERIANES
SB174a	VN7	-0.545	-3.65	L. BACTERIANES
SB174c	VN7	0.289	-3.913	L. BACTERIANES
SB175	VN7	0.245	-3.552	L. BACTERIANES
SB176b4	VN7	-0.683	-3.833	L. BACTERIANES
SB184b	VN7	-1.358	-3.814	L. BACTERIANES
SB189	VN7	-1.298	-3.706	L. BACTERIANES
SB199	VN8	-0.705	-3.655	L. BACTERIANES
SB200	VN8	-1.42	-3.974	L. BACTERIANES
SB227A	VN13	-2.063	-3.000	L. BACTERIANES
SB229	VN13	-0.84	-3.625	L. BACTERIANES
SB230	VN13	-2.521	-3.518	L. BACTERIANES
SB231	VN13	-0.809	-3.241	L. BACTERIANES
SB101b	VN2	1.221	-5.886	L. CIANOBACTERIANES
SB102	VN2	1.483	-5.403	L. CIANOBACTERIANES
SB103	VN2	1.241	-5.126	L. CIANOBACTERIANES
SB105a	VN2	0.436	-5.024	L. CIANOBACTERIANES
SB105a	VN2	0.466	-4.931	L. CIANOBACTERIANES
SB108b	VN2	1.468	-5.046	L. CIANOBACTERIANES
SB111	VN2	0.472	-6.257	L. CIANOBACTERIANES
SB114	VN1	0.677	-5.442	L. CIANOBACTERIANES
SB122	VN1	1.065	-5.717	L. CIANOBACTERIANES
SB125	VN1	1.791	-4.608	L. CIANOBACTERIANES

SB130	VN1	0.823	-5.256	L. CIANOBACTERIANES
SB133	VN1	-0.281	-5.463	L. CIANOBACTERIANES
SB133	VN1	-0.296	-5.615	L. CIANOBACTERIANES
SB233	VN4	0.242	-5.938	L. CIANOBACTERIANES
SB234	VN4	0.722	-5.372	L. CIANOBACTERIANES
SB235	VN4	0.813	-4.244	L. CIANOBACTERIANES
SB236a	VN4	1.485	-4.209	L. CIANOBACTERIANES
SB236b	VN4	1.406	-4.302	L. CIANOBACTERIANES
SB237	VN4	0.206	-4.245	L. CIANOBACTERIANES
SB238	VN4	0.922	-4.912	L. CIANOBACTERIANES
SB239	VN4	1.421	-4.74	L. CIANOBACTERIANES
SB239	VN4	1.410	-4.608	L. CIANOBACTERIANES
SB241	VN4	0.940	-4.588	L. CIANOBACTERIANES
SB242	VN3	-0.017	-4.479	L. CIANOBACTERIANES
MA192	VN9	-1.33	-5.631	L.B. NIVELL SUPERIOR
MA200b2	VN11	-1.698	-5.332	L.B. NIVELL SUPERIOR
MA204b	VN11	-2.13	-5.352	L.B. NIVELL SUPERIOR
SB201	VN8	-1.479	-6.233	L.B. NIVELL SUPERIOR
SB217	VN11	-1.073	-5.954	L.B. NIVELL SUPERIOR
SB217	VN11	-1.07	-5.769	L.B. NIVELL SUPERIOR
SB219A	VN11	-0.889	-5.59	L.B. NIVELL SUPERIOR
SB223	VN11	-0.831	-5.631	L.B. NIVELL SUPERIOR
SB224	VN11	-1.371	-5.723	L.B. NIVELL SUPERIOR
SB136	VN6	-0.139	-4.314	BIOLAMINOIDE
SB137	VN6	0.433	-4.423	BIOLAMINOIDE
SB141a	VN6	0.876	-4.321	BIOLAMINOIDE
SB141a	VN6	0.838	-4.174	BIOLAMINOIDE
SB141b	VN6	0.611	-4.292	BIOLAMINOIDE
SB141c	VN6	1.002	-4.401	BIOLAMINOIDE
SB143	VN6	0.650	-4.13	BIOLAMINOIDE
SB145	VN6	0.042	-4.251	BIOLAMINOIDE
SB146	VN6	-0.261	-4.198	BIOLAMINOIDE
SB151	VN5	0.990	-3.978	BIOLAMINOIDE
SB151	VN5	0.940	-3.91	BIOLAMINOIDE
SB152	VN5	0.828	-3.416	BIOLAMINOIDE
SB155	VN5	0.976	-3.869	BIOLAMINOIDE
SB156	VN5	0.755	-4.245	BIOLAMINOIDE
SB161a	VN5	0.561	-4.16	BIOLAMINOIDE
SB161b	VN5	-0.214	-3.798	BIOLAMINOIDE
SB161b	VN5	-0.197	-3.983	BIOLAMINOIDE
SB164	VN5	-0.559	-4.163	BIOLAMINOIDE
SB168	VN5	-0.654	-4.405	BIOLAMINOIDE
SB169a	VN5	-0.622	-4.774	BIOLAMINOIDE
SB204b	VN12	-0.21	-4.261	BIOLAMINOIDE
SB205b	VN12	-0.807	-4.109	BIOLAMINOIDE
SB205c	VN12	-0.183	-4.086	BIOLAMINOIDE
SB206b	VN12	-0.32	-3.802	BIOLAMINOIDE
SB210	VN10	0.544	-4.119	BIOLAMINOIDE
SB212B	VN10	1.626	-4.672	BIOLAMINOIDE

SB213	VN10	-1.009	-4.562	BIOLAMINOIDE
SB215	VN10	-0.306	-3.691	BIOLAMINOIDE
SB216b	VN10	0.107	-3.823	BIOLAMINOIDE
MA178	VN9	-1.249	-4.44	CALCRETA
SB126	VN1	-1.938	-4.428	CALCRETA
SB127	VN1	-1.499	-4.378	CALCRETA
SB131	VN1	-1.862	-4.575	CALCRETA

La projecció dels valors isotòpics d'aquesta taula es poden observar en el gràfic de la figura 36.

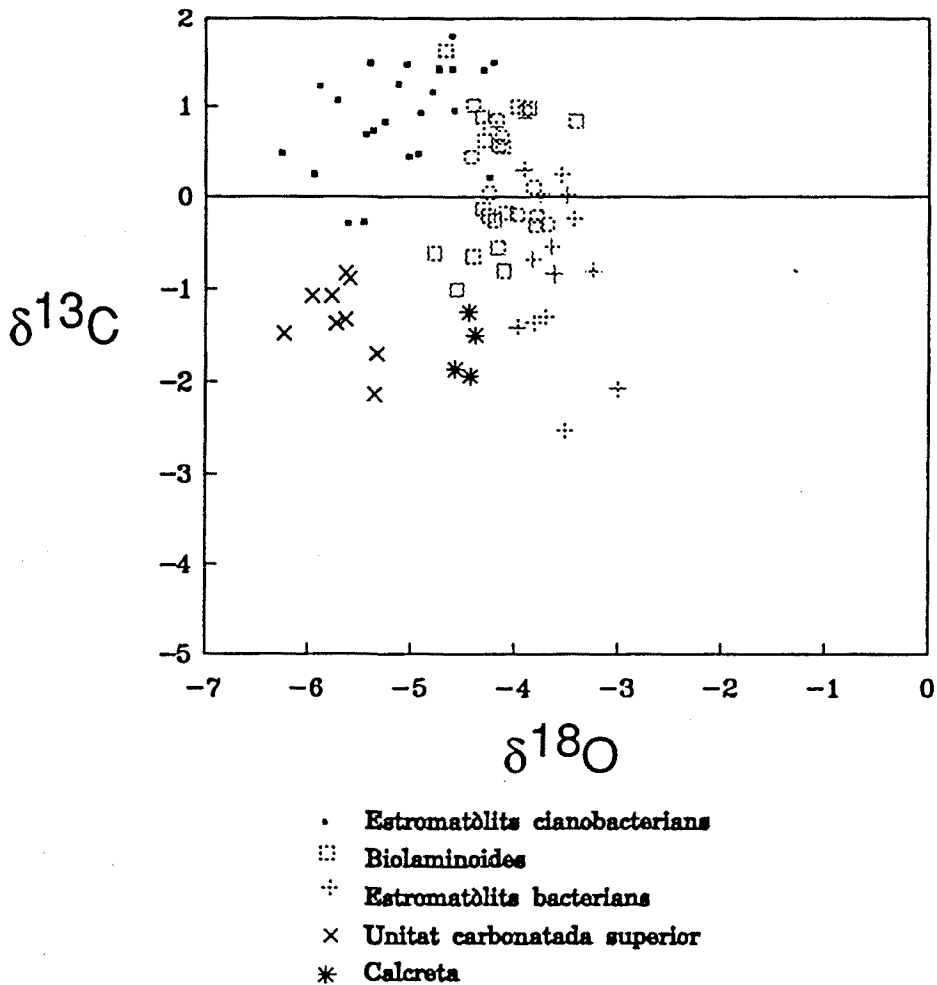


FIGURA 36.- Projecció dels valors isotòpics obtinguts en roca total de les microfàcies estromatolítiques.

En aquest gràfic, cada símbol representa un tipus diferent de microfàcies (laminacions cianobacterianes, laminacions bacterianes, biolaminoides, nivell carbonatat superior i calcretes).

S'observa una marcada separació entre els valors isotòpics de les laminacions cianobacterianes (valors més empobrits en  $^{18}\text{O}$ ), els biolaminoides (valors intermedis), i les laminacions bacterianes (valors més enriquits en  $^{18}\text{O}$ ). També s'observa una petita diferència de la  $\delta^{13}\text{C}$  en les diferents microfàcies, essent lleugerament més positius en les laminacions cianobacterianes, prenent valors intermedis en els biolaminoides, i valors lleugerament més negatius en les laminacions bacterianes. Recordem que les laminacions cianobacterianes es troben en les àrees més marginals al vorell de la conca, els biolaminoides en una zona intermèdia, i les laminacions bacterianes en les àrees més centrals aflorants de la conca. Per tant, la distribució dels valors de la  $\delta^{13}\text{C}$  i de la  $\delta^{18}\text{O}$  per roca total guarda una relació directa amb els tipus de microfàcies estromatolítiques presents en la conca.

Els valors de la  $\delta^{18}\text{O}$  obtinguts (des de  $-6.5$  fins  $-3$  ‰), reflecteixen un aport important d'aigües meteòriques en l'ambient on van formar-se aquests estromatòlits. L'aigua marina normal té uns valors de  $0$  ‰ (PDB), mentre que les aigües dolces oscil·len entre  $-6$  i  $-7$  ‰ (PDB). El  $3$  ‰ d'enriquiment en  $^{18}\text{O}$  dels estromatòlits bacterians respecte als estromatòlits cianobacterians es podria explicar per un enriquiment en  $^{18}\text{O}$  de l'aigua durant l'evaporació.

Les calcretes presenten valors de la  $\delta^{18}\text{O}$  més positius i valors de la  $\delta^{13}\text{C}$  més negatius que els valors promig de les sèries on es troben (sèries en que domina la microfàcies de laminacions cianobacterianes). Això s'explicaria per l'aport de  $\text{CO}_2$  derivat del sòl, empobrit en  $^{13}\text{C}$ , en unes aigües sotmeses a una major evaporació (valors de la  $\delta^{18}\text{O}$  més positius).

Les mostres corresponents a laminacions bacterianes del nivell superior carbonatat estromatolític de San Bartomeu, presenten els valors tant de la  $\delta^{18}\text{O}$ , com de la  $\delta^{13}\text{C}$ , més negatius, indicant la major influència d'aigües meteòriques durant la seva formació.

Al tractar-se de valors obtinguts en un mostreig de roca total, tot i que s'ha intentat evitar la mescla de components d'origen diagenètic, és molt possible que en el senyal isotòpic obtingut hi hagi jugat un cert paper aquests tipus de components (ompliments de petites esquerdes i ompliments de motlles de guix). El posterior estudi amb micromostres permetrà corroborar la importància de la mescla dels components diagenètics amb els valors originals. La interpretació final dels valors obtinguts amb roca total caldrà fer-la després d'haver explicat els resultats del micromostreig.

## MICROMOSTREIG

Amb el micromostreig s'han separat els diferents components que configuren l'estromatòlit: la micrita de les laminacions, els peloides, els clastos de les brexes, i la microsparita. A més, a fi de conèixer els processos diagenètics que han afectat als estromatòlits, es va mostrejar la calcita esparítica que omple els pseudomorfs de guix, la calcita esparítica que coexistint amb celestina omple els pseudomorfs de guix, i la calcita esparítica que omple fractures.

En total s'han analitzat 130 micromostres.

La descripció de cadascuna de les mostres, així com la seva situació en les columnes estratigràfiques, i els valors obtinguts estan detallats en l'annex G.

Amb els resultats del micromostreig, mostrarem a diferents escales, el comportament isotòpic dels diferents components mostrejats. En primer lloc, mostrarem els resultats obtinguts per al conjunt de les micrites mostrejades, independentment del tipus de micrita, i observarem la seva dispersió en funció del tipus d'estromatòlit al que pertanyen, i en funció de la situació en la conca en que es troben (vorell Nord, Est o Sud).

En segon lloc, i únicament per a una mostra, mostrarem els valors obtinguts en les micrites de diferents làmines, i observarem la dispersió dels valors isotòpics resultants.

En tercer lloc, i per a quatre mostres, compararem els valors isotòpics dels diferents tipus de micrites, amb els ompliments esparítics.

I finalment, representarem en un gràfic tots els valors isotòpics obtinguts per als components diagenètics, i establirem una hipòtesi sobre la història diagenètica que ha afectat als estromatòlits.

## VALORS ISOTÒPICS DE LES MICRITES

Dins d'un estromatòlit, el material que ha pogut estar sotmès a menys alteracions diagenètiques i, per tant, el que pot representar millor el sediment original és la micrita.

Els valors obtinguts per a totes les micrites analitzades, tant fosques com clares, i pertanyents als diferents tipus d'estromatòlits, es representen en el gràfic de la figura 37.

L'anàlisi isotòpica de les micromostres confirma que la  $\delta^{18}\text{O}$  de la micrita de les laminacions cianobacterianes, té uns valors més empobrits en  $^{18}\text{O}$  que la micrita de les laminacions bacterianes, i ens assenyala que les diferències que trobàvem en els valors de  $\delta^{13}\text{C}$  de roca total (valors més empobrits en  $^{13}\text{C}$  en les laminacions bacterianes que en les laminacions cianobacterianes), eren degudes a la mescla de components diagenètics presents en les laminacions bacterianes, en concret, dels pseudomorfs de guix. Això ens mostra l'important paper de la fàbrica original en el control de l'alteració diagenètica. És a dir, aquelles microfàcies en que els pseudomorfs de guix siguin més abundants mostraran una senyal isotòpica més influïda pels processos diagenètics que les que no presentin pseudomorfs de guix.

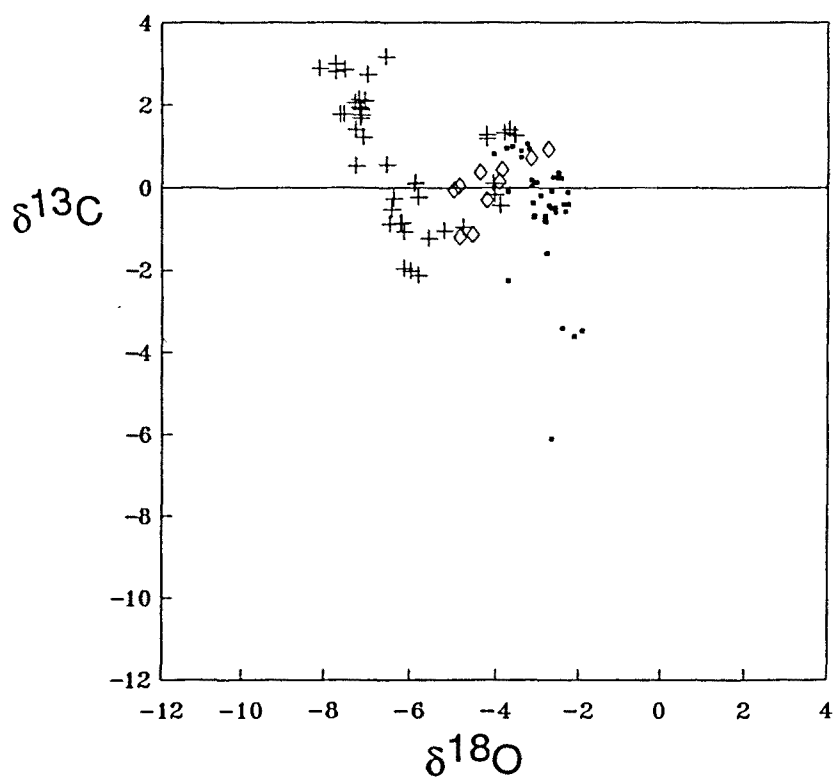


FIGURA 37: Valors isotòpics de les micrites obtinguts en l'anàlisi de les micromostres. Els diferents símbols corresponen a (+) micrites en els estromatòlits cianobacterians, (◊) micrites en els biolaminoides, i (•) micrites en els estromatòlits bacterians.

El fet de que l'interval de la  $\delta^{13}\text{C}$  sigui el mateix per als estromatòlits bacterians que per als cianobacterians ens fa establir la hipòtesi que en cas de què els microorganismes constructors d'aquests estromatòlits haguessin produït algun fraccionament del  $^{13}\text{C}$  durant la precipitació del carbonat, aquest hauria estat del mateix ordre tant pels cianobacteris com pels bacteris.

L'increment en la  $\delta^{18}\text{O}$  des de les micrites de les laminacions cianobacterianes fins a les micrites de les laminacions bacterianes, tant en la mostra total com en la micromostra, pot atribuir-se a diferències en la composició isotòpica de l'aigua on es van formar ambdós tipus de microfàcies.

A partir del gràfic de la figura 37, on hi són representades totes les micrites analitzades dels estromatòlits, s'ha elaborat 3 gràfics (Figs. 38, 39 i 40) corresponents a cadascun dels vorells estudiats de la conca (Nord, Est i Sud) a fi de caracteritzar els diferents tipus d'estromatòlits que els configuren, i observar el comportament isotòpic dels diferents tipus d'estromatòlits en cada un d'aquests marges.

1.- VORELL NORD:

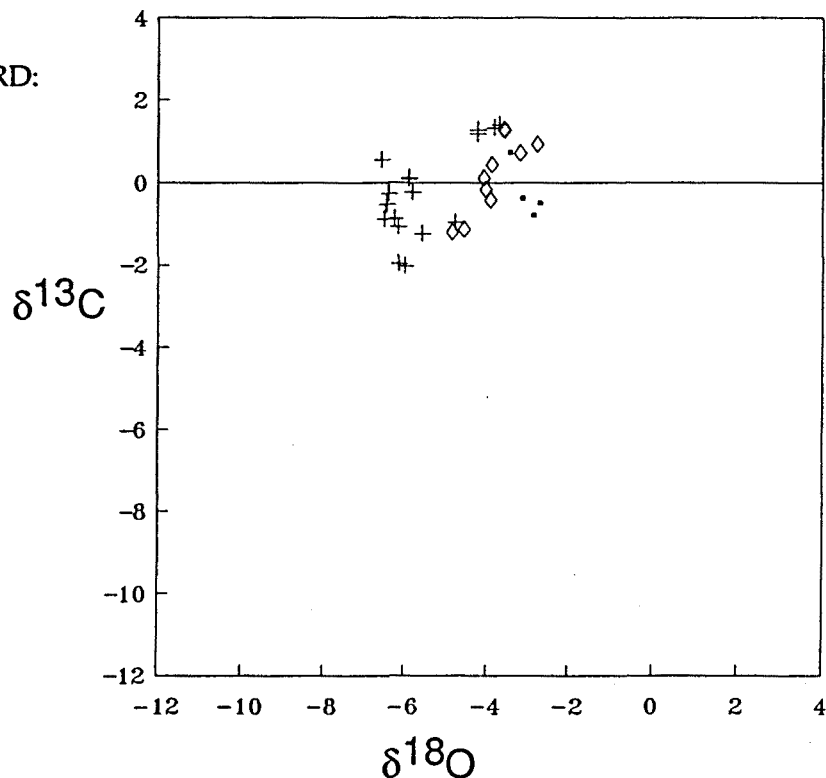


Figura 38: Projectió dels valors isotòpics obtinguts per a les micrites en els estromatòlits del vorell Nord. Els símbols corresponen a (+) estromatòlits cianobacterians, (◊) biolaminoides, i (•) estromatòlits bacterians.



En el gràfic de la figura 38 s'observa una distribució de les microfàcies regulada tan per la  $\delta^{18}\text{O}$  com per la  $\delta^{13}\text{C}$ .

Les mostres que corresponen al mateix tipus de microfàcies s'agrupen entre elles. Les mostres més empobrides en  $^{18}\text{O}$  corresponen a les micrites de les laminacions cianobacterianes, les mostres amb valors més enriquits de  $^{18}\text{O}$  corresponen a les micrites de les laminacions bacterianes, i les mostres amb valors intermedis entre aquests dos extrems corresponen a les micrites dels biolaminoides.

Degut a que en una seqüència d'evaporació existeix un empobriment progressiu en els isòtops lleugers i per tant, la  $\delta^{18}\text{O}$  va essent cada cop més positiva, l'evolució cap a valors més positius de la  $\delta^{18}\text{O}$  observada en les mostres analitzades des de les laminacions cianobacterianes cap a les bacterianes pot interpretar-se com que les bacterianes es van formar en una aigua més evaporada que les cianobacterianes. Així doncs, podriem establir, que les característiques fisicoquímiques de l'ambient haurien condicionat el tipus de microorganismes constructors dels estromatòlits.

Respecte la  $\delta^{13}\text{C}$  les mostres de laminacions cianobacterianes tenen, en conjunt, valors semblants, o lleugerament més baixos, que les mostres de les laminacions bacterianes. Aquest enriquiment cap a valors lleugerament més positius en les laminacions bacterianes podria interpretar-se de dues maneres, la primera seria que els organismes constructors d'ambós tipus d'estromatòlits produïssin un fraccionament diferent per la  $\delta^{13}\text{C}$  en la precipitació del carbonat, i la segona seria que l'enriquiment en  $^{13}\text{C}$  de les laminacions bacterianes fossi degut a la seva deposició en un medi sotmés a una major evaporació.

Degut a que aquesta major evaporació del medi on es formaren els estromatòlits bacterians es reflectia també amb la  $\delta^{18}\text{O}$ , considerem aquesta segona hipòtesi com la més probable, i per tant, no hauria perquè haver existit un fraccionament diferent degut als efectes vitals dels diferents tipus d'organismes.

## 2.- VORELL EST

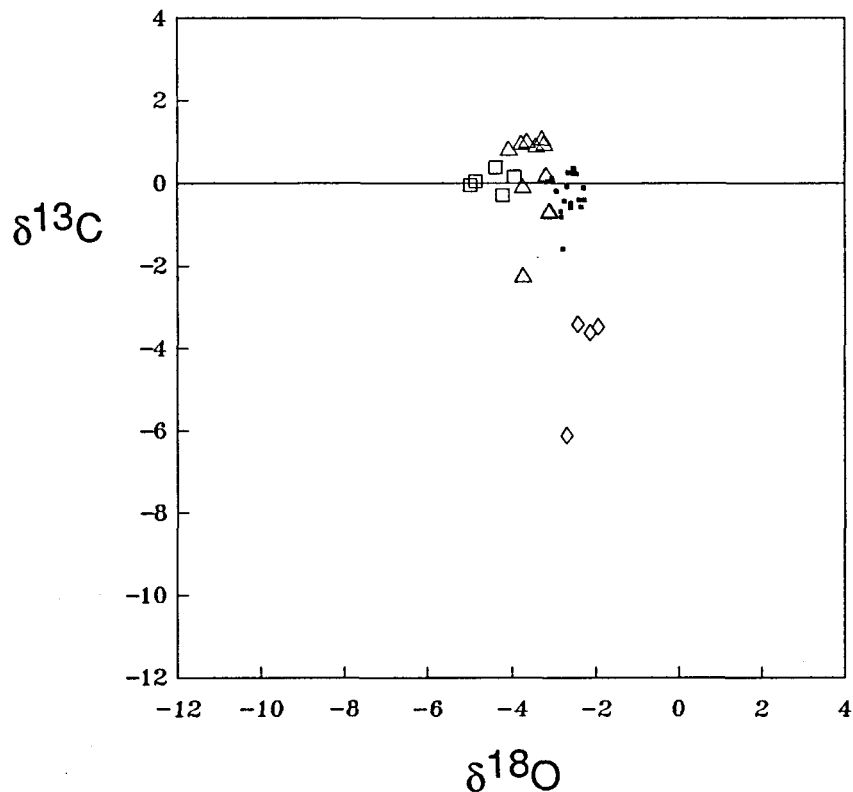


Figura 39.- Projecció dels valors isotòpics obtinguts en les micrites dels estromatòlits del vorell Est. En aquest vorell tots els estromatòlits reconeguts són de tipus bacterià. Els diferents símbols del gràfic corresponen a diferents àrees del vorell. El símbol (□) correspon a les àrees més proximals, columnes en què l'estromatòlit està dolomititzat (VE10 i VE11); (△) correspon a aquelles columnes que ocupen una posició intermèdia (VE6, VE8); (☆) correspon a les sèries situades en les posicions relativament més distals (VE12, VE14, i VE15); i finalment (◇) representen les micrites dels estromatòlits de la sèrie VE13, situada en la zona aflorant més central.

La projecció dels valors isotòpics obtinguts en les micrites del vorell Est ens defineix quatre camps, cada un dels quals correspon a grups de columnes situades en una posició diferents respecte el vorell de la conca. Totes les mostres del vorell Est corresponen als estromatòlits de tipus bacterià. Les mostres amb valors més empobrits en  $^{18}\text{O}$  corresponen a la microfàcies de dolmicrita (columnes VE10 i VE11; Fig. 8), situades en la part més marginal de la conca, a continuació i amb valors lleugerament més enriquits en  $^{18}\text{O}$ , segueixen les mostres de les columnes VE6 i VE8, formades principalment per la microfàcies de laminacions bacterianes, i situades en una posició intermèdia respecte el vorell. A continuació, les mostres de les columnes VE12, VE14 i VE15, caracteritzades pel mateix tipus de microfàcies, i situades en zones més allunyades del vorell, presenten valors més enriquits en  $^{18}\text{O}$ . Les mostres de la sèrie VE13 són les que tenen els valors més empobrits

en  $^{13}\text{C}$  respecte a la resta de les micrites (de l'ordre de  $-4\text{‰}$ ) i corresponen a un estromatòlit bacterià amb abundants intercalacions de sediment terrígen. Aquesta sèrie VE13 es situa geogràficament en el que hauria representat, en un moment donat, la part més deprimida aflorant de la conca (zona del Pont del Llop) i es troba immediatament per sota dels dipòsits evaporítics.

Els camps definits per les diferents mostres d'aquest vorell, són progressivament més enriquits en  $^{18}\text{O}$  de proximal a distal respecte al vorell de la conca, el que s'interpreta com un reflex de l'evaporació progressiva de la massa d'aigua on s'estaven desenvolupant els estromatòlits.

Els valors baixos de la  $\delta^{13}\text{C}$  en la sèrie VE13 els interpretem com a resultat de l'entrada de  $\text{CO}_2$  empobrit en  $^{13}\text{C}$ . La situació de l'estromatòlit immediatament per sota dels dipòsits de guix, i el fet de que en aquesta columna l'estromatòlit presentessi els continguts més alts en manganès respecte a la resta de la conca (veure apartat dels elements traça), indicant condicions més reductores, fa que interpretem que la font del  $\text{CO}_2$  empobrit en  $^{13}\text{C}$  sigui la degradació de la matèria orgànica com a resultat de la sulfato-reducció bacteriana.

### 3.- VORELL SUD

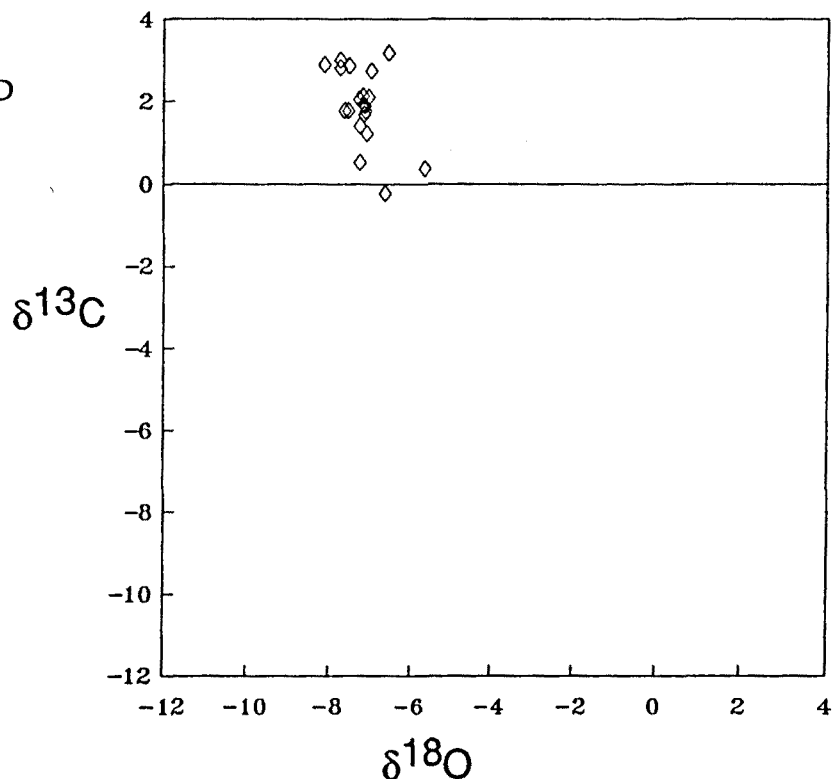


FIGURA 40: Projeció dels valors isotòpics obtinguts per a les micrites dels estromatòlits del vorell Sud. En aquest vorell tots els estromatòlits són de tipus cianobacterià.

En aquest vorell Sud només hem reconegut laminacions estromatolítiques de tipus cianobacterià. Els valors obtinguts per aquests estromatòlits són els més empobrits en  $^{18}\text{O}$  de tota la conca (des de -6.58 fins a -8.13 ‰). Per comparació amb els estromatòlits formats per laminacions cianobacterianes del vorell Nord, aquests estromatòlits s'haurien format en una aigua poc o gens evaporada, el que explicaria la pobresa de pseudomorfs de guix en aquestes microfàcies del vorell Sud.

En resum, considerant el conjunt dels vorells de la conca s'observa que el vorell Sud, on totes les mostres estudiades corresponen a estromatòlits cianobacterians, presenta els valors més empobrits en  $^{18}\text{O}$  (de -8.5 a -6.5 ‰) i els més positius en la  $\delta^{13}\text{C}$  (de 3.2 a 0.5 ‰), el vorell Nord, on hi ha mostres d'estromatòlits cianobacterians, biolaminoides i estromatòlits bacterians, presenta valors de  $\delta^{18}\text{O}$  des de -6.5 fins a -2.5 ‰ i valors de  $\delta^{13}\text{C}$  des de 1.5 fins a -2 ‰, i el vorell Est, on totes les mostres corresponen a estromatòlits bacterians, presenta valors de  $\delta^{18}\text{O}$  des de -5.2 fins a -2 i de  $\delta^{13}\text{C}$  des de 1.2 fins a -3.5 ‰. En conjunt s'observa una  $\delta^{18}\text{O}$  més negativa i una  $\delta^{13}\text{C}$  més positiva en les laminacions cianobacterianes que en les laminacions bacterianes, i ho interpretem com una diferència en les característiques de l'aigua on creixien els diferents tipus d'estromatòlits. L'aigua en la que es formaren els estromatòlits bacterians estaria sotmesa a unes condicions de major evaporació ( $\delta^{18}\text{O}$  més positius) i a una major influència dels processos de sulfato-reducció bacteriana ( $\delta^{13}\text{C}$  més negativa), que l'aigua on es formaren els estromatòlits cianobacterians.

## VARIACIONS DELS VALORS ISOTÒPICS EN LES LAMINACIONS.

Un cop coneguts els fenòmens que es donaven en la conca a nivell dels diferents tipus d'estromatòlits, i dels diferents vorells, vegem quines variacions internes poden existir dins d'una mostra.

Per tal de conèixer les variacions isotòpiques que es poden donar entre les làmines d'una mostra, i poder establir hipòtesis de la significació de les laminacions dins de l'estromatòlit, hem analitzat en la mostra (W6), corresponent a la microfàcies de laminacions cianobacterianes, les diferències isotòpiques entre les làmines fosques i les làmines clares.

Degut al poc gruix de les làmines, no podem tenir la certesa de que en el mostreig d'una làmina fosca no s'hagi agafat una petita part de les làmines clares adjacents, i a l'inrevès. Tanmateix, si que estem segurs que almenys la major part de la mostra correspon a la làmina que hem volgut mostrejar.

Els valors obtinguts es poden veure en la Taula 5, i la seva representació gràfica en la figura 41:

Taula 5.- Els punts de mostreig corresponen als punts assenyalats en la mostra W6.

punt de mostreig	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$
1	-0.876	-6.493
2	-2.027	-5.999
3	-1.07	-6.156
4	-1.966	-6.153
5	-0.224	-5.825
6	-1.229	-5.580
7	+0.098	-5.909
8	-0.264	-6.396
9	-0.518	-6.435

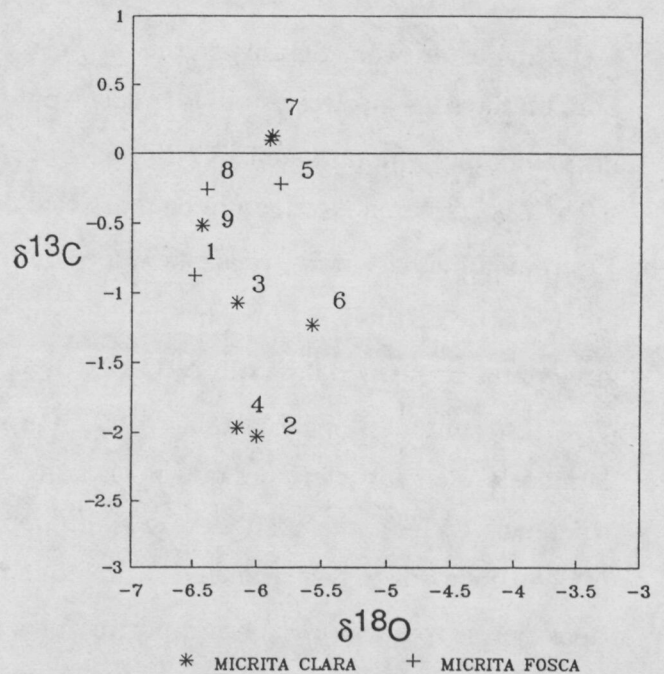


FIGURA 41.- Representació dels valors isotòpics obtinguts en la mostra W6. Els números de l'1 al 9 corresponen a les làmines mostrejades de la base al sostre de la mostra, i són els assenyalats en la fotografia de la figura 42.

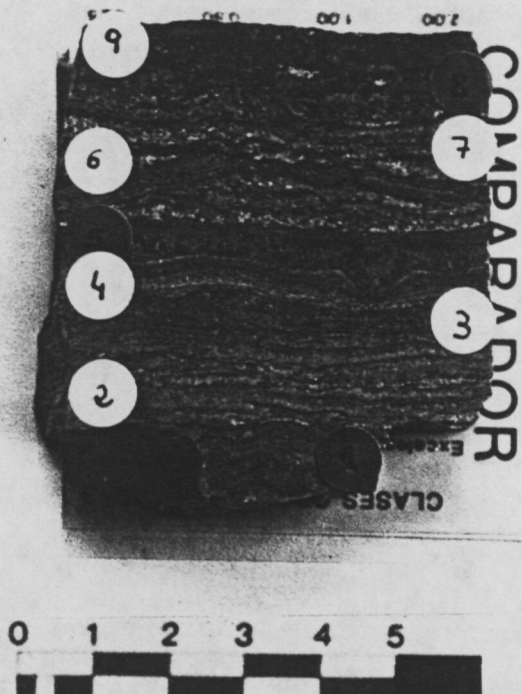


FIGURA 42.- Mostra de ma W6, amb la situació dels punts de mostreig.

Les variacions en els valors de la  $\delta^{13}\text{C}$  i de la  $\delta^{18}\text{O}$  entre les diferents làmines poden respondre a variacions en el moment de la deposició o durant la diagènesi. En el primer cas, els diferents valors de les làmines els podrem interpretar com la resposta als canvis climàtics estacionals. Les làmines amb valors de  $\delta^{13}\text{C}$  més negatius, les quals presenten major abundància de components terrígens, s'haurien format durant les estacions humides, amb aportos d'aigua meteòrica enriquida en  $\text{CO}_2$  procedent de la degradació de la matèria orgànica. L'entrada d'aigües amb aportos fins, reduiria la producció fotosintètica dels cianobacteris, bé per turbulència de les aigües, bé per l'eutrofització del medi.

L'altra possibilitat, que no es pot descartar, és que aquestes diferències isotòpiques corresponguin a canvis diagenètics que afecten de manera desigual als diferents tipus de làmines. En aquest cas, les làmines fosques, més micrítiques, conservarien el senyal isotòpic original mentre que les làmines clares, més microsparítiques, haurien estat influïdes per canvis diagenètics postdeposicionals.

Per explicar aquesta segona possibilitat, caldria un fluid diageneïtzant que modifiqués el senyal isotòpic del carboni però no el de l'oxigen, i que afectés únicament a les làmines clares. Aquest tipus de fluid hauria de tenir la mateixa composició isotòpica en  $^{18}\text{O}$  que l'aigua en la que es formaren les làmines fosques, i això podria indicar un estadi diagenètic molt primerenc. Per explicar els valors més negatius de la  $^{13}\text{C}$ , caldria que el fluid diageneïtzant tingués en major o menor proporció  $\text{CO}_2$  derivat de sòls i/o  $\text{CO}_2$  procedent de la sulfato-reducció bacteriana.

Ambdues possibilitats podrien ser vàlides per explicar les variacions entre làmines.

## VARIACIONS ISOTÒPIQUES ENTRE MICRITES I REBLIMENTS ESPARÍTICS DINS D'UNA MATEIXA MOSTRA.

Per reflectir les diferències en els valors isotòpics corresponents a la micrita clara, micrita fosca, i rebliments esparítics dels pseudomorfs i de les esquerdes, analitzats en quatre mostres diferents, hem representat en la figura 43 els valors isotòpics obtinguts.

Els valors en cada mostra són els de la taula 6:

**TAULA 6: Valors isotòpics obtinguts en quatre mostres:**

## Mostra SB236

a1) micrita fosca	$\delta^{13}\text{C} = 1.19$	$\delta^{18}\text{O} = -4.75$
b1) micrita clara	$\delta^{13}\text{C} = 1.33$	$\delta^{18}\text{O} = -3.83$
c1) esparita dintre de l'esquerda	$\delta^{13}\text{C} = -2.31$	$\delta^{18}\text{O} = -10.84$

## Mostra SB229

a2) micrita fosca	$\delta^{13}\text{C} = -0.51$	$\delta^{18}\text{O} = -2.72$
b2) micrita clara	$\delta^{13}\text{C} = -0.80$	$\delta^{18}\text{O} = -2.86$
c2) esparita en pseudomorfs de guix coexistent amb celestina	$\delta^{13}\text{C} = -5.33$	$\delta^{18}\text{O} = -4.74$

## Mostra SB146

a3) micrita fosca	$\delta^{13}\text{C} = 0.11$	$\delta^{18}\text{O} = -4.08$
b3) micrita clara	$\delta^{13}\text{C} = -0.16$	$\delta^{18}\text{O} = -4.04$
c3) esparita en pseudomorfs de guix	$\delta^{13}\text{C} = -5.63$	$\delta^{18}\text{O} = -5.24$

## Mostra SB167

a4) micrita	$\delta^{13}\text{C} = 1.26$	$\delta^{18}\text{O} = -3.57$
b4) microsparita	$\delta^{13}\text{C} = -1.20$	$\delta^{18}\text{O} = -4.85$
c4) esparita en pseudomorfs de guix	$\delta^{13}\text{C} = -8.96$	$\delta^{18}\text{O} = -4.72$

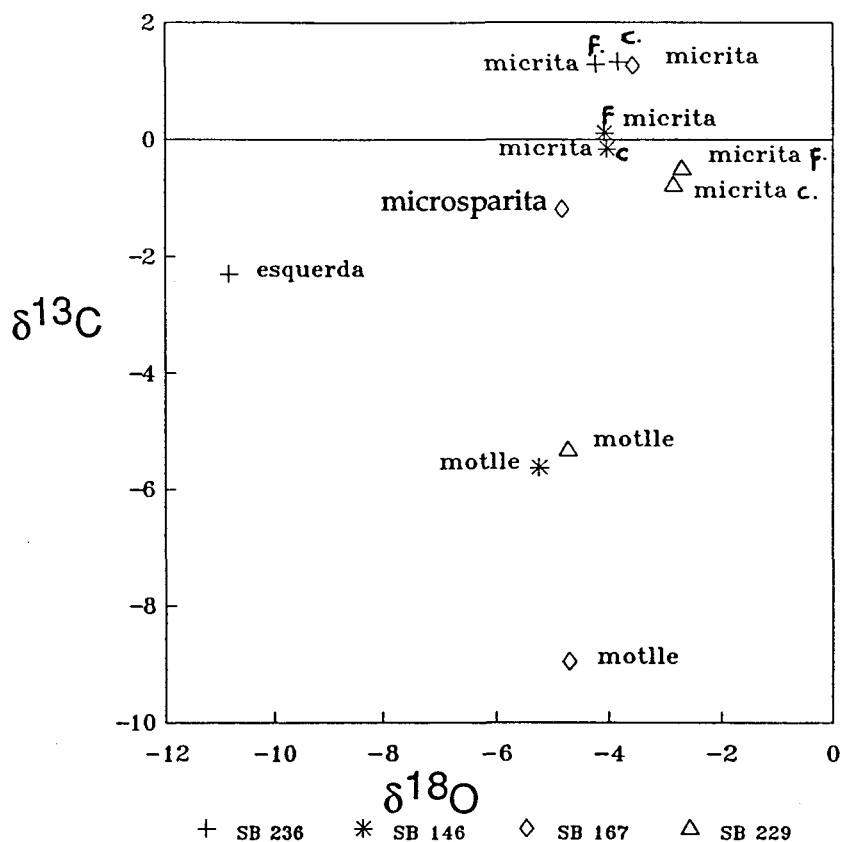


FIGURA 43.- Representació dels valors isotòpics obtinguts en 4 mostres diferents, cada una amb tres punts de mostreig. Els punts de mostreig corresponen als de la Taula 6. Motlle (esparita omplint pseudomorfe de guix), esquerra (esparita omplint esquerra).

S'observa que per a cada mostra les làmines fosques tenen valors més positius de  $\delta^{13}\text{C}$  que les làmines clares, i que els ciments presenten dues tendències diferents, les esparites que omplen motlles de guix presenten valors de la  $\delta^{18}\text{O}$  del mateix ordre que la micrita de la mateixa mostra, però amb valors molt més empobrits en  $^{13}\text{C}$ , mentre que l'esparita que omple les esquerdes presenta uns valors semblants en  $\delta^{13}\text{C}$  als de la micrita de la mostra, malgrat posseir valors molt més empobrits en  $^{18}\text{O}$ .

La interpretació d'aquests resultats està inclosa a l'apartat següent.

### HISTÒRIA DIAGENÈTICA DELS ESTROMATÒLITS EN FUNCIO DELS VALORS ISOTÒPICS DELS REBLIMENTS ESPARÍTICS.

A fi de conèixer el comportament isotòpic dels rebliments diagenètics esparítics, que s'observa en l'apartat anterior, vam realitzar un nou mostreig prenent un nombre de mostres que fos representatiu dels 4 tipus diferents d'esparita diagenètica que es troba en



l'estromatòlit. Aquest estudi isotòpic ens permetrà conèixer part de la història diagenètica que afectà als estromatòlits des de la seva formació fins a l'actualitat.

Les esparites que es van mostrear són:

- 1- Rebliments esparítics dins dels pseudomorfs de guix
- 2- Rebliments esparítics dins dels pseudomorfs de guix on la calcita esparítica coexisteix amb la celestina
- 3- Esparites que es troben omplint les esquerdes, i
- 4- Esparita de les calcretes.

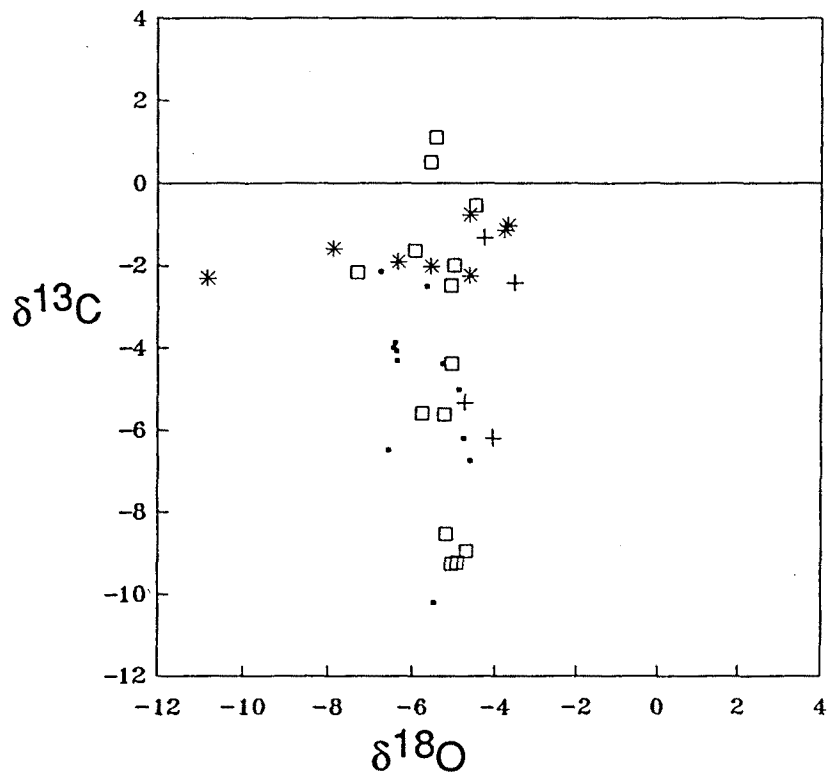


Figura 44.- Representació dels valors isotòpics obtinguts pels diferents rebliments esparítics mostrejats. Els diferents símbols representen (\*) esparita omplint esquerdes, (□) esparita omplint motlles de guix, (+) esparita coexistent amb celestina que es troba omplint motlles de guix, (•) esparita de les calcretes.

El gràfic de la figura 44 mostra que les anàlisis realitzades en la calcita esparítica que es troba omplint els pseudomorfs de guix, presenten un rang molt ampli de valors de la  $\delta^{13}\text{C}$  i un rang molt petit de valors de la  $\delta^{18}\text{O}$ . La homogeneïtat en els valors de la  $\delta^{18}\text{O}$  és pot explicar com produïda per una única font d'oxigen, és a dir, un únic tipus d'aigua present durant la recristal·lització del nou carbonat de calci.

L'ampli rang de valors de la  $\delta^{13}\text{C}$  és degut a que es combinen diferents fonts de carboni:

- 1- carboni procedent de la sulfato-reducció bacteriana,
- 2- carboni procedent del  $\text{CO}_2$  dels sòls,
- 3- carboni procedent de la dissolució de carbonats inestables, i
- 4- carboni en equilibri amb el  $\text{CO}_2$  atmosfèric.

Les dues primeres fonts donaràn els valors més empobrits en  $^{13}\text{C}$ , i les dues darreres els valors més enriquits (Allan i Matthews, 1977 i 1982). Depenent de quina sigui la proporció en que es combinen aquestes quatre fonts tindrem tot el rang de variabilitat de la  $\delta^{13}\text{C}$ .

Els valors en  $\delta^{18}\text{O}$  de la calcita esparítica que es troba omplint els pseudomorfs de guix és semblant a la  $\delta^{18}\text{O}$  de les micrites que formen l'estromatòlit. Això indicaria que l'aigua on es van formar unes i altres seria del mateix tipus. Segons això, la sulfato-reducció bacteriana, que provocaria el reemplaçament del guix pel carbonat de calci, s'hauria produït poc després de la formació de l'estromatòlit, en un estadi diagènetic molt primerenc, quan encara no hagués variat la composició de l'aigua per l'entrada de nous fluids.

La preservació de la morfologia original dels pseudomorfs de guix, indica que la substitució del guix per calcita va esdevenir-se quan el sediment estava lleugerament consolidat.

Els valors isotòpics dels rebliments de calcita, que es troben coexistent amb celestina dins dels pseudomorfs de guix, mostren un ampli rang de valors de la  $\delta^{13}\text{C}$  i un rang més reduït de la  $\delta^{18}\text{O}$ . Els valors de la  $\delta^{18}\text{O}$  són lleugerament superiors als de la calcita esparítica que es troba sola omplint els pseudomorfs de guix. El que indica que s'hauria produït en un estadi més avançat d'evaporació, amb les mateixes fonts de carboni que en el cas anterior.

Petites esquerdes verticals omplertes per calcita esparítica són presents al llarg de tot l'estromatòlit. Aquestes esquerdes, es troben en molts llocs tallant els pseudomorfs de guix.

Els valors de la composició isotòpica de la calcita esparítica, que està omplint les esquerdes, mostra un ampli rang de valors de la  $\delta^{18}\text{O}$  i un rang molt petit de valors de la  $\delta^{13}\text{C}$ . L'ampli rang dels valors de la  $\delta^{18}\text{O}$  seria el resultat d'una diagènesi multiepisòdica deguda a la circulació d'aigües meteòriques (valors baixos de la  $\delta^{18}\text{O}$ ) amb composicions isotòpiques evolucionant, o bé degut a un augment de la temperatura durant l'enterrament, i/o a l'evolució de la  $\delta^{18}\text{O}$  de les aigües subterrànies durant aquest enterrament.

Pel que fa a les calcretes, aquestes mostren un rang de variació semblant a la dels rebliments esparítics dels pseudomorfs de guix, valors molt constants de la  $\delta^{18}\text{O}$  i rang ampli de la  $\delta^{13}\text{C}$ . L'absència de pseudomorfs de guix en aquesta microfàcies, indueix a interpretar els valors més empobrits en  $\delta^{13}\text{C}$  com procedents del  $\text{CO}_2$  derivat de la degradació dels sòls.

Segons Cerling (1991) els valors isotòpics de les calcretes formades abans del desenvolupament de les plantes  $\text{C}_4$  (al final del Terciari), hauria de tenir sempre valors molt negatius (fins a  $-12$  ‰ PDB) si l'única font del carboni fos el  $\text{CO}_2$  produït pels sòls, doncs les plantes de tipus  $\text{C}_3$  respiren  $\text{CO}_2$  amb valors molt negatius. Aquest autor interpreta que quan els valors de la  $\delta^{13}\text{C}$  de les calcretes, previes al final del Terciari (Miocè), són menys negatives, és degut a la mescla del  $\text{CO}_2$  lleuger derivat dels sòls, amb  $\text{CO}_2$  pesant atmosfèric.

Les plantes  $\text{C}_4$  són plantes que van evolucionar principalment en els tròpics, i estan ben adaptades a les grans intensitats de llum, a temperatures altes i a la sequera, aquestes condicions serien letals per a moltes espècies  $\text{C}_3$ .

Segons Wright *et al.*, (1988), la vegetació de tipus  $\text{C}_4$ , que produeix un carbonat de  $\delta^{13}\text{C}$  menys negativa que el de les plantes  $\text{C}_3$ , podria haver existit des del Silurià, per tant, consideren que la  $\delta^{13}\text{C}$  de les calcretes reflecteix, principalment, el  $\text{CO}_2$  respirat per l'arrel. Aquests autors diuen que la  $\delta^{13}\text{C}$  de les calcretes és un indicador del tipus de vegetació.

Valors de la  $\delta^{13}\text{C}$  obtinguts en calcretes d'edat pliocena i quaternaria (Wright i Vanstone, 1991) i del Cretàcic Inferior (Platt, 1989) oscil·len entre  $-7.5$  i  $-9$  ‰, representant

una cobertura vegetal dominada per plantes C<sub>3</sub>. Mentre que calcretes del Carbonífer han donat valors de la  $\delta^{13}\text{C}$  entre -3.32 i -0.56 ‰ (Goldstein, 1991; Wright i Vanstone, 1991) indicant una cobertura vegetal diferent, probablement de plantes C<sub>4</sub>.

Les calcretes estudiades en aquest treball, indicarien segons aquesta segona hipòtesi, que la cobertura vegetal seria dominada per plantes C<sub>3</sub>.

Cronològicament, en un estadi molt inicial s'haurien format les calcretes i els reemplaçaments del guix pel carbonat de calci sota unes aigües similars, i posteriorment s'haurien produït els rebliments esparítics de les esquerdes que cristal·litzarien en un estadi més tardà sota uns fluids diagenètics diferents dels anteriors.

## COMPARACIÓ ENTRE EL MÈTODE DE MOSTREIG DE ROCA TOTAL I EL MÈTODE DE MICROMOSTREIG.

Coneguts els resultats isotòpics obtinguts de l'anàlisi de les micromostres dels diferents components que formen l'estromatòlit, podem argumentar sobre quins possibles factors han influït en els valors isotòpics obtinguts en roca total.

Els factors que poden haver condicionat els resultats del macromostreig són:

1.-La presència de microfractures omplertes d'esparita que es troben al llarg de tot el nivell estromatolític.

2.-La presència dels rebliments esparítics dins dels pseudomorfs de guix.

Els resultats isotòpics del micromostreig dels rebliments d'esparita dins de les microfractures, ha donat valors molt empobrits en  $^{18}\text{O}$  ( $\delta^{18}\text{O} = -3.7$  a  $-10.8$  ‰). Això, fa que considerem que els valors obtinguts en l'anàlisi de roca total estan reflectint aquest empobriment, i per tant, si no existissin les fractures, la roca original presentaria valors més positius en  $\delta^{18}\text{O}$ . Com que aquestes microfractures són presents tant en l'estromatòlit cianobacterià com en l'estromatòlit bacterià, aquest empobriment en  $^{18}\text{O}$  afecta per igual als diferents tipus d'estromatòlits.

Els resultats isotòpics del micromostreig dels rebliments d'esparita dins dels pseudomorfs de guix, ha donat valors empobrits en  $^{13}\text{C}$  (fins a  $-9.28$  ‰). El fet de què els pseudomorfs siguin més grans i més abundants en els estromatòlits bacterians, fa que considerem que el desplaçament parcial o total dels valors d'aquests estromatòlits bacterians cap a valors empobrits en  $^{13}\text{C}$  es degui a la mescla de la composició original amb el valor isotòpic dels rebliments dels pseudomorfs.

Valoració dels dos mètodes:

El mètode del macromostreig, és menys laboriós, i requereix menys temps que el mètode de micromostreig.

En el nostre cas, amb el macromostreig ja es discriminaven els diferents tipus d'estromatòlits. Tanmateix, no podiem estar segurs de que aquesta discriminació fòs deguda al sediment original.

Les nostres consideracions respecte el mètode de roca total aplicat a mostres formades per molts components diferents, és que els resultats que amb ell s'obtinguin no poden deixar mai de ser tendències generals, i que les interpretacions que d'ell se'n dedueixin, seràn en el millor dels casos, menys acurades que les interpretacions a les que es poden arribar amb un micromostreig acurat.

## ¿ÉS POSSIBLE CONÈIXER LA TEMPERATURA EN LA QUAL ES VAN FORMAR ELS ESTROMATÒLITS?

A partir de les dades de la composició isotòpica de l'aigua on precipita un carbonat, i de la composició isotòpica del carbonat, es pot conèixer la temperatura de precipitació a partir de l'equació de Craig (1965).

L'equació de Craig per calcular la temperatura és:

$$T (^{\circ}\text{C}) = 16.9 - 4.2 (\delta_{\text{c}} - \delta_{\text{w}}) + 0.13 (\delta_{\text{c}} - \delta_{\text{w}})^2$$

On:  $\delta_{\text{c}}$  = composició isotòpica de la calcita analitzada, expressada en ‰ PDB.

$\delta_{\text{w}}$  = composició isotòpica de l'aigua on va precipitar aquesta calcita, expressada en ‰ SMOW.

T = temperatura en graus centígrads del moment de la precipitació de la calcita.

A partir de les dades obtingudes en aquest treball es conèix la  $\delta_c$  i es desconeix  $\delta_w$  i T. Si volem calcular la temperatura s'haurà d'establir un valor isotòpic hipotètic per a l'aigua on es formaren els estromatòlits. Per contra, si intentem calcular la composició isotòpica de l'aigua on es formaren els estromatòlits s'haurà d'establir una temperatura hipotètica. Degut a aquesta incertesa, sempre existent a l'aplicar l'equació de Craig en el registre fòssil, tots els càlculs realitzats en aquest apartat donant valors hipotètics a  $\delta_w$  i T, són únicament simulacions a les condicions en que es desenvoluparen els estromatòlits. La discussió de les diferents hipòtesis ens permetrà descartar les menys coherents i establir com a interpretació les més probables.

Existeixen tres possibilitats diferents:

- 1- Temperatura variable i  $\delta_w$  constant
- 2- Temperatura constant i  $\delta_w$  variable
- 3- Temperatura i  $\delta_w$  variables.

### 1- Temperatura variable i $\delta_w$ constant

Considerarem que la composició isotòpica de l'aigua on aquests estromatòlits es van formar es va mantenir constant durant la formació dels diferents tipus d'estromatòlits (cianobacterians i bacterians).

Per assumir el valor isotòpic de l'aigua tindrem en compte les composicions isotòpiques mesurades en diferents ambients actuals segons Epstein i Mayeda (1953), i Arthur *et al.*, (1983).

La  $\delta^{18}\text{O}$  de l'aigua de la pluja pot ser molt variable depenent de la latitud i del clima, poden assolir valors tant negatius com  $-7$  ‰. A climes més humids correspon precipitacions amb  $\delta^{18}\text{O}$  més negatiu, i tenint en compte que la part alta de l'Eocè ha estat definida com posseïdora d'un clima càlid i humit (Gorin, 1975; Oberhänsli i Allen, 1987; Freytet, 1973) caldrà esperar valors bastant negatius per la  $\delta^{18}\text{O}$  de l'aigua de la pluja. Yurtsever (1975) dóna valors de  $-6$  ‰ per a les latituds a que es troba actualment la conca de l'Ebre, similars a les atribuïdes durant l'Eocè.

La  $\delta^{18}\text{O}$  de l'aigua superficial és molt variable i pot arribar a valors tant negatius com  $-7\text{‰}$

La  $\delta^{18}\text{O}$  de l'aigua subterrània és de  $-6$  a  $-7\text{‰}$

La  $\delta^{18}\text{O}$  de l'aigua hidrotermal és de  $-1.2$  a  $-4,5\text{‰}$

La  $\delta^{18}\text{O}$  de salmorres intersticials és de  $0$  a  $+8\text{‰}$

La  $\delta^{18}\text{O}$  de l'aigua de mar és de  $0\text{‰}$

La  $\delta^{18}\text{O}$  de l'aigua dels llacs pot oscil·lar entre  $-7$  i  $+6\text{‰}$  en cas de llarg temps de residència i forta evaporació.

En el nostre cas, coneixem per les característiques petrogràfiques (absència de pseudomorfs de guix) i per la geoquímica dels elements traça, que almenys pels estromatòlits cianobacterians (situats en les àrees marginals de la conca), la composició isotòpica de l'aigua havia de correspondre a una mescla d'aigua meteòrica amb aigua marina, poc o gens evaporada. Per tant, d'antuvi, el valor de l'aigua serà superior a  $-7$  i inferior a  $0\text{‰}$ . Si considerem un valor mig entre aquests dos extrems tindrem una  $\delta^{18}\text{O}_w$  de  $-3.5\text{‰}$ .

Els valors que considerarem com  $c$  seran els obtinguts en el micromostreig de les micrites. És a dir,  $\delta^{18}\text{O}$  igual a  $-7.5\text{‰}$  per als estromatòlits cianobacterians, i  $\delta^{18}\text{O}$  igual a  $-2.5\text{‰}$  per als bacterians.

Aplicant l'equació de Craig, en els estromatòlits cianobacterians ( $\delta^{18}\text{O}_c = -7.5\text{‰}$  PDB) obtenim una temperatura de  $35.8^\circ\text{C}$ .

$$T(^{\circ}\text{C}) = 16.9 - 4.2 (-7.5 - \delta_w) + 0.13 (-7.5 - \delta_w)^2$$

Per als estromatòlits bacterians ( $\delta^{18}\text{O}_c = -2.5\text{‰}$  PDB) obtenim una temperatura de  $12.8^\circ\text{C}$

$$T(^{\circ}\text{C}) = 16.9 - 4.2 (-2.5 - \delta_w) + 0.13 (-2.5 - \delta_w)^2$$

A l'analitzar els valors de temperatura resultants és sorprenent que les aigües més evaporades, on es van formar els estromatòlits bacterians coincidint amb un estadi més avançat de la restricció de la conca, corresponguin a aigües amb una temperatura més baixa. A més, la temperatura que obtenim pels estromatòlits cianobacterians és excessiva-

ment alta, doncs, segons Landry i Jaccard (1984) en mesures de temperatura de salines actuals, aquesta temperatura correspondria a les basses dels cristallitzadors de l'halita.

Sempre que mantinguem la  $\delta_w$  constant per als dos tipus d'estromatòlits, i encara que variem el seu valor, obtindrem per als estromatòlits bacterians una temperatura de formació inferior a la dels estromatòlits cianobacterians. Per tant, considerem que la composició isotòpica de l'aigua on es formaren ambdós estromatòlits no s'hauria mantingut constant.

## 2- Temperatura constant i $\delta_w$ variable

En el segon cas considerarem una temperatura constant per a la formació dels dos tipus d'estromatòlits, i deduirem a quina variació de la composició isotòpica de l'aigua en la que es van formar ambdós tipus d'estromatòlits correspon.

Per portar-ho a terme, considerarem una temperatura per a l'aigua intermèdia entre les dues que s'han obtingut en el cas anterior, és a dir, 25 °C.

Aplicant l'equació de Craig tindrem:

Per als estromatòlits cianobacterians:

$$25 = 16.9 - 4.2 (-7.5 - \delta_w) + 0.13 (-7.5 - \delta_w)^2$$

$$\delta_w = -5.7 \text{ ‰}$$

Per als estromatòlits bacterians:

$$25 = 16.9 - 4.2 (-2.5 - \delta_w) + 0.13 (-2.5 - \delta_w)^2$$

$$\delta_w = -0.7 \text{ ‰}$$



Això implicaria un increment en la  $\delta_w$  (SMOW) d'un 5 ‰ entre ambdós tipus d'aigua.

Analitzades aquestes dues possibilitats, la que sembla més lògica d'ambdues és la segona, amb un enriquiment d'un 5 ‰ en la composició isotòpica de l'oxigen per les aigües més evaporades on es formaren els estromatòlits bacterians, de fàcies més restringides, respecte a la  $w$  on es formaren els estromatòlit cianobacterians. Per tant, creiem que aquesta segona possibilitat podria ser vàlida.

### 3- Temperatura i $\delta_w$ variables.

En aquest tercer cas, considerarem l'existència d'un increment de la temperatura a la vegada que hi ha també un enriquiment en la  $\delta^{18}\text{O}$  de l'aigua més evaporada, on es formaven els estromatòlits bacterians.

Un efecte secundari durant l'evaporació de l'aigua és que es produeix un increment de la temperatura en la solució més concentrada (Harberck, 1955). Dades obtingudes en salines actuals mostren que la màxima variació termal, quan es passa d'aigua marina a salmorres saturades en halita, és d'uns 10°C (Pierre *et al.*, 1984) i això pot conduir a un 2.5 ‰ de disminució en el valor de la  $\delta^{18}\text{O}$  de l'aigua (aplicant l'equació de Craig). Tanmateix, segons Pierre *et al.*, (1984) durant l'evaporació de l'aigua marina l'enriquiment en  $\delta^{18}\text{O}$  de l'aigua és més gran que el que li correspondria si l'únic factor que hi jugués fos l'increment de temperatura.

L'increment de temperatura de l'aigua que considerarem, entre la formació dels estromatòlits cianobacterians i els bacterians, és de 5 °C, (valor intermedi dels que donen Pierre *et al.*, 1984).

Considerant pels estromatòlits bacterians una temperatura de formació de 25°C, tindrem:

$$25 = 16.9 - 4.2 (-2.5 - \delta_w) + 0.13 (-2.5 - \delta_w)^2$$

Resolent aquesta equació, obtenim  $\delta^{18}\text{O}_w = -0.7 \text{ ‰}$  (SMOW)

Mentre que per als estromatòlits cianobacterians, si considerem una temperatura 5°C inferior que la temperatura de l'aigua on es formaren els estromatòlits bacterians, és a dir, de 20°C, obtindrem una composició isotòpica de l'aigua de:

$$20 = 16.9 - 4.2 (-7.5 - \delta_w) + 0.13 (-7.5 - \delta_w)^2$$

Resolent l'equació tenim  $\delta^{18}\text{O}_w = -6.8 \text{ ‰}$  (SMOW).

Aquesta tercera possibilitat també seria lògica, doncs obtenim per als estromatòlits cianobacterians una composició de l'aigua que correpon a una aigua amb molta influència continental i poc evaporada, coincidint amb les observacions petrogràfiques i dels elements traça.

Resumint, de les tres possibilitats apuntades, tant la segona com la tercera són lògiques. Per tant, una possibilitat hauria estat que els dos tipus d'estromatòlits s'haguessin format a la mateixa temperatura, en unes aigües de composició isotòpica un 5 ‰ més positiva en el domini dels estromatòlits bacterians que en el domini dels cianobacterians (cas 2). I l'altra possibilitat hauria estat que els estromatòlits bacterians s'haguessin format en unes aigües a una temperatura lleugerament superior als estromatòlits cianobacterians, i que la composició isotòpica dels dos tipus d'aigües diferís en més d'un 5 ‰ (cas 3).

Com hem pogut observar, a partir de les composicions de les calcites analitzades, i considerant que la temperatura en la que es van formar els estromatòlits oscil.lava entre 20°C i 25 °C, obtenim per als estromatòlits cianobacterians unes aigües amb composicions isotòpiques de -6.8 ‰ a -5.7 ‰ SMOW, molt semblant a l'aigua dolça, poc o gens evaporada. Mentre que per als estromatòlits bacterians, obtenim una composició isotòpica de les aigües al voltant de -0.7 ‰ (SMOW), i per tant, correpondrien a unes aigües sotmeses a una major evaporació.

## CONCLUSIONS

1.- Els estromatòlits cianobacterians, els biolaminoides i els estromatòlits bacterians mostren una evolució progressiva cap a valors més enriquits en  $^{18}\text{O}$ . Aquest enriquiment en  $\delta^{18}\text{O}$  l'interpretem com un pas cap a condicions progressivament més evaporades.

2.- Els estromatòlits cianobacterians, els biolaminoides, i els estromatòlits bacterians no mostren, en l'anàlisi de micromostres, cap diferència a considerar en la  $\delta^{13}\text{C}$ . Per tant, no hi ha arguments per creure que els bacteris i els cianobacteris que han format els estromatòlits estudiats, hagin produït un fraccionament isotòpic diferent pel carboni degut als seus efectes vitals.

3.- La composició isotòpica en  $\delta^{18}\text{O}$  dels estromatòlits cianobacterians indica que s'han format en unes aigües amb molta influència continental, poc o gens evaporada. El desplaçament progressiu cap a valors més enriquits en  $^{18}\text{O}$  per als biolaminoides i finalment per als estromatòlits bacterians, ens indica la progressiva evaporació i concentració d'aquesta aigua a mesura que la conca s'anava restringint, el vorell anava migrant cap a zones més centrals, i els estromatòlits es formaven cap a zones més distals en condicions més restringides.

4.- Els rebliments esparítics dels pseudomorfs de guix indiquen una fase diagenètica primerenca, sota un fluid de composició en  $\delta^{18}\text{O}$  semblant al que hi havia en el medi quan es formaren els estromatòlits, i amb una  $\delta^{13}\text{C}$  molt variable degut a l'entrada de carboni procedent de diferents fonts: carboni derivat dels sòls, carboni procedent de la sulfato-reducció bacteriana, carboni en equilibri amb el  $\text{CO}_2$  atmosfèric, i carboni procedent de la dissolució de carbonats inestables.

5.- Els rebliments esparítics de les esquerdes indiquen una fase diagenètica tardana multiepisdica, originada per la circulació d'aigües meteòriques amb composicions isotòpiques evolucionant, o bé, degut a un increment de la temperatura durant l'enterrament i/o a l'evolució de les aigües durant aquest enterrament.

6.- Les calcretes mostren en la seva composició isotòpica en  $\delta^{13}\text{C}$ , un origen del carboni a partir de  $\text{CO}_2$  derivat de la degradació dels sòls. Segons la hipòtesi de Wright *et al.*, (1988), els valors isotòpics d'aquestes calcretes podrien indicar una cobertura vegetal dominada per plantes de tipus  $\text{C}_3$  (plantes que realitzen la fotorespiració i que reoxiden a  $\text{CO}_2$  part del carboni fixat per fotosintèsi).

7.- L'estudi isotòpic de roca total ens donava uns valors en  $\delta^{18}\text{O}$  influïts pels rebliments esparítics de les petites esquerdes que es troben en tot l'estromatòlit, aquesta contaminació, afectava a tots els estromatòlits per igual. A més, els valors de  $\delta^{13}\text{C}$  estaven influïts pels rebliments dels pseudomorfs de guix, aquests, al ser més abundants en els estromatòlits bacterians que en els cianobacterians, els hi produïen un desplaçament més gran cap a valors més empobrits en  $\delta^{13}\text{C}$ .



## VARIACIÓ ESPACIAL DE LES DIFERENTS MICROFÀCIES ESTROMATOLÍTIQUES.

La història dinàmica del vorell oriental de la Conca Eocena Catalana s'ha fet palesa en la gran variació, tant en la vertical com en l'horitzontal, de les diferents microfàcies. Cada una de les diferents microfàcies estudiades en els estromatòlits representen diferents subambients dins d'un medi molt som, molt restringit i amb influència d'aigües meteòriques. Les sèries fetes en el marge de la conca enregistren una restricció progressiva.

Podriem descriure dos estils diferents de seqüències ideals que defineixin l'evolució vertical dels estromatòlits en l'àrea estudiada. La primera d'aquestes, que anomenarem seqüència de "tipus 1", està formada principalment per la microfàcies de laminacions cianobacterianes, o per les microfàcies associades a aquests tipus de laminacions (peloïdal laminada, peloïdal grumollosa, o peloïdal pelsparítica), en la part mitja-alta conté pseudomorfs de cristalls de guix més o menys abundants, i finalitza al sostre amb la bretxificació de l'estromatòlit, indicant exposició subaèria. Aquesta seqüència ens indicaria una transició cap a ambients cada cop més som i de major salinitat.

El segon estil de seqüència ideal, que anomenarem seqüència "tipus 2", seria la formada per laminacions bacterianes, amb làmines mil·limètriques intercalades de sediment detrític molt fi, i amb grans pseudomorfs de guix. En aquest tipus de seqüències els indicis d'exposició subaèria són menys freqüents, i presenten abundants esquerdes de sinèresi indicatives de variacions de salinitat en la columna d'aigua. En el sostre de l'estromatòlit bacterià carbonatat, es forma un potent paquet de guix, indicant un pas cap a condicions de major evaporació. La presència d'estructures laminades molt fines carbonatades alternant amb les làmines de guix, a la base del paquet evaporític, indica la recolonització del fons per microorganismes, almenys, en els primers estadis de la sedimentació evaporítica.

La seqüència estromatolítica de "tipus 1", es desenvolupa per sobre d'una plataforma carbonatada soma, representada pels nivells de foraminífers aporcellanats, i per tant, aquesta seqüència considerada en el seu conjunt, es desenvolupa sobre un substrat dur. Per contra, la seqüència estromatolítica de "tipus 2" es desenvolupa directament per sobre de

margues, un substrat tou. Aquestes dades fan pensar que el tipus de substrat (tou o dur) hagi pogut condicionar el tipus d'organisme constructor dels diferents estromatòlits, i ser, conseqüentment, un dels factors discriminants de l'àrea colonitzada per bacteris o cianobacteris.

Les diferents microfàcies estromatolítiques definides en els estromatòlits estudiats revelen, un canvi de les condicions ambientals de la base al sostre de l'estromatòlit, i també, un canvi d'aquestes condicions des de les àrees més proximals a les més allunyades dels vorells de la conca.

En el domini dels estromatòlits cianobacterians, representat per la seqüència "tipus 1", les fàcies immediatament inferiors als estromatòlits mostraven condicions mesohalines (veure microfàcies F de l'apartat 3.4), i per tant, l'interval representat pels estromatòlits hauria suposat el pas d'aquestes condicions mesohalines, amb aigua no evaporada ni concentrada, a condicions de forta evaporació, permetent la formació de pseudomorfs de guix, amb fluctuacions de la làmina d'aigua i emersions temporals, que menen, finalment a l'exposició subaèria del conjunt. El tipus d'ambient deposicional i, doncs, la geomorfologia de l'àrea colonitzada pels estromatòlits cianobacterians seria de tipus *llacuna costanera* protegida, i estaria sotmesa a emersions periòdiques.

La formació d'aquest tipus d'ambients s'hauria esdevingut quan una àrea, pròxima a la costa, quedés separada de la mar oberta. El llinar físic d'aquestes llacunes estaria constituït per les barres de la unitat infraject de foraminífers epifítics.

Contràriament, en el domini dels estromatòlits bacterians, representat per la seqüència ideal "tipus 2", la litofàcies existent immediatament per sota dels estromatòlits són les margues, possiblement representants d'un medi més pregon que les àrees marginals de la plataforma. Tanmateix, les característiques petrogràfiques de les microfàcies estromatolítiques mostren, també en aquestes àrees, un ambient deposicional molt som, caracteritzat per grans planes amb fons de poc relleu i de profunditat inferior a 1 metre, semblants a l'actual Roselló o al delta de l'Ebre. En aquest cas, no s'ha observat una clara separació física del mar obert, i podria tractar-se d'una plataforma altament restringida degut als petits relleus del fons. En aquests ambients es mesclen aigües continentals i marines, i aquesta mescla d'aigües de salinitat diferent produeix l'estratificació de la massa

d'aigua en sentit vertical (Comín, 1989). A més, l'evaporació intensa afavoreix la formació d'ambients hipersalins, i en casos extrems la dessecació total.

El tipus d'aigua on es formaren els estromatòlits bacterians implicaria, almenys per la part superior, unes aigües molt evaporades i concentrades que conduirien finalment a la precipitació d'evaporites.

Segons Javor (1985), en salines actuals els cianobacteris dominen en l'interval de densitat entre 6 i 13 ° Bé, on formen tapissos més o menys ben desenvolupats. Entre 13 i 20 ° Bé, es produeix un fons de ciment de guix en el fons de les basses, que és parcialment cobert per *Aphanothece halophytica* (cianobacteri). I, entre 20 i 30 ° Bé, sols hi són presents els bacteris halofílics. Segons això, un altre factor que ha pogut jugar un paper important en el control de l'àrea colonitzada per un tipus o altre d'organismes (bacteris i cianobacteris) és la salinitat del medi deposicional. Així, les àrees amb una salinitat inferior (àrees proximals) haurien estat colonitzades per tapissos de cianobacteris, i a mesura que la conca s'anava restringint i la salinitat ascendia, la població de bacteris es feia la dominant.

El fet de que els estromatòlits bacterians es trobin en àrees relativament més distals que els estromatòlits cianobacterians, tot i que ambdós es van formar en zones molt somes i properes al vorell de la conca, s'explicaria perquè els estromatòlits es desenvolupaven a mesura que la conca s'anava restringint i el vorell anava migrant en direcció al centre.

Els diferents tipus d'estromatòlits es situaven, durant llur desenvolupament, en les successives posicions que ocupava el vorell de la conca. Es tractaria sempre de zones molt somes, i amb condicions ambientals extremes. Els efectes combinats d'una columna d'aigua molt petita, poca circulació de l'aigua, un increment progressiu de la salinitat i de la temperatura, i possiblement, una lleugera acidesa de l'aigua, serien els factors necessaris per crear un medi que permetria l'acumulació de matèria orgànica, fomentant així el creixement microbià i inhibint l'existència d'organismes destructors dels tapissos microbians.

Els estromatòlits formats en les zones relativament més proximals (zones més externes de la conca: Sant Bartomeu del Grau en el vorell Nord, i Colluspina-Calders-Artés en el vorell Sud), serien els primers en formar-se i ho farien en un medi amb influència d'aigua meteòrica, poc evaporat, poc concentrat, i per tant, poc salí. Els estromatòlits que actualment trobem en les zones més allunyades del vorell de la conca s'haurien format en àrees tant



propres al vorell de la conca com els anteriors, però després d'una migració del vorell cap a zones més centrals, deixant la part més pròxima emergida. Aquests darrers estromatòlits formats, representats pels estromatòlits bacterians, s'haurien format en un medi més evaporat i més concentrat.

La terminació lateral de l'estromatòlit carbonatat es fa palès en el vorell Sud, on l'estromatòlit passa cap a l'est i cap a l'oest, o bé a fàcies detrítiques grolleres corresponents a la progradació de cons al·luvials, o bé a dipòsits argilosos vermells formats clarament en ambients continentals.

Cap al centre de la conca, en la zona de les pedreres de guix d'Artés (Barranc de Mas Rubí) i en la zona del Pont del Llop, per sota dels guixos no hi és present l'estromatòlit. Els estromatòlits més propers a aquestes àrees presenten nombroses intercalacions detrítiques, especialment al sostre. L'arribada d'aquests aports siliciclàstics podria ser una de les causes de l'acabament de la formació dels tapissos microbians, condicionant l'absència d'aquestes estructures en zones adjacents. Una segona causa que podria haver influït en la no proliferació dels tapissos microbians en aquestes àrees relativament més centrals, podia haver estat l'extrema salinitat del medi, que hauria donat lloc directament al desenvolupament de les sèries evaporítiques.

Tot i que es desconeix la potència absoluta de la columna d'aigua de la conca, en el moment en que es desenvolupaven els estromatòlits, podem assegurar pel tipus de fàcies, que aquests s'han desenvolupat sempre sota pocs centímetres d'aigua. Per aquest motiu cal pensar que el desenvolupament de l'estromatòlit s'ha esdevingut en successius moments, avançant cap al centre de la conca a mesura que aquesta s'anava restringint.

Si representem en un gràfic el valor de la  $\delta^{18}\text{O}$  enfront del contingut en sodi del carbonat estromatolític, observem l'existència d'una relació directa entre ambdues variables (Fig. 46). A valors més positius de la  $\delta^{18}\text{O}$  li corresponen majors continguts en sodi. Els valors baixos de la  $\delta^{18}\text{O}$  en els estromatòlits cianobacterians, així com el seu baix contingut en sodi, fan que interpretem el seu ambient deposicional com un medi de mescla d'aigües, poc o gens evaporades, on dominaven les aigües meteòriques. Tant l'increment de la quantitat de sodi, com l'increment en la  $\delta^{18}\text{O}$  en els estromatòlits bacterians, indica el pas cap a condicions de major evaporació i per tant una major concentració de l'aigua.

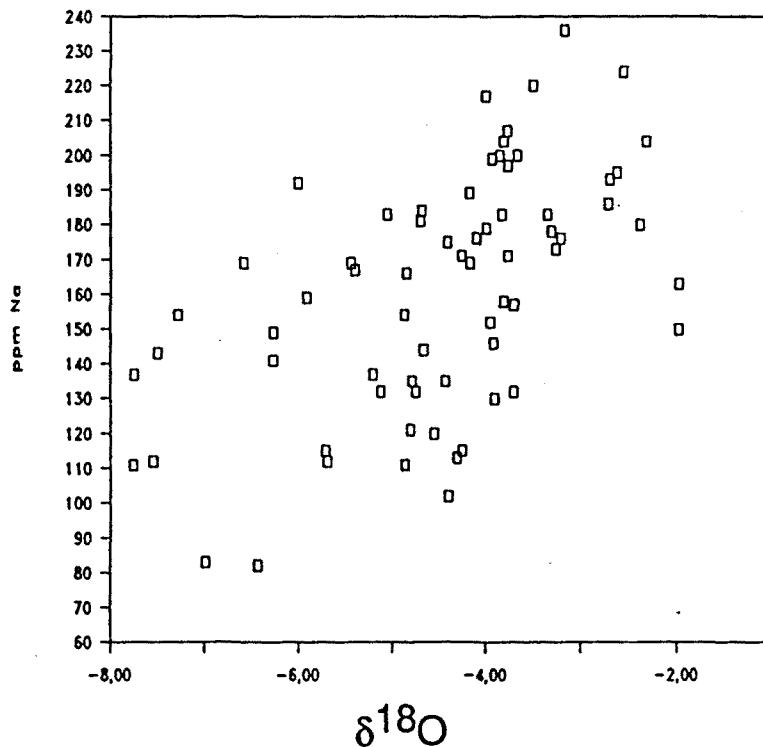


FIGURA 46.- Gràfic binari on es representa els valors de la  $\delta^{18}\text{O}$  en funció del contingut en sodi (ppm) dels carbonats estromatolítics.

El fet de què tant la composició isotòpica com les concentracions dels diferents elements estiguin relacionats amb el tipus de microfàcies estromatolítica, ens permet establir la hipòtesi de què el tipus de microfàcies depèn de l'ambient deposicional, i que per tant, les característiques químiques del medi, influeixen en el tipus d'organismes constructors dels estromatòlits. D'aquesta manera, els cianobacteris haurien estat els principals microorganismes constructors dels estromatòlits en les aigües poc evaporades i poc concentrades, i amb baixa  $\delta^{18}\text{O}$ , mentre que els bacteris haurien estat els principals responsables de la construcció dels estromatòlits en les aigües més evaporades i concentrades (hipersalines), i amb una  $\delta^{18}\text{O}$  més positiva, quan la conca era més restringida.



### **3.- DESCRIPCIÓ DE LES FÀCIES DEL COMPLEX TERMINAL.**



Dins del Complex Terminal incloïem els materials dipositats en el vorell de la conca, per sobre de la Seqüència Depositional de Milany (Puigdefàbregas *et al.*, 1986), i per sota de la sedimentació molàsica de la Seqüència Depositional de Solsona (Fig. 12).

L'interval comprén tres nivells carbonatats separats per materials siliciclàstics. Els dos nivells carbonatats inferiors estan formats per unitats riques en foraminífers d'hàbitat epifític, tenen una gran continuïtat lateral, i es desenvolupen únicament en les zones més proximals de la conca. Localment, el nivell carbonatat inferior presenta bioconstruccions d'algues vermelles coral·lines i paviments d'ostreïds.

El nivell carbonatat superior correspon a un nivell amb estromatòlits, i s'estén tant en les zones proximals com en les zones relativament més distals de la conca.

Els nivells siliciclàstics que separen els tres nivells carbonatats (Fig. 47) són representats per margues sense fauna i per sorres. Els nivells de sorra poden presentar estructures de *slumps*, o bé formar petites seqüències estratocreixents i granocreixents. El conjunt de margues i sorres representaria els moments de progració i rebliment de la conca.

El Complex Terminal és limitat a la base i al sostre per dues discontinuïtats que el separen de la Seqüència Depositional de Milany (infrajacent) i de la Seqüència Depositional de Solsona (suprajacent). Dins del Complex, els diferents cicles d'*offlap* - *onlap*, representats respectivament pels nivells siliciclàstics i els nivells carbonatats, estan separats per discontinuïtats de menor ordre.

El Complex Terminal que acabem de definir, presenta variacions locals en les diferents àrees estudiades. Així, en les zones més marginals, trobem els tres nivells carbonatats

sobreposats, doncs no hi són presents els intervals siliciclàstics (ex. Collsuspina). En posicions intermèdies entre els afloraments més proximals i els més distals, trobem les tres unitats carbonatades separades pels intervals siliciclàstics (ex. Sant Bartomeu). En les zones més distals aflorants, la seqüència de Complex Terminal és únicament representada, de la base al sostre, pels dipòsits siliciclàstics i el nivell carbonatat estromatolític (ex. vorell Est i Òdena). Finalment, en les àrees de sedimentació més activa, (ex. Calders), es troben sediments fluvio-lacustres intercalats enmig dels dos nivells carbonatats inferiors.

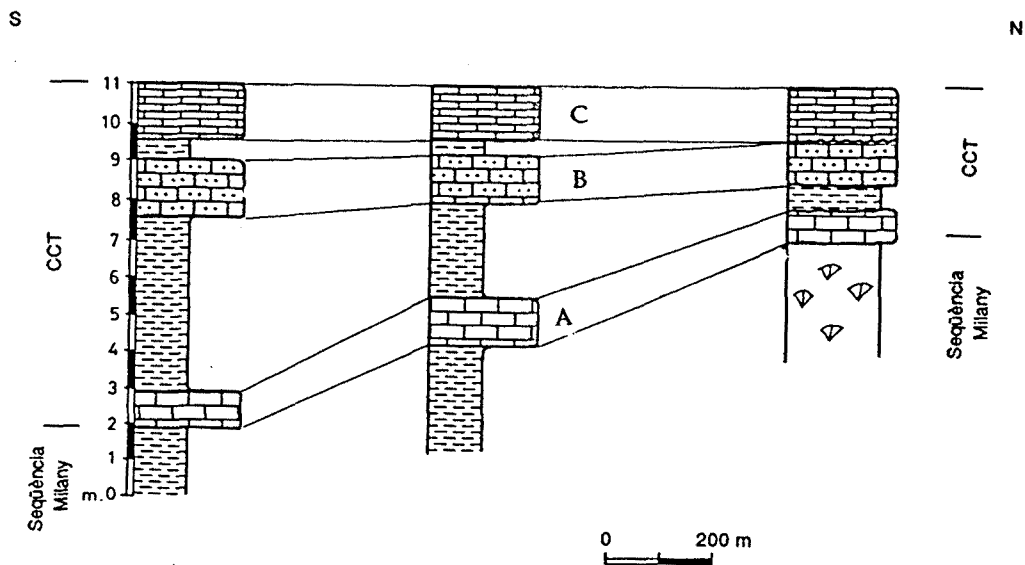


Figura 47.- Característiques litològiques i estratigràfiques del Complex Terminal en el vorell Nord de la Conca Eocena Sudpirenaica.

A.- El nivell carbonatat inferior, que correspon a la primera unitat de foraminífers aporcellanats (localment amb bioconstruccions d'ostrèids i algues vermelles coral.lines).

B.- El nivell carbonatat mitjà, que correspon a la segona unitat de foraminífers aporcellanats.

C.- El nivell carbonatat superior, que correspon al nivell amb estromatòlits.

Les variacions del Complex Terminal en les diferents zones estudiades, contituït per tres nivells carbonatats en el vorell Nord i Sud (zones més proximals), i per margues anòxiques i estromatòlits en el vorell Est (zones més centrals aflorants), indica que les característiques de la conca abans i durant la formació de la part inferior del Complex Terminal eren molt diferents en les diferents zones.

## ELS INTERVALS SILICICLÀSTICS

### MARGUES

Es tracta d'unes margues de color blau amb laminació subhoritzontal i paral·lela, que contenen nivells de nòduls i crostes ferruginoses, i que es caracteritzen per la manca de fauna.

Reguant (1967) les va descriure com a margues azoiques amb nivells de nòduls de limonita, i les va identificar com a nivell "m5". Taberner (1983), les va caracteritzar com a margues anòxiques.

Aquestes margues van ser tema d'un estudi geoquímic detallat (Taberner *et al.*, 1985) i són, actualment, el tema d'una tesi doctoral (Urquiola, en curs).

La potència d'aquestes margues oscil·la entre 0 i 170 metres, essent ausents en els vorells de la conca i presentant la potència màxima en les parts més centrals (Taberner, 1983).

Margues amb característiques semblants han estat descrites per Rosell-Ortíz (1983) en la conca de Navarra-Pamplona, ocupant una posició cronostratigràfica similar.

### SORRES

Dins de les margues que acabem de descriure s'hi troben intercalacions de gresos de mida fina a mitjana, d'una potència màxima de 30 centímetres.

L'associació de les margues anòxiques i les intercalacions centimètriques de gresos està organitzada en seqüències mètriques. Cada una de les seqüències comença amb un



nivell de gresos a la base i passa en la vertical a les margues. En la part superior de les seqüències hi ha crostes i nòduls ferruginosos. L'organització de cada seqüència ha estat interpretada (Sáez *et al.*, 1991) com la resposta a la disminució de la quantitat d'oxigen durant la sedimentació, i al progressiu increment de les condicions euxíniques en un règim d'estratificació d'aigües. Les capes de gresos intercalades en la sèrie margosa correspondrien, segons aquests autors, a dipòsits turbidítics que a l'entrar a la conca trencarien l'estratificació de les aigües i produirien l'oxigenació del fons, mentre que les crostes, correspondrien als estadis de màxima anòxia.

També intercalades dins de la sèrie margosa s'hi observen petites seqüències de sorra, estratocreixents i granocreixents, de fins a set metres de potència, que correspondrien a petites seqüències de progradació en l'àrea de prodelta.

## ELS INTERVALS CARBONATATS

Els intervals carbonatats del Complex Terminal estàn representats per tres unitats. Les dues inferiors estàn formades principalment per foraminífers i algues vermelles coral·lines, es troben en les zones de vorell de conca i desapareixen cap a les zones més allunyades del vorell.

La unitat carbonatada superior està formada per tapissos microbians, i s'estén al llarg de tots els vorells estudiats.

L'existència d'aquestes tres unitats carbonatades en el vorell de la conca ha estat citada anteriorment per Reguant (1967), Busquets (1973, 1975, 1981), Vilaplana (1973, 1975, 1977), Taberner (1978, 1983), Salas (1979), i Barnoles *et al.*, (1981/1982). El conjunt forma el que Reguant (1967) va anomenar nivell K'i part superior del nivell K o "Calcària de Collsuspina" en el vorell Sud, i la part superior del nivells Ca "Calcària de Sant Martí Xic" en el vorell Nord.

## LA UNITAT CARBONATADA INFERIOR

Aquesta unitat esta formada principalment per foraminífers aporcellanats i algues vermelles coral.lines. En les zones més marginals de la conca es localitza, separat per una discontinuïtat, sobre del darrer escull coral.lí de la Seqüència Depositional de Milany (Puigdefàbregas *et al.*, 1986) i, en les zones més allunyades del vorell, per sobre de les margues de la base del Complex Terminal.

Aquesta unitat és contínua al llarg de tots els afloraments del marge N i S de la conca. La seva ausència en el marge Est és deguda, possiblement, al desmantellament de les fàcies proximals durant l'erosió de la Plana de Vic.

La màxima extensió lateral d'aquesta unitat aflora en el vorell Sud, on els afloraments tenen una gran continuïtat lateral, i s'orienten paral.lelament a l'antiga línia de costa.

Localment, en aquest nivell inferior de foraminífers aporcellanats s'hi localitzen, tant en el marge Nord com en el marge Sud, relacionats lateralment, i per sobre, relleus d'escala mètrica, formats per algues vermelles coral.lines i briozous incrustants, i paviments d'ostrèids, reconeguts anteriorment per Busquets *et al.*, (1986), i per Sáez *et al.*, (1991).

A les zones més restringides, el fang i les restes vegetals són més abundants, mentre que cap al sector més oriental estudiat (zona d'Artés i Navarcles), l'associació de foraminífers representa ambients més pregons.

## LA UNITAT CARBONATADA MITJA

La unitat carbonatada mitja està formada principalment per foraminífers aporcellanats i algues vermelles coral.lines. A l'igual que en la unitat carbonatada inferior, cap a zones més restringides, el fang i les restes vegetals són més abundants, mentre que cap als aflorament més occidentals, l'associació de foraminífers indica ambients més pregons.

L'extensió lateral d'aquesta unitat és similar a la unitat carbonatada inferior.

A les zones més marginals de la conca, la unitat carbonatada mitja es localitza directament per sobre de la unitat carbonatada inferior. El límit entre ambdues unitats és una discontinuïtat representada per un *hardground*. En les zones més distals, la unitat carbonatada mitja es localitza per sobre d'un interval siliciclàstic.

Localment, els components bioclàstics i litoclàstics d'aquesta unitat poden presentar envoltos oolítiques ben desenvolupades, arribant a formar barres oolítiques a l'àrea de Sant Bartomeu.

En les zones més proximals, tant del vorell Nord com del vorell Sud, es troben petits nivells d'erosió i microkarsts al sostre de la unitat carbonatada mitja, reflectint l'exposició subaèria local d'aquest nivell abans de la construcció dels estromatòlits.

En la zona de Calders existeix una intercalació de materials vermells continentals per sota d'aquesta segona unitat carbonatada.

## LA UNITAT CARBONATADA SUPERIOR

La unitat carbonatada superior del Complex Terminal correspon als estromatòlits. Aquests es localitzen en les parts més marginals de la conca, per sobre de la segona unitat carbonatada, recobrint i homogeneïtzant els relleus generats per aquesta unitat infrajacent. En les zones més distals, els estromatòlits es localitzen per sobre dels dipòsits siliciclàstics.

La distribució dels estromatòlits al llarg dels vorells de la conca, i la seva descripció detallada és troba en el següent apartat.

# CARACTERITZACIÓ DE LES MICROFÀCIES DE LES UNITATS CARBONATADES INFERIOR I MITJA.

## Estudi de l'aflorament de Collsuspina.

L'estudi de les microfàcies dels dos nivells carbonatats inferiors del Complex Terminal (nivells de foraminífersaporcellanats) ens permetrà conèixer les característiques de la conca prèvia a la formació dels estromatòlits.

Aquest estudi s'ha realitzat al llarg d'un aflorament contínu de 70 metres, orientat obliquament respecte de l'antiga línia de costa, situat en el marge de la carretera (C-141, km 31), entre les localitats de Collsuspina i Calders. Les condicions de l'aflorament han permès efectuar una recollida de mostres detallada i treballar sobre fotografia a l'hora d'establir les relacions laterals entre els cosos representats per diferents microfàcies.

En aquesta àrea, el Complex Terminal està format únicament per les tres unitats carbonatades, sense els intervals siliciclàstics. Les tres unitats estan limitades per discontinuïtats, i es situen per sobre de les margues de la Seqüència Depositional de Milany.

La Unitat Inferior està constituïda per calcàries amb abundants foraminífersaporcellanats i algues vermelles coral.lines. És de potència decimètrica i presenta estratificació tabular.

La Unitat Mitja, també carbonatada, presenta, localment, relleus positius ben desenvolupats formant barres d'una potència que varia d'escala centimètrica a mètrica. Està constituïda per una gran complexitat de microfàcies en la qual els foraminífersaporcellanats, les algues vermelles coral.lines i els nivells de laminacions de cianobacteris són els més representatius.

La Unitat Superior, amb una potència de fins a 1 metre, és formada únicament per carbonats estromatolítics, i recobreix i homogeneïtza el relleu de la Unitat Mitja.

En la descripció de les microfàcies que farem a continuació sols tractarem les unitats Inferior i Mitja, doncs, la descripció detallada dels estromatòlits ja s'ha realitzat en el capítol anterior.

## DESCRIPCIÓ DE LES MICROFÀCIES

A partir de les característiques petrogràfiques i el contingut fòssilífer de les unitats Inferior i Mitja s'han diferenciat sis microfàcies carbonatades, que són:

**Microfàcies A: *wackestone-packstone* de foraminífers aporcellanats i algues vermelles coral.lines.**

Es tracta de bancs calcàris que presenten un aspecte tabular, d'escala centimètrica, formats per *wackestone-packstone* de macroforaminífers aporcellanats i algues vermelles coral.lines (Làm. XXXIX, fig. 1), localment bioturbats. Entre els foraminífers aporcellanats més freqüents hi ha: alveolínids (*Praebullalveolina* sp., Là.m. XXXIX, fig. 2), rhapydionínids (Làm. XXXIX, figs. 1 i 3), sorítids (*Orbitolites* sp. Là.m. XXXIX, fig. 4), peneròplids (*Spirolina* sp. i *Peneroplis* sp.), miliòlids (Làm. XL, figs. 2 i 7), nubeculàrids i fischerínids (Làm. XL, figs. 3, 4, 5, 6 i 7) i d'altres de petites dimensions no determinats. Dels foraminífers de closca aglutinada són abundants: els ammodiscàcids (*Glomospirella* sp. (Làm. XL, figs. 8 i 9) i *Glomospira* sp. (Làm. XL, figs. 10 i 11) i alguns valvulínids (Làm. XLI, fig. 1, 2 i 3). Els foraminífers de textura lamel.lar-perforada són poc freqüents, i només s'han reconegut bolivinitíds (Làm. XLI, fig. 4), discòrbids, cibicídids (Làm. XLI, fig. 5), acervulínids (Làm. XLI, fig. 6), asterigerínids (Làm. XLI, fig. 7), i d'altres de petites dimensions no determinats (Làm. XL, fig. 1).

Es troben també algues vermelles coral.lines articulades, com *Jania* sp. (Làm. XL, figs. 3 i 7, i Là.m. XLI, figs. 8 i 9), i ocasionalment les incrustants *Tenarea* sp. i *Lithoporella* sp.

Aquesta associació de foraminífers i algues vermelles coral.lines és acompanyada per ostràcodes, equínids, briozous, bivalves, gasteròpodes, dascicladals i, esporàdicament, algun ostrèid.

**Microfàcies B: *grainstone* de foraminífers aporcellanats i algues vermelles coral.lines.**

Es tracta de bancs calcàris d'aspecte tabular, d'una potència d'escala decimètrica, localitzats per sobre dels que presenten la microfàcies A. Són constituïts principalment per *grainstone* de components biògens, presentan, localment, zones amb més matriu (Làm. XLII, fig. 1).

En la part superior, els estrats adopten morfologia de petites barres d'escala centimètrica, originant relleus positius. L'associació de foraminífers és semblant a la descrita en la microfàcies A, destacant: els miliòlids (Làm. XLII, figs. 2 i 3), *Orbitolites* (Làm. XLII, fig.4), *Praebullalveolina* sp. (Làm. XLII, figs. 4 i 5), rhapydionínids, *Peneròplis ex gr. planatus*, Làm. XLII, fig. 6), *Spirolina* sp. (Làm. XLIII, fig. 1), textularíds (Làm. XLIII, fig. 2) i dascicladals (Làm. XLIII, fig. 3).

Les algues vermelles coral.lines són més abundants que en la microfàcies anterior. Predominant les formes incrustants *Lithoporella* sp. (Làm. XLII, fig. 6, i Làm. XLIII fig. 3) i *Tenarea* sp., i les articulades *Jania* sp. (Làm. XLIII, fig. 4) i *Corallina* sp. La major abundància d'algues coral.lines és l'única diferència en contingut fòssilífer respecte de la microfàcies A.

Els components biògens presenten sovint envoltos oolítiques, poc desenvolupades (Làm. XLIII, figs. 1, 2 i 5).

## LÀMINA XXXIX

### MICROFÀCIES A

#### FIGURA 1.- (x15)

Aspecte general de la microfàcies A: *Wackestone - Packstone* de foraminífers i algues vermelles coral.lines.

- a.- Secció longitudinal de *Jania* sp. (alga coral.lina articulada).
- b.- Secció longitudinal obliqua d'*Spirolina* sp.
- c.- Secció basal lleugerament obliqua de rhapsydionínid.
- d.- Miliòlids
- e.- Fisherínid

#### FIGURA 2 (x 50)

- a.- Secció obliqua de *Praebullalveolina* sp.
- b.- Miliòlid

#### FIGURA 3 (x 50)

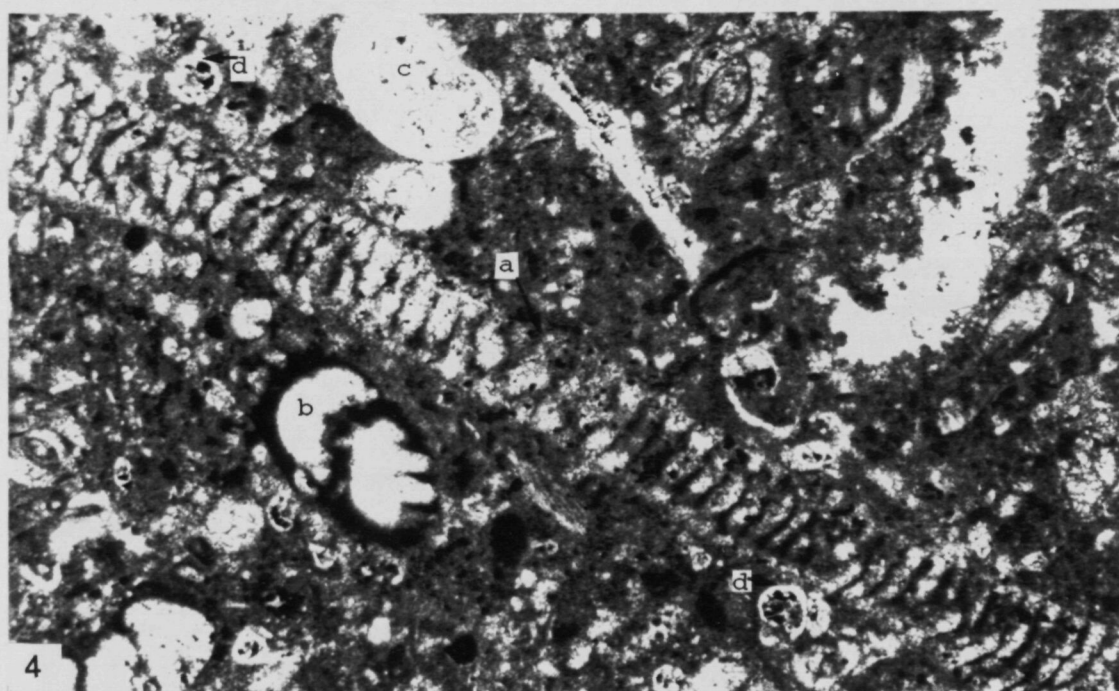
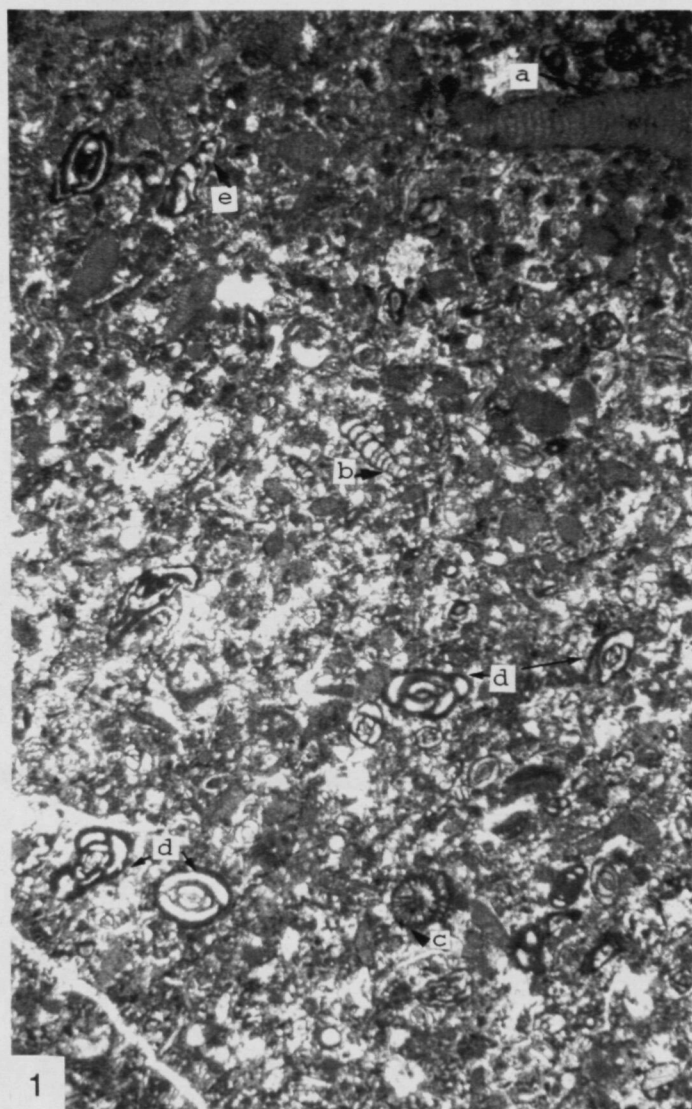
Secció obliqua de rhapsydionínid, mostrant 6 cambres amb particions radials endosquelètiques de dos tipus:

- a.- Particions endosquelètiques llargues que arriben fins a la zona central de la cambra
- b.- Particions endosquelètiques curtes intercalades entre les anteriors.
- c.- Obertures arrodonides de tipus crivat.

#### FIGURA 4 (x 50)

- a.- Secció subaxial d'*Orbitolites* sp.
- b.- Secció tangencial de *Praebullalveolina* sp.
- c.- Ostràcode
- d.- Petits rotàlids, probablement discòrbids.

LÀMINA XXXIX





## LÀMINA XL

### MICROFÀCIES A

#### FIGURA 1 (x 50)

Secció axial no centrada de foraminífer microbentònic hialí.

#### FIGURA 2 (x 50)

Miliòlid amb creixement triloculíid. Possible *Triloculina* sp.

#### FIGURA 3 (x 50)

Diferents seccions de foraminífers aporcellanats i algues vermelles coral.lines articulades.

a.- *Peneroplis* sp.

b.- Nubeculàrid: possible secció d'*Spiroloculina* sp.

c.- Probable fischerínid.

d.- Seccions transversals de *Jania* sp.

#### FIGURA 4 (x 50)

Seccions de fischerínids.

#### FIGURA 5 (x 50)

Secció longitudinal de nubeculàrid. Probable *Nodobaculària* sp. Observi's l'estadi de creixement inicial enrollat i l'estadi uniseriat posterior.

#### FIGURA 6 (x 50)

Secció de fischerínid.

#### FIGURA 7 (x 50)

a.- Nubeculàrid. Probable *Spiroloculina* sp.

b.- Miliòlid. Probable *Quinqueloculina* sp.

c.- Dues seccions de *Jania* sp. (alga vermella coral.lina articulada)

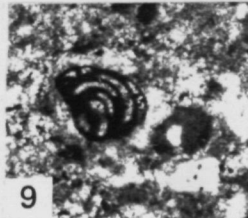
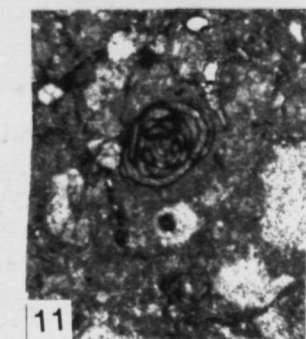
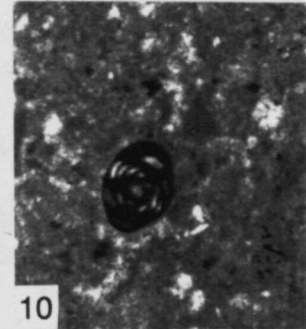
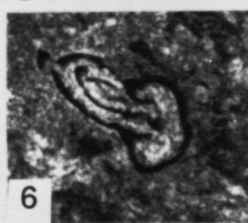
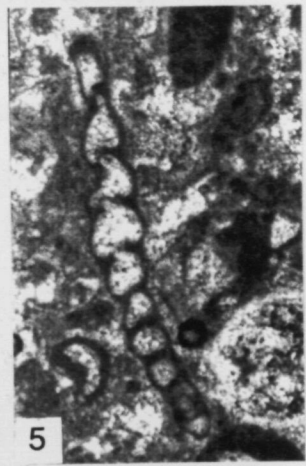
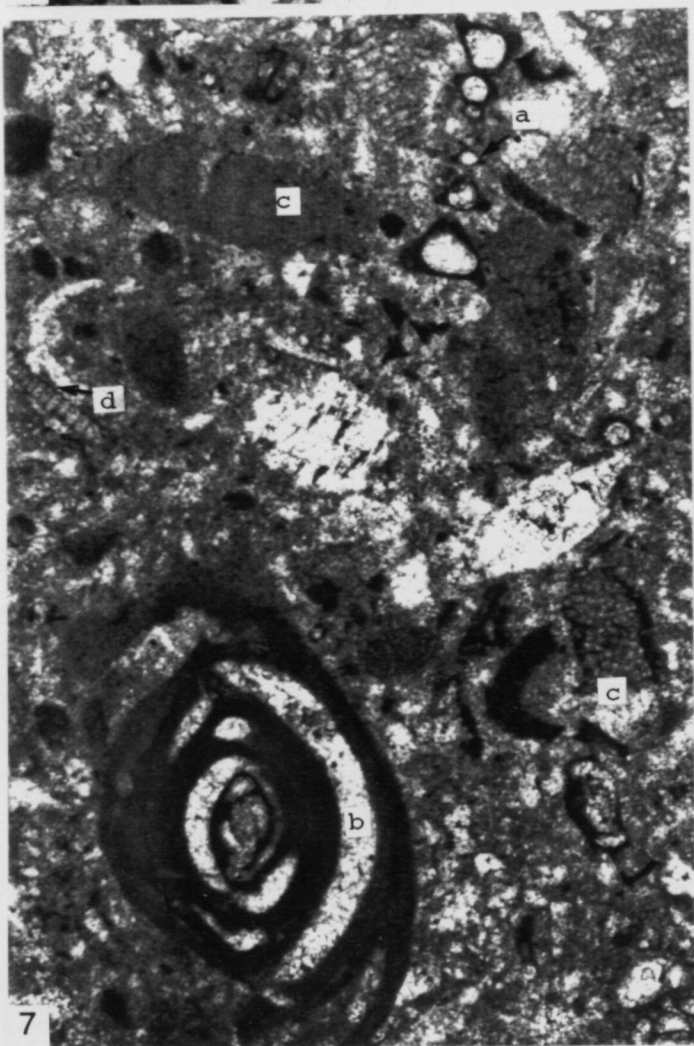
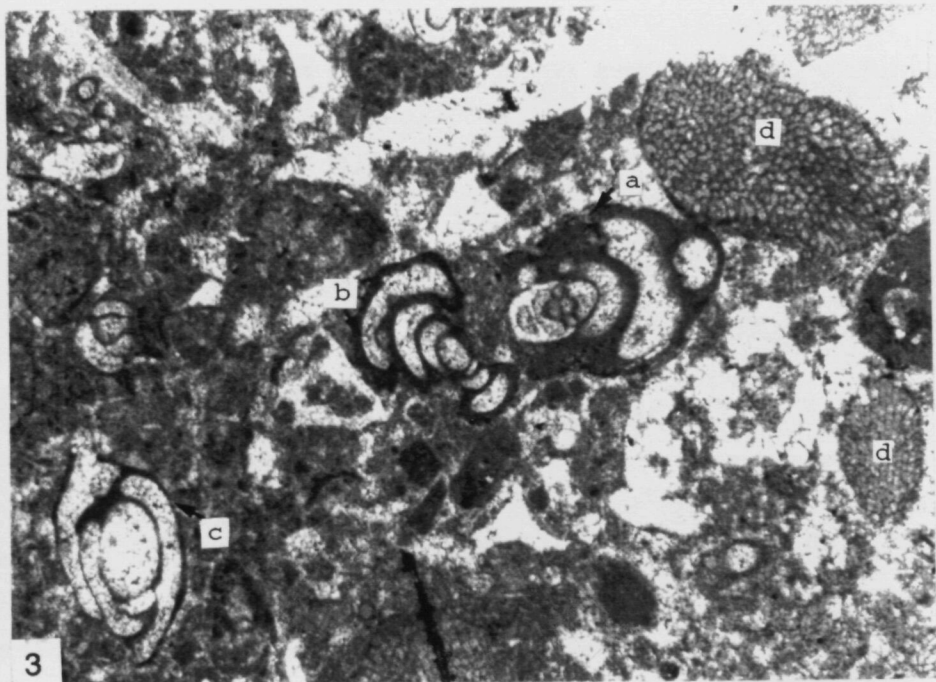
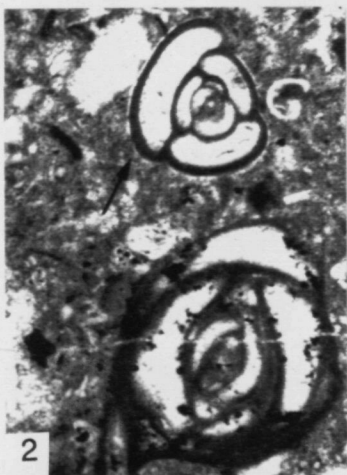
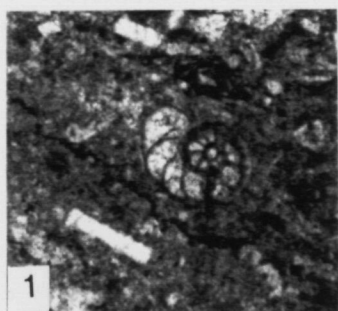
d.- Crosta prima de *Lithoporella* sp.

#### FIGURES 8, 9, 10 i 11 (x 50)

Ammodiscàids. Observi's el perfil no circular dels especimens 8 i 9, indicant un creixement al voltant d'un eix. Probables *Glomospirella* sp.

Els perfils el·líptics i quasi circulars dels especimens 10 i 11, podrien indicar una morfologia pseudosfèrica. Probables *Glomospira* sp.

LÀMINA XL



## LÀMINA XLI

### MICROFÀCIES A

#### FIGURA 1 (x 50)

Secció longitudinal de foraminífer aglutinat de creixement triseriat-uniseriat. Probable *Clavulina* sp.

#### FIGURES 2 i 3 (x 50)

Seccions perpendiculars a l'eix de creixement de *Valvulina* sp.

#### FIGURA 4 (x 50)

Secció longitudinal de Bolivinífid.

#### FIGURA 5 (x 50)

Secció de cibicíd. Observi's el creixement ràpid de les darreres càmares. Probable *Cibicides* ex gr. *lobatus*

#### FIGURA 6 (x 50)

Secció d'acervulínid

#### FIGURA 7 (x 50)

Secció axial d'asterigerínid. *Asterigerina* sp.

#### FIGURA 8 (x 50)

Acumulació d'algues vermelles coral.lines articulades epifítiques

a.- Secció longitudinal de *Jania* sp.

b.- Secció transversal de *Jania* sp.

c.- Secció transversal de dasciudadal

d.- Ammodiscàcid

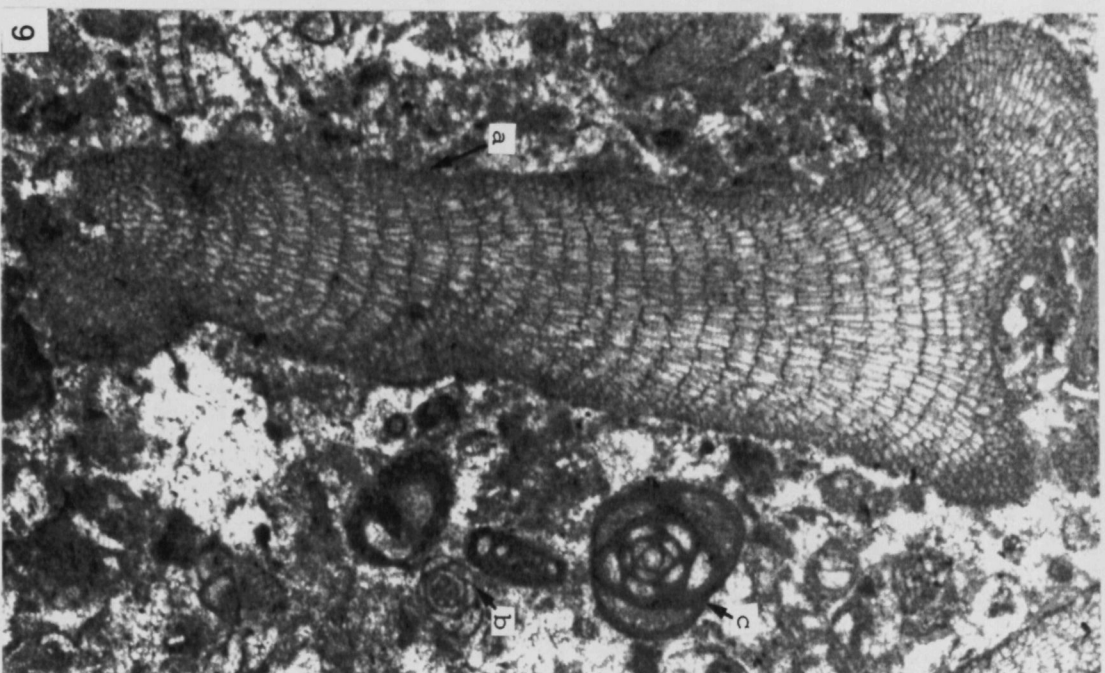
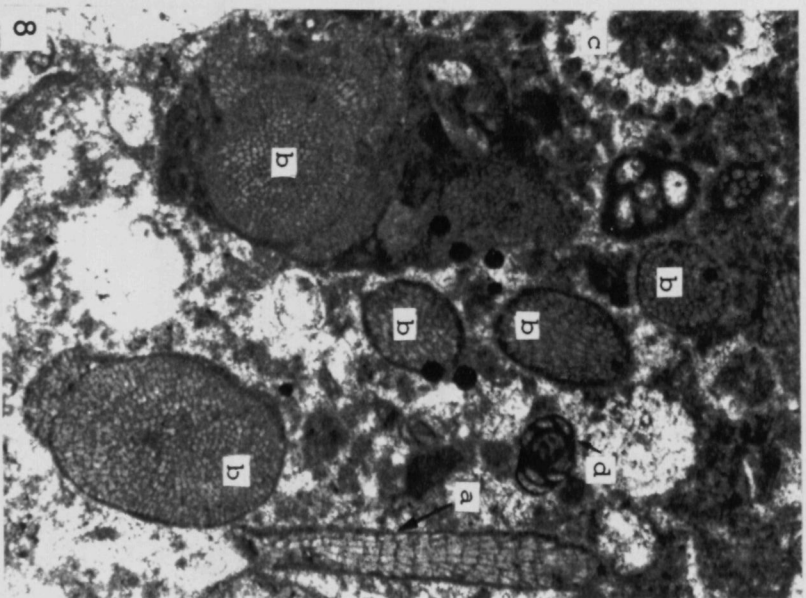
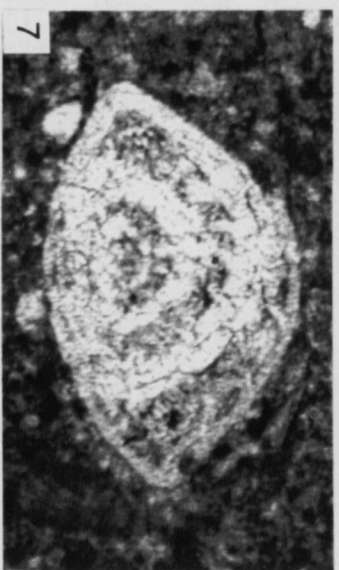
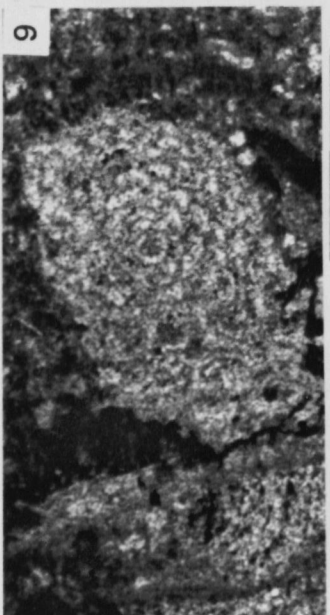
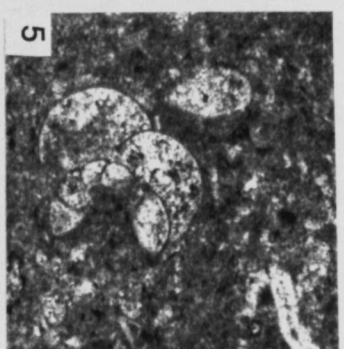
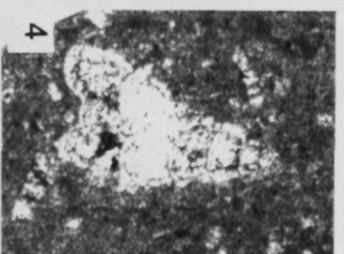
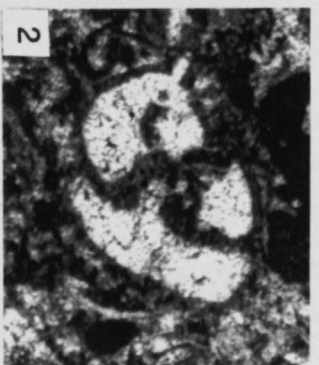
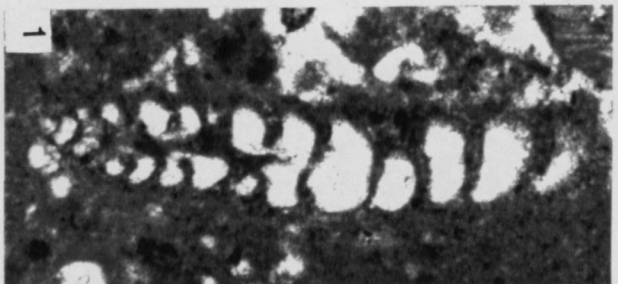
#### FIGURA 9 (x 50)

a.- Secció longitudinal de *Jania* sp., mostrant la típica forma prismàtica de les cel.les medulars i les línies irregulars que separen les successives fileres de cel.les. Observi's l'articulació dicotòmica del tàlus a la part esquerra superior

b.- Ammodiscàcid

c.- Miliòlid amb creixement tipus quinqueloculínid. Probable *Quinqueloculina* sp.

LÀMINA XI



## LÀMINA XLII

### MICROFÀCIES B

#### FIGURA 1.- (x 15)

Aspecte general de la microfàcies B. *Grainstone* de foraminífers aporcellanats i algues vermelles coral.lines.

- a.- Secció longitudinal de rhabdioníid.
- b.- Secció longitudinal oblíqua d'*Spirolina* sp.
- c.- Miliòlid quinqueloculíid. Probable *Quinqueloculina* sp.
- d.- Secció equatorial oblíqua de *Peneroplis* sp.
- e.- Dasciudadals
- f.- Restes de bivalvs
- g.- Briozous

#### FIGURA 2. (x 50)

Miliòlid biloculíid. Probable *Pyrgo* sp.

#### FIGURA 3 (x 50)

Miliòlid quinqueloculíid

#### FIGURA 4 (x 50)

- a.- Secció axial de *Praebullalveolina* sp. Observi's la subdivisió de la cambra en cambretes.
- b.- Secció subaxial d'*Orbitolites* sp.
- c.- Secció oblíqua de peneròplid. Probable *Spirolina* sp.

#### FIGURA 5 (x 50)

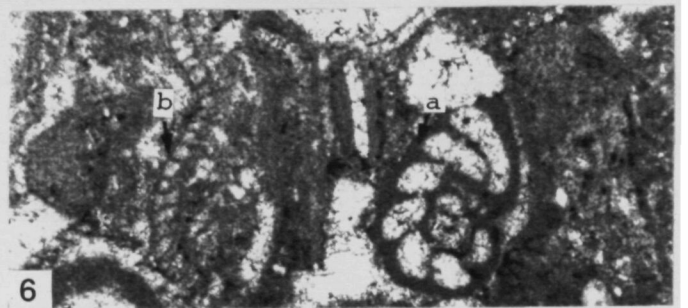
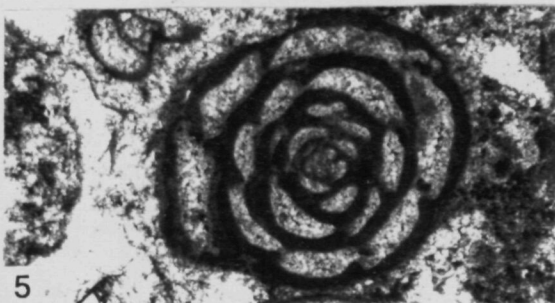
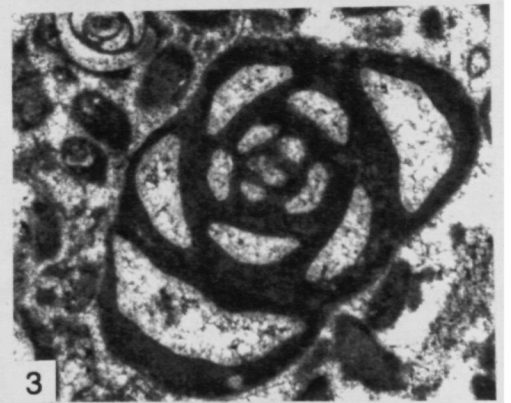
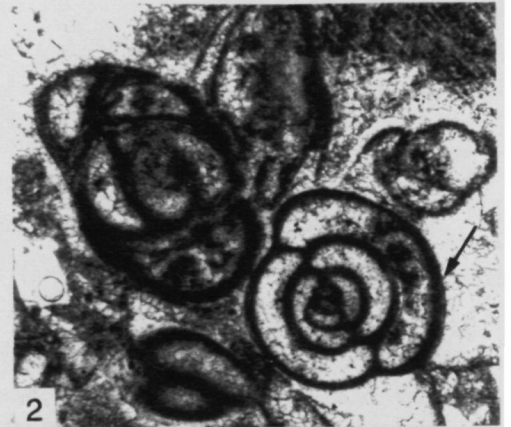
Secció equatorial de *Praebullalveolina* sp.

#### FIGURA 6 (x 50)

- a.- Secció equatorial lleugerament oblíqua de *Peneroplis ex gr. planatus*
- b.- Secció de *Lithoporella* sp. (alga vermella coral.lina incrustant)



LÀMINA XLII



## LÀMINA XLIII

### MICROFÀCIES B

#### FIGURA 1: (X 50)

- a.- Secció longitudinal d'*Spirolina* sp.
- b.- Litoclastos amb envoltes oolítiques
- c.- Pua d'equínid
- d.- Ostràcode amb envolta oolítica

#### FIGURA 2: (X 50)

- a.- Textulàrid biseriati (Probable *Textularia* sp.) amb envoltes oolítiques
- b.- Oòlit compost de morfologia irregular, format per un miliòlid i fragments no determinats
- c.- Fragments de bivalvs
- d.- Miliòlid
- e.- Secció transversal obliqua de *Jania* sp.

#### FIGURA 3: (X 50)

- a.- Secció longitudinal de dascicladal
- b.- Secció obliqua de dascicladal
- c.- Secció transversal de dascicladal
- d.- Oòide superficial envoltant litoclastos
- e.- *Lithoporella* sp. amb envoltes oolítiques
- f.- Miliòlid

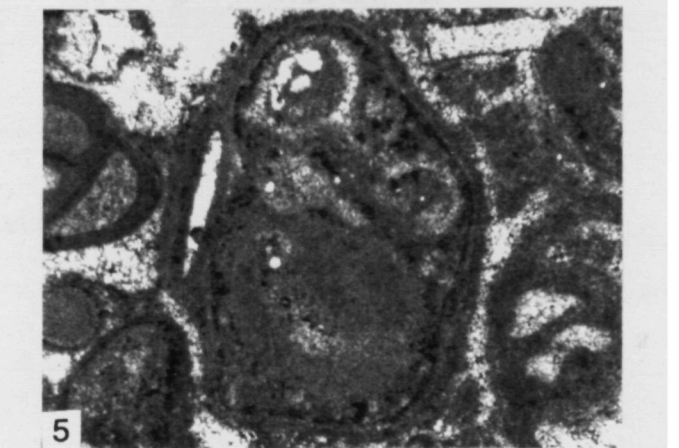
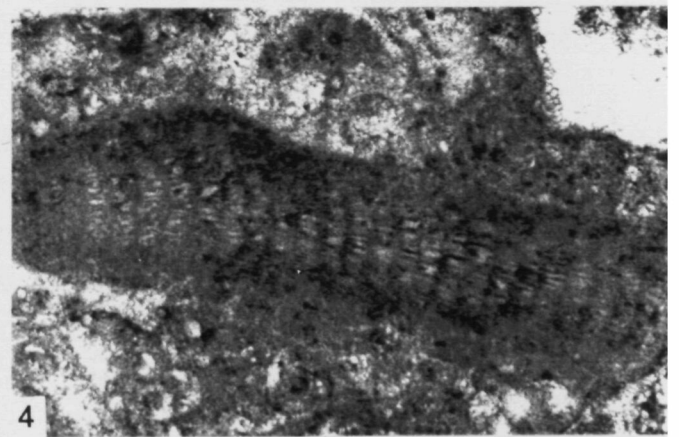
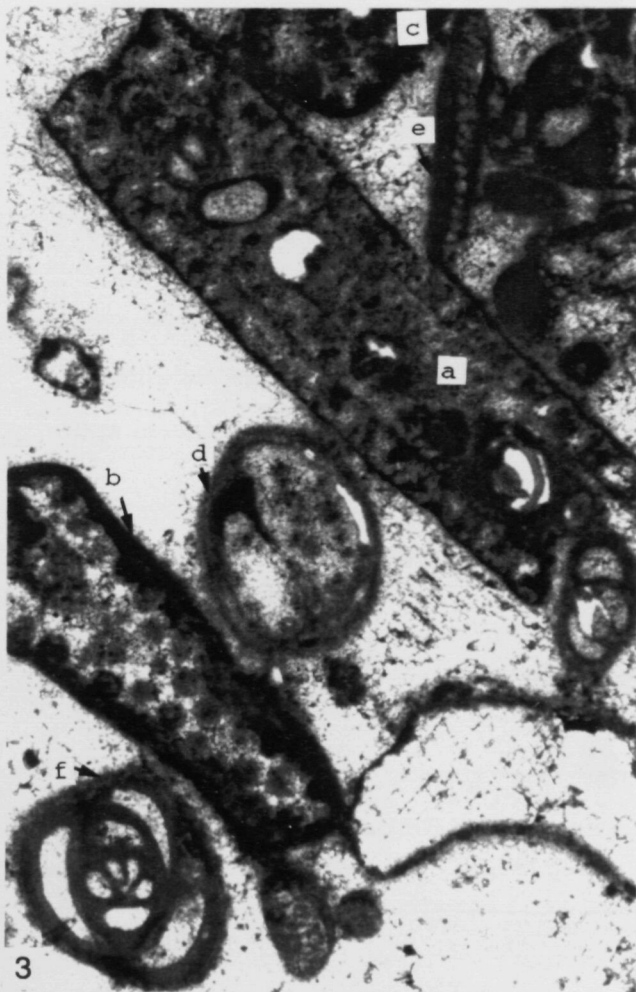
#### FIGURA 4: (X 50)

Secció longitudinal de l'alga epífita articulada *Jania* sp.

#### FIGURA 5: (X 50)

Oòide superficial compost, amb morfologia irregular

LÀMINA XLIII





**Microfàcies C: packstone d'algues vermelles coral.lines, bryozoous i foraminífers incrustants.**

Dins d'aquesta microfàcies diferenciem dues submicrofàcies:

#### **SUBMICROFÀCIES C1:**

Es tracta de cosos amb relleus positius de fins a un metre d'amplada i fins a 0.4 metres d'alçada en aflorament, i passa lateralment als estrats tabulars constituïts per la microfàcies A. Aquesta submicrofàcies és formada per *packstone* d'algues vermelles coral.lines, bryozoous i foraminífers, que incrusten litoclastos i bioclastos (coralls i bryozoous) dispersos en el sediment (Làm. XLIV, fig. 1). Localment s'observa com aquestes incrustacions generen rodòlits ben desenvolupats.

Les algues vermelles coral.lines predominants són les formes incrustants *Lithoporella* sp. (que incrusta coralls i litoclastos), *Tenarea* sp., *Melobesia* sp. i "Lithothamnium" i les formes articulades *Jania* sp. i *Corallina* sp. Les algues articulades i incrustants s'hi troben en igual proporció.

Hi ha abundants foraminífers incrustants com victorièl.lids (Làm. XLIV, fig. 2) i homotremàtids entre els de textura lamel.lar-perforada; i placopsilínids i coscinophragmínids entre els de textura aglutinada.

Respecte els foraminífers no incrustants, els més abundants són: valvulínids, ammodiscàcids (*Glomospira* sp. i *Glomospirella* sp.), fischerínids, petits foraminífers aporcellanats no determinats, bolivinítids, i asterigerínids.

En la matriu s'hi troben abundants gasteròpodes i bivalvs.

Aquesta microfàcies es presenta formant barres paral.leles a la línia de costa.

## SUBMICROFÀCIES C2:

Es tracta de cosos amb relleu positiu de fins a 1.3 metres d'alçada i 2 metres d'amplada en l'aflorament, que possiblement han estat accentuats per la compactació. Estan constituïts per *packstone* d'algues vermelles coral·lines incrustants (*Lithoporella* sp., *Tenarea* sp., "Lithothamnium" sp. i *Melobesia* sp.), tubs d'anèl·lids (Làm. XLIV, fig. 3; Làm. XLV, fig. 1), tubs de serpúlids, i briozous incrustants. El conjunt genera una fàbrica molt oberta.

És freqüent la presència de foraminífers incrustants similars als de la submicrofàcies anterior: placopsilínids i coscinophragmínids (Làm. XLV, figs. 2, 3, i 5) entre els de closca aglutinada, i homotremàtids (Làm. XLV, fig. 4) i victorièl·lids (Làm. XLV, figs. 6 i 7) entre els de closca lamel·lar-perforada. En la matriu s'hi troben miliòlids, peneròplids (*Spirolina* sp.), rhapydionínids, fischerínids, nubeculàrids (*Spiroloculina* sp.) i petits foraminífers aporcellanats no determinats. Com a components secundaris s'hi poden trobar també algues vermelles coral·lines articulades del gènere *Jania* sp. i *Corallina* sp.

Les principals diferències d'aquesta submicrofàcies C2 respecte la submicrofàcies anterior (C1) són que la C2 presenta relleus més accentuats, major abundància de components siliciclàstics, té escases algues coral·lines articulades (*Jania* sp., i *Corallina* sp.), presenta tubs d'anèl·lids i de serpúlids, i no conté rodòlits.

## LÀMINA XLIV

### SUBMICROFÀCIES C1:

Packstone format principalment per algues vermelles coral.lines, briozous i foraminífers, incrustant litoclastos i bioclastos.

#### FIGURA 1: (X 15). Fotografia d'una rèplica

Secció central d'un rodòlit format per algues coral.lines incrustants. El nucli està format per briozous incrustants. Observi's els receptacles en l'alga vermella coral.lina incrustant

#### FIGURA 2: ( X 50)

Victorièl·lid mostrant el creixement rotaloide i la textura de la paret lamel.lar-perforada. Observi's la gran abundància de components siliciclàstics en la part superior dreta de la fotografia.

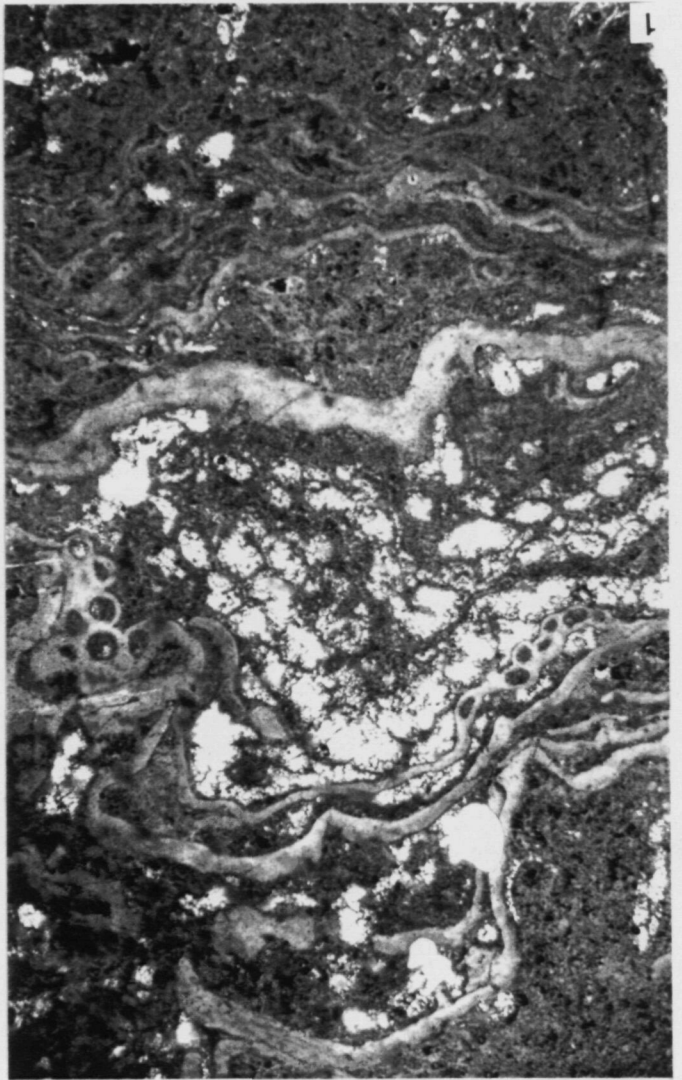
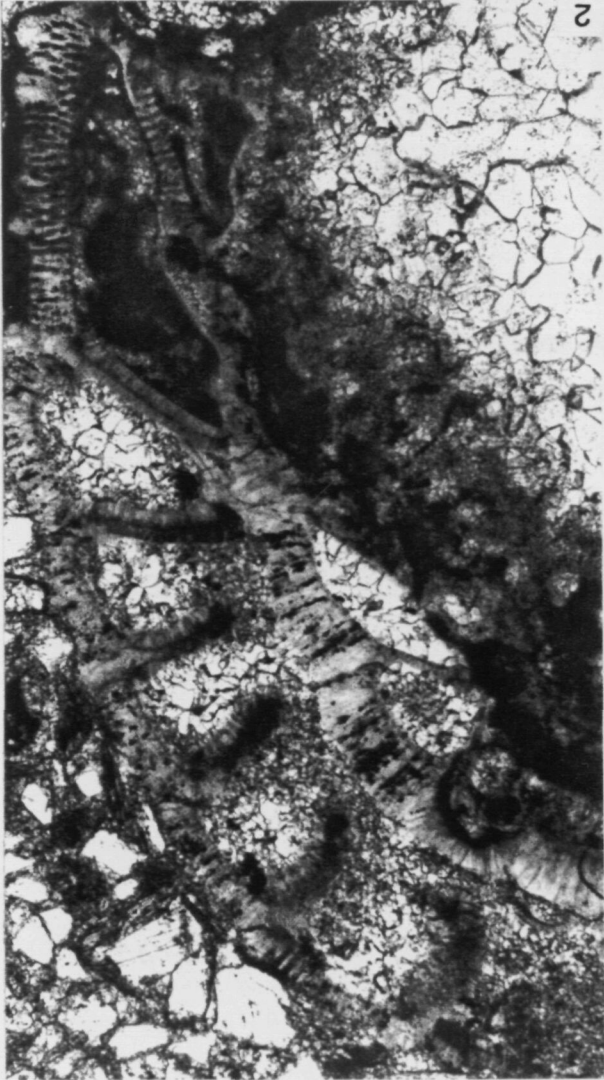
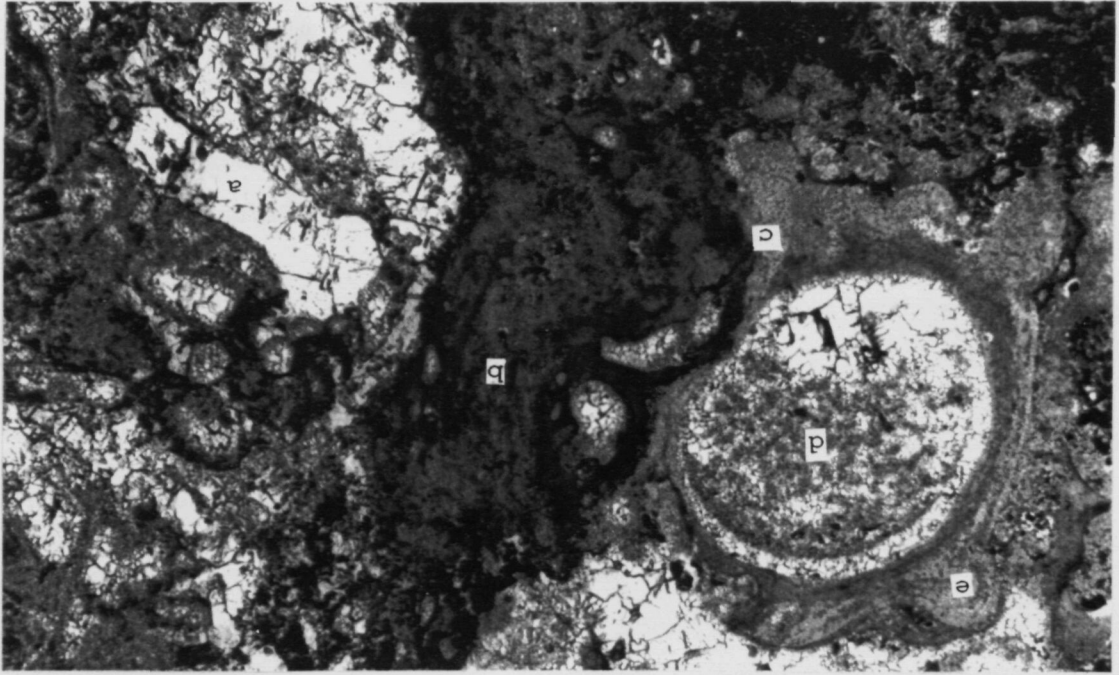
### SUBMICROFÀCIES C2

*Packstone* format per algues vermelles coral.lines incrustants i foraminífers incrustants, amb abundant components siliciclàstics. La fàbrica d'aquesta microfàcies és molt oberta.

#### FIGURA 3: (X 50). Fotografia d'una rèplica

La fotografia mostra un fragment de corall (a) incrustat per algues vermelles coral.lines (b), amb foraminífers incrustants de textura aglutinada (c). El conjunt està incrustat per tubs d'anèl.lids (*Ditrupea* sp.)(d).

Observi's les dues làmines ben diferenciades del tub (d), i com aquest, està incrustat per un tipus diferent d'algues vermelles coral.lines incrustants (e).



## LÀMINA XLV:

### SUBMICROFÀCIES C2:

#### FIGURA 1: ( x 15)

Visió general de la submicrofàcies C2. Observi's la distribució complexa dels diferents organismes incrustants.

L'alga vermella coral.lina incrustant és *Lithoporella* sp. (a). Aquesta alga origina una fàbrica molt oberta, i les cavitats són ocupades per tubs d'anèl.lids, *Ditrupa* sp. (b). Una alga vermella coral.lina diferent (c), es troba incrustant una estructura actualment reblerta amb estructura geopetal.

Observi's els tres tipus diferents de rebliments geopetals en la part inferior dreta de la fotografia. El primer tipus, és calcita micrítica amb components fossilífers no identificats, el segon tipus és micrita peloïdal, i el tercer tipus és calcita esparítica.

#### FIGURA 2: (x 33)

Foraminífer incrustant aglutinat groller amb una paret interna micrítica. Probable coscinophragmínid.

#### FIGURA 3: (x 33)

Foraminífer incrustant aglutinat groller: *Haddonina* sp.

#### FIGURA 4: (x 33)

Foraminífer incrustant de textura lamel.lar-perforada: homotremàtid, probable *Miniacina* sp. incrustant un corall.

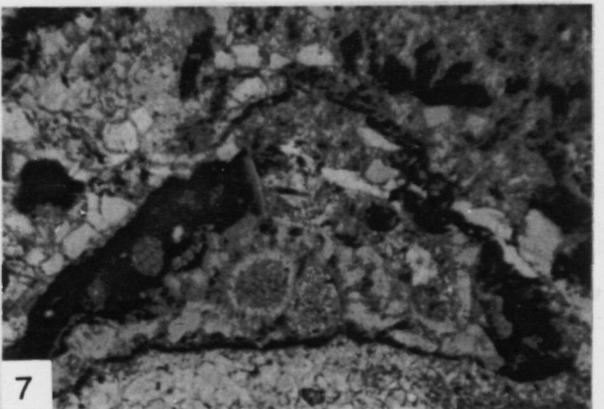
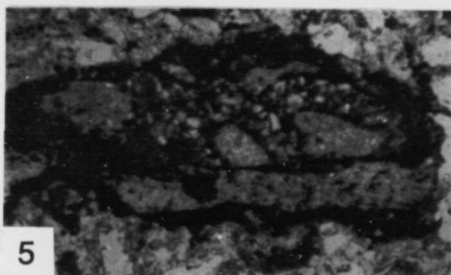
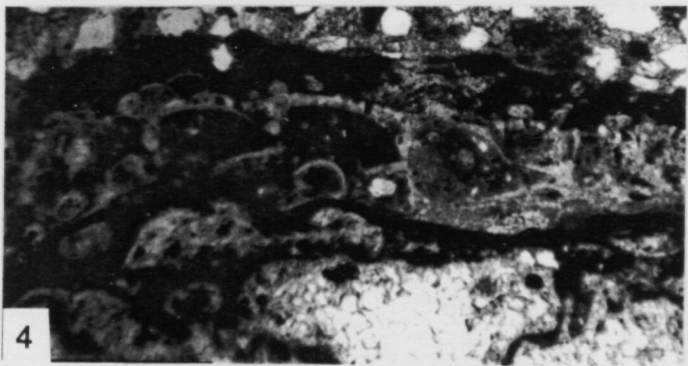
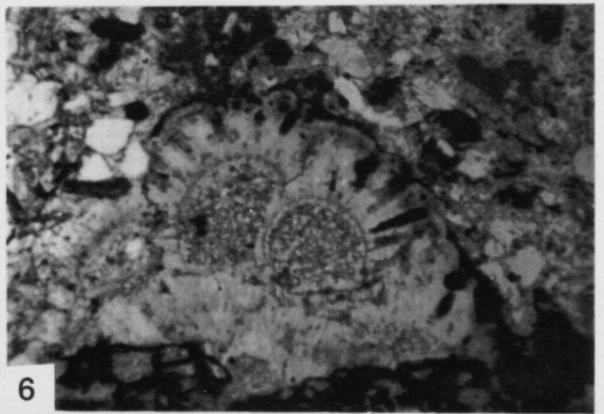
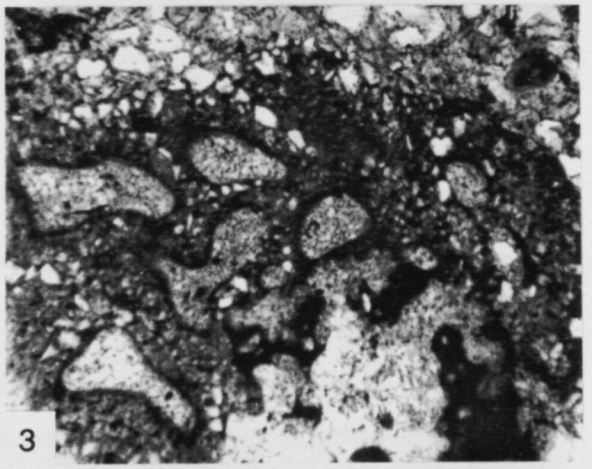
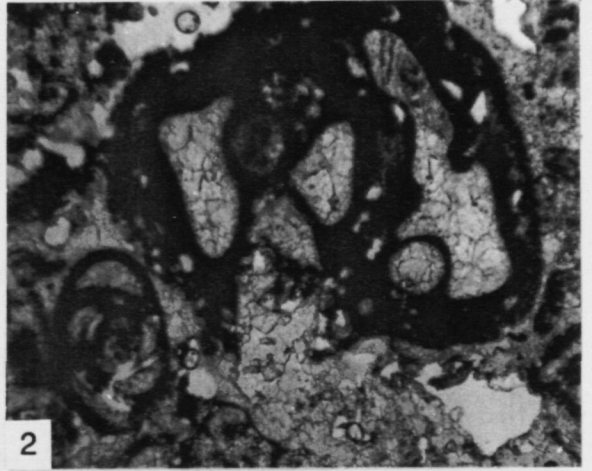
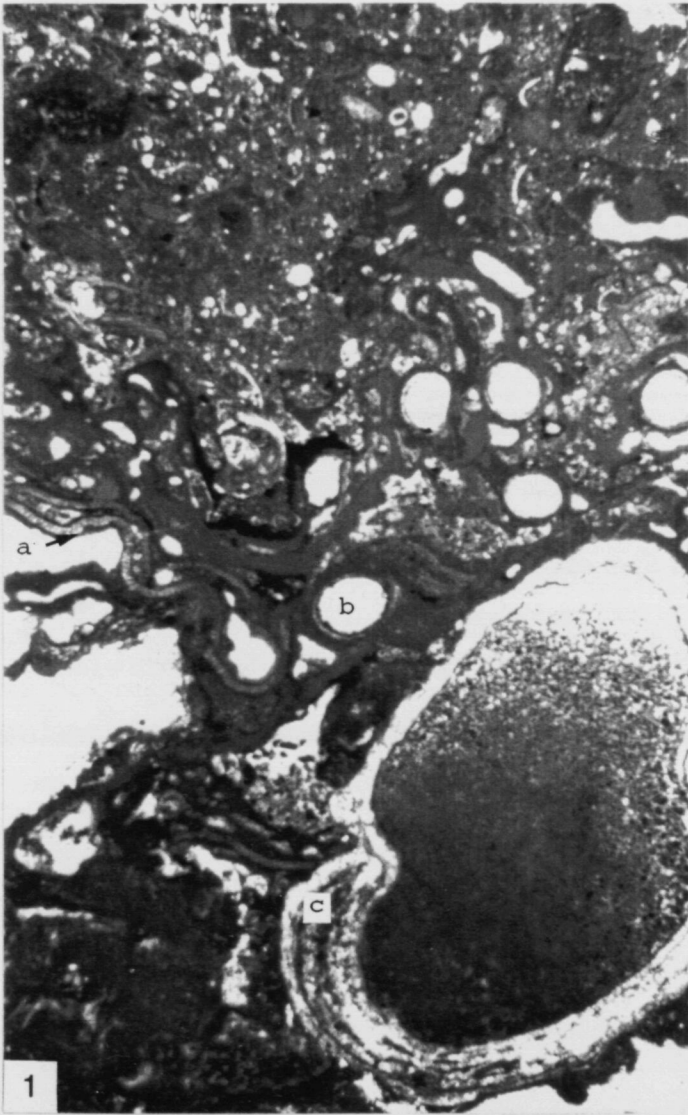
#### FIGURA 5: (x 33)

Foraminífer incrustant aglutinat groller: placopsilínid. Observi's la sutura entre càmares, marcada per l'alineació dels grans siliciclàstics. Probable *Placopsilina* sp.

#### FIGURES 6 i 7: (x 33)

Foraminífers incrustants de textura lamel.lar-perforada: victorièllids. Observi's el creixement trocospiral. Probable *Carpenteria* sp.

LÀMINA XLV



### Microfàcies D: alternança de *grainstone* de foraminífers aporcellanats i laminacions cianobacterianes

Aquesta microfàcies és de distribució discontinua. Es situa per sobre dels cosos formats per la microfàcies B i envoltant als que estan constituïts per la submicrofàcies C2 i la microfàcies E.

Nivells, amb un gruix entre 5 i 8 mm, formats per *grainstone* de bioclastos, alternen amb intervals laminats, d'una gruixària d'entre 1 i 2 mm, formats per laminacions cianobacterianes (Làm. XLVI, fig. 1).

El *grainstone* conté peloides, foraminífers aporcellanats com rhapsydionínids, *Spirolina* sp. (Làm. XLVI, fig. 2), *Peneroplis* sp., petits aporcellanats no determinats, foraminífers aglutinats (textularíds), restes d'equínids, briozous de tipus vinculariforme, ostràcodes, bivalvs, gasteròpodes de petites dimensions, dascicladals (Làm. XLVI, fig. 3) i algues vermelles coral.lines.

Les algues vermelles coral.lines es troben fragmentades i pertanyen a les formes incrustants *Lithoporella* sp. i *Tenarea* sp. (Làm. XLVI, fig. 4), i a l'articulada *Jania* sp. (Làm. XLVI, fig. 4). Molts dels bioclastos presenten envoltes tipus *coated grains* poc desenvolupades (Làm. XLVI, fig. 5).

Els intervals de laminacions cianobacterianes presenten diferents textures. La base i el sostre de cada interval està format per laminacions molt contínues, amb la textura típica dels tapissos de cianobacteris, mentre que la zona central o intermèdia està formada per peloides entre microsparita. Dins dels intervals laminats es troben esporàdicament ostràcodes sense ornamentació i de closca fina, i petits foraminífers aporcellanats. Hi ha també, estructures fenestrals, típiques dels tapissos microbians.

### **Microfàcies E: laminacions de micrita i microsparita.**

Es tracta d'una alternança mil·limètrica de làmines de micrita fosques i làmines de microsparita clares. El conjunt és molt pobre en fauna, només s'hi ha reconegut la presència esporàdica de discòrbids, petits foraminífers aporcellanats, nubeculàrids i ostràcodes sense ornamentació i de closca fina. Hi són molt abundants les estructures fenestrals (Làm. XLVII, fig.1).

Els cosos que contenen aquesta microfàcies es localitzen a les parts elevades de les barres més proximals.

### **Microfàcies F: *mudstone* biotorbat**

Es tracta d'estrats de potència molt variable que oscil·len des de vint centímetres, en les parts altes de les barres, fins als pocs mil·límetres en les zones més deprimides. Es localitzen recobrint tots els cosos descrits fins ara.

Ocasionalment s'hi ha reconegut la presència de foraminífers com peneròplids (*Peneroplis* sp., *Spirolina* sp.), nubeculàrids, petits foraminífers aporcellanats no determinats, i textulàrids, a més a més ostràcodes de closca fina sense ornamentació, i dascicladals.

En la zona més alta de les barres és característica la presència de dos tipus de biotorbació produïda per organismes de cos tou. El primer tipus, que es caracteritza per tenir una envolta constituïda per lime-mudstone, dona lloc a morfologies arrodonides en què els diàmetres dels tubs oscil·len entre 250 i 300 µm; el segon tipus, d'aspecte més irregular, destrueix parcialment el primer i presenta dimensions al voltant del mil·límetre (Làm. XLVII, fig. 2).