

Modelo paleoambiental de la Formación La Flecha (Cámbrico superior) en el área de Jáchal, Provincia de San Juan

Claudia ARMELLA¹, Nora CABALERI^{1,2} y Susana VALENCIO³

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Museo Argentino de Ciencias Naturales
"B. Rivadavia". Av. Angel Gallardo 470, 1405 Buenos Aires, Argentina

²Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad
de Buenos Aires, Pabellón II, Ciudad Universitaria, 1428 Buenos Aires, Argentina

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Instituto de Geocronología y Geología Isotópica,
Pabellón INGEIS, Ciudad Universitaria, 1428 Buenos Aires, Argentina

ABSTRACT: *Paleoenvironmental model of La Flecha Formation (Upper Cambrian) from Jáchal region, San Juan province.* La Flecha Formation (Upper Cambrian) in Precordillera Central is composed of microbiolitic buildups, with a shallowing upward tendency. This paper includes the study of mega, meso and microstructure of thrombolites and stromatolites and the microfacial analysis of the muddy sequence. The following microbiolitic facies were recognized: F1: stratiform and domal stroms, with low synoptic relief, F2: stratiform thrombolites, F3: stratiform-domal thrombolites with low synoptic relief, F4: inverted cone-shaped thrombolites and F5: domal thrombolites. The associated muddy microfacies are represented by: MF6: mudstone with microbial lamination and fenestral fabric, MF7: mudstone with grumous microstructure, MF8: bioturbated mudstone and MF9: floatstone, related to storms. The depositional model of this sequence was interpreted as a carbonatic platform with a complex of non-emergent microbialitic mounds and ponds with restricted circulation.

Introducción

La Formación La Flecha (Cámbrico superior) aflora en la Precordillera y está constituida por depósitos carbonáticos con un estilo de sedimentación microbialítico, que muestra un excepcional desarrollo de trombolitos y estromatolitos.

El objetivo de este trabajo comprende la descripción e interpretación de las facies microbialíticas y de las microfacies asociadas, en los perfiles expuestos en los cerros La Silla y Viejo de San Roque (localidad de Agua Negra) en las proximidades de Jáchal, en la Precordillera Central sanjuanina (Fig. 1). El análisis define un modelo depositacional comparable al interpretado por Armella (1994) para la Formación La Flecha en la Precordillera Oriental.

Los antecedentes referentes a estructuras microbialíticas en esta zona son escasos (Armella 1989 a, 1989b, 1989c; Cañas 1990). Baldi *et al.* (1981) nominaron Formación San Roque a la sucesión aflorante en la Precordillera Central y consideraron a esta unidad como una variación septentrional de la Formación La Flecha, aflorante en la Precordillera Oriental. Pereyra (1985, 1986) hizo el estudio estratigráfico e interpretación paleoambiental de las acumulaciones microbialíticas, en la localidad de cerros Agua Negra en el Departamento de Jáchal. Armella y Cabaleri

(1992) interpretaron y tipificaron cuatro ciclos somerizantes representativos de la unidad en ese perfil.

Las autoras consideran necesario reemplazar el término Formación San Roque en la Precordillera, ya que esta nominación fue asignada por Baldoni (1937) y posteriormente formalizada por Flores (1969), para las sedimentitas rojas de edad terciaria de la Sierra de San Luis, ubicadas en la zona central del departamento Capital de la Provincia de San Luis. En el presente trabajo las autoras coinciden con Keller *et al.* (1994) en considerar a esta sucesión carbonática como Formación La Flecha, teniendo en cuenta las notables similitudes biosedimentarias que existen entre los depósitos de la Precordillera Central y Oriental, además de las características paleoambientales y sus relaciones estratigráficas.

Las sucesiones estudiadas, de aproximadamente 300 m de espesor en el cerro La Silla y 500 m de espesor en el cerro Viejo San Roque, presentan escasos restos faunísticos reconocibles. Pereyra (1986) menciona fragmentos mal conservados de gastrópodos y trilobites provenientes del cerro Viejo San Roque, posteriormente Vaccari (1994) encontró una variada fauna de trilobites, indicativos de edad franconiana a trempeleauana tardía (Zona de Saukia) en la quebrada de La Flecha y de edad dresbachiana (Zona de

Crepicephalus) en las secciones de Guandacol (Provincia de La Rioja).

La Formación La Flecha sobreyace en contacto por falla a la Formación Zonda, sin contenido faunístico y cuyas características fueron analizadas en el cerro La Silla por Armella *et al.* (1995). Los niveles superiores de la Formación La Flecha pasan gradualmente a la Formación La Silla, mostrando un marcado decrecimiento de la tendencia a formar ciclos.

Metodología

La unidad estudiada está integrada por ciclos microbialíticos en sucesiones suavemente somerizantes, las cuales fueron analizadas mediante microperfiles de detalle. El análisis y descripción de las micro, meso y megaestructuras de trombolitos y estromatolitos, fue realizado de acuerdo con los esquemas de Hofmann (1969, 1973), Preiss (1972, 1976), Walter (1972), Grey (1989), Grey *et al.* (1990) y Armella (1990).

Las microfacies fangosas asociadas fueron estudiadas según el criterio de Flügel (1982), aplicable a bancos conspicuos de rocas carbonáticas, diferenciados por sus características litológicas, texturales, de fábrica y respuesta diferencial al ataque de ácido clorhídrico diluido al 10% y tinción con Alizarina S roja. Las muestras se extrajeron orientadas con respecto al techo de los niveles.

Las rocas fueron clasificadas de acuerdo a Dunham (1962) y Embry y Klovan (1972). Para el reconocimiento e interpretación de los elementos composicionales se tuvieron en cuenta los conceptos de

Folk (1959, 1962), Elf-Aquitaine (1977), Flügel (1982) y Strasser (1986) y para la descripción textural a Flügel (1982). Las microfacies se establecieron sobre la base de los criterios de Flügel (1982) y Wilson (1986).

Facies microbialíticas

El término "microbialita" fue definido por Burne y Moore (1987) para designar a depósitos organosedimentarios, entre los que se encuentran estromatolitos y trombolitos, generados por la actividad de comunidades microbianas bentónicas (CMB), que capturan las partículas sedimentarias o bien promueven la biomineralización de sus tejidos orgánicos. Se entiende por "microbio" a todo organismo microscópico y entre los principales constructores de estructuras se encuentran bacterias, cianobacterias y algas (Riding 1991).

La Formación La Flecha provee un excelente ejemplo de biosedimentación formada por ciclos (Fig. 2 y 3) con notable predominio de trombolitos con respecto a estromatolitos en un patrón con tendencia somerizante. Se definieron cinco facies microbialíticas que gradan entre sí y que exhiben frecuentes cambios locales y variaciones laterales.

F1: Facies de estromatolitos planos y domales de bajo relieve sinóptico (Figs. 5:a y 6:a), en niveles de aproximadamente 0,50 m de espesor. Predominan los de laminación plana y continua con perfil crenulado. Le siguen en orden de abundancia los de laminación discontinua y perfil ondulado, los pseudocolumnares y la asociación de estromatolitos planos con oncolitos.

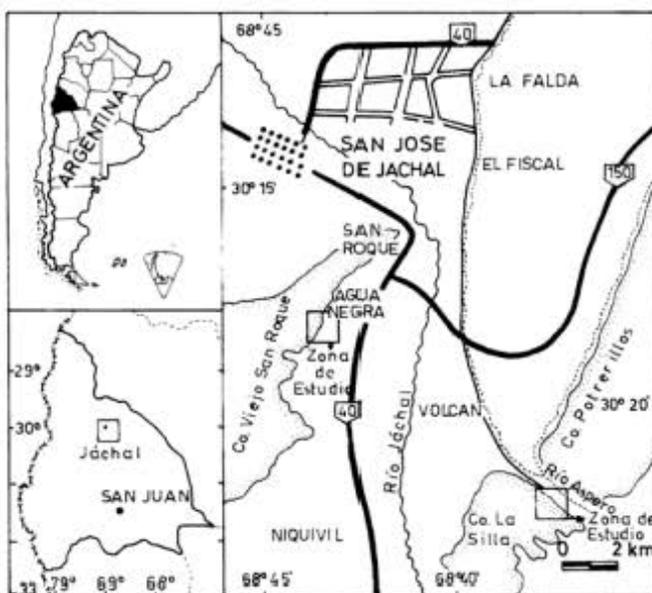


Figura 1: Mapa de ubicación.

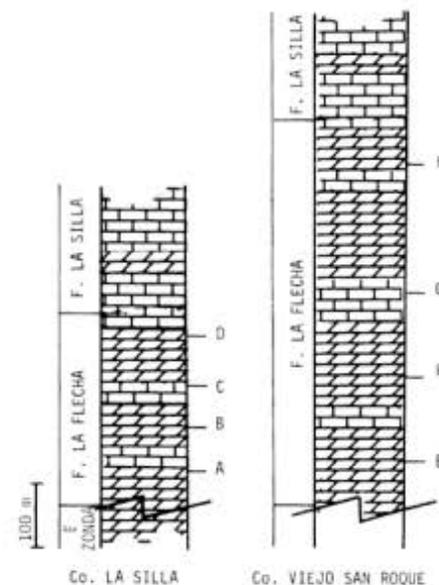


Figura 2: Columnas litoestratigráficas de la Formación La Flecha en las localidades de cerro La Silla y cerro Viejo San Roque. Los ciclos carbonáticos A-H se grafican en detalle en la Fig. 3.

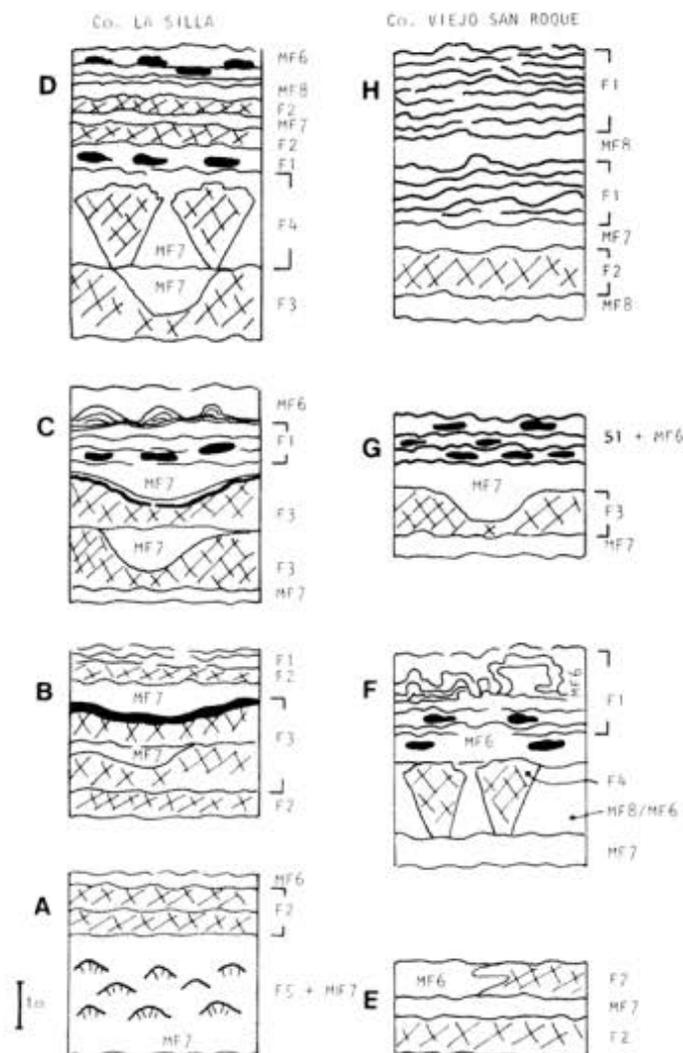


Figura 3: Detalle de los ciclos representativos de la Formación La Flecha en el cerro La Silla y cerro Viejo San Roque.

Los primeros desarrollan una acreción en cuplas, paralela y regular, constituida por láminas micríticas de color gris castaño, que no superan los 0,50 cm, con textura gruesa-peloidal y cubiertas por una película micrítica más oscura. Estas láminas alternan con otras de color castaño claro, de 0,2 a 0,5 mm de espesor, de aspecto macizo a grueso, con frecuentes intercalaciones de esparita blanca. En el conjunto de láminas se identifican niveles esporádicos, de aproximadamente 1,50 cm, compuestos por fragmentos estromatolíticos. Se observan también escasas láminas afectadas por bioturbación.

Aparece además otro tipo de estromatolitos planos, con laminación discontinua, perfil suavemente ondulado y en los cuales, a diferencia del caso anterior, el patrón de acreción no forma cuplas, sino que está definido por la sucesión de un mismo tipo de lámina (de

1 a 2 cm), con variación vertical de su textura. En la base cada unidad es peloidal-vermiforme, graduando a gruesa en el techo. Las láminas culminan con fábrica fenestral y superficie oxidada, frecuentemente asociadas a estructuras *tepees* que aparecen como pseudo plegamientos de las láminas del tipo *chevrons* (Wilson 1986; Flügel 1982).

Con menor frecuencia aparecen estromatolitos planos caracterizados por una laminación fina con nódulos y niveles de chert, que evolucionan a estromatolitos pseudocolumnares y acumulados (*"cumulates"* sensu Preiss 1972, 1976 y Walter 1972). Estos gradan hacia arriba a domos subhemisféricos de bajo relieve sinóptico (70 cm de base y 30 cm de altura), con bajo grado de herencia del substrato. Se presentan lateralmente unidos a estromatolitos nodulares, con un grado de espaciamiento cercano (Preiss 1976). El tipo de acreción es paralelo y en el caso de los nodulares es envolvente. La laminación está definida por la repetición de un conjunto de láminas de micrita gruesa (1 mm), de chert negro (0,5 mm) y de esparita muy sucia (1,5 mm). Macroscópicamente este patrón se manifiesta como una alternancia de láminas castaño claro y oscuro, de 0,5 cm de espesor, que culminan frecuentemente con un reborde arcilloso. Se registran niveles que muestran acuñamiento de los *sets* de láminas.

Se identificaron estromatolitos con laminación encapsulada (Walter 1972) u oncolitos, también llamados cianoides (Riding 1983, 1991) interestratificados con estromatolitos planos de laminación continua, como así también con *mudstone* con laminación microbialítica (microfacies MF6). Estas formas son elipsoidales, de 20 x 15 cm, con actitud horizontal de su eje mayor. Presentan laminación concéntrica de aproximadamente 1 cm de espesor, compuesta por chert negro y castaño, con núcleos macizos de la misma composición. El patrón de crecimiento es asimétrico, siendo más delgadas las láminas inferiores. Algunos oncolitos están unidos por sus láminas exteriores formando rosarios en niveles que pueden gradar lateralmente a estromatolitos planos de chert negro y castaño.

Ambiente: La extensión lateral de los estromatolitos, la asociación con estructuras *tepee*, fábricas fenestrales y la alternancia con niveles tempestíficos y de remoción del substrato biogénico, sugieren ambiente de planicie intermareal somera-perimareal. El mismo estuvo afectado por un oleaje poco intenso, tal como lo indica el bajo relieve de los estromatolitos, la asimetría vertical y coalescencia lateral de los oncolitos. Si bien esporádicamente estuvo afectado por episodios de incremento de energía, posiblemente vinculados con tormentas.

F2: Facies de trombolitos estratiformes o tabulares (Figs. 5:b,c y 6:b). Estas microbialitas predominan netamente en la sucesión y forman extensos biostromas de aproximadamente 1,50 m de espesor,

aunque en la base del perfil superan los 3 metros. Es muy común observar que un conjunto de dos o más trombolitos apoyan directamente uno sobre el otro.

Las mesoestructuras más comunes son encefálica, horizontal y gradaciones de base a techo de encefálica a vertical. Las fábricas o mesoestructuras están compuestas por tromboideos ameboidales, postrados, parcialmente interconectados y digitados anastomosados (Fig. 4b). Los tromboideos son micríticos, ricos en materia orgánica y materiales arcillosos, con superficie lisa y silíceos-micríticos, con superficie rugosa. La textura es grumosa-peloidal, aunque también se registraron tromboideos macizos.

El material ligante de los tromboideos es fango micrítico grumoso. En algunos casos, como consecuencia de la interferencia entre los peloides microbianos calcificados, se observan cavidades protegidas, rellenas con cemento esparítico. Se identificaron venillas verticales rellenas con esparita.

Ambiente: La fábrica encefálica indica un crecimiento uniforme e isótropo de las comunidades de cocoides y cianobacterias, frecuentemente en facies submareal somera. El incremento en la anisotropía, en este caso la gradación de la fábrica encefálica a vertical, señala un crecimiento más puntual de las comunidades microbianas, probablemente como respuesta al fototropismo en facies submareales con aguas más pandas (Armella 1994).

Se observan estructuras debidas a escape de gas por descomposición de la materia orgánica (Kennard 1994), que se manifiestan como venillas verticales rellenas con esparita blanca.

La asociación de fábricas y la morfología de los cuerpos sugiere ambiente submareal somero-intermareal inferior (Armella 1994).

F3: Facies de trombolitos estratiformes-domales de bajo relieve sinóptico, que forman biostromas de aproximadamente 2 m de espesor (Figs. 5:d y 6:d). Son más conspicuos en los últimos 25 metros de la secuencia.

Presentan características muy similares a los trombolitos estratiformes, pero se diferencian de ellos en su techo convexo, formando domos de 0,50 a 1 m de relieve sinóptico, entre los que se depositó fango micrítico, con microestructura grumosa. La fábrica es encefálica, aunque se observaron escasos ejemplares con mesoestructura horizontal y vertical. Los tromboideos son ameboidales y lobulados de micrita grumosa y peloidal y escasamente de chert peloidal con micrita.

Se hallan asociados a los trombolitos tabulares y es frecuente que apoyen directamente sobre ellos, o que graden lateralmente a esta megaestructura.

Ambiente: Los trombolitos estratiformes-domales, asociados a fango micrítico (MF7), frecuentemente bandeado, como relleno entre los domos, se habrían formado en ambiente submareal de baja profundidad y debajo del tren de olas.

F4: Facies de trombolitos en forma de cono invertido (Armella 1994). Los trombolitos cónicos o en abanico (Armella 1990) crecieron a partir de una base roma de 0,50 m y alcanzan una altura y un ancho máximo de aproximadamente 2 metros. Presentan fábrica radial y en menor proporción encefálica, compuestas por tromboideos digitados y ameboidales, parcialmente interconectados, de micrita y chert negro (Fig. 4a). El espaciado entre los cuerpos es próximo (Preiss 1976) y frecuentemente muestran coalescencia de los techos, suavemente convexos.

Ambiente: El patrón divergente de crecimiento y de su fábrica fue favorecido por una muy baja tasa de sedimentación entre los trombolitos (Armella 1994) en un medio submareal protegido de la acción del oleaje y de corrientes.

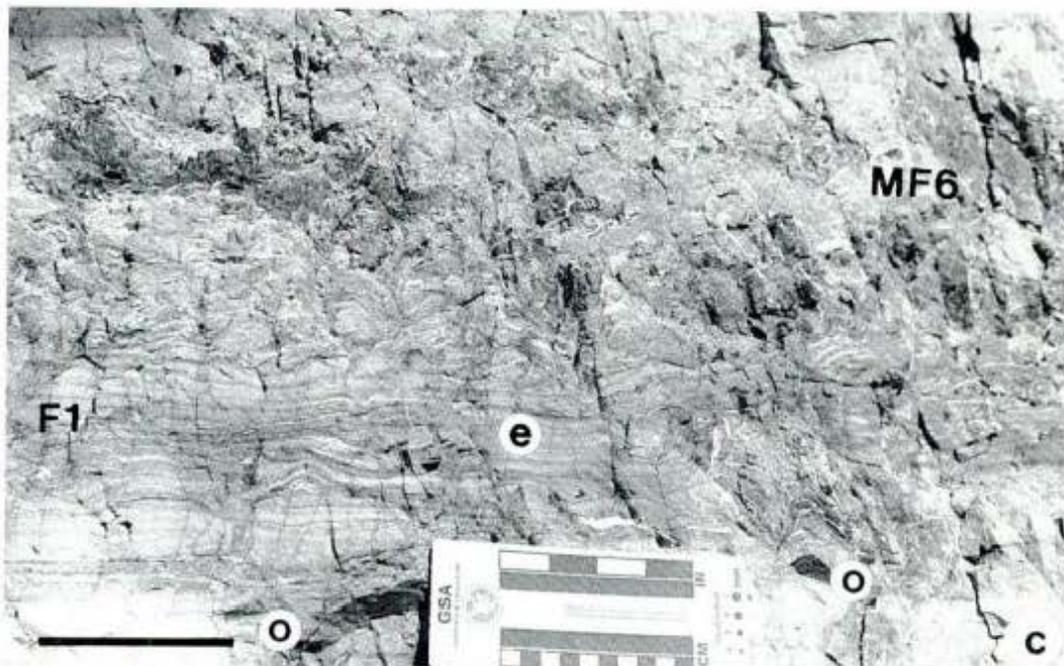
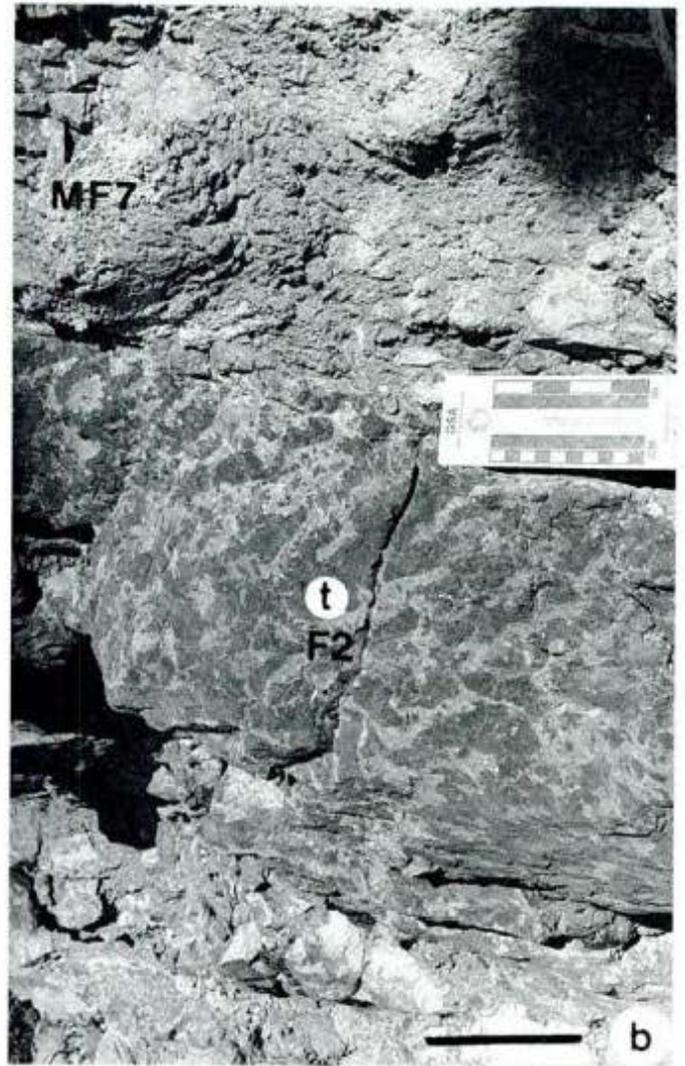
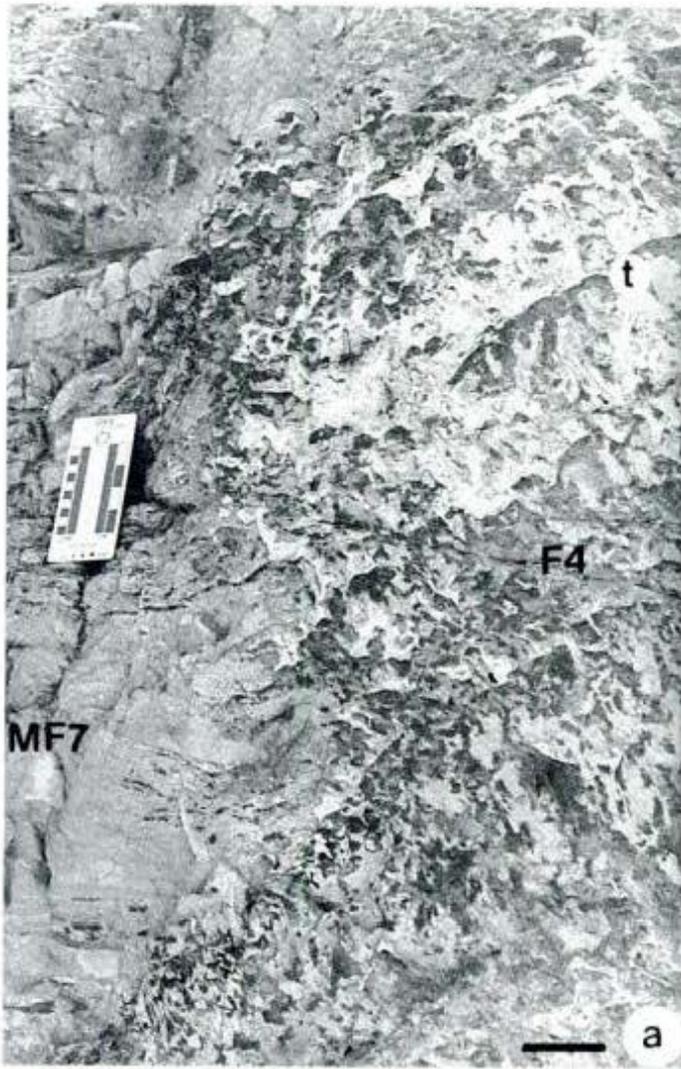
F5: Facies de trombolitos domales (Fig. 5:e). Estos cuerpos se registraron solamente en la base de la secuencia y aparecen como domos sub-hemisféricos de base plana y 0,30 m de relieve, dispersos en un mudstone con microestructura grumosa (MF7). Las fábricas son verticales y radiales, compuestas por tromboideos digitados y ameboidales, de chert y micrita, parcialmente interconectados.

Ambiente: La presencia de cuerpos domales pequeños, aislados, asociados con fangos micríticos y con crecimiento de las comunidades microbianas formando diseños delicados y de trama abierta, sugiere ambiente submareal protegido de la circulación del agua, con condiciones menos favorables para el desarrollo de la materia orgánica y algo más profundo que la F4.

Microfacies asociadas a estromatolitos y trombolitos

Las microfacies vinculadas a los cuerpos trombolítico-estromatolíticos se presentan interdigitadas con las construcciones microbialíticas o como rellenos, o bien formando bancos de varios metros de

Figura 4: a) Detalle del contacto entre la MF7 y el flanco de un trombolito en forma de cono invertido (F4). La fábrica es encefálica compuesta por tromboideos (t) ameboidales de micrita y chert, parcialmente interconectados. b) Trombolito estratiforme con fábrica encefálica formada por tromboideos (t) ameboidales micríticos (F2). Contacto neto superior con MF7. c) Nivel de estromatolitos estratiformes (e) con láminas planas que pasan a suavemente onduladas, con bajo relieve sinóptico (F1). En la base se observan oncolitos (o) y hacia el techo los estromatolitos gradúan a MF6. **Escala:** la barra representa 10 centímetros.



espesor. Se diferenciaron tres microfácies fangosas (MF6, MF7 y MF8) y una microfácies (MF9) vinculada a un episodio de alta energía.

MF6: *Mudstone* con laminación microbiana y fábrica fenestral (Figs. 5:f y 6:c). La microestructura bandeada está originada por la superposición de láminas claras y oscuras, con superficies crenuladas. Las láminas están constituidas por dolomita microesparítica y localmente se encuentran interrumpidas por el efecto de escape de gases. Las bandas claras poseen una menor proporción de partículas aglutinadas, en donde los grumos de micrita están formados por desprendimiento del fango presente en las bandas oscuras. En algunos sectores las láminas son más espesas (3 cm) y presentan una microestructura grumosa a peloidal, con fenestras rellenas por un mosaico cristalino de esparita cálcica.

Ambiente: Intermareal medio a superior.

MF7: *Mudstone* de microestructura grumosa, con trombolitos dispuestos en una trama reticulada abierta (Figs. 6:e,f). En algunos niveles se reconoce una incipiente laminación con características semejantes a la estructura vermiforme de Kennard (1994). El neomorfismo borró parte de la estructura laminar produciendo una gradación con la estructura grumosa, en la cual los microtrombolitos de carbonatos oscuros están separados por parches irregulares de carbonatos microcristalinos claros. Los trombolitos, principales constituyentes de los trombolitos, provendrían del desprendimiento y la interdigitación de los flancos de estas estructuras. En algunos sectores es frecuente la presencia de poros parcialmente rellenos por cemento, que estarían relacionados con la laminación fenestral. *Ambiente:* submareal protegido por los montículos microbianos.

MF8: *Mudstone* bioturbado (Fig. 7:a). Los niveles están intensamente bioturbados, probablemente por la acción de algas perforantes, por lo que las estructuras primarias del sedimento están obliteradas. No obstante, en algunas zonas relicáticas se observa una estructura microgrumosa formada por parches micríticos, entre los cuales quedó entrampado el fango carbonático con importante contenido de material arcilloso. Los canales de bioturbación están rellenos por cemento de esparita cálcica equigranular.

Ambiente: Intermareal bajo y protegido, vinculado a estromatolitos.

MF9: *Floatstone*, mal seleccionado, compuesto por fragmentos de 4 cm de longitud de masas trombolíticas (Figs. 7:b, c, d). Las partículas entre 100 mm y 0,5 mm están representadas por fragmentos de rocas

volcánicas silicificadas, intraclastos micríticos, cristales de feldspatos y restos de trilobites indeterminados. Los silicoclastos son muy angulosos y los intraclastos presentan sus bordes redondeados. El material ligante está constituido por micrita grumosa.

Ambiente: La microfácies puede vincularse con un importante episodio de tormentas que afectó la planicie de mareas.

Relaciones laterales y verticales entre las facies microbialíticas y las microfácies fangosas

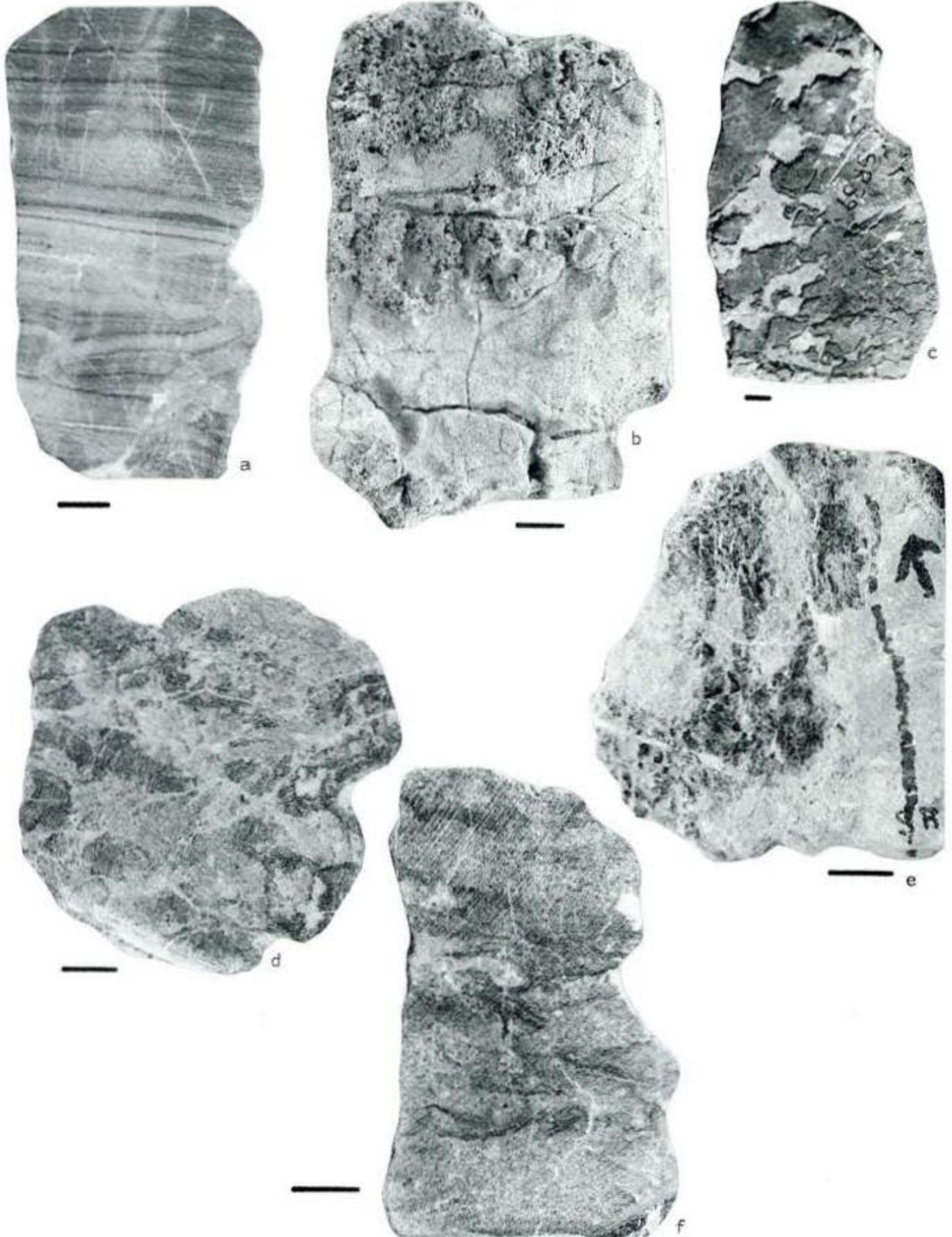
La facies de estromatolitos planos y de bajo relieve sinóptico (F1) varía lateralmente y alterna con fangos laminados (MF6) y algunos bioturbados (MF8) de ambiente intermareal (Fig. 8). Los biostromas de trombolitos estratiformes (F2) presentan contacto basal neto con la microfácies MF7 y en menor frecuencia con las microfácies MF8 y MF6. En general el diseño de los trombolitos se hace más abierto hacia el techo, mostrando un pasaje vertical gradual e intercrecido con: a) microfácies MF7, b) microfácies MF7 y niveles estromatolíticos (F1), c) microfácies MF7 y niveles tempestíticos (MF9), d) menos frecuentemente con la microfácies MF8, e) más raramente con la microfácies MF6 (Tabla 1).

Los trombolitos estratiformes domales de bajo relieve sinóptico (F3) presentan bases suavemente onduladas y se desarrollaron: a) uno sobre otro, b) sobre estromatolitos (F1) o c) sobre las microfácies MF6, MF7 y más raramente sobre MF8. Los toques de los biostromas, crenulados, en la mayor parte de los casos pasan verticalmente a la microfácies MF7. Sin embargo, a veces están asociados a niveles de chert negro con estructura estromatolítica (F1), o bien a trombolitos en forma de cono (F4) o a la microfácies MF6 o a la microfácies MF8.

Los trombolitos en forma de cono invertido (F4) presentan en el techo y en la base niveles de oncolitos (F1) interestratificados con *mudstone* con microestructura grumosa (MF7). Lateralmente pasan a la MF7, con flancos intercrecidos con el relleno bandeado. La presencia de desprendimientos trombolíticos en el material de relleno señala que estas microbialitas crecieron en un ambiente de baja energía.

Los trombolitos domales (F5) se encuentran siempre diseminados en la MF7 (*mudstone* de microestructura grumosa).

Figura 5: Fotografías de muestras de mano. **Escala:** la barra representa 1 centímetro. **a)** F1: Facies de estromatolitos planos y domales de bajo relieve sinóptico. Estromatolito plano, en los niveles inferiores se observa acuñamiento de las láminas por corrientes. **b) y c)** F2: Facies de trombolitos estratiformes. Trombolitos ameboidales de sílice, subhorizontales, con superficie escoriácea. Trombolitos ameboidales micríticos con fábrica encefálica subhorizontal. **d)** F3: Facies de trombolitos estratiformes-domales de bajo relieve sinóptico. Trombolitos ameboidales lobulados. **e)** F5: Facies de trombolitos domales. Trombolitos ameboidales digitados con fábrica vertical. **f)** MF6: *Mudstone* con laminación microbiana y fábrica fenestral. Relleno microbialítico laminado, con láminas discontinuas y bandas peloidales.



Modelo depositacional

La Formación La Flecha, en la región de Jáchal, está constituida por la acreción de cuerpos microbialíticos en ciclos de aproximadamente 10 m de espesor, con tendencia suavemente somerizante (Figs. 3 y 8)

desarrollados bajo condiciones de subsidencia continua. Este patrón biosedimentario fue dominante y se desarrolló sobre la planicie de mareas de una extensa plataforma carbonática, con suave pendiente, sin aporte terrígeno (Fig. 9).

Las microbialitas crecieron formando biostromas

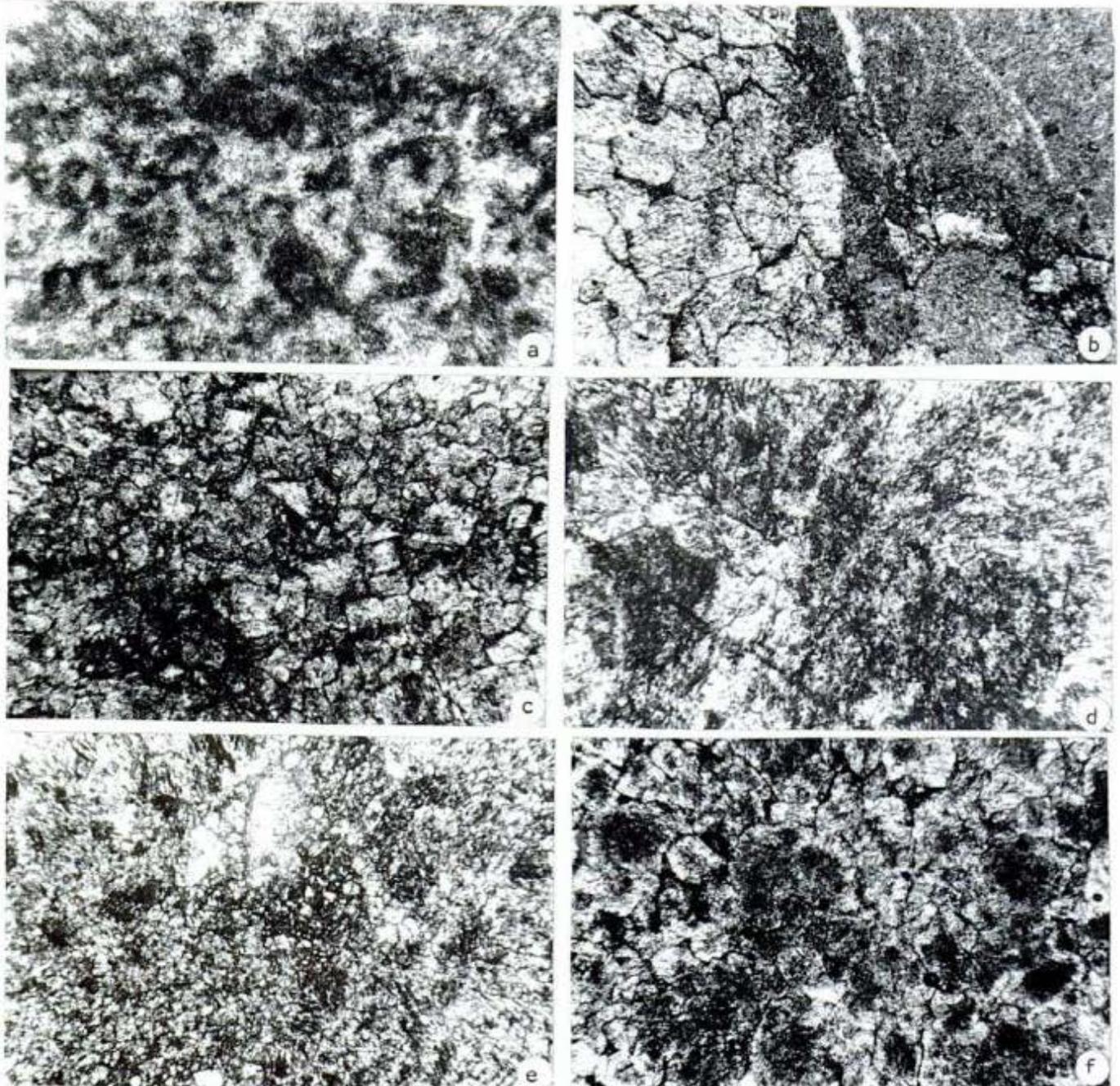


Figura 6: Microfotografías. Todas x 35. **a)** F1: Facies de estromatolitos planos y domales de bajo relieve sinóptico. Lámina de estromatolito con textura peloidal vermiforme. **b)** F2: Facies de trombolitos estratiformes. Contacto entre tromboide micrítico y cemento de esparita granular. **c)** MF6: *Mudstone* con laminación microbiana y fábrica fenestral. Detalle de las láminas claras compuestas por cristales de esparita con rebordes micríticos. **d)** F3: Facies de trombolitos estratiformes-domales de bajo relieve sinóptico. Tromboide con textura peloidal. **e)** y **f)** MF7: *Mudstone* de microestructura grumosa. Textura grumosa. Microtromboide con textura grumosa en cemento intergranular doloesparítico.

(Fig. 3), que se interdigitan con las microfacies fangosas (Tabla 1). La distribución de los cuerpos se asemeja al modelo de islas propuesto por James (1984) y Pratt y James (1986) para los ciclos somerizantes del Grupo St. George (Ordovícico inferior) del oeste de Newfoundland. Este esquema está formado por un mosaico de islas o de bancos de bajo relieve rodeado por áreas submareales, con variaciones laterales y verticales que responden a las condiciones hidrodinámicas. El estilo cíclico resulta de la combinación de pequeñas fluctuaciones del nivel del mar y de superposiciones de migraciones laterales de las construcciones trombolítica-estromatolíticas.

En el modelo definido para la Formación La Flecha, en Precordillera Central, predomina ampliamente el ambiente submareal somero-intermareal, como lo evidencia el amplio desarrollo de la facies de trombolitos tabulares (F2). Se desarrollaron cinturones de lagunas submarinas (*ponds*), dispuestos en forma paralela a la línea de playa en los que se depositaron fangos calcáreos, identificados como microfacies fangosas (MF6, MF7 y MF8). Las "islas" o montículos (Fig. 8) son por sí mismos secuencias somerizantes que

evolucionaron sobre un fango de origen microbialítico (MF7), sobre el que crecieron trombolitos estratiforme-tabulares (F2) y estratiformes domales (F3) en ambiente submareal somero a intermareal, con amplio predominio de los primeros (F2). Estas megaestructuras impidieron en cierta forma la circulación del agua (Fig. 9), y culminan con estromatolitos planos y domales de bajo relieve (F1) en una clara tendencia somerizante.

Entre estos abultamientos se depositaron fangos microbialíticos (MF7) sobre los que crecieron trombolitos domales dispersos (F5) (Figs. 8 y 9). La microfacies MF7 (*mudstone* de microestructura grumosa) indica el ambiente submareal que se formó entre las "islas" de trombolitos-estromatolitos. En estas lagunas o *ponds* la energía fue baja y el único movimiento de las aguas que se registra se debe a las corrientes de marea.

Las características de la microfacies MF8 (*mudstone* bioturbado) son propias del ambiente intermareal bajo, con predominio de sedimentación por decantación en áreas tranquilas y protegidas. Se infiere abundante desarrollo de algas perforantes, cuya acción se evidencia en la intensa bioturbación de tipo penetrante

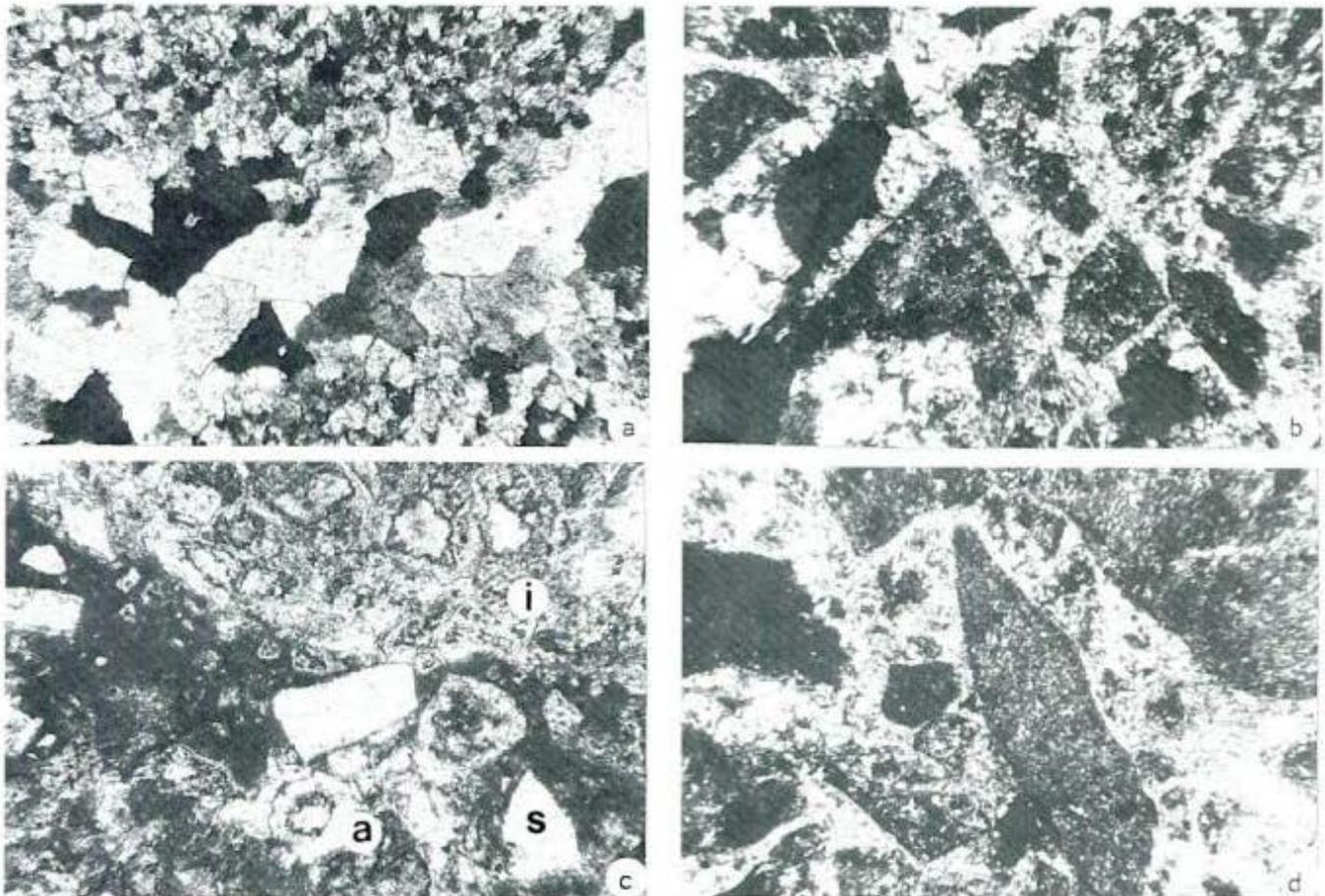


Figura 7: Microfotografías. Todas $\times 35$. **a)** MF8: *Mudstone* bioturbado. Detalle de un canal de bioturbación relleno con esparita. **b-d)** MF9: *Floatstone* compuesto por grandes clastos originados por el desprendimiento de masas trombolíticas. **b y d.** Fragmentos angulosos de rocas volcánicas. **c.** Intraclasto (i), fragmento de sílice anguloso (s) y bioclasto algal mal conservado (a).

Tabla 1: Relaciones laterales y verticales entre facies microbialíticas y las microfacies fangosas. Los paréntesis indican asociaciones poco frecuentes.

Facies	Techo	Base	Laterales
F1	MF6 MF8	MF6 MF8	MF6 MF8
F2	MF7 MF7 + F1 MF7 + MF9 (MF8) (MF6)	MF7 MF8 MF6	MF7
F3	MF7 F4 MF6 (F1) (MF8)	F3 F1 MF6 MF7 (MF8)	MF7
F4	MF7 + F1	MF7 + F1	MF7
F5	MF7	MF7	MF7

del substrato, causando la proliferación de peloides y limos fangosos (James 1984). Se pueden observar casos análogos en planicies de mareas actuales, afectadas a climas húmedos (Hardie 1977).

La microfacies *mudstone* con laminación microbiana y fábrica fenestral (MF6) sugiere una zona intermareal medio-superior de planicie de mareas. La misma está estrechamente vinculada con los montículos de trombolitos-estromatolitos, en un ambiente bien oxigenado que permitió el óptimo crecimiento de las matas algales (James 1984). Por lo tanto, la actividad microbiana podría ser la principal fuente de producción del carbonato (Reid 1987). Se interpreta que la influencia de los micro-organismos sería preponderante en la generación de micrita en las partículas aglutinadas (Höhrn 1988), como así también en la formación de los tapices algales en ausencia de detritos (Bertrand-Sarfati y Milandou 1989). En consecuencia, las estructuras algales serían las únicas productoras de fango carbonático. En esta microfacies es conspicua la presencia de fenestras que originan una laminación irregular. Su origen está vinculado a la descomposición de las matas algales durante el soterramiento y la pérdida de gas entrampado en los

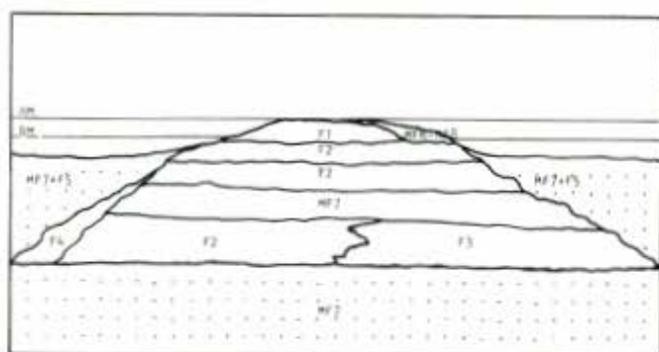


Figura 8: Esquema de un montículo teórico. Sin escala.

poros (James 1984). Posteriormente, durante la diagénesis, estos poros fueron rellenados con calcita cristalina.

En el perfil del cerro La Silla se destaca un nivel que corresponde a la microfacies MF9 (*floatstone*) originada por la acumulación de sedimentos vinculados con un episodio de tormentas. La microfacies está formada por clastos de rocas volcánicas y fragmentos de cristales de feldespatos que indican proximidad con centros efusivos. La presencia de intraclastos micríticos sería el resultado de la litificación temprana del fondo marino, seguida por erosión y redepositación (Sepkowski 1981), mientras que aquéllos que poseen estructuras algales provendrían de la destrucción de las microfacies microbialíticas.

En el tramo basal predomina ampliamente el tipo de sucesión fangosa de ambiente submareal-intermareal (MF7 y MF6) (Fig. 3A, E) y es un pasaje gradual de la Formación Zonda (Cámbrico medio-superior) que fue analizado por Armella *et al.* (1995) en la misma región. El modelo de montículos predomina a partir de los primeros 50 m de la sucesión, tal como queda representado en las Figs. 3B, C, D, F, G.

En los últimos 20 m del perfil del cerro La Silla, las islas (Fig. 8) se encuentran dispersas en la sucesión fangosa, que se hace más potente y presenta amplio desarrollo de la microfacies MF7, en un pasaje gradual a la Formación La Silla. En este cerro los montículos (Fig. 3D) están constituidos por alternancia de trombolitos estratiforme-domales (F3) y niveles de trombolitos en forma de cono invertido (F4) coalescentes. En la localidad de Agua Negra (cerro Viejo San Roque) los abultamientos son más escasos y menos definidos (Fig. 3H) y están compuestos por niveles de microbialitas estromatolitifformes que interdigitan lateralmente con lentes trombolíticas (F2). La asociación de facies trombolíticas y microfacies fangosas-microbialíticas evidencia una profundización del área de sedimentación, con neto predominio del

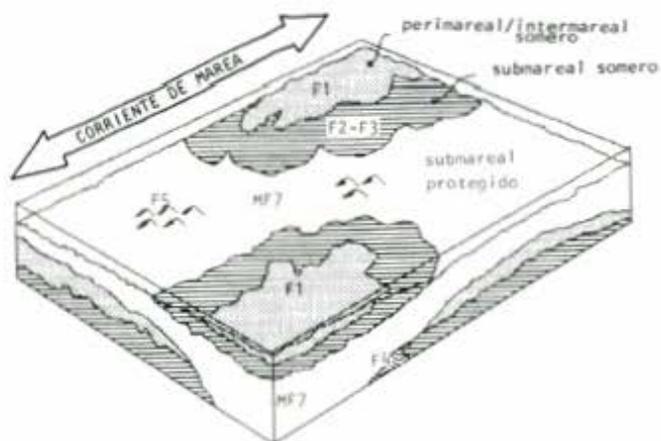


Figura 9: Block-diagrama idealizado de un sector de la plataforma del Cámbrico superior de la Precordillera Central, con formación de montículos microbialíticos.

ambiente submareal en el cerro La Silla, mientras que es algo más somero hacia el sur (perfil del cerro Viejo San Roque), tal como lo manifiesta la mayor frecuencia de estromatolitos en esta localidad.

Esta tendencia transgresiva es un preludio de la gran transgresión arenigiana de la Formación San Juan. Durante el Arenigiano los estromatolitos y trombolitos desaparecen, coincidiendo con el florecimiento de la abundante fauna ordovícica.

Conclusiones

En la Precordillera Central, el Cámbrico superior está representado por los depósitos microbialíticos de la Formación La Flecha, que crecieron sobre la plataforma carbonática del Cámbrico medio-superior de la Formación Zonda.

El modelo depositacional corresponde a un complejo de montículos no emergentes, que delimitan lagunas someras (*ponds*) predominando el ambiente submareal.

Los montículos son cuerpos formados por trombolitos, especialmente estratiforme-tabulares (F2) de ambiente submareal somero-intermareal inferior. Se identificaron también trombolitos estratiforme-domaes (F3) de ambiente submareal y en forma de cono invertido (F4) de ambiente submareal protegido. Estos cuerpos microbialíticos se desarrollaron hasta que los estromatolitos (F1) alcanzaron el nivel del mar en ambiente intermareal alto. Los trombolitos domales de la facies F5, de ambiente submareal protegido, crecieron diseminados en los fangos microbialíticos de la microfacies MF7. Los cuerpos biostromales se encuentran interdigitados con las microfacies fangosas.

La secuencia presenta un patrón de biosedimentación cíclica que se debe a suaves fluctuaciones del nivel del mar y a migraciones laterales de los cuerpos biostromales.

Los cuerpos trombolítico-estromatolíticos restringen la circulación del agua, creando subambientes protegidos donde se formaron las microfacies fangosas: MF6 de ambiente intermareal medio a superior, MF7 de ambiente submareal protegido por los montículos microbianos y MF8 de ambiente intermareal bajo y protegido, vinculado a estromatolitos. La microfacies MF9 corresponde a un episodio de tormentas que afectó a la planicie mareal y sepultó los montículos microbialíticos.

Hacia el techo de la sucesión se profundiza el área de sedimentación, como lo indica el incremento en la potencia de las microfacies fangosas, concordante con la disminución gradual de los montículos. Esta tendencia anuncia la gran transgresión arenigiana de la Formación San Juan y el cambio del estilo de sedimentación.

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a B. Baldis, al Museo Argentino de Ciencias Naturales "B. Rivadavia", al Instituto de Geología Isotópica y a la Universidad de San Juan. Deseamos manifestar nuestra gratitud a G. Holfeltz por su desinteresada dedicación en la realización del material fotográfico. El estudio ha sido solventado por el Proyecto de Investigación Anual (PIA N°0215/90) del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

Este trabajo es una contribución al Proyecto N°380 del IGCP: "Correlation and Biosedimentology of Stromatolites, Mud Mounds and related Microbial Buildups in the Precambrian and the Phanerozoic".

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Armella, C., 1989a. Estratigrafía de las Formaciones del Límite Cambro-Ordovícico en la Precordillera Oriental. Tesis de Doctorado. Universidad de Buenos Aires. 168 p. (inédito).
- Armella, C., 1989b. Microfacies trombolíticas de un biociclo ideal de la Formación La Flecha, Precordillera Oriental Argentina. Primera Reunión del Proyecto 270 (IGCP). Revista de Correlación Geológica 4/5 Instituto Miguel Lillo: 45-52. Tucumán.
- Armella, C., 1989c. Grupos morfológicos y fábrica de trombolitos del límite Cambro-Ordovícico de Argentina. Revista de Correlación Geológica 4/5 Instituto Miguel Lillo: 53-66. Tucumán.
- Armella, C., 1990. Guía práctica para la clasificación descriptiva de trombolitos. Actas 11° Congreso Geológico Argentino. 2:195-199. San Juan.
- Armella, C., 1994. Thrombolitic-stromatolitic cycles of the Cambro-Ordovician boundary sequence, Precordillera Oriental basin, western Argentina. En: Bertrand-Sarfati, J. y Monty, C.L. (Eds.): Phanerozoic Stromatolites II: 421-441. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Armella, C. y Cabaleri, N. G., 1992. Ciclos microbialíticos de la Formación San Roque (Cámbrico superior-Ordovícico inferior) en la localidad tipo, departamento de Jáchal, provincia de San Juan, Argentina. Conferencia Internacional del Paleozoico Inferior de Ibero-América Libro de Resúmenes: 36-37, Mérida, España.
- Armella, C., Cabaleri, N. G., Valencio, S. A. y Panarello, H. O., 1995. Litofacies e isótopos estables de la Formación Zonda (Cámbrico superior), en el cerro La Silla, Precordillera de San Juan. Revista de la Asociación Geológica Argentina 50(1-4):219-229.
- Baldis, B. A., Bordonaro, O. L. y Beresi, M. S., 1981. Estromatolitos, trombolitos y formas afines en el límite Cámbrico-Ordovícico del oeste argentino. 2° Congreso Latinoamericano de Paleontología. Brazil, 1:19-31.
- Baldoni, J. L., 1937. Informe geológico sobre el Departamento General Belgrano, Prov. de San Luis. Informe Yacimientos Petrolíferos Fiscales, Buenos Aires, N°0124. 24p. (inédito).
- Bertrand-Sarfati, J. y Milandou, E., 1989. Mécanismes de croissance des stromatolites géants infralittoraux, Proterozoïque supérieur de Congo. Bulletin Société Géologique France, 8(6):1185-1192.
- Burne, R.V. y Moore, L., 1987. Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities. *Palaos*, 2: 241-254.

- Cañas, F.L., 1990. Biolitos microbianos (microbialitos) del Cámbrico tardío, Formación Los Sapitos, Precordillera de La Rioja. Tercera Reunión Argentina de Sedimentología: 81-86.
- Dunham, R., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. En: Ham, W.E. (Ed.): *Classification of Carbonate Rocks*. American Association of Petroleum Geologists. Memoir 1: 108-121.
- Elf-Aquitaine, 1977. Essai de caractérisation sédimentologique des dépôts carbonatés 2. *Eléments d'interprétation*. 231p. Boussins-Pau.
- Embry, A.F. y Klovan, E.J., 1972. Absolute waters depth limit Late Devonian paleoecological zones. *Geologisches Rundschau* 61(2): 672-686. Stuttgart.
- Flores, M. A., 1969. El Bolsón de Las Salinas en la Prov. de San Luis. *Actas 4º Jornadas Geológicas Argentinas*: 311-327.
- Flügel, E., 1982. *Microfacies Analysis of Limestones*. Springer Verlag. 633p. Berlin.
- Folk, A., 1959. Practical petrographical classification of limestones. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 41(1): 1-38.
- Folk, A., 1962. Spectral subdivision of limestones types. *American Association of Petroleum Geologists. Memoir* 1: 61-84.
- Grey, K., 1989. Handbook for the study of stromatolites and associated structures. En: Kennard, J.M. y Burne, R.V. (Eds.): *Stromatolite Newsletter*, 14: 82-140. Canberra.
- Grey, K., Awramik, S.M., Bertrand-Sarfati, J., Hofmann, H.J., Pratt, B.R., 1990. Handbook for the study of stromatolites and associated structures. Third draft, 100 p. (Inédito).
- Hardie, L.A., 1977. Algal structures in cemented crusts and their environmental significance. En: Hardie, L.A. (Ed.): *Sedimentation on the modern carbonate tidal flats of Northwest Andros Island, Bahamas*, pp. 159-177. The Johns Hopkins Press. Baltimore.
- Hofmann, H.J., 1969. Attributes of stromatolites. *Geological Survey of Canada. Paper* 69: 39-58.
- Hofmann, H.J., 1973. Stromatolites: characteristics and utility. *Earth Science Review*, 9: 339-375.
- Höhn, A., 1988. Calcium carbonate deposition associated with laminated algal mats and sediments, Lagoa Vermelha, R.J., Brazil (Abst.). *Terra Cognita*, 8: 226. Strasbourg.
- James, N. P., 1984. Shallowing-upward sequence in carbonates. En: Walker, R.G. (Ed.): *Facies Models*. Geosciences Canadian Reprint Service, 1: 213-228, Toronto.
- Kennard, J.M., 1994. Thrombolites and stromatolites within shale-carbonate cycles, middle-late Cambrian Shannon Formation, Amadeus, Basin, central Australia. En: Bertrand-Sarfati, J. y Monty, C. (Eds.): *Phanerozoic Stromatolites II*: 443-471. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Keller, M., Cañas, F., Lehnert, O. y Vaccari, N.E., 1994. The Upper Cambrian and Lower Ordovician of the Precordillera (Western Argentina): Some stratigraphic reconsiderations. *Newsletters on Stratigraphy*, 31(2): 115-132. Stuttgart.
- Pereyra, M. E., 1985. Tipificación de acumulaciones trombolíticas en la Formación San Roque del Cámbrico superior-Ordovícico inferior en la Zona de Jáchal, San Juan. 1º Jornadas sobre Geología de Precordillera: 83-87.
- Pereyra, M. E., 1986. Estudio estratigráfico e interpretación paleoambiental de la Formación San Roque en los cerros de Agua Negra, departamento de Jáchal, San Juan. Trabajo Final de Licenciatura, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan, 188p. (inédito).
- Pratt, B.R. y James, N. P., 1986. The St. George Group (Lower Ordovician) of Western Newfoundland: tidal flat island model for carbonate sedimentation in shallow epeiric seas. *Sedimentology*, 33: 313-343.
- Preiss, W.V., 1972. Proterozoic stromatolites-succession, correlations and problems. En: Jones, J.B. y McGowan, B., (Eds.): *Stratigraphic problems of the Late Precambrian and Early Cambrian*. University of Adelaide Centre for Precambrian Research, Special Paper 1: 53-62.
- Preiss, W.V., 1976. Basic field and laboratory methods for the study of stromatolites. En: Walter, M.R., (Ed.): *Stromatolite Developments in Sedimentology*, 20: 360-370, Elsevier, Amsterdam.
- Reid, P., 1987. Non-skeletal peloidal precipitates in Upper Triassic reefs, Yukon territory (Canada). *Journal of Sedimentology Petrology*, 57: 873-900.
- Riding, R., 1983. Cyanoliths (Cyanoids): oncoids formed by calcified cyanophytes. En: Perit, T. M. (Ed.): *Coated grains*: 276-283. Springer-Verlag. Berlin.
- Riding, R., 1991. Calcified cyanobacteria. En: Riding, R. (Ed.): *Calcareous algae and stromatolites*: 55-87. Springer-Verlag. Berlin.
- Sepkowsky, J. J., 1981. Flat-pebble conglomerates, storm deposits and the Cambrian bottom fauna. En: Einsele, G. y Seilacher, A. (Eds.): *Cyclic and event stratification*: 371-385. Springer-Verlag. New York.
- Strasser, A., 1986. Ooids in Purbeck limestones (Lowermost Cretaceous) of the Swiss and French Jura. *Sedimentology*, 33: 711-727.
- Vaccari, N.E., 1994. Las faunas de trilobites de las sucesiones carbonáticas del Cámbrico y Ordovícico temprano de la Precordillera Septentrional, República Argentina. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Córdoba. 271 p. (inédito).
- Walter, M.R., 1972. Stromatolites and the biostratigraphy of the Australian Precambrian and Cambrian. *Palaeontological Association of London. Special Papers in Palaeontology* 11, 190 p.
- Wilson, J.L., 1986. *Carbonate Facies in Geology History*. 471 p. (7ª Edic.). Springer-Verlag. New York.

Recibido: 6 de julio, 1995

Aceptado: 30 de abril, 1996