

**Formación Tablazo: descripción de la sección tipo.  
Depósitos de carbonatos en una rampa afectada  
por exposiciones subaéreas iterativas**

*One clear contact or key bed is worth more  
than as many trace-element or isotopic analyses*

Francis. J. Pettijohn



---

**Portadilla:** *Hardground* en la capa del techo de la Formación Tablazo, en la sección tipo.

N:1.269.615 E:1.081.067 Z:380

**Citación:** Montoya Arenas, Diana M. 2019. "Formación Tablazo: descripción de la sección tipo. Depósitos de carbonatos en una rampa afectada por exposiciones subaéreas iterativas". En *Estudios geológicos y paleontológicos sobre el Cretácico en la región del embalse del río Sogamoso, Valle Medio del Magdalena*, dirección científica y edición de Fernando Etayo-Serna. Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia vol. XXIII. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

## A b s t r a c t

The Tablazo Formation consists of seven (7) stratigraphic segments: four of these produce cornices on the topographic profile (I, III, V and VII) and three intercalated valleys (II, IV, and VI). The total thickness of the formation is 270 m.

Most of the stratigraphic segments (upper part of Segment III and Segments IV, V, VI and VII) were described in the type section, located where the Hidrosogamoso river cuts the Tablazo Hill (Cerro La India, see IGAC's topographic sheet 120-IB). However, here, the lower intervals of the Tablazo Formation type section are partially covered; therefore, surveys were carried out at outcrops exposed in the La Paja stream (stratigraphic segment I) and by the main highway to San Vicente de Chucurí-Lebrija near the junction with the La Molinilla stream (Stratigraphic segments II and the basal meters of III), where the description of the unit was completed.

In the lower segments (I and II), the lithological elements that generate salients and inlets in the topographic profile alternate, reflecting the recrystallization of the limestones of mudstone texture (salients) and the presence of organic matter in the calcareous mudstones (inlets). Some levels with bindstones –microbialites–recall the rocks of the underlying La Paja Formation.

The stratigraphic segments (III, V and VII) forming salients on the landscape are made of variable lithologies, including predominantly carbonate bodies (mudstone, wackestone and packstone) and, in a lesser proportion, sandy bodies (very fine grain quartz sandstones and some packages of siltstones) that sometimes alternate with calcareous mudstones. Stratigraphic Segment II is remarkable due to the presence of nodular rubble, and Segments V and VII features levels identified as hardground surfaces; the latter also include levels of paleosols and nodular limestones. On the other hand, Segments IV and VI, which are expressed in the topographic profile as valleys, consist of clayey mudstones interspersed with sporadic layers of mudstone, wackestone or packstone limestones.

As the result of this investigation, it has been interpreted that the sediments that make up this unit were deposited in a carbonate ramp between the supra-tidal region (Segments I and VI) and the internal ramp, with the development of a lagoon communicating with the sea and temporarily surrounded by a bar (shoal sand) (Segments II, III, IV, V and VI). The presence of microcodium, nodular limestones, nodular rubble and paleosols is evidence of several subaerial exposures due to oscillations in the relative position of the bottom of the deposit with respect to the coastline (Segments I and VII). Characteristics such as the accumulation of remains of siliceous spongiaries and micrita peletoides suggest intermediate calm sea conditions (Segments V and VII).

Organic matter is common in the lower segments of the Tablazo Formation (I, II and part of III), where the marine conditions allowed the accumulation of calcium carbonate and organic matter; the presence of clay and silt-sized quartz is marked in Stratigraphic Segment II; from the middle part of Stratigraphic Segment III upwards, the Tablazo Formation becomes impoverished in organic matter, but the diversity of fossils increases: bivalves such as oysters, trigonias grifeidos, cucullaella; echinoderms, bryozoans, serpulids, fragments of sponges, benthic foraminifera, ostracods, ammonites, fragments of algae and siliceous sponges.

According to biostratigraphic determinations based on ammonites, in the type section of the Tablazo Formation, the age is in the upper part of the lower Albian.

---

# Formación Tablazo: descripción de la sección tipo. Depósitos de carbonatos en una rampa afectada por exposiciones subaéreas iterativas

# 3

Diana M. Montoya Arenas

## RESUMEN AMPLIADO

La Formación Tablazo, descrita en su totalidad en la sección tipo, está constituida por siete segmentos estratigráficos: de ellos, cuatro generan cornisas en el perfil topográfico (I, III, V y VII) y tres dibujan valles (II, IV, VI). El espesor total de la Formación es de 270 m, medido con la técnica del bastón de Jacob.

El segmento estratigráfico I se levantó en la quebrada La Paja (al oriente de la sección tipo), debido a que en la sección tipo el segmento se encuentra cubierto. El segmento estratigráfico II se levantó en dos sitios: por la quebrada La Paja y en los afloramientos por la vía principal a San Vicente de Chucurí-Lebrija, cerca del cruce con la quebrada La Molinilla, debido a que en la sección tipo el segmento se encuentra cubierto.

Los segmentos estratigráficos III y IV se levantaron en la sección tipo, por la ribera sur del río Sogamoso cuando corta el cerro El Tablazo (cerro La India, plancha topográfica 120 I-B del IGAC), exceptuando los 23 metros basales del segmento III, también estudiados en la vía San Vicente de Chucurí-Lebrija. Los segmentos V y VI se describieron en la ribera norte del río Sogamoso, donde este corta el cerro El Tablazo, y el segmento estratigráfico VII, en las riberas norte y sur del río Sogamoso, cuando corta el cerro El Tablazo (cerro La India).

**Segmento estratigráfico I (0-53 m):** representa el contrafuerte inferior del perfil topográfico de la Formación Tablazo. En él alternan dos elementos litológicos que se repiten: calizas *mudstone* con aspecto macizo por recristalización que se expresan en el perfil topográfico como un saliente, y *mudstone* calcáreos con materia orgánica que parten en astillas y generan entrada en el perfil topográfico. Se subdividió en dos intervalos estratigráficos.

**Intervalo estratigráfico A (0-37 m):** calizas *mudstone* en capas medianas a gruesas interpuestas con *mudstone* calcáreos con materia orgánica de espesor delgado. Las capas tienen formas planas paralelas continuas.

**Intervalo estratigráfico B (37-53 m):** alternancia de los elementos litológicos similares del intervalo A, pero las capas de los *mudstone* calcáreos con materia orgánica varían en espesor desde gruesas hasta muy gruesas.

Con el microscopio las calizas *mudstone* macizas de este segmento se agrupan en:

**i) Micritas y micritas fosilíferas con recristalización (I).** Se observa micrita con recristalización incipiente generalizada. Los fósiles son: **a)** cuerpos circulares cuyo diámetro varía entre 100 y 200  $\mu\text{m}$ , internamente constituidos por cristales subrectangulares de calcita espar e interpretados como *funga fruiting bodies*; **b)** cuerpos circulares con tamaños entre 120 y 200  $\mu\text{m}$ , con una estructura interna concéntrica; **c)** quistes de dinoflagelados calcáreos, son cuerpos circulares cuyo diámetro varía entre 30 y 40  $\mu\text{m}$ , con núcleo calcítico circular, rodeado un anillo segmentado constituido por cristales de calcita, y **d)** restos de conchillas de foraminíferos plantónicos? y de ostrácodos.

**ii) Pelmicrita y biopelmicrita, ambas con recristalización (II),** constituidas por: **a)** peletoides de micrita; **b)** agregado de cristales granulares de calcita-espar, dispuestos en forma de retículo; **c)** cuerpos circulares con diámetros entre 30 y 50  $\mu\text{m}$ , y cuerpos ovalados con tamaños entre 50 y 70  $\mu\text{m}$ , que son reemplazados internamente por cristales de calcita espar radiales y corresponden a *microcodium*; **d)** cuerpos circulares cuyo diámetro varía entre 30 y 40  $\mu\text{m}$ , con un centro calcítico y extinción única, rodeados por un anillo ocráceo, e interpretados como quistes de dinoflagelados calcáreos; **e)** escasas conchillas de foraminíferos bentónicos?; **f)** restos de algas incrustantes, y **g)** menos frecuentes cuerpos circulares interpretados como *funga fruiting bodies*.

Estas rocas están acompañadas por cuarzo en cantidades que varían desde 4% hasta 26%.

**iii) Bindstone con recristalización (III):** presenta láminas oscuras y láminas claras. Las láminas claras están conformadas por cuerpos lenticulares y laminares levemente ondulados, constituidas por agregados de cristales de calcita espar, acompañadas por cuerpos circulares calcáreos de 30  $\mu\text{m}$ , que representarían elementos reproductores bacterianos y de algas. Las láminas oscuras están constituidas por calcita microcristalina, materia orgánica y cristales de calcita con tamaños entre 20 y 25  $\mu\text{m}$ , interpretados como tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina, con recristalización incipiente generalizada.

En el microscopio, los *mudstone* calcáreos con materia orgánica y que parten en astillas se identifican así:

**i) Bindstone-microbialitas ( $\alpha$ ):** tienen similitud textural y composicional con las rocas que generan valle en la infrayacente Formación La Paja. Son tapices microbiales con biomineralización de calcita microcristalina; los fósiles son similares a los identificados en las calizas *mudstone*; hay presencia de materia orgánica en laminillas y motas; el hidrocarburo reemplaza restos óseos.

**ii) Pelmicrita y biopelmicrita con cuarzo y materia orgánica ( $\beta$ ):** constituidas por: **1)** peletoides de micrita; **2)** fósiles: **a)** foraminíferos, algunos micritizados, **b)** quistes de dinoflagelados calcáreos, **c)** espinas de equinodermos; y **3)** terrígenos: cuarzo, que llega hasta 38%, y la moscovita, hasta 6%.

**Segmento estratigráfico II (53-87 m):** genera un valle en el perfil topográfico. Está compuesto por tres intervalos: dos blandos (C y E), separados por uno que genera resalte (D).

**Intervalo estratigráfico C (53-65 m):** genera entrada en el perfil topográfico; en la parte basal está constituido por *mudstone* arcillosos que gradan a *mudstone* calcáreos con materia orgánica y cuarzo. Hay presencia de equinodermos aplastados que aún conservan adheridas sus espinas, y gasterópodos turrítelidos de tamaños entre 1 y 2 cm, dispuestos en dos direcciones.

Con el microscopio los *mudstone* arcillosos se identifican como *bindstone* con materia orgánica y arcilla adherida ( $\Omega$ ). La arcilla es fina, la materia orgánica se presenta en motas o laminillas y hay presencia de piritita.

Con el microscopio, los *mudstone* calcáreos con materia orgánica se identifican como micritas fosilíferas con materia orgánica ( $\delta$ ). Las rocas de esta facies aparecen laminadas y en ocasiones bioturbadas; los fósiles están representados por fragmentos de bivalvos con tamaños entre 100 y 150  $\mu\text{m}$ . En ocasiones el cuarzo de textura limo grueso alcanza porcentajes de 15%.

**Intervalo estratigráfico D (65-81 m):** genera un saliente en el perfil topográfico. Está constituido por limolitas de cuarzo y, con menor frecuencia, por arenitas de cuarzo de textura muy fina, con cemento calcáreo. Aunque se percibe laminación plano-paralela e inclinada ( $\epsilon$ ), en general tanto las limolitas como las arenitas presentan estadios de bioturbación desde muy alto hasta completo ( $\pi$ ). Los fósiles son fragmentos de bivalvos con tamaños entre 100 y 150  $\mu\text{m}$ , escasos foraminíferos y espinas de equinodermos. Hay presencia de moscovitas con textura arena mediana.

**Intervalo estratigráfico E (81-87 m):** genera una entrada en el perfil topográfico y está constituido por *mudstone* arcillosos que presentan bioturbación: se reconocen formas irregulares abultadas y lenticulares de color pardo rojizo. En el microscopio en los *mudstone* arcillosos se observan arcillas de fino hábito micáceo enmascaradas con materia orgánica ( $\phi$ ); hay presencia de escasas conchas articuladas de

bivalvos esparitizados, además de fragmentos de cuarzo de textura limo y moscovita de textura arena muy fina (120  $\mu\text{m}$ ), que se dispone paralela a  $S_0$ .

**Segmento estratigráfico III (87-151 m):** representa el segundo contrafuerte en el perfil topográfico de 64 metros. Litológicamente es variable: alternan intervalos constituidos por cuerpos de carbonatos, arenosos, mixtos y arcillolíticos (F, G, H, I, J).

La descripción de los 15 metros basales se hace con referencia a la columna estratigráfica por la vía principal a San Vicente de Chucurí, en el cruce con la quebrada La Molinilla, y el resto de la sucesión se describe en los afloramientos de la sección tipo.

**Intervalo estratigráfico F (87-115 m):** genera un saliente en el perfil topográfico y está constituido por siete conjuntos de diferente naturaleza litológica:

**Conjunto F1:** son calizas *packstone* y *wackestone* de conchas de bivalvos con texturas desde gránulo hasta 1 cm, dispuestas de manera paralela a  $S_0$ , articuladas y desarticuladas; presenta bioturbación que genera nodularización. Con el microscopio se identifican como biomicritas empaquetadas (**A**) y biomicritas ralas (**1**).

**Conjuntos F2, F4 y F6:** están constituidos por calizas *mudstone* y *wackestone*, estas últimas con textura arena muy fina a limo, en capas entre delgadas y medianas; separadas por *mudstone* calcáreos en capas muy delgadas. En el conjunto F2 se destacan capas delgadas apretadas de *Thalassinoides*.

Con el microscopio, las calizas *mudstone* se identifican como micritas fosilíferas con materia orgánica (**IV**); se reconocen fragmentos de bivalvos con tamaños desde 50 hasta de 200  $\mu\text{m}$  y cortes de espículas de espongiarios.

Con el microscopio, las calizas *wackestone* de textura muy fina a limo se identifican como:

**i) Biomicritas ralas con restos de espículas de espongiarios (**2**).** Están constituidas por espículas de espongiarios, las cuales se reconocen como fragmentos alargados que asemejan una aguja, y cuerpos circulares o de forma de fríjol, calcáreos, con extinción única.

**ii) Biomicritas ralas con foraminíferos bentónicos, calcáreos, biseriales (*Praebulimina sp.?*) (**3**).** Las rocas pueden estar bioturbadas y el cuarzo alcanza porcentajes del 11%.

**Conjuntos F3 y F5:** son arenitas de cuarzo de textura muy fina con matriz de lodo calcáreo, en capas muy gruesas, bioturbadas (**A**).

**Conjunto F7:** capa muy gruesa de caliza *mudstone* con cuarzo, destaca la presencia de dos niveles de nódulos que semejan gravas *nodular rubble*; con el microscopio se identifica como pelmicrita con cuarzo de textura de arena muy fina a fina (**V**).



Este conjunto termina en una caliza *wackestone* de textura arena muy fina, identificada con el microscopio como biomicrita rala con foraminíferos bentónicos: *Praebulimina sp.* y *Epistomina sp.* (4), que grada a una micrita fosilífera (VII).

**Intervalo estratigráfico G (115-124 m):** este intervalo, igual que el intervalo H, morfológicamente genera saliente en graderías y se divide en dos conjuntos:

**Conjunto G1:** son *mudstone* arcillosos micáceos que alternan con capas delgadas de calizas *mudstone*, identificadas como micritas fosilíferas con recristalización pedogénica? (VI); se reconocen estos elementos: **a)** cuerpos calcáreos circulares o con forma de frijol, de textura entre limo y arena muy fina (40 a 90  $\mu\text{m}$ ), rellenos por cristales de calcita que crecen a partir de un centro: *microcodium*; **b)** conchillas de foraminíferos bentónicos, y **c)** cuerpos circulares rodeados por un anillo ocráceo: quistes de dinoflagelados calcáreos.

**Conjunto G2:** inicia en arenitas de cuarzo, gradualmente pasa a caliza *wackestone* y termina en caliza *packstone*; que hacia el techo presentan nodularización de la roca. Las arenitas son de textura fina limo grueso, bioturbadas (A); se reconoce moscovita, y entre el armazón se observa lodo calcáreo.

Las calizas *wackestone* tienen textura de arena gruesa a muy gruesa, con esporádicas conchas de bivalvos centimétricas; en el microscopio se identifican como biomicritas ralas con bivalvos y cuarzo (5); los bivalvos tienen mal calibrado; se observan dos poblaciones: **a)** fragmentos de textura desde arena muy gruesa a arena gruesa, esparitizados con bordes redondeados, y **b)** con menor frecuencia, conchas centimétricas (1-2 cm), desarticuladas reemplazadas por esparita, de valva delgada; además se reconocen escasas placas de equinodermos y restos de briozoarios.

En las calizas *packstone* se reconocen bivalvos articulados y desarticulados con tamaños entre 1 y 2 cm, de valvas delgadas; en el microscopio se identifican como biomicrita empaquetada con bivalvos (B). Los fósiles presentan tamaños que se dividen en una población de dimensiones centimétricas y otra de textura de arena gruesa, que corresponde en general a fragmentos de bivalvos; los fósiles se orientan en varias direcciones con respecto a  $S_0$ .

**Intervalo estratigráfico H (124-141 m):** genera una saliente en graderías, y está subdividido en varios conjuntos, que se inician con un conjunto numerado impar constituido por *mudstone* arcillosos, seguido por un conjunto numerado par, que empieza en arenitas de cuarzo con bioturbación alta, o laminadas, y termina en calizas que varían texturalmente desde *mudstone* hasta *packstone*.

Las arenitas son de cuarzo con textura muy fina y porcentajes moderados de limo grueso, bioturbadas ( $\pi$ ). Se reconoce moscovita, y entre el armazón se observa cemento calcáreo; en ocasiones hay presencia de bivalvos articulados con diá-

metro up (umbopaleal) de hasta 4 cm. Algunas arenitas presentan fósiles (8%), representados por espinas de equinodermos y fragmentos de bivalvos.

Las calizas *mudstone* con cuarzo, en el microscopio se identifican como micritas fosilíferas con cuarzo de textura arena muy fina (VII).

Los *mudstone* arcillosos (conjuntos H1 y H3) son micáceos, en ocasiones alternan capas delgadas de caliza *mudstone* y *packstone*. La caliza *packstone* es de ostreidos con diámetro up de 5 cm; la roca se identifica como biomicrita empaquetada con bivalvos y hematita (C).

**Intervalo estratigráfico I (141-148 m):** está compuesto por el conjunto I1, constituido por *mudstone* arcillosos, seguido por un conjunto litológico distintivo I2, que permite la correlación física de este intervalo entre diferentes sectores de afloramiento de la formación en el área de estudio.

**Conjunto I2:** es el más constante de este intervalo, y se reconoce en varias secciones estratigráficas. Son calizas de textura de *mudstone* dispuestas en capas medianas y delgadas con laminación planar; alternan con *mudstone* calcáreos con materia orgánica. Con el microscopio, las calizas *mudstone* se identifican como *bindstone* con recristalización (III). Aunque presentan recristalización avanzada, se tratan como microbialitas (tapices microbiales litificados por mineralización de calcita microcristalina). Sobre ellas se desarrolla la sucesión arenosa del intervalo estratigráfico J.

**Intervalo estratigráfico J (148-151 m):** Este intervalo empieza con arenitas de cuarzo con textura arena muy fina a limo, laminadas en capas delgadas ondulosas, y culmina en caliza *packstone* de grifeidos con diámetro up de hasta 10 cm.

**Conjunto J1:** sucesión de arenitas ( $\epsilon$ ) dispuestas en capas delgadas con formas ondulosas, laminadas, plano-paralelas y *hummocky*. Termina en una capa gruesa constituida por arenita de cuarzo de textura muy fina, bioturbada.

**Conjunto J2:** este intervalo finaliza en caliza *packstone* de grifeidos: ostreidos con diámetro up de desde 2 cm hasta 10 cm. Con el microscopio es una biomicrita empaquetada con bivalvos y cuarzo con texturas arena muy fina a limo (D).

**Segmento estratigráfico IV (151-177 m):** se expresa en el perfil topográfico como valle, en el que se reconocen tres intervalos estratigráficos: K y M de naturaleza arcillosa, separados por el intervalo estratigráfico L, de naturaleza mixta: siliciclástica y de carbonatos.

**Intervalo estratigráfico K (152-160 m):** se presenta cubierto; por la morfología que genera, correspondería a rocas de grano muy fino.

**Intervalo estratigráfico L (160-168 m):** en él se diferencian tres conjuntos: L1 y L3 con expresiones topográficas de salientes, separados por el conjunto L2, de naturaleza arcilloso, que genera entrante en el terreno.

**Conjunto L1:** constituido por tres capas, dos son de arenitas de cuarzo con textura muy fina, bioturbadas, separadas por una caliza *wackestone* bioturbada, con bivalvos y serpúlidos.

La capa inferior de arenita es de textura muy fina, en su mitad inferior presenta nodularización, y en la mitad superior se aprecia laminación relicta (**microfacies η**). Las arenitas de la capa superior son de cuarzo de textura de arena muy fina. Hay presencia de bivalvos articulados en volumen de diámetro up de hasta de 9 cm, que corresponden a *Cucullaea (Noramya) gabrielis*.

En la caliza *wackestone* que separa las arenitas de cuarzo hay presencia de valvas separadas de ostreidos con diámetro up de hasta de 10 cm, y colonias de serpúlidos. Con el microscopio se identifica como biomicrita rala bioturbada (**6**), hay restos de bivalvos centimétricos y fragmentos de textura arena fina a mediana, con perforaciones de espongiarios; también hay presencia de restos de serpúlidos.

**Conjunto L2:** está conformado por *mudstone* arcillosos grises, Hay presencia de bivalvos articulados y en volumen de *Cucullaea (Noramya) gabrielis*, con diámetro up de hasta 9 cm, que alternan con dos capas delgadas de *wackestone* y arenitas con *Cucullaea*, con diámetro up de hasta 9 cm.

**Conjunto L3:** la base es una arenita de cuarzo con textura arena muy fina, que termina en una caliza *packstone* con valvas desarticuladas de ostreidos con diámetro up de hasta 4 cm, y disposición predominante paralela a  $S_0$ . En el microscopio se identifica como una biomicrita empaquetada de bivalvos (**A**), en general, las conchas están desarticuladas, paralelas a  $S_0$ , con dos poblaciones de tamaños: centimétricas y de textura arena mediana a muy gruesa.

**Intervalo estratigráfico M (168-174 m):** parcialmente cubierto, los cuatro metros superiores están constituidos por *mudstone* arcillosos arenosos, micáceos, de colores grises. Se interpone una capa delgada de caliza *wackestone* de bivalvos articulados y desarticulados con diámetro up de 0,5 a 1 cm. A medida que se acerca al segmento V, va aumentando el porcentaje de arenas y se observan láminas y capas muy delgadas, que hacia la parte más cuspidal son muy gruesas y gruesas, y están constituidas por arenita de cuarzo de grano muy fino con moscovita laminada (**ε**) y arenita de cuarzo de textura muy fina, fosilífera (**μ**).

**Segmento estratigráfico V (177-211 m):** genera la tercera cornisa en la topografía, se han separado dos intervalos estratigráficos, nombrados N y O. En el intervalo estratigráfico N se presentan capas muy gruesas de carbonatos, con formas plano-paralelas, y en el intervalo estratigráfico O, por el contrario, las capas varían de delgadas a muy gruesas, son siliciclásticas, de carbonatos y mixtas.

**Intervalo estratigráfico N (177-197 m):** está constituido principalmente por carbonatos, las calizas presentan texturas que varían de *mudstone* a *packstone*. En él se han diferenciado dos conjuntos: en el inferior las capas son muy gruesas, métricas, mientras que en el conjunto superior son gruesas.

**Conjunto N1:** está constituido por calizas con texturas *packstone* y *wackestone* en capas muy gruesas. La base de este conjunto fosiliza una superficie de erosión. En general, hacia la base se presentan las texturas *packstone*, y desde la parte media hasta la superior la textura predominante es *wackestone*.

En las calizas *packstone* se reconocen las siguientes texturas:

**i) Packstone** de conchas gruesas de bivalvos, articuladas y desarticuladas, con diámetro up de 4 a 8 cm, dispuestas en general de modo paralelo a  $S_0$ . En el microscopio se identifica como bioespirita pobremente lavada, con conchas de bivalvos (**E**); estas tienen dos poblaciones de tamaños: unas centimétricas y otras con texturas entre arena gruesa y gránulo.

**ii) Packstone** con conchas de bivalvos de hasta 2 mm de grosor y con longitudes de 2 a 3 cm, que se disponen de modo paralelo a  $S_0$ ; en el microscopio se identifica como biomicritas empaquetada (**A**).

**iii) Packstone** cuya textura varía entre arena muy fina y limo, en el microscopio se reconoce como biomicrita empaquetada con restos de espongiarios (**F**). Se reconocen restos de espículas de espongiarios (*Sclerospongiae*) con contornos micritizados.

En las calizas *wackestone* se puede diferenciar:

**i) Wackestone** con textura arena muy gruesa a gránulo, con el microscopio se identifican como biomicritas ralas (**7**). Los fósiles son conchas de bivalvos con dos orientaciones, paralelos y oblicuos a  $S_0$ , y con calibrado homogéneo: textura de gránulo (4 mm), y de manera rala, de arena gruesa. La micrita presenta recristalización a cristales de calcita espar (6-10 μm).

**ii) Wackestone** de bivalvos con mal calibrado: **a)** conchas desarticuladas de bivalvos con diámetro up de 4 a 6 cm y valva gruesa, y **b)** fragmentos de conchas de hasta 3 mm de longitud. En el microscopio se trata de una biopelmicrita con recristalización (**8**), con conchas de bivalvos con textura gránulo y de manera dispersa conchas centimétricas esparitizadas, algunas conservan su estructura original. Hay presencia de espículas de espongiarios con sus bordes micritizados.

**iii) Wackestone** con textura arena muy fina a limo, con cuarzo, corresponde a una biomicrita rala con restos de espongiarios con cuarzo (**9**). Los fósiles son: **a)** cortes transversales de espículas de espongiarios; **b)** menos frecuentes son las conchas de bivalvos articulados de textura muy gruesa y



**c)** fragmentos de placas de equinodermos. El cuarzo es angular, con textura arena muy fina.

*Conjunto N2:* son calizas que se presentan en capas medianas y gruesas, sus bases presentan ondulaciones irregulares. En cada capa se observan diferentes texturas conformando láminas de *mudstone*, *wackestone* y *packstone*.

Las calizas *wackestone* presentan textura arena muy gruesa a gránulo, con bivalvos de valvas delgadas (1 mm), sus tamaños varían desde 2 a 4 mm, ocasionalmente llegan a 2 cm. En el microscopio se identifican como biomicritas ralas (**7**), con conchas que se disponen oblicuas y paralelas a  $S_0$ .

Las calizas *packstone* se presentan de dos maneras:

**i)** *Packstone* con bivalvos de concha delgada, paralelos a  $S_0$ , con textura arena gruesa a muy gruesa (0,5 a 1,5 mm); se identifican como biomicritas empaquetadas (**B**).

**ii)** *Packstone* con bivalvos de concha gruesa y diámetro up que varía de 3 a 6 cm, esparitizadas; se identifican como biomicritas empaquetadas (**D**). Los fósiles presentan mal calibrado y se reconocen: **a)** conchas de bivalvos con textura arena gruesa a muy gruesa, en general dispuestas de modo paralelo a  $S_0$ ; otra población, menos frecuente, es centimétrica; **b)** gasterópodos, y **c)** escasos fragmentos de dientes de tiburón.

La caliza de textura *mudstone* presenta bioturbación alta; en el microscopio se identifica como micrita fosilífera bioturbada (**VIII**), con presencia de madrigueras empaquetadas constituidas por micrita con recristalización incipiente y bivalvos.

Este intervalo termina en una superficie irregular, *hard-ground*, con alteración superficial.

**Intervalo estratigráfico 0 (197-211 m):** se reconoce por la variedad en la litología, son cuatro conjuntos; los dos inferiores están constituidos por rocas silicilásticas; el tercer conjunto es mixto: de carbonatos y silicilásticos; mientras que el conjunto superior está representado solo por rocas de carbonatos con texturas que van desde *mudstone* hasta *packstone*.

*Conjunto 01:* de tono gris oscuro (N2), son arenitas de cuarzo de textura muy fina y limolitas de cuarzo en capas medianas y gruesas; están bioturbadas en diferentes estadios ( **$\pi$** ). Con el microscopio las láminas oscuras tienen matriz arcillosa, y las claras, cemento calcáreo; se alternan con algunas interposiciones de calizas *mudstone* en capas delgadas.

*Conjunto 02:* en tono gris claro (N4-N6), de naturaleza silicilástica, es una capa muy gruesa (métrica) de arenita de cuarzo, textura entre muy fina y fina, con matriz arcillosa, y por sectores, con cemento calcáreo ( **$\pi$** ) y bioturbación desde distinta hasta homogénea. Hacia el techo la arenita es de cuarzo con textura arena fina, y entre el armazón se presen-

tan cristales de ankerita ( **$\rho$** ), lodo calcáreo, menos frecuentemente, cemento esparítico.

*Conjunto 03:* de tono gris claro (N4-N6), son capas medianas con formas levemente onduladas, paralelas, representadas por caliza *wackestone* con cuarzo (**5**), arenitas fosilíferas ( **$\mu$** ) y arenitas de cuarzo de textura entre muy fina y fina ( **$\pi$** ). En la caliza *wackestone* con bivalvos, la textura de los bioclastos varía entre arena muy gruesa y gránulo. En el microscopio se identifica como biomicrita rala con cuarzo (**5**). Los fósiles son conchas de bivalvos desarticulados y fragmentados, reemplazados por esparita y placas de equinodermo; presentan mal calibrado con dos formas: **a)** fragmentos con bordes redondeados, con texturas desde fina a muy gruesa, y **b)** con menor frecuencia aparecen conchas completas de mayor tamaño.

*Conjunto 04:* de tono gris claro, es una sucesión de carbonatos de textura fina; se divide en tres paquetes: el inferior (**i**) está formado principalmente por *mudstone* arcillosos que alternan con calizas *mudstone* grises oscuras en capas delgadas; el segundo paquete (**ii**) lo conforman calizas *packstone* con bioclastos con textura limo-arena muy fina, grises claros, en capas delgadas a medianas, en alternancia con *mudstone* calcáreos grises oscuros; el tercer paquete (**iii**) está constituido únicamente por capas gruesas de calizas *packstone* con texturas de limo a arena muy fina, grises claras, sin intercalaciones de *mudstone* calcáreos.

Las calizas *mudstone* del primer paquete (**i**), en el microscopio presentan un tipo de cementación atribuible a procesos de karstificación (**IX**): se observan cristales de calcita con tamaños que van desde 50 a 185  $\mu\text{m}$ , con formas alargadas que semejan sables, como también cristales de calcita espar equidimensionales de 20  $\mu\text{m}$  en agregados; estos cristales crecen de manera perpendicular a  $S_0$  y a laminillas de materia orgánica o arcilla. También se observa crecimiento radial a partir de conchillas de foraminíferos, pirita o cuarzo.

Las calizas *packstone* de los paquetes **ii** y **iii**, en el microscopio son de textura entre limo y arena muy fina; corresponden a biomicrita empaquetada de espículas de espongiarios (*Sclerospongiae*), que aparecen como agujas (espículas), y sus cortes transversales son circulares u ovoides. El material que las une es micrita y sílice hidratada (**F**).

**Segmento estratigráfico VI (211-221 m):** se expresa en el perfil topográfico como un valle. Está compuesto por *mudstone* arcillosos grises, moscovíticos, con láminas centimétricas discontinuas de yeso, paralelas y oblicuas a  $S_0$ ; intercaladas con los *mudstone* se presentan tres capas de calizas: una de textura *wackestone* y dos de textura *packstone*, ambas de bivalvos.

Sobre 10 cm de *mudstone* arcillosos calcáreos con lentes de yeso se presenta una capa de *packstone* de bivalvo con diámetro up de 1 a 2 cm, paralelos a  $S_0$ , de color gris oscuro. En el microscopio es una biomicrita rala (**H**); presenta cristales alargados de calcita con forma de sable y cuerpos laminares lenticulares con

crecimiento de cristales de calcita como en cono paralelos a  $S_0$ , atribuibles a procesos diagenéticos kársticos.

En la caliza *wackestone*, los bivalvos son de conchas gruesas que están esparitizadas, articuladas y desarticuladas, y tienen un diámetro up de 3 cm. En el microscopio se identifica como una biomicrita rala con bivalvos **(10)**; tiene mal calibrado, contiene conchas centimétricas de bivalvos y fragmentos de conchas con textura arena muy gruesa, en general paralelas a  $S_0$ . Por cementación, en los bordes de las conchas se generan cristales con formas de sable; además, se reconocen otros rasgos atribuibles a la cementación: **a)** crecimiento de cristales de calcita en estructuras como en cono paralelas a  $S_0$  que estrujan lentes de arcillas, y **b)** agregados con forma de *popcorn* conformadas por varios cristales de calcita espar.

El *packstone* superior es del bivalvo *Aetostreon sp.*, que predomina; sus conchas están esparitizadas, articuladas o desarticuladas, con diámetros up de 2 a 7 cm. En el microscopio es una biomicrita empaquetada **(D)**, además de las conchas de bivalvos se reconocen serpúlidos, y son menos frecuentes los gasterópodos; las conchas tienen mal calibrado: desde centimétricas hasta fragmentos con textura desde arena mediana a gránulo.

**Segmento estratigráfico VII (221-270 m):** se expresa en el perfil topográfico como la cuarta **(IV)** y más superior de las cornisas. En orden ascendente se diferencian dos intervalos estratigráficos (P y Q); el intervalo estratigráfico P es en su mayoría siliciclástico y está conformado por arenitas de cuarzo de texturas entre muy fina y fina; el intervalo estratigráfico Q, de carbonatos, presenta niveles de *Thalassinoides*, *hardgrounds* y paleosuelos?

**Intervalo estratigráfico P (221-238 m):** se diferencia en dos conjuntos siliciclásticos: P1 y P2.

**Conjunto P1:** en la parte inferior está constituido por arenitas lodosas de cuarzo de textura muy fina con matriz arcillosa, laminadas con limolitas de cuarzo **(π)**, y en la mitad superior está conformado por arenitas de cuarzo con textura entre muy fina y fina, maduras, bioturbadas; estas rocas registran la presencia de cristales de ankerita **(ρ)**.

Este conjunto termina en un *wackestone* con cuarzo; en el microscopio se identifica como biomicrita rala con cuarzo **(5)**. Los fósiles son conchas de bivalvos esparitizados y perforados por espongiarios, gasterópodos, espinas de equinodermos y restos de algas rojas incrustantes; el cuarzo es abundante, angular y de textura muy fina (24%).

**Conjunto P2:** presenta la siguiente gradación: en la base es un *mudstone* arcilloso, y continúa con limolitas de cuarzo laminadas: láminas con matriz de arcilla acompañada de óxidos y láminas con cemento caolinítico **(ε)**.

**Intervalo estratigráfico Q (238-270 m):** las rocas son en su mayoría de carbonatos que se disponen en capas muy gruesas; hacia el techo, en algunas capas el contenido de cuarzo alcanza el 23%. Se presentan además dos horizontes métricos de calizas nodulares (*Thalassinoides* apretados) y destaca la presencia de varios horizontes de paleosuelos.

Los conjuntos Q1, Q3, Q5 y Q7 están constituidos cada uno por una capa muy gruesa con variación textural, así:

**Conjunto Q1:** en la parte basal es un *packstone* con bioclastos con textura de gránulo. Hay presencia rala de bivalvos centimétricos. Hacia la parte media, la roca es un *wackestone* con textura de arena gruesa; en la parte más superior la bioturbación se expresa en nódulos dispersos.

**Conjunto Q3:** empieza en un *wackestone* de textura limo-arena muy fina, que grada a *wackestone* de bivalvos con textura arena gruesa y, de manera dispersa, conchas esparitizadas de bivalvos, articulados y desarticulados, centimétricos, con diámetros up que van desde 3 hasta 8 cm. Culmina en una caliza *packstone* de bivalvos con conchas de hasta de 10 cm de diámetro up, con valvas gruesas (1 cm), entre esparitizadas y muy delgadas (3 mm).

**Conjunto Q5:** es un *wackestone* de diversos tipos de bivalvos, de conchas gruesas esparitizadas, articuladas y desarticuladas, con diámetro up de hasta 12 cm. Gradan a *wackestone* con conchas delgadas (3 mm) y otras con diámetro up de 4 cm. Culmina en un *wackestone* bioturbado, con textura arena mediana a gruesa, con cuarzo.

**Conjunto Q7:** es un *packstone* con bioclastos centimétricos, los bivalvos tienen valvas gruesas o delgadas, con diámetro up de 1 a 7 cm. Entre los bivalvos se reconocen grifeidos y trigonias. Los fósiles están dispuestos paralelos u oblicuos a  $S_0$ . Con el microscopio se observa en este tipo de rocas mayor diversidad de fósiles: bivalvos, gasterópodos, serpúlidos, placas de equinodermos, restos de briozoarios, restos de algas, fragmentos de espongiarios calcáreos y fragmentos de espinas de espongiarios silíceos; la mayoría de los fósiles están esparitizados. La micrita presenta recristalización. En estos conjuntos se reconoce la presencia de cuarzo en porcentajes que varían entre el 4% y 24%; también es notoria la presencia de fosfatos (6%) en forma de granos y como relleños de cámaras de gasterópodos.

Las calizas *packstone* se identifican como biomicritas empaquetadas diversas **(G)**, con fósiles diversos: bivalvos, gasterópodos, algas, espongiarios calcáreos y silíceos, briozoarios y equinodermos; exhiben mal calibrado con varias poblaciones de tamaños: entre arena mediana a muy gruesa y centimétrica. Hay presencia de restos fosfáticos y la cantidad de cuarzo es variable: desde 4% hasta alcanzar el 21%.

Las calizas *wackestone* en el microscopio se identifican como:



**i) Biomicrita rala diversa con cuarzo (11).** Puede estar bioturbada, con sectores claros de forma circular (huellas de madriguera) con recristalización incipiente de la micrita, y entre ellos hay sectores oscuros que tienen menor presencia de fósiles y mayor presencia de cuarzo. Los fósiles son fragmentos de placas de equinodermos, de conchas de bivalvos, de algas y fragmentos de colonias de briozoarios; tienen calibre homogéneo. En promedio, los bioclastos tienen textura arena mediana a gruesa.

**ii) Biopelmicrita (8).** Los fósiles tienen textura de gránulo (4.000  $\mu\text{m}$ ) y están representados por conchas de bivalvos esparitizadas y relictos de su estructura original; continúa con la presencia de los mismos fósiles comunes del intervalo Q, además de peloides de micrita y cuarzo.

Los conjuntos Q2, Q4, Q6 y Q8 generan entrantes en el relieve y se describen a continuación:

**Conjunto Q2:** son calizas *wackestone* de textura limo-arena muy fina, que se disponen en capas muy delgadas de *Thalassinoides* apretados que configuran calizas nodulares que corresponde en el microscopio a una biomicrita rala diversa (9); en esta ocasión está bioturbada: predominan cuerpos redondeados claros por ausencia de materia orgánica (huellas de madrigueras).

**Conjuntos Q4 y Q6:** se interpretan como paleosuelos y representan periodos de intemperismos, y están separados por un conjunto no meteorizado de calizas *wackestone* Q5. Los paleosuelos corresponden a intervalos de carbonatos transformados en un material calcáreo-arenoso deleznable con aspecto de caliche. El conjunto Q6 se observa puntuado por depósitos de tormentas que produjeron *wackestone* de bivalvos de *Cucullaea (Noramya) gabrielis* con diámetros up de 4 a 6 cm.

**Conjunto Q8:** está parcialmente cubierto, alternan dos horizontes de *Thalassinoides* apretados separados por una capa muy gruesa de caliza.

**Conjunto Q9:** son dos capas muy gruesas que destacan en el extremo sur del puente El Tablazo.

La inferior de ellas es un *wackestone* con cuarzo. Se observan de manera dispersa bivalvos con diámetro up de 4 a 8 cm, que están esparitizados y son de valva gruesa. En el techo de esta capa se observa una red de *Thalassinoides* apretados. Las calizas *wackestone* se identifican como biomicritas ralas diversas (11), son rocas con mal calibre, con poblaciones de restos fósiles cuyos tamaños varían de centimétricos a textura de arena gruesa, representados por conchas de bivalvos y fragmentos de bivalvos, esparitizados en su gran mayoría, con bordes micritizados y algunas conchas con su estructura original. Hay gasterópodos, placas de equinodermos y espinas de equinodermos, acompañados de cuarzo.

La última capa de la Formación Tablazo, en su localidad tipo, es una caliza *packstone* con variaciones locales a *wackestone*

de bivalvos esparitizados articulados y desarticulados, con diámetro up entre 4-12 cm; el techo es una superficie corrugada, irregular, con protuberancias y depresiones con formas redondeadas, que tiene incrustaciones de fragmentos de fósiles como bivalvos, corales, colonias de serpúlidos, y representa un *hardground*. Esta caliza forma una extensa pendiente estructural que buza hacia la carretera (oeste).

**Medios del depósito.** Como resultado de esta investigación, se ha interpretado que los sedimentos que conforman esta unidad se depositaron en una rampa de carbonatos, entre la región supramareal y la rampa media, con desarrollo de una albufera (*lagoon*) comunicada con el mar y temporalmente circundada por una barra (*shoal sand*). La presencia de *microcodium*, calizas nodulares, *nodular rubble* y paleosuelos evidencian varias exposiciones subaéreas por oscilaciones en la posición relativa del fondo del depósito con respecto a la línea de costa.

En la parte inferior de la Formación Tablazo, segmento estratigráfico I, las condiciones fueron favorables para la acumulación simultánea de carbonato de calcio y materia orgánica. Los fósiles presentes son restos de ostrácodos, quistes de dinoflagelados calcáreos y elementos reproductores de algas.

En el segmento estratigráfico II persistieron las condiciones marinas, con presencia de equinodermos, turrítelidos pequeños y fragmentos de bivalvos de hasta 250  $\mu\text{m}$ ; sin embargo, las condiciones estuvieron afectadas además por corrientes costaneras que aportaron arcilla y cuarzo con tamaño limo a la albufera, hasta generar una barra.

En el segmento III, intervalo F, nuevamente se dan condiciones favorables para la acumulación de carbonato de calcio y materia orgánica; aparecen conchas y fragmentos de valvas delgadas esparitizadas de pelecípodos, cortes de espinas de espongiarios y foraminíferos bentónicos cuya proporción puede aumentar en ciertos niveles hasta el 14%.

A partir del intervalo estratigráfico G, la Formación Tablazo se empobrece en materia orgánica. En los intervalos G y H los fósiles encontrados corresponden a conchas de bivalvos esporádicas de valva gruesa (5 mm) y esparitizadas. La alternancia en la sucesión de arcilla-arena-caliza que se presenta en esos intervalos, se interpreta como resultado de la colmatación repetida por material arcilloso en una albufera, hasta llegar a condiciones entre intermareales y supramareales (intervalo estratigráfico I), que pasa a condiciones intermareales afectadas por tormentas (estructuras *hummocky*) en arenitas de cuarzo de textura muy fina, y culmina en acumulación de grifeidos, instalados en una albufera (intervalo J). Las características descritas hablan de oscilaciones del nivel del mar.

En el segmento IV, elementos paleontológicos tales como *Cucullaea sp.* y *Aetostreon sp.* sugieren ambientes costaneros lagunares en fondos arcillosos.

El segmento estratigráfico V se establece en el dominio de la albufera, en la que abundan fragmentos de bivalvos y bivalvos de concha gruesa (5 mm a 2 cm), así como otros de concha delgada (<5 mm), acumulados durante un lapso dominado por episodios de tormentas que alternaba con otros de mar calma, durante los cuales se acumularon peloides de micrita y se desarrollaron colonias de espongiarios.

En el segmento VI se observa nuevamente colmatación de la albufera por material arcilloso con abundantes lentes de yeso que recuerdan condiciones de somerización en clima árido, punteadas por depósitos de tormentas que formaron capas de *wackestone* y *packstone* de bivalvos de concha gruesa, entre los que destacan representantes de *Aetostreon* sp.

La parte inferior (intervalo P) del segmento VII puede interpretarse como depósito de arenitas de cuarzo y limolitas resultante del avance del mar sobre el dominio supramareal. Finalmente se establecieron condiciones de albufera (intervalo Q) con diversidad paleontológica en aguas de salinidad normal: conchas de bivalvos gruesas y centimétricas de hasta 14 cm de diámetro umbopaleal (up), bivalvos de concha delgada (menores de 5 mm) y fragmentos de bivalvos, así como restos de espongiarios, algas incrustantes, gasterópodos, briozoarios, espículas de espongiarios y de equinodermos, y extraclastos de fosfatos o gasterópodos fosfatizados, acumulados en el fondo de la albufera. La alternancia con condiciones de mar calma permitió el establecimiento de praderas de espongiarios silíceos. Se observa alternancia de algunos niveles que quedaron expuestos y se meteorizaron hasta generar calizas nodulares (*nodular rubble*) y paleosuelos que indican fluctuaciones del nivel del agua (ascenso y descenso). La Formación Tablazo culmina en un *hardground* que muestra rasgos de exposición subaérea.

**Edad.** Con base en las determinaciones bioestratigráficas a partir de amonitas, la edad de la Formación Tablazo en la sección tipo es Albiano temprano parte alta.

## INTRODUCCIÓN

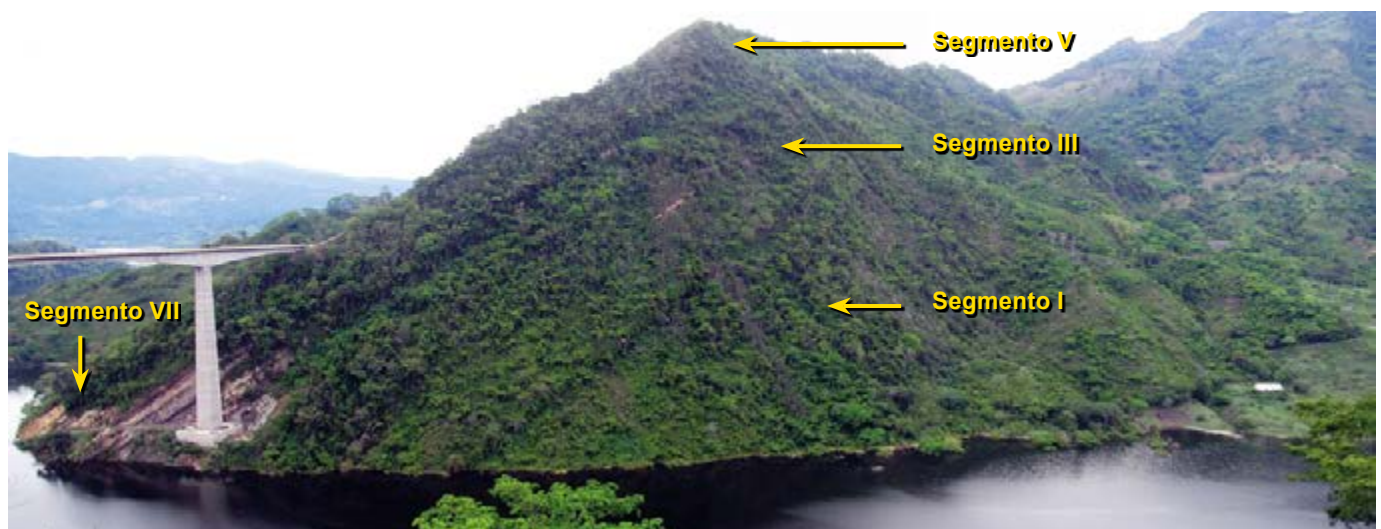
En el año 2013, el Servicio Geológico Colombiano adelantó el estudio cartográfico y estratigráfico detallado de las secciones tipo de las unidades litoestratigráficas en la región del Valle Medio del Magdalena (VMM), aprovechando las obras civiles adelantadas durante la construcción del embalse de Hidrosogamoso.

Esta región incluye la sección tipo de la Formación Tablazo, de acuerdo con la información presentada por Wheeler (1929): *The Tablazo formation rests upon the La Paja shales and caps the first mountain east of Tablazo. It is also well exposed along the trail from Tablazo to Rosa Blanca from the bodega on the north side of the river up to the outcrops of La Paja shales.* Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958) adoptan esta, como la sección tipo estándar de la Formación Tablazo del VMM (**fig. 1**).

En el presente estudio se acepta el cerro El Tablazo como la sección tipo de la Formación Tablazo y se subdivide en orden ascendente en siete segmentos estratigráficos, numerados I a VII.

La Formación Tablazo se inicia con el segmento estratigráfico I, que se expresa como un saliente, en contraste con el entrante generado por el segmento cuspidal de la Formación La Paja. El segmento estratigráfico I se midió en afloramientos por la quebrada La Paja, con un espesor de 53 m (**anexo 3.1** columna estratigráfica).

El segmento estratigráfico II está compuesto por tres intervalos estratigráficos: uno duro y dos blandos. El elemento duro, nombrado *intervalo estratigráfico D*, se midió en su afloramiento por la quebrada La Paja, pero los intervalos estratigráficos C y E, blandos, se midieron en los afloramientos presentes en la vía Lebrija-San Vicente de Chucurí, en la intersección con la quebrada La Molinilla (**anexo 3.2** columna estratigráfica). El espesor del segmento II es de 34 m.



**Figura 1.** Panorámica de la Formación Tablazo en el cerro homónimo (sección tipo). Obsérvese la morfología de montaña que genera la unidad. El espejo de aguas pertenece al embalse de Hidrosogamoso. Puente El Tablazo (fotografía tomada desde el punto con coordenadas N:1.269.590, E:1.081.550 y azimut 345°).



En el cerro El Tablazo se midieron los segmentos estratigráficos restantes, desde el III hasta el VII, y la suma de los espesores de los segmentos estratigráficos III a VII es de 183 m.

El espesor total medido de la Formación es, entonces, 270 m. Nótese que este espesor difiere de los 156 m mencionados por Wheeler (1929), y de la variación en espesor (150 a 325 m) atribuida a la Formación por Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958, 651).

En esta región se adelantaron estudios de tesis de pregrado sobre esta formación, uno de ellos localizado al este (E) en la región de San Gil (Moreno-Sánchez y Pérez 2001) y Beltrán (2008) realizó su trabajo de grado en el área tipo.

## METODOLOGÍA

Los afloramientos de la Formación Tablazo en la quebrada La Paja fueron descritos y amarrados a una poligonal abierta levantada con brújula y cinta métrica (**fig. 2**). El espesor se midió directamente de la sucesión litológica mediante el método del bastón de Jacob. El recálculo del espesor se hizo mediante aplicación del método de Mertie (1922), introducida en hoja de cálculo. En los afloramientos de la sección tipo y en la vía Lebrija-Carmen de Chucurí, en el cruce con la quebrada La Molinilla, el levantamiento se realizó por medio del bastón de Jacob.

La descripción de las rocas aflorantes se hizo mediante el empleo de la lupa 10x. Las muestras paleontológicas y petrográficas se registraron en formatos estandarizados por el Grupo de Estratigrafía del Servicio Geológico Colombiano.

En las labores de campo, en las rocas de grano fino (< 63  $\mu\text{m}$ ), para mejor comunicación internacional se utilizó el nombre *mudstone* en vez de lodolita, y para indicar su composición se utilizó la terminología propuesta por Lazar et al. (2015). Estos autores proponen un diagrama ternario, en cuyos vértices están los porcentajes totales (100%) de carbonatos, arcillas (por ejemplo, illita, esmectita, etc.), y cuarzo; el diagrama puede ser modificado en uno de sus vértices para reflejar los componentes dominantes: presencia de materia orgánica (TOC), fosfatos, etc.

Utilizando la terminología de Lazar et al. (2015), después de la palabra *mudstone* sigue el adjetivo, que hace referencia al componente que supera el 50%; tendrá más de un adjetivo si ningún componente sobrepasa el 50%.

En la presente investigación, por no haber hecho análisis del contenido de TOC, no se utiliza el adjetivo *carbonoso* (Lazar et al. 2015), y en su reemplazo se dice que la roca tiene materia orgánica y se considera el componente de colores negros que tiñe de negro la mano como que se tratara de materia orgánica.

De esta manera, el orden de los calificativos del nombre de la roca se da con base en las proporciones de sus componentes, de mayor a menor. Entonces, un *mudstone* calcáreo con materia orgánica es la roca cuyos componentes principales son

carbonatos y materia orgánica; un *mudstone* arcilloso con materia orgánica es la roca compuesta por minerales de arcilla y materia orgánica.

Para la descripción en campo de las rocas carbonatadas se tuvo en cuenta la proporción de sus constituyentes y su textura; se reconocieron siguiendo la clasificación propuesta por Dunham (1962), de manera que se llamaron caliza *mudstone*, *wackestone*, etc. Con el microscopio, estas mismas rocas se identificaron siguiendo los criterios propuestos por Folk (1959 y 1962).

En la propuesta de Dunham (1962), los conceptos de *wackestone* y *packstone* abarcan el amplio espectro de texturas en los bioclastos. En el trabajo de campo del presente estudio se utilizó la lupa de 10x y se trató, en lo posible, de identificar el mayor número de tipo de bioclastos y su textura; por ejemplo: *wackestone* de textura arena media con conchas de bivalvos.

En la identificación de las rocas siliciclásticas se utilizan los criterios de Folk (1954), para su textura, y el nombre composicional es asignado según la propuesta de Folk (1974). Para los tipos de contactos y calibrado de las partículas se adopta la propuesta de Pettijohn (1973), y para la forma de los granos se sigue a Krumbein y Sloss (1969).

Para describir el espesor de las capas se utilizaron los criterios de Campbell (1967) e Ingram (1954), y para la forma de los contactos se recurrió al diagrama de términos descriptivos de Campbell (1967). La bioturbación de los sedimentos se expresó según la propuesta de Moore y Scrutton (1957).

La sucesión de las rocas observadas se dividió en segmentos con base en: **1**) expresión morfológica; **2**) rasgos sedimentológicos, y **3**) litología observada mediante la lupa 10x y el microscopio. La información se integró en la columna estratigráfica. Las porciones de la secuencia que están cubiertas se representan en el dibujo por medio de líneas punteadas.

Según las características litológicas y petrográficas, las estructuras sedimentarias de las rocas y la forma de capas, la formación fue subdividida en segmentos estratigráficos, que a su vez se subdividieron en intervalos estratigráficos, y ellos, en conjuntos.

**Petrografía.** Para las descripciones petrográficas (121 secciones delgadas), como norma se hicieron conteos de 300 puntos, y en casos particulares se contaron 500 puntos.

En el análisis petrográfico se prestó especial atención a los agregados de cristales de calcita (>5  $\mu\text{m}$ ), para diferenciar su naturaleza como cemento o como recristalización de micrita, recordando que para Folk (1959 y 1962), la micrita es la calcita microcristalina con diámetros en el rango de tamaños de 1 a 4  $\mu\text{m}$ , que se observa de color pardo; mientras que

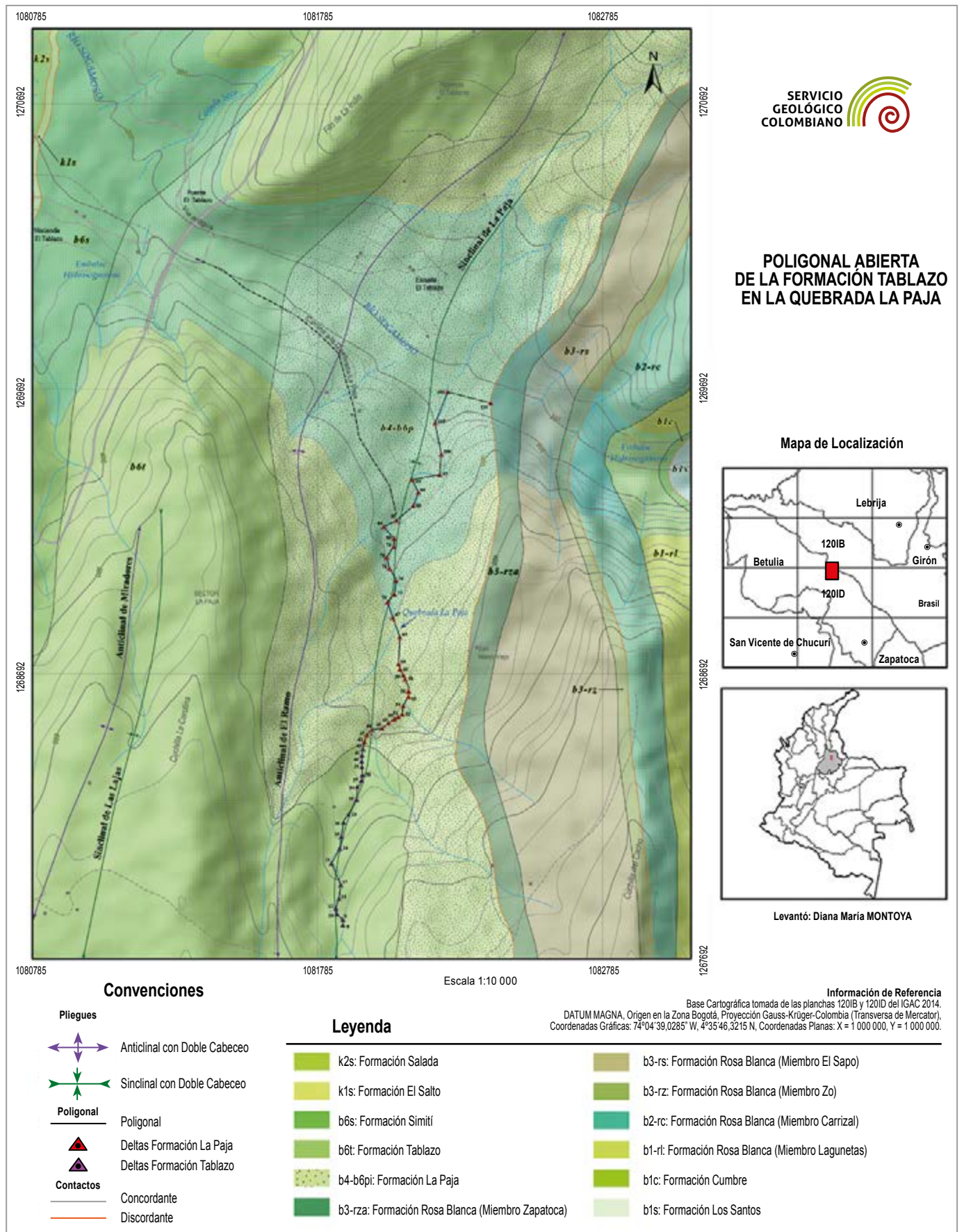


Figura 2. Localización y poligonal (mapa tomado de Moreno-Sánchez, 2019).



el cemento esparítico (*sparry calcite cement*) es el tipo de calcita que forma granos o cristales con diámetro de 10  $\mu\text{m}$  o mayores, y es producto de la precipitación de calcita que rellena los poros del sedimento (Folk 1962, 66).

El proceso de recristalización de la micrita en calizas puede generar cristales de calcita de tamaños mayores de 4  $\mu\text{m}$ , que no deben ser tratados como cemento esparítico. La calcita microcristalina con diámetros entre 5 y 20  $\mu\text{m}$ , en forma de mosaico de cristales subeuhedrales a euhedrales, con contornos definidos, corresponde a lo que Folk llamó *micropar* (1959, 32).

En ocasiones se observó un mosaico de cristales de calcita con contornos difusos y de color más claro que el de la micrita; se dice entonces que la micrita tiene recristalización incipiente por neomorfismo.

Cuando la micrita está acompañada por materia orgánica, esta le imprime tono pardo oscuro a la sección delgada. Para lograr una primera aproximación a la presencia de materia orgánica se aplicó el método sugerido por Folk (1987).

En algunas rocas de grano muy fino, mediante la observación con el microscopio se reconoció la presencia de tapetes microbiales y de su biomineralización por calcita microcristalina, que permitió a su vez la litificación; a este tipo de rocas, Burne y Moore (1987) las denominan *microbialitas*. Al describir las microbialitas y su laminación se emplea el término *bindstone* (Embry y Klovan 1971).

Cuando en las calizas el material terrígeno-cuarzo-supera el 10% y es menor de 50%, se adiciona el término cuarzo. Ejemplo: biomicrita rala con de textura gránulo con bivalvos y cuarzo, etc.

En el caso de las rocas mixtas de carbonatos y siliciclastos, el nombre dado a la roca refleja el componente con contenido mayor de 50%, y tendrá más de un nombre si ningún contenido sobrepasa el 50%. En el caso de que la roca esté constituida por más de 50% de partículas de cuarzo y más de 10% de fósiles, se denominará *arenita de cuarzo*, y se completará su nombre con la textura de las partículas, más el adjetivo fosilífera: arenita de cuarzo con textura de arena muy fina, fosilífera.

**Microfacies.** En las rocas de la Formación Tablazo con el microscopio se han diferenciado microfacies, con base en sus constituyentes, disposición de los mismos y procesos diagenéticos que las afectaron.

En las calizas *mudstone* se han diferenciado las siguientes microfacies, identificadas con números romanos (**fig. 3**):

**Microfacies I:** micrita y micrita fosilífera (**fig. 3-I**). Se caracterizan por presentar recristalización incipiente generalizada y relictos de bioturbación animal. Entre los fósiles se diferencian: **a)** cuerpos circulares de diámetro mayor de 100

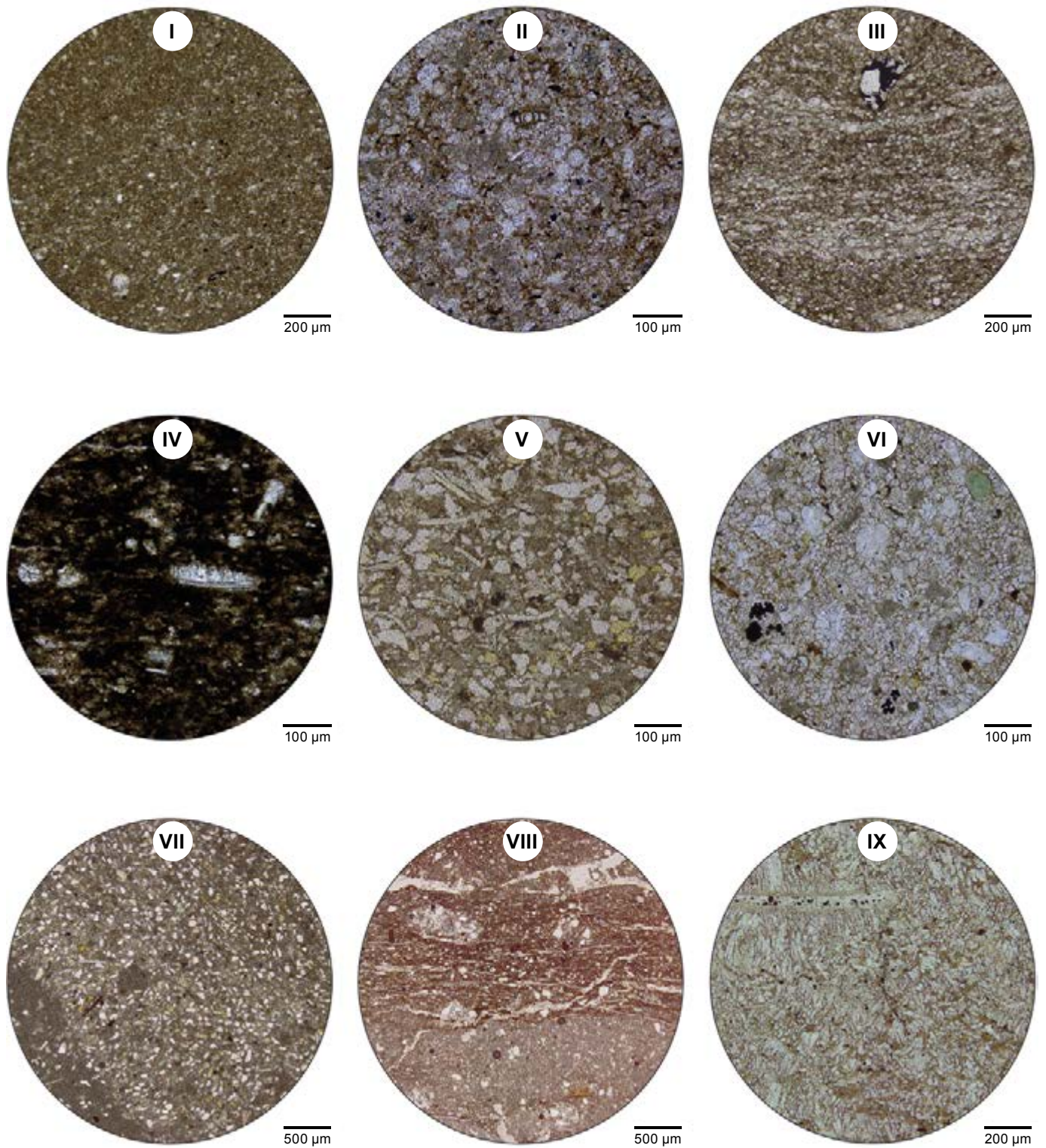
$\mu\text{m}$ , que internamente están constituidos por cristales de calcita espar equigranulares, interpretados como *funga fruiting bodies* (Goldstein 1988, fig. 8B); **b)** cuerpos circulares de diámetro mayor de 100  $\mu\text{m}$ ; internamente están constituidos por cristales de calcita espar, dispuestos en anillos concéntricos; **c)** cuerpos circulares con diámetro entre 20 y 40  $\mu\text{m}$ , con un cristal de calcita central rodeado por un anillo segmentado de cristales de calcita, que corresponden a quistes de dinoflagelados calcáreos (Reháková 2000), y **d)** escasas conchillas de foraminíferos y ostrácodos.

**Microfacies II:** pelmicrita y biopelmicrita con recristalización (**fig. 3-II**). Se observan peletoides de micrita (Flügel 2010, fig. 4.12) y un agregado de cristales de calcita espar. La bioperturbación se aprecia en raicillas y rizoides (Košir 2004). Los fósiles comunes en esta microfacies son: **a)** *funga fruiting bodies* (Goldstein 1988, fig. 8B); **b)** cuerpos circulares con diámetros entre 30 y 50  $\mu\text{m}$ , y cuerpos ovalados con tamaños entre 50 y 70  $\mu\text{m}$ , que son reemplazados internamente por cristales de calcita espar radiales; corresponden a *microcodium* (Košir 2004; Lucas y Montenat 1967); **c)** cuerpos circulares con diámetro entre 20 y 40  $\mu\text{m}$ , constituidos por un solo cristal de calcita espar; rodeados por un anillo constituido por cristales subrectangulares de calcita, corresponden a quistes de dinoflagelados calcáreos (Reháková 2000); **d)** cuerpos circulares con diámetros entre 20 y 40  $\mu\text{m}$ ; internamente son un solo cristal de calcita espar, rodeados por un anillo pardo oscuro, ocráceo, que corresponden a quistes de dinoflagelados calcáreos (Reháková 2000), y **e)** escasas conchillas de foraminíferos y, con menos frecuencia, fragmentos de bivalvos de hasta 60  $\mu\text{m}$ . La presencia de cuarzo puede superar el 10%; además, hay presencia de moscovita.

**Microfacies III:** *bindstone* con recristalización (**fig. 3-III**). Se observan dos tipos de láminas: **a)** oscuras, compuestas por calcita microcristalina (micrita), con cristales dispersos de calcita espar de 10 a 20  $\mu\text{m}$ . **b)** claras, constituidas por agrupaciones de láminas discontinuas y onduladas; internamente presentan cristales de calcita espar y elementos reproductores de algas, estos elementos son cuerpos circulares con tamaños de hasta 40  $\mu\text{m}$ . En ocasiones se observa bioperturbación.

**Microfacies IV:** micrita fosilífera con materia orgánica (**Fig. 3-IV**). Los fósiles son: **a)** fragmentos de bivalvos con tamaños entre 50 y 200  $\mu\text{m}$ ; **b)** restos de espículas de espongiarios que en ocasiones se conservan silíceas.

**Microfacies V:** pelmicrita con cuarzo bioperturbada (**fig. 3-V**). Presentan peletoides de micrita (Flügel 2010, fig. 4.12). Entre los fósiles se reconocen: **a)** fragmentos de placas de equinodermos; **b)** restos de espículas de espongiarios, y **c)** foraminíferos bentónicos. El cuarzo es angular, con textura entre limo grueso y arena muy fina. El material que ocupa el espacio intergranular es micrita con manchas de óxidos y restos de glauconita *s.l.* Se observa bioperturbación.



**Figura 3.** Microfacies en las calizas *mudstone*. (I) Micrita y micrita fosilífera con recristalización incipiente (**dma 4814**). (II) Pelmicrita y biopelmicrita con recristalización (**dma 4808**). (III) *Bindstone* con recristalización (**dma 4799**). (IV) Micrita y micrita fosilífera con materia orgánica (**dma 5379**). (V) Pelmicrita con cuarzo bioperturbada (**dma 5071**). (VI) Micrita y micrita fosilífera con cuarzo y recristalización pedogénica (**dma 5073**). (VII) Micrita con cuarzo (**dma 5086**). (VIII) Micrita y micrita fosilífera bioperturbada con límites de madriguera definidos (**dma 5157**). (IX) Diagenética (**dma 5166**).



**Microfacies VI:** micrita fosilífera con cuarzo y recristalización pedogénica (**fig. 3-VI**). Presentan bioperturbación. Se reconocen mosaicos de cristales de calcita espar con tamaños entre 9 y 15  $\mu\text{m}$ , por recristalización. Los fósiles son: **a)** cuerpos circulares de hasta 50  $\mu\text{m}$ , internamente constituidos por cristales triangulares radiales y cuerpos ovalados constituidos por cristales de calcita alargados *microcodium* (Košir 2004; Lucas y Montenat 1967); **b)** conchillas de foraminíferos bentónicos; **c)** cuerpos circulares rodeados por un anillo ocráceo: quistes de dinoflagelados calcáreos (Reháková 2000). También se reconocen peletoides de micrita (Flügel 2010, fig. 4.12). La cantidad de cuarzo varía desde 8% hasta 28%.

**Microfacies VII:** micrita con cuarzo (**fig. 3-VII**). Se identifican fragmentos de placas de equinodermos, peletoides de micrita (Flügel 2010, fig. 4.12) y cuarzo con textura arena fina en proporciones mayores al 10%. Presenta bioperturbación.

**Microfacies VIII:** micrita fosilífera con cuarzo, bioperturbada, con límites de madrigueras bien definidos (**fig. 3-VIII**). Las madrigueras se perciben como sectores de tono claro con pared de micrita con materia orgánica. Los fósiles son restos de bivalvos con textura entre arena muy gruesa y gránulo. El cuarzo se presenta con textura entre limo y arena muy fina, es angular y alcanza porcentajes mayores de 10%.

**Microfacies IX:** Diagenética (**fig. 3-IX**). Constituida por cristales de calcita dispuestos de dos maneras: **I)** alargados con formas de espada o fibras (Flügel 2010, fig. 7.12), a modo de empalizadas, con dimensiones que varían entre 50 y 185  $\mu\text{m}$ , desarrolladas perpendiculares a  $S_0$ , y **II)** radiales alrededor de restos fósiles con dimensiones entre 50 y 80  $\mu\text{m}$ . Los fósiles son conchas de bivalvos, conchillas de foraminíferos y fragmentos de placas de equinodermos. Hay presencia menor de arcilla que se observa estrujada entre los cristales con forma de sable. Representa una fase de cementación con influencia meteórica.

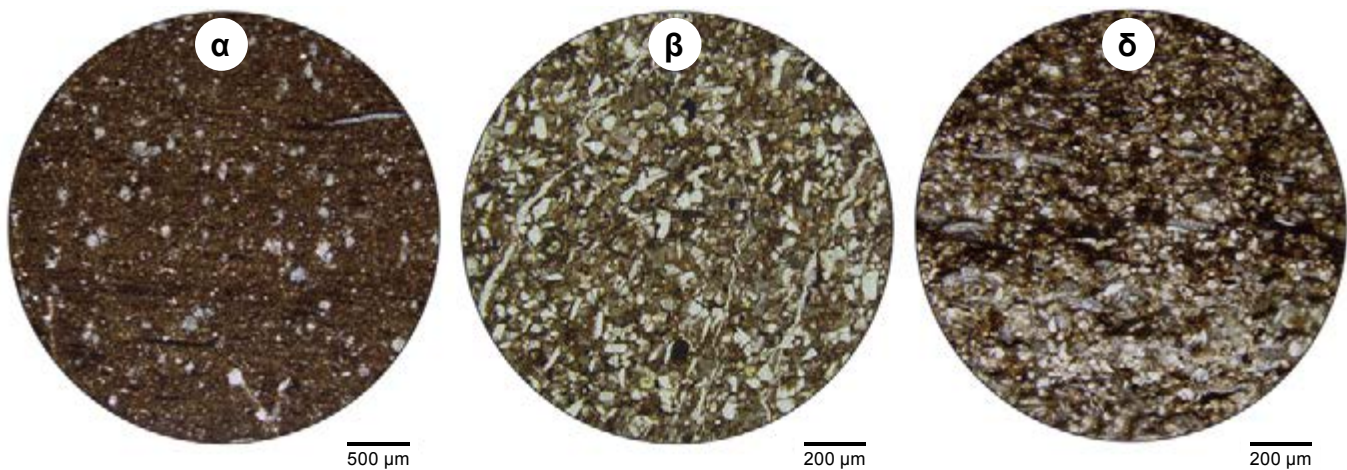
En los *mudstone* calcáreos con materia orgánica se han diferenciado las siguientes microfacies identificadas con letras del alfabeto griego (**fig. 4**):

**Microfacies  $\alpha$ :** *bindstone* con materia orgánica (microbialitas) (**fig. 4- $\alpha$** ); calcita microcristalina de origen microbial, acompañada por materia orgánica en motas e hilillos paralelos a  $S_0$ ; piritra framboidal diseminada. Los fósiles son: **a)** cuerpos circulares con diámetro entre 20 y 30  $\mu\text{m}$ ; internamente son un solo cristal de calcita espar, se interpretan como elementos reproductores de algas o bacterianos; **b)** *fungus fruiting bodies*; **c)** cuerpos circulares con diámetro entre 25 y 40  $\mu\text{m}$ , rodeados por un anillo segmentado de cristales de calcita, se interpretan como quistes de dinoflagelados calcáreos (Reháková 2000); **d)** restos de algas; **e)** escasas conchillas de foraminíferos bentónicos; **f)** restos de peces en general rellenos de hidrocarburos. Presencia abundante de cristales de calcita rómbicos, en ocasiones a partir de un elemento reproductor de alga o bacteriano.

**Microfacies  $\beta$ :** pelmicrita con cuarzo y materia orgánica (**fig. 4- $\beta$** ), hay peletoides de micrita (Flügel 2010, fig. 4.12). Se observa cuarzo (20-38%), angular, con textura de limo, y en menor abundancia moscovitas (2-6%) y vestigios de fel-despatos. Se manifiestan bioperturbadas.

**Microfacies  $\delta$ :** micrita y micrita fosilífera con materia orgánica (**fig. 4- $\delta$** ). Laminación plana paralela con alternancia de láminas claras y oscuras. En las claras se presenta cemento calcáreo intersticial, mientras que en las láminas oscuras se presenta lodo calcáreo con materia orgánica que determina el tono oscuro de la roca. Presencia de cuarzo angular con textura limo grueso (3%), y moscovita. Los fósiles son fragmentos de bivalvos.

En las calizas con textura *wackestone*, bajo el microscopio se diferenciaron las siguientes microfacies, que están identificadas mediante números arábigos (**fig. 5**):



**Figura 4.** Microfacies en los *mudstone* calcáreos. ( **$\alpha$** ) *Bindstone* con materia orgánica (**dma 4800**). ( **$\beta$** ) Pelmicrita con cuarzo y materia orgánica (**dma 4811**). ( **$\delta$** ) Micritas y micritas fosilíferas con materia orgánica, pueden estar laminadas (**dma 5368**).

**Microfacies 1:** biomicrita rala con conchas de bivalvos (**fig. 5-1**). Las conchas son delgadas, están desarticuladas y articuladas, con disposición ordenada en general paralela a  $S_0$ . El material intersticial está formado por: micrita, arcilla y cristales rómbicos de calcita espar-dolomita?

**Microfacies 2:** biomicrita rala con espongiarios y materia orgánica. La micrita con recristalización incipiente presenta bioturbación (**fig. 5-2**). En los sectores oscuros no bioturbados está acompañada de materia orgánica, mientras que en los sectores claros la materia orgánica está ausente. Los fósiles son: **a)** cuerpos circulares calcáreos con diámetro entre 40 y 50  $\mu\text{m}$ , de forma ovoide, con diámetro de hasta 80  $\mu\text{m}$ ; cortes de espículas de espongiarios (Schoelle y Ulmer-Schoelle 2003, 95; Flügel 2010, *plate* 78); **b)** cuerpos calcáreos alargados con forma de agujas, de tamaños de hasta 200  $\mu\text{m}$ ; espículas de espongiarios (Schoelle y Ulmer-Schoelle 2003, 95; Flügel 2010, *plate* 78); **c)** fragmentos de bivalvos con tamaños de hasta 200  $\mu\text{m}$ . Hay presencia de cuarzo con textura limo en cantidades que varían entre 6% y 11%.

**Microfacies 3:** biomicrita rala con foraminíferos bentónicos *Praebulimina sp.* y materia orgánica (**fig. 5-3**). Los bioclastos son: **a)** foraminíferos bentónicos calcáreos biseriales *Praebulimina sp.* en proporciones mayores del 10%, y **b)** cuerpos circulares calcáreos con diámetros de hasta 40  $\mu\text{m}$  y cuerpos ovalados calcáreos de tamaños entre 80 y 95  $\mu\text{m}$  (cortes de espículas de espongiarios).

**Microfacies 4:** biopelmicrita con foraminíferos bentónicos y materia orgánica (**fig. 5-4**). Los fósiles son: **a)** foraminíferos calcáreos biserials con bordes micritizados (*Praebulimina sp.*) y en espiral (*Epistomina sp.*); **b)** espículas de espongiarios; **c)** cuerpos circulares concéntricos con diámetros entre 30 y 50  $\mu\text{m}$ ; en su interior presentan cristales de calcita espar triangulares radiales y cuerpos ovalados con forma de frijol, reemplazados internamente por cristales de calcita alargados, que corresponden a *microcodium* (Košir 2004; Lucas y Montenat 1967). Hay presencia de peletoides de micrita.

**Microfacies 5:** biomicritas ralas con bivalvos y cuarzo (**fig. 5-5**). El lodo calcáreo tiene recristalización incipiente. Los fósiles aparecen en varias texturas: centimétricas, de arena fina a muy gruesa; dispuestos de manera oblicua o paralela a  $S_0$ , y están representados por: **a)** conchas de bivalvos esparitizadas; **b)** espículas y fragmentos de placas de equinodermos, y **c)** con menos frecuencia, fragmentos de colonias de briozoarios. Presencia de cuarzo con textura entre limo grueso y arena muy fina, en proporciones de hasta 24%.

**Microfacies 6:** biomicrita rala bioturbada (**fig. 5-6**). Con límites de madrigueras bien definidos, presenta sectores claros y oscuros con presencia de materia orgánica. Los fósiles son conchas de bivalvos esparitizadas, con tamaños desde arena mediana hasta centimétrica (2,5 cm), desarticuladas y perforadas por espongiarios. También se observan madri-

gueras con relleno de agregado de cristales de esparita, así como fragmentos de fósiles y pirita.

**Microfacies 7:** biomicrita rala (**fig. 5-7**). En esta microfacies la micrita tiene recristalización, forma agregados de calcita con tamaños de entre 7 y 10  $\mu\text{m}$ ; los fósiles son conchas de bivalvos con dos orientaciones: paralelos y oblicuos a  $S_0$ , con calibrado homogéneo: arena gruesa, de manera rala, textura gránulo (4 mm).

**Microfacies 8:** biopelmicrita-esparita con bivalvos y cuarzo (**fig. 5-8**). Se reconocen peletoides de micrita. Los bioclastos están micritizados en los bordes y presentan dos poblaciones de tamaño: textura de arena media-gruesa y centimétrica. Los bioclastos son fragmentos de conchas de bivalvos, de equinodermos, restos de serpulidos y espículas de espongiarios. Las conchas de bivalvos están desarticuladas y muestran reemplazo por esparita; otras conservan su ornamentación original y están perforadas. El material entre ellos es micrita y cemento. Este último por lo general conforma una malla que encierra los diferentes aloquímicos.

**Microfacies 9:** biomicrita rala con espículas de espongiarios (**fig. 5-9**). Los fósiles son: **a)** espículas de espongiarios; son menos frecuentes los siguientes fósiles: **b)** fragmentos de bivalvos con textura arena mediana a gruesa; **c)** esporádicos fragmentos de placas de equinodermos con tamaños entre 150 y 200  $\mu\text{m}$ . Presenta bioperturbación.

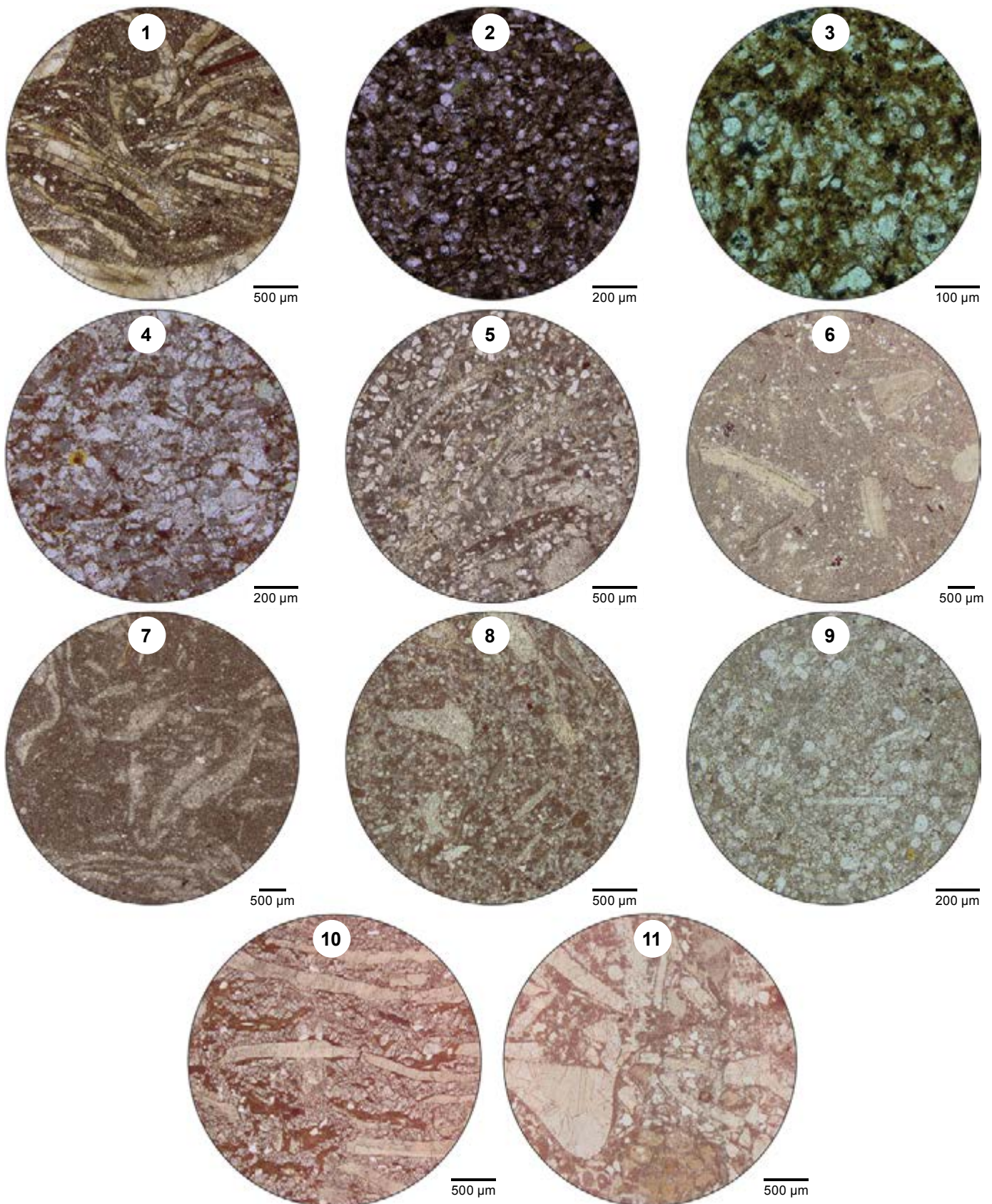
**Microfacies 10:** Diagenética (**fig. 5-10**). Impresa en biomicrita rala, las conchas de bivalvos se disponen paralelas a  $S_0$ , y entre ellas se desarrollan cristales de calcita a modo de cono en cono, estrujando arcilla (Cobbold y Rodrigues 2007). También se presentan cristales alargados tipo sable, dispuestos de dos modos: **a)** con crecimiento perpendicular a  $S_0$ , **b)** con crecimiento radial a partir de un núcleo mineral o fósil (cuarzo, pirita y foraminíferos). Representa una fase de cementación con influencia meteórica.

**Microfacies 11:** biomicrita rala diversa con cuarzo (**fig. 5-11**). Se diferencia por su mayor heterogeneidad paleontológica: fragmentos de bivalvos, placas de equinodermos, gasterópodos, serpulidos, restos de briozoarios y espículas de espongiarios. La mayoría de los fósiles están esparitizados. Se reconoce la presencia de cuarzo en cantidades que varían entre el 1% y 24%, y abundancia de fosfatos (6%).

En las calizas *packstone* se han diferenciado las siguientes microfacies, que están identificadas por letras (**fig. 6**):

**Microfacies A:** biomicrita empaquetada con bivalvos (**fig. 6-A**). Las conchas se disponen paralelas a  $S_0$ , tienen valvas delgadas, desarticuladas y esparitizadas, con textura arena gruesa a gránulo (2 a 4 mm, aunque ocasionalmente llegan a 6 mm). Entre las conchas se observa micrita sin recristalización; en ocasiones, en cantidades menores se presenta arcilla. Algunas valvas manifiestan silicificación.





**Figura 5.** Microfacies en las calizas *wackestone*. (1) Biomicrita rala con conchas de bivalvos (**dma 5376**). (2) Biomicrita rala con espongiarios, materia orgánica (**dma 5384**). (3) Biomicrita rala de foraminíferos bentónicos *Praeulimina* sp. y materia orgánica (**dma 5383**). (4) Biopelmicrita con foraminíferos bentónicos y materia orgánica (**dma 5072-1**). (5) Biomicrita rala con bivalvos y cuarzo (**dma 5077**). (6) Biomicrita rala bioturbada (**dma 5097**). (7) Biomicrita rala (**dma 5155**). (8) Biopelmicrita con bivalvos y cuarzo (**dma 5152**). (9) Biomicrita rala con espículas de espongiarios (**dma 5153**). (10) Diagenética (**dma 5172**). (11) Biomicrita rala diversa con cuarzo (**dma 5190**).

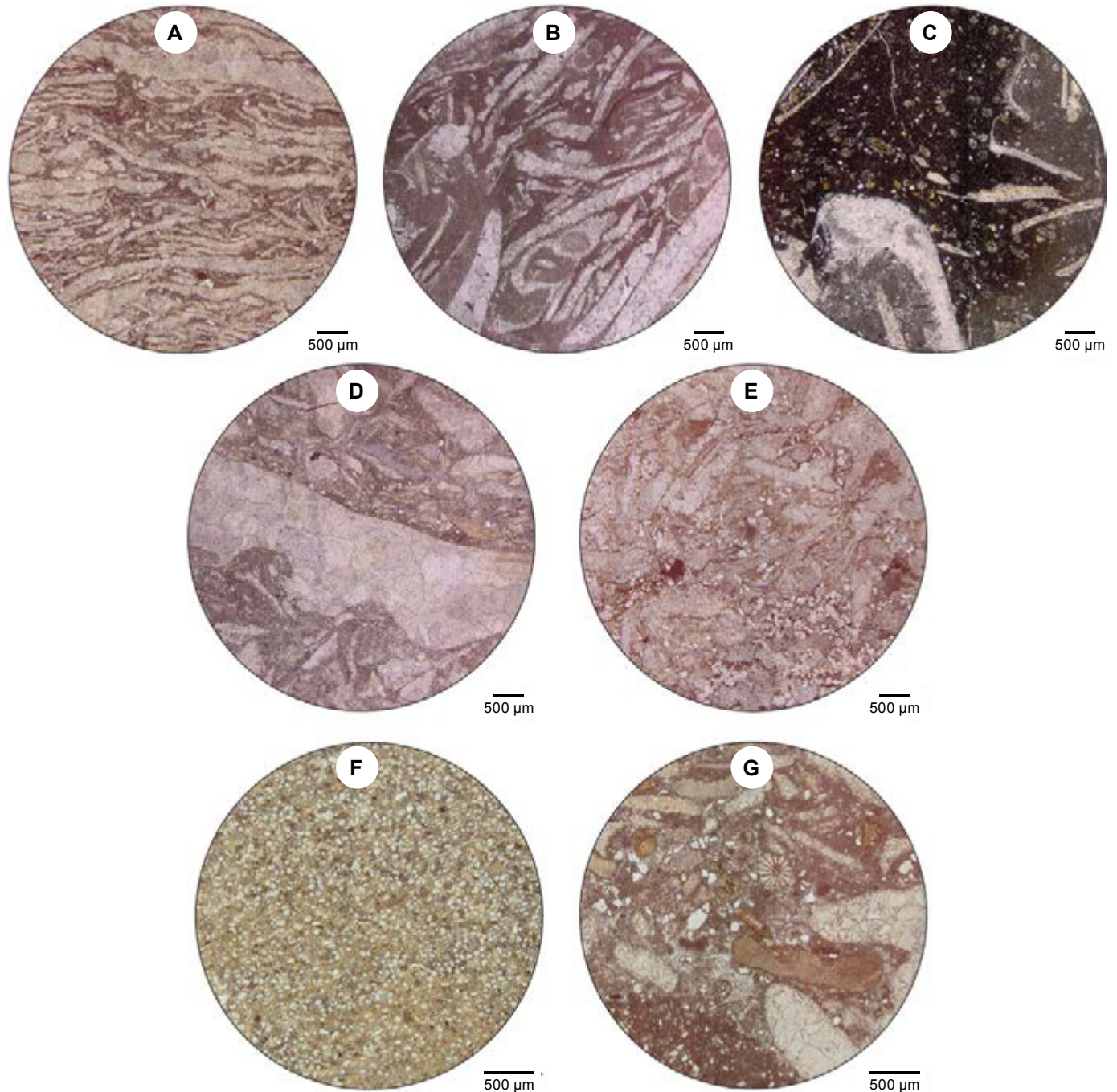


**Microfacies B:** biomicrita empaquetada (**fig. 6-B**), con bivalvos y gasterópodos dispuestos en varias direcciones, que representan dos poblaciones de tamaños: milimétricos (textura gruesa a muy gruesa) y centimétricos (1 cm). Los bioclastos se encuentran esparitizados. El material intersticial es lodo calcáreo sin recristalización.

**Microfacies C:** biomicrita empaquetada con bivalvos y hematite (**fig. 6C**), conchas centimétricas de bivalvos y fragmentos de conchas de bivalvos con textura arena gruesa, que mues-

tran su textura original; algunas están esparitizadas. La micrita presenta neomorfismo a cristales de calcita con tamaños de 7 a 12  $\mu\text{m}$ , con forma rómbica y de lanceta. Hay hematites con los mismos modos de cristalización que en la calcita; este mineral imprime color rojo a la sección delgada.

**Microfacies D:** biomicrita empaquetada con bivalvos, mal calibrada (**fig. 6D**), con fragmentos de conchas cuyo tamaño varía desde centimétrico hasta textura de arena gruesa a muy



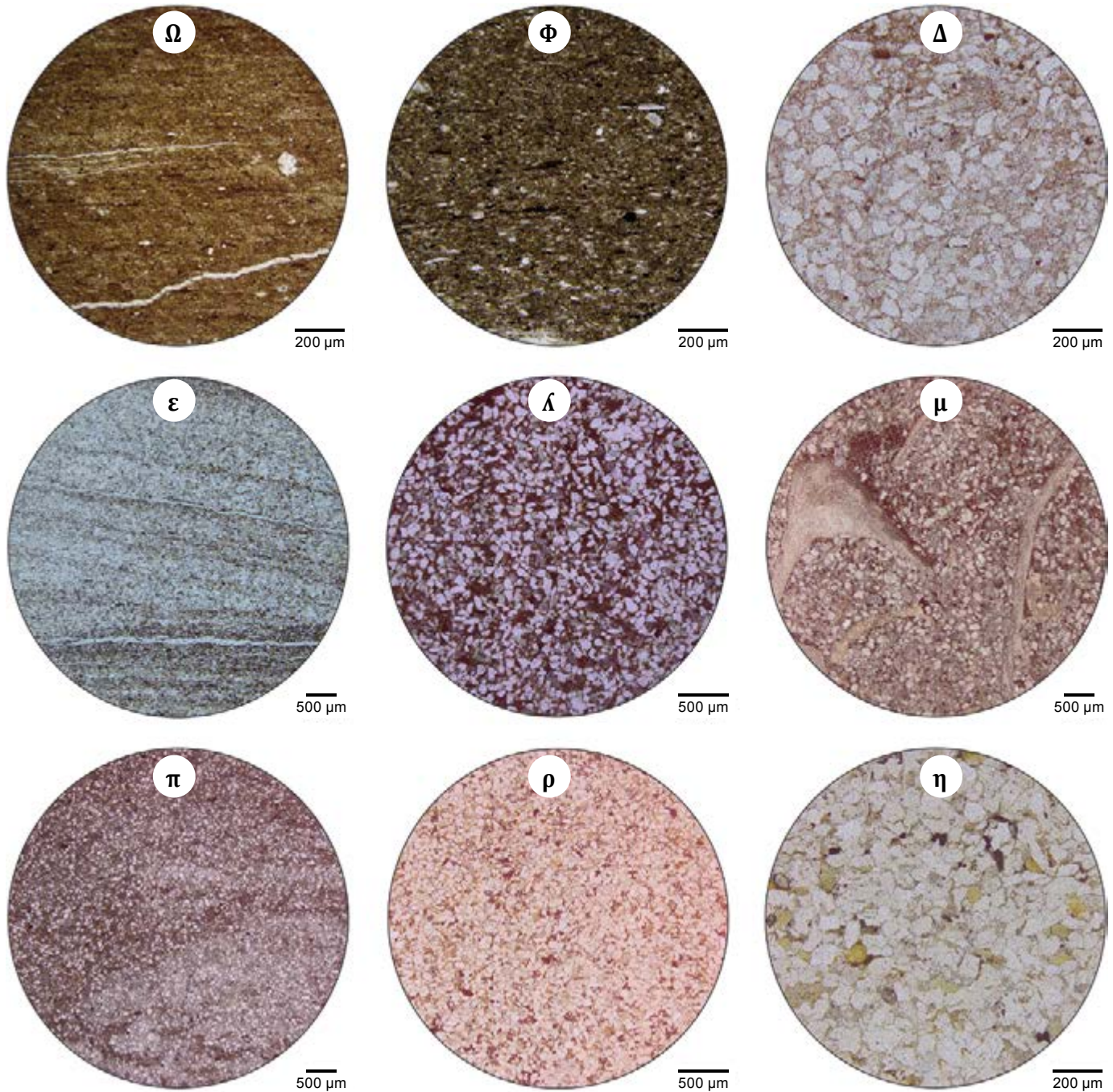
**Figura 6.** Microfacies de las calizas *packstone*. (A) Biomicrita empaquetada con bivalvos (**dma 5102**). (B) Biomicrita empaquetada con bivalvos y gasterópodos en varias disposiciones (**dma 5156**). (C) Biomicrita empaquetada con bivalvos y hematite (**dma 5083**). (D) biomicrita empaquetada con bivalvos mal calibrada (**dma 5184**). (E) Bioesparita pobremente lavada con bivalvos (**dma 5149**). (F) Biomicrita empaquetada con restos de espongiarios (**dma 5170**). (G) Biomicrita empaquetada diversa con cuarzo (**dma 5182**).



gruesa. En general, los bioclastos se disponen paralelos a  $S_0$ , con predominio de restos esparitizados; algunos exhiben rasgos originales; entre los bioclastos hay micrita con recristalización: agregados de cristales de calcita de hasta 8  $\mu\text{m}$ .

**Microfacies E:** bioesparita pobremente lavada con bivalvos (**fig. 6-E**); el armazón está constituido por fósiles y cuarzo. El material

que rodea el armazón es de dos tipos: micrita con neomorfismo de tonos pardos oscuros y con neomorfismo más avanzado en tonos claros: cristales de tamaños entre 12 y 18  $\mu\text{m}$ . Los fósiles son conchas y fragmentos de bivalvos de varios tamaños: 300 a 450  $\mu\text{m}$ , 640 a 700  $\mu\text{m}$ , 1.400 a 3.200  $\mu\text{m}$  y > 5.100  $\mu\text{m}$ , con disposición oblicua o paralela a  $S_0$ . Algunas conchas presentan reemplazamiento por esparita, y otras conservan la estructura original.



**Figura 7.** Microfacies en las rocas siliclásticas. (**Ω**) *Bindstone* con materia orgánica y arcilla adherida (**dma 4806**). (**Φ**) *Mudstone* arcillosos con materia orgánica (**dma 5374**). (**Δ**) Arenita de cuarzo con textura arena muy fina, con cemento calcáreo, bioturbada (**dma 5101**). (**ε**) Limolitas de cuarzo y arenitas de cuarzo con laminación plano-paralela e inclinada (**dma 4793**). (**λ**) Arenita de cuarzo de textura muy fina, bioturbada, con matriz de lodo calcáreo (**dma 5386**). (**μ**) Arenita de cuarzo de textura muy fina, fosilífera, en matriz de lodo calcáreo (**dma 5147**). (**π**) Arenitas de cuarzo de textura muy fina, con matriz arcillosa, con laminación y bioturbadas (**dma 5117**). (**ρ**) Arenita de cuarzo con textura arena fina; se observa desarrollo de cristales de carbonatos de calcio (ankerita) como cemento (**dma 5177**). (**η**) Arenita de cuarzo con textura de arena fina, con cemento de óxidos de hierro o caolinitico (**dma 5084**).

**Microfacies F:** biomicrita empaquetada con restos de espongiarios, bioturbadas (**fig. 6-F**). Los fósiles son espículas de espongiarios con sus contornos micritizados, y el material intersticial es sílice hidratada y lodo calcáreo.

**Microfacies G:** biomicrita empaquetada diversa con cuarzo (**fig. 6-G**). Se reconocen por la mayor heterogeneidad paleontológica: fragmentos de bivalvos esparitizados, placas de equinodermos, gasterópodos esparitizados, serpúlidos, restos de briozoarios y fragmentos de espinas de espongiarios; se disponen paralelos y oblicuos a  $S_0$ ; se notan varias poblaciones de tamaño. Se reconoce la presencia de cuarzo en cantidades que varían entre el 1% y el 24%; también es notoria la presencia de fosfatos (6%). En ocasiones también se observan coprolitos de cangrejos. La micrita tiene recristalización.

En las rocas silicásticas (*mudstone* arcillosos, limolitas de cuarzo y arenitas de cuarzo) se han diferenciado nueve microfacies (**fig. 7**):

**Microfacies  $\Omega$ :** *bindstone* con materia orgánica y arcilla adherida (microbialitas) (**fig. 7- $\Omega$** ); calcita microcristalina de origen microbial, acompañada por materia orgánica en hilitos paralelos a  $S_0$ , con arcilla de fino hábito micáceo definiendo una superficie abiótica (Konhauser 1998).

**Microfacies  $\Phi$ :** *mudstone* arcillosos con materia orgánica (**fig. 7- $\Phi$** ). Se observa arcilla de fino hábito micáceo, con motas de materia orgánica. El cuarzo puede estar presente.

**Microfacies  $\Delta$ :** arenita de cuarzo con textura arena muy fina o fina, con cemento calcáreo (esparítico); se vuelven homogéneas por bioperturbación (**fig. 7- $\Delta$** ).

**Microfacies  $\epsilon$ :** limolita de cuarzo y arenita de cuarzo con textura arena muy fina, con laminación plano-paralela e inclinada. Los tonos claros se deben a la presencia de cemento esparítico, y los oscuros, a la de arcilla con materia orgánica (**fig. 7- $\epsilon$** ).

**Microfacies  $\Lambda$ :** arenita de cuarzo de textura muy fina a fina, con matriz de lodo calcáreo con materia orgánica. Se vuelven homogéneas por bioperturbación (**fig. 7- $\Lambda$** ). Hay presencia de glauconita (3%).

**Microfacies  $\mu$ :** arenita de cuarzo con textura arena fina o muy fina, fosilífera, es decir, con más de 10% de bioclastos, con matriz de lodo calcáreo (**fig. 7- $\mu$** ). Pueden presentar bioperturbación.

**Microfacies  $\pi$ :** limolitas y arenitas de cuarzo de textura muy fina a fina, con bioturbación, desde láminas irregulares a homogéneas. Cuando se presenta laminación relictas, los tonos claros deben su color a la presencia de cemento esparítico, y los oscuros, a la presencia de matriz arcillosa (**fig. 7- $\pi$** ).

**Microfacies  $\rho$ :** arenitas de cuarzo de textura fina o muy fina (**fig. 7- $\rho$** ), con menos del 5% en matriz. En ellas se observan cristales de carbonatos de calcio (ankerita).

**Microfacies  $\eta$ :** arenitas de cuarzo con textura arena fina o muy fina. Pueden estar bioturbadas. Su característica es la presencia y tipo de cemento, sea de óxidos de hierro o caolinita (**fig. 7- $\eta$** ).

**Bioestratigrafía.** La identificación de la fauna, en este informe la realizó el geólogo Dr. Fernando Etayo-Serna. Los foraminíferos fueron identificados por el geólogo magíster Juan Fernando Díaz.

## HISTORIA DE LA NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA

Según Wheeler (1929),

The Tablazo formation rests upon the La Paja shales and caps the first mountain east of Tablazo. It is also well exposed along the trail from Tablazo to Rosa Blanca from the bodega on the north side of the river up to the outcrops of La Paja shales [...]

The Tablazo formation consists of 156 meters of rather massive bedded limestones and marls, the former predominating in the upper part and the latter in the lower part of the formation. Individual beds of both limestones and marls usually range from several feet to 10 feet or more in thickness.

The marls of the Tablazo, occupying the major portion of the lower half of the formation, are very limy and might well be termed "clay limestone". They are massively bedded and exhibit no evidence of lamination on account of the abundance of large fossils that are irregularly oriented with the bedding. Being less resistant than the limestone above, these beds forms less bold relief in the dip slopes of the mountains than do the limestone.

The limestones constitute the main part of the upper half of the formation. They are massive, hard, dull bluish gray, coarse textured, and extremely fossiliferous. Pore space is practically lacking. On weathered (*sic*) surface they appear light brown and have rugged appearance on account of the slight difference in resistance to erosion between the fossils and the limestone.

No chert was seen in outcropping beds of this formation, but in one large talus block a small amount was noted. Chert is undoubtedly very rare in this part of the section.

One of the most striking characteristics of the Tablazo formation is the abundance of fossils, and particularly of large pelecypods. Many of these are almost the size of one first (*sic*). Gryphaces (*sic*), and other pelecypods determined as *Pholodomya (sic) sp.* and *Corbula sp.* were identified by Mr. Henderson. The fossils in the limestone are very difficult to extract on account of the hardness and crystallization of the rock, and recrystallization has occurred in many (*sic*) of them, destroying their original markings. Large well preserved fossils can be obtained, however, from some of the marly beds.



Due to the absence of porous strata, the formation has no possibilities as on (sic) oil reservoir.

The Tablazo Formation is expressed topographically by mountains with dip slopes, but the mountains are not so high and rugged as those formed by the Rosa Blanca Limestone. The Sogamoso Valley is also broader than at the place where it cuts through the Rosa Blanca Limestone.

La primera referencia publicada sobre la localidad tipo de la Formación Tablazo está en Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958, 651), retoma la información de Wheeler (1929) y propone como sección tipo a: *The Tablazo limestone caps the first mountain east of the town of Tablazo and is also well exposed along the trail from Tablazo to Cerro Rosa Blanca on the north side of the Sogamoso River.*

## CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS

La Formación Tablazo alcanza 270 m de espesor. En ella se pueden diferenciar siete segmentos estratigráficos, de los cuales cuatro forman cornisas en el perfil topográfico (I, III, V, VII), en alternancia con tres segmentos que forman entrantes (II, IV, VI). Esta expresión morfológica se observa en las planchas 109-IIID, 120-IB y 120-ID a escala 1:25.000 (**fig. 8 y 9**) (véase Moreno-Sánchez 2019).

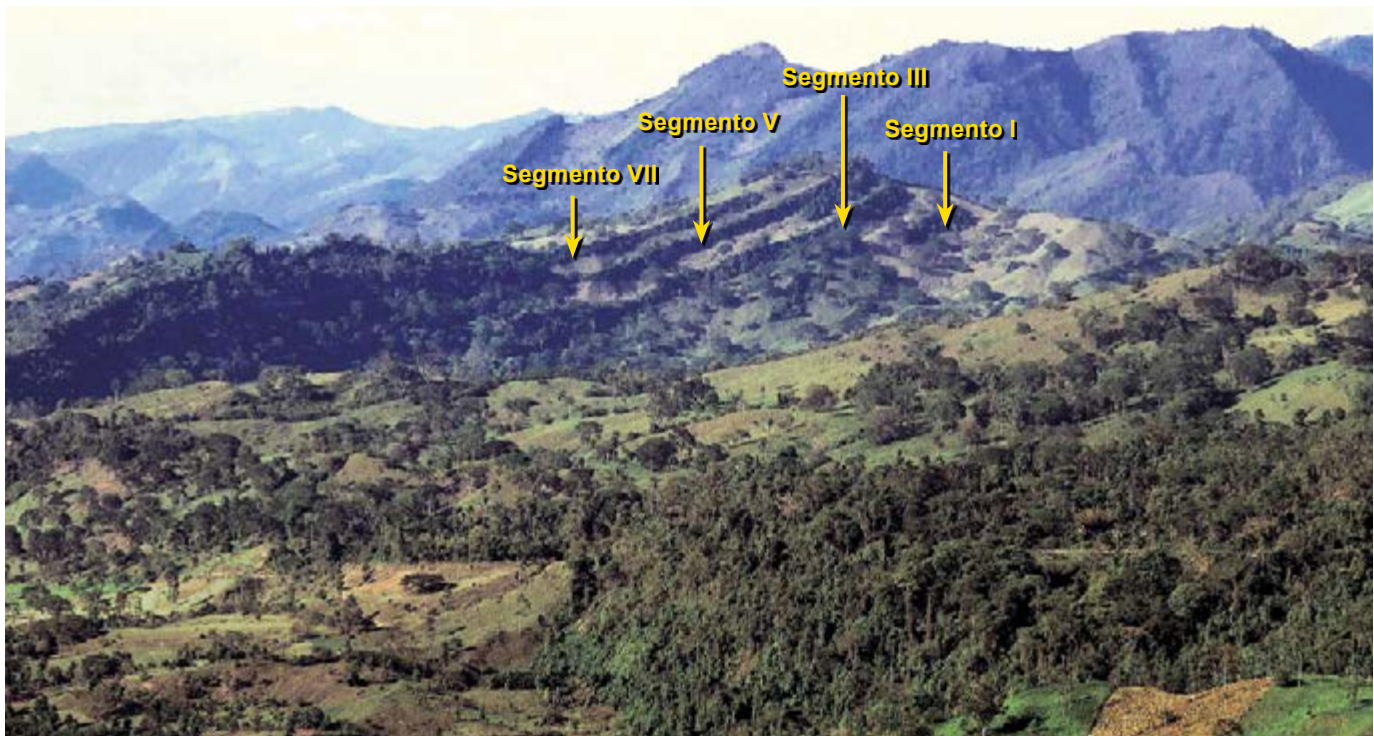
El segmento estratigráfico I, constituido por los intervalos estratigráficos A y B, se estudiaron en la quebrada La Paja. El segmento II se levantó conjuntamente en las quebradas

La Paja (intervalo D) y La Molinilla (intervalos C y E). El segmento estratigráfico III: los intervalos G, H, I y J fueron, descritos en la sección tipo, en la ribera sur del río Sogamoso, cuando corta el cerro El Tablazo (plancha 120-IB: cerro La India); y el intervalo estratigráfico F se levantó en La Molinilla. El segmento estratigráfico IV (intervalos K, L y M) fue diferenciado en la ribera sur del río Sogamoso. Los segmentos estratigráficos V (intervalos N y O), VI, VII (intervalos P y Q) se levantaron en la ribera norte del río Sogamoso, cuando corta el cerro El Tablazo (plancha 120-IB, cerro La India); y los conjuntos Q8 y Q9 presentaron una excelente exposición en la ribera sur, afloramientos todavía observables cuando termina el puente El Tablazo.

## Sección quebrada La Paja

Para el estudio de las capas basales de la Formación Tablazo, que están ocultas por una gruesa cobertura vegetal en la sección tipo, se utilizó el sitio más cercano a esta, en este caso al suroriente, siguiendo la base del cerro La India (El Tablazo), hasta su intersección con el cauce de la quebrada La Paja (**fig. 2**).

Hacia la cabecera de la quebrada La Paja se presenta el contacto inferior de la Formación Tablazo con la Formación La Paja (Moreno-Sánchez 2019), en donde se levantó el segmento inferior (I) y parte del segmento II (intervalo estratigráfico D). La descripción del segmento II fue complementada con los afloramientos existentes en la vía nueva San Vicente de Chucurí-Lebrija, a la altura de la quebrada La Molinilla.



**Figura 8.** Panorámica de la Formación Tablazo en el sector de La Plazuela (120-ID). Nótese los cuatro segmentos que generan cornisas (I, III, V y VII), separados por tres segmentos que generan valles (II, IV y VI). Fotografía tomada desde el punto con coordenadas N:1.263.550, E:1.079.870 y azimut 350°.

## FORMACIÓN TABLAZO

### Columna Generalizada Valle Medio del Magdalena

Por: Diana Montoya Arenas  
Grupo de Estratigrafía Dirección de Geociencias Básicas

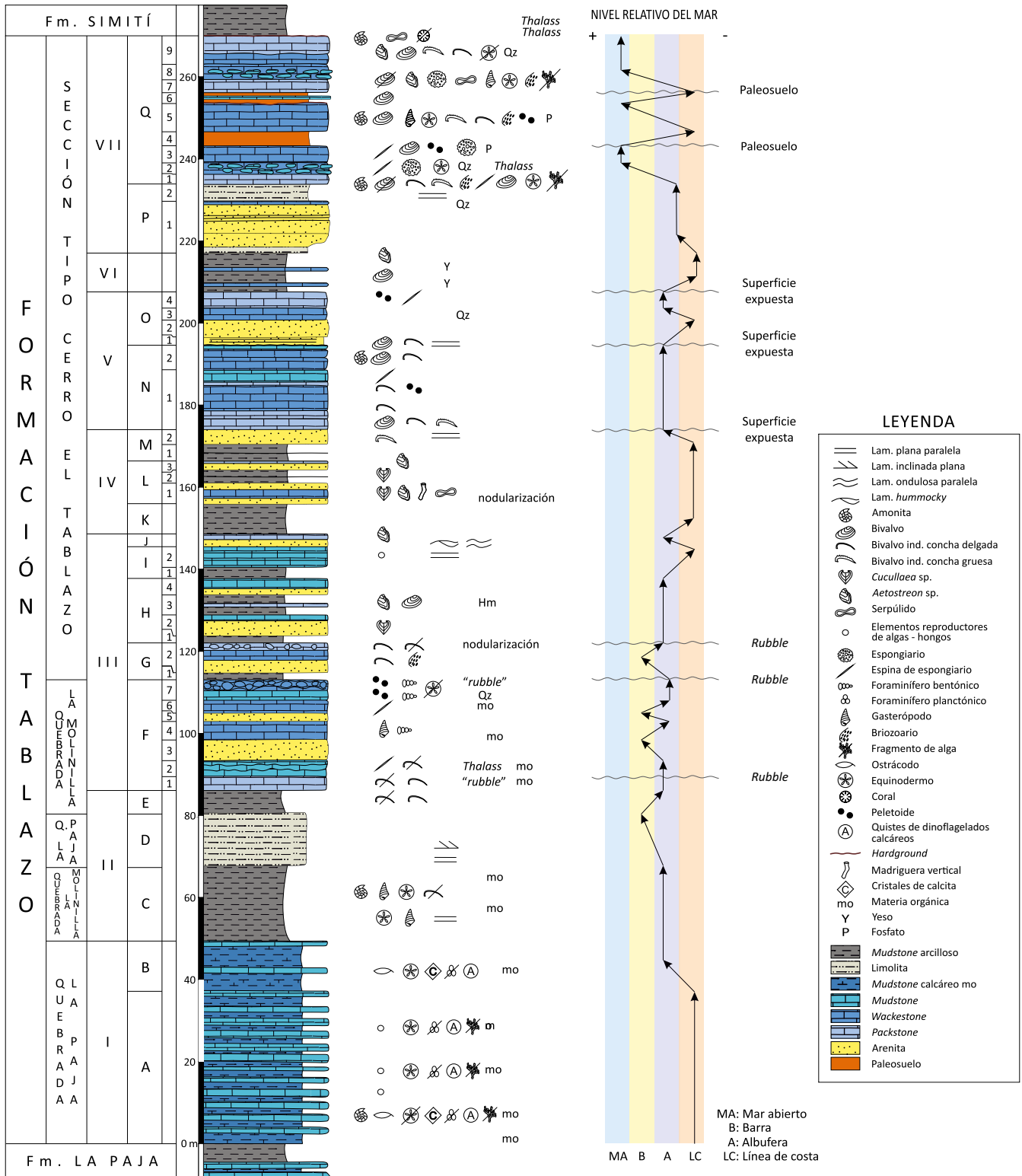


Figura 9. Columna generalizada de la Formación Tablazo.



El contacto con la formación infrayacente La Paja se encuentra cubierto por depósitos coluviales desde el  $\Delta 46$  hasta  $\Delta 42$ . Este cubierto (10 m) abarca los 6 m cuspidales del techo de la Formación La Paja y los 4 m basales de la Formación Tablazo. La correlación anterior se establece con base en la correspondencia con lo observado en la quebrada La Molinilla.

El segmento estratigráfico I (53 m) se describe por la quebrada La Paja con base en los afloramientos localizados entre el  $\Delta 46$  (N:1.268.497, E:1.081.973, Z:403) y el  $\Delta 21$  (N:1.268.028, E:1.081.832, Z:505) de la poligonal realizada en esta quebrada (**fig. 2**). Está constituido por alternancias entre calizas con textura *mudstone* macizas y *mudstone* calcáreos con materia orgánica que parten en astillas (**fig. 9 y anexo 3.1**).

El segmento estratigráfico II (34 m) se describe con base en las observaciones por la quebrada La Paja y de la sección de La Molinilla (**fig. 9 y anexos 3.1 y 3.2**). En la quebrada La Paja se describe el intervalo estratigráfico D, con base en los afloramientos localizados desde el  $\Delta 10$  (N:1.267.870, E:1.081.847, Z:531) hasta el  $\Delta 0$  (N:1.267.783, E:1.081.872, Z:541), constituido por limolitas de cuarzo laminadas y bioturbadas.

En los afloramientos cercanos a la vía nueva Lebrija-San Vicente de Chucurí, a la altura de la quebrada La Molinilla, se describieron los intervalos estratigráficos C y E. El intervalo C (inicio: N:1.279.786, E:1.085.425, Z:628) consiste de *mudstone* arcillosos y *mudstone* calcáreos con materia orgánica, gasterópodos de 1 a 2 cm y equinodermos aplastados. El intervalo E (inicio: N:1.279.798, E: 1.085.389, Z:631) consiste en *mudstone* arcillosos con materia orgánica.

## Sección Tipo (cerro El Tablazo)

En esta sección se describen los 183 m restantes de la Formación Tablazo, correspondientes a los segmentos estratigráficos III, IV, V, VI y VII, con base en los afloramientos de los nuevos cortes realizados para la construcción de las columnas que soportan el puente El Tablazo sobre el río Sogamoso (**figs. 10 y 11, anexo 3.1**).

En el estribo sur del puente El Tablazo se levantaron los segmentos III y IV, con punto de inicio N:1.270.390, E:1.081.437, Z:229 y punto final N:1.270.118, E:1.081.363, Z:224. En el estribo norte se levantaron los segmentos V, VI y VII, con punto de inicio N:1.270.315, E:1.081.446, Z:249 y punto final N:1.270.411, E:1.081.303, Z:225. Hoy en día estos afloramientos están cubiertos por las aguas del embalse de Hidrosogamoso.

El segmento estratigráfico III (64 m) está compuesto por intervalos estratigráficos que dan resalte, en él alternan conjuntos arenosos y de carbonatos, con mayores espesores, interpuestos con conjuntos que dan entradas de *mudstone* arcillosos de espesores menores (**fig. 10**). En los conjuntos de carbonatos aparecen por primera vez en esta unidad textu-

ras de *packstone* y *wackestone* de fragmentos y conchas de bivalvos de diámetro entre 1 y 2 cm y valva delgada, en ocasiones con presencia de granos de cuarzo (hasta 8%). También por primera vez se reconocen de manera discreta restos de bivalvos de concha gruesa, esparitizados y de hasta 6 cm de diámetro umbopaleal. Los *wackestone* presentan, además, texturas de entre limo y arena muy fina. Las calizas *mudstone* tienen cuarzo y en ellas hay presencia de *bindstone*.

El segmento estratigráfico IV (26 m) dibuja el segundo valle en el perfil topográfico (**fig. 10**). Está compuesto por *mudstone* arcillosos, a su vez separados de modo casi imperceptible por un paquete calcáreo arenoso que se presenta hacia la parte media de este segmento. El intervalo calcáreo arenoso está compuesto por conspicuos cuerpos concrecionarios (madrigueras) y bivalvos *Cucullaea (Noromya) gabrielis*, con sus conchas unidas de hasta 10 cm de diámetro up, y grifeidos. Las arenitas son de cuarzo y están bioturbadas.

El segmento estratigráfico V (34 m) se describe con base en los afloramientos del estribo norte del puente El Tablazo (**fig. 11**). En su parte inferior está representado por arenitas de cuarzo y arenitas de cuarzo fosilíferas; continúa una sucesión de calizas *wackestone* y *packstone* de bivalvos con texturas de arena gruesa a gránulo; con mayor frecuencia aparecen conchas de bivalvos, gruesas, esparitizadas, de diámetro up de 5 a 10 cm. Las capas son muy gruesas, presentan superficies de disolución por presión que son continuas y paralelas a la estratificación. En la parte media del segmento destaca un paquete de arenitas de cuarzo de textura muy fina, moteada. En la parte superior hay presencia de calizas *packstone* con espículas de espongiarios.

El segmento VI (10 m) genera una entrada que en el perfil topográfico corresponde a *mudstone* arcillosos, con yeso en lentes y láminas interestratificadas. Se destacan tres interposiciones de calizas: las dos primeras son capas gruesas de calizas *wackestone* de bivalvos que sufrieron afectación diagenética en la zona freática, y la tercera es un *packstone* de bivalvos de concha gruesa de grifeidos (tormentitas).

El segmento VII (49 m) se forma la cuarta y última saliente de la Formación Tablazo en el perfil topográfico (**fig. 11**). En la parte inferior se presentan capas gruesas de limolitas y arenitas de cuarzo de textura muy fina a fina, suprayacidas por capas gruesas y muy gruesas de calizas *packstone* y *wackestone* de bivalvos, equinodermos y gasterópodos. Es notable la presencia de granos de cuarzo con textura arena fina en cantidades variables (de 4% a 20%). Son recurrentes las concentraciones de bivalvos de hasta 10 cm de diámetro up.

En el segmento VII, entre las calizas se reconocen dos intervalos de caliza de aspecto nodular constituidas por cilindros conectados de *Thalassinoides*, dos niveles de paleosuelos y dos superficies de *hardgrounds*, una de las cuales constituye el techo de la Formación Tablazo del presente estudio.



**Figura 10.** Vista general de los afloramientos de la Formación Tablazo en el estribo sur del puente nuevo El Tablazo. En este sector la sucesión se levantó y se describió a partir del metro 113 y hasta el metro 174, de los cuales 36 m corresponden a parte del segmento III, y 25 m a la totalidad del segmento IV. Fotografía tomada desde el punto con coordenadas N:1.270.286, E:1.081.397 y azimut: 195°.



**Figura 11.** Vista general de los afloramientos de la Formación Tablazo en el estribo norte, donde se levantaron los 96 m superiores, correspondientes a los segmentos estratigráficos V, VI y VII. Fotografía tomada en el punto con coordenadas N:1.274.090, E:1.082.510, con azimut 75°.

## Sección La Molinilla

En la vía nueva que va desde Lebrija a San Vicente de Chucurí, a la altura de la quebrada La Molinilla, 50 km al norte de la sección tipo, se levantaron 276 m de rocas de la Formación Tablazo (**anexo 3.2**). En esta sucesión se observa el contacto inferior con la Formación La Paja, y el superior con la Formación Simití. El punto de inicio tiene coordenadas N:1.279.771, E:1.085.552, Z:527, y el final, N:1.280.043, E:1.085.235, Z:637.

## DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

La Formación Tablazo se describirá así: **1**) con base en los afloramientos por la quebrada La Paja (segmento estratigráfico I y parte del segmento estratigráfico II); **2**) en los afloramientos por la vía Lebrija-San Vicente de Chucurí en la intersección con

la quebrada La Molinilla (parte de los segmentos estratigráfico II y III); **3**) en la sección tipo (segmentos III, IV, V, VI y VII).

## Segmento estratigráfico I (0-53 m)

Este segmento se describe por la quebrada La Paja, entre los deltas ( $\Delta$ ) de la poligonal  $\Delta 46$  y  $\Delta 21$ . Presenta varios tramos cubiertos, y son visibles 32 m de secuencia. El primer cubierto, de 4 m, se localiza entre el  $\Delta 46$  y el  $\Delta 42$ ; el segundo, de 13 m, desde el  $\Delta 42$  hasta el  $\Delta 37$ ; y el tercero, de 4 m, entre el  $\Delta 33$  y el  $\Delta 39$ .

Este segmento se subdivide en dos intervalos estratigráficos (A y B). Alternan dos tipos de litologías: el primero dibuja entradas en el perfil topográfico y está representado por *mudstone* calcáreos con materia orgánica, grises oscuros (N2), y es característica su partición en astillas (**fig. 12**).





**Figura 12.** Primer afloramiento observado de la Formación Tablazo en la quebrada La Paja, delta (Δ) de la polygonal 42: metros 6 a 9 de la columna. Es una alternancia de capas medianas de calizas *mudstone* de aspecto macizo de tonos claros, que parte en bloques, con *mudstone* calcáreos con materia orgánica, de tonos oscuros, que parten en astillas.

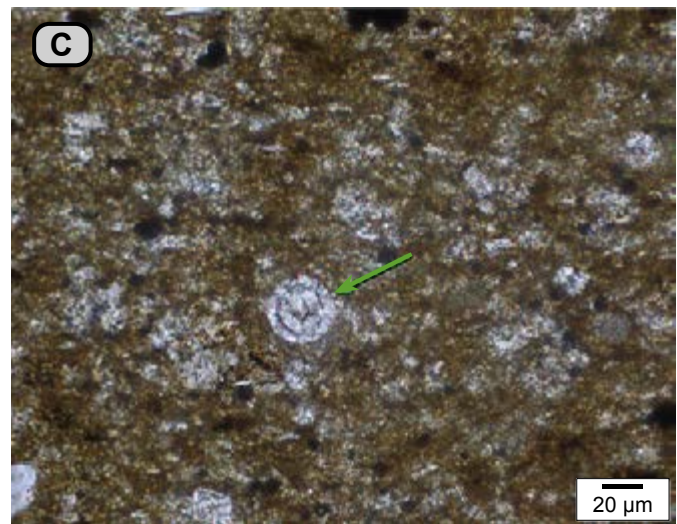
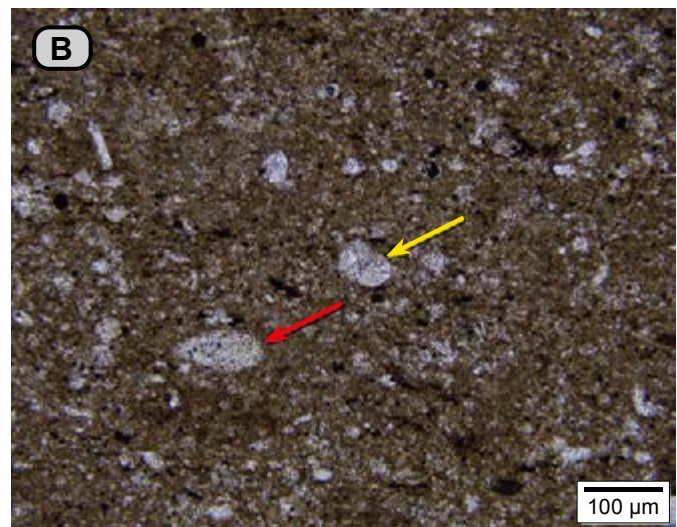
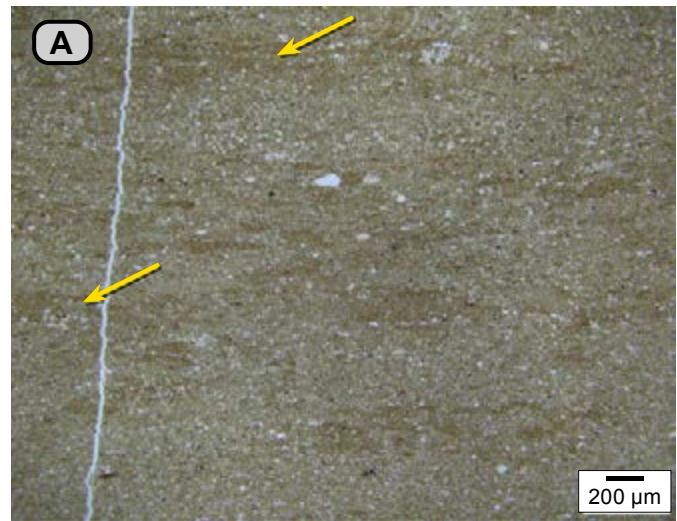
El segundo tipo litológico se compone de calizas *mudstone* grises (N4), que superficialmente adquieren tono gris claro (N7), con aspecto macizo (fig. 12).

**Intervalo estratigráfico A (0-37 m).** Constituido por calizas *mudstone* grises (N6) de aspecto macizo. Están dispuestas en capas desde medianas hasta gruesas, de formas en general planas paralelas; se alternan con *mudstone* calcáreos con materia orgánica, de tonos grises oscuros (N3). En la parte basal, las capas son muy gruesas (hasta 1,8 m), mientras que en el resto del intervalo presentan espesores entre medianos y delgados (fig. 12).

Con el microscopio, la caliza *mudstone* maciza (dma 4818) se identifica como micrita (microfacies I), con recristalización incipiente generalizada. Presenta bioturbación indistinta (fig. 13).

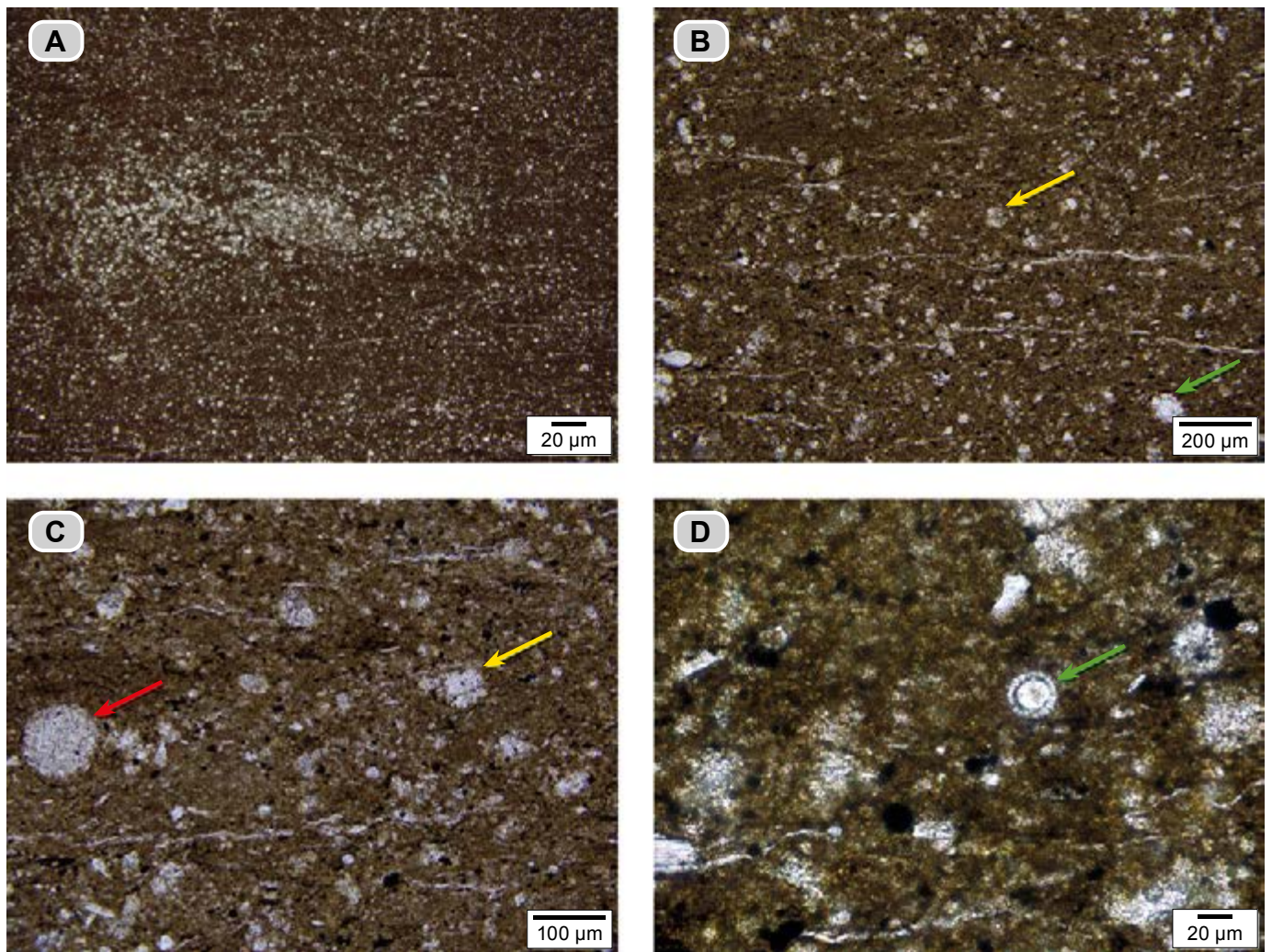
Los relictos de bioturbación se manifiestan en la variación de tonos pardos oscuros de micrita y en tonos claros de micrita con recristalización incipiente. Se reconocen como fósiles las siguientes formas: **a)** cuerpos circulares con diámetros de entre 60 y 100 μm, constituidos por cristales de calcita poligonales interpretados como *fungus fruiting bodies* (Goldstein 1988, fig. 8B); **b)** cuerpos circulares de hasta 30 μm de diámetro con centro constituido por un único cristal de calcita, y a su alrededor con varios tipos de anillos: un anillo segmentado de cristales de calcita, o con un anillo conformado por cristales de calcita rectangulares, estos cuerpos son interpretados como restos de quistes de dinoflagelados calcáreos (Reháková 2000); **c)** escasas conchillas de foraminíferos planctónicos, y **d)** escasas conchas de ostrácodos. También hay presencia de cristales rómbicos de calcita, así como vestigios de cuarzo, moscovita y glauconita.

Con el microscopio, los *mudstone* calcáreos con materia orgánica, que corresponden a las rocas con partición en astillas,



**Figura 13.** Caliza *mudstone* de aspecto macizo (dma 4818). En el microscopio se identifica como micrita con recristalización incipiente y generalizada. **A)** Las flechas amarillas señalan la laminación relictiva en tonos oscuros; en tonos claros se observa la recristalización incipiente generalizada. **B)** La flecha roja señala un ostrácodo, y la flecha amarilla, una concha de foraminífero; la pirita aparece en color negro. **C)** La flecha verde señala un cuerpo circular de calcita con un anillo (quiste de dinoflagelado calcáreo); nótese la recristalización de la micrita en tonos claros.



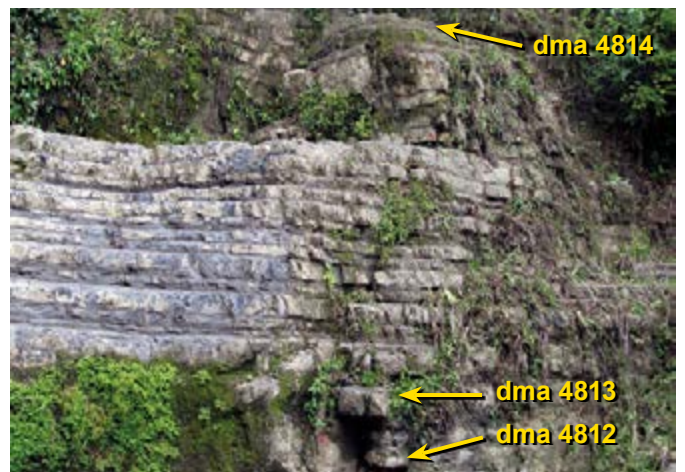


**Figura 14.** **A)** Aspecto general de los *mudstone* calcáreos con materia orgánica que parten en astillas (**dma 4817**); en el microscopio se identifica como *bindstone* con materia orgánica. Obsérvese la concentración de cristales rómbicos y cúbicos de calcita. **B)** Con mayor aumento se observan cristales de calcita de forma rómbica (flecha amarilla); nótese la formación de cristales de calcita alrededor de un cuerpo circular (flecha verde). **C)** Con mayor aumento se observan cuerpos circulares con diámetro de 110 µm, constituidos por cristales de calcita poligonales interpretados como *fungus fruiting bodies* (Goldstein 1988, fig. 8B) (flecha roja), y cristales dispersos de calcita (flecha amarilla). **D)** Quiste de dinoflagelado calcáreo: cuerpo circular con un centro de un único cristal de calcita rodeado por un anillo segmentado de cristales de calcita (flecha verde).

se identifican como *bindstone* con materia orgánica (**dma 4817**), en donde se reconoce la **microfacies α** (**fig. 14**). Está constituida por micrita acompañada por motas de materia orgánica y fósiles. Los fósiles (3%) son: **a)** cuerpos circulares de un cristal único de calcita con diámetro de hasta 50 µm, interpretados como elementos reproductores de algas; **b)** cuerpos circulares reconocidos como *fungus fruiting bodies* (Goldstein 1988, fig. 8B); **c)** conchillas de foraminíferos, algunas micritizadas; **d)** quistes de dinoflagelados calcáreos.

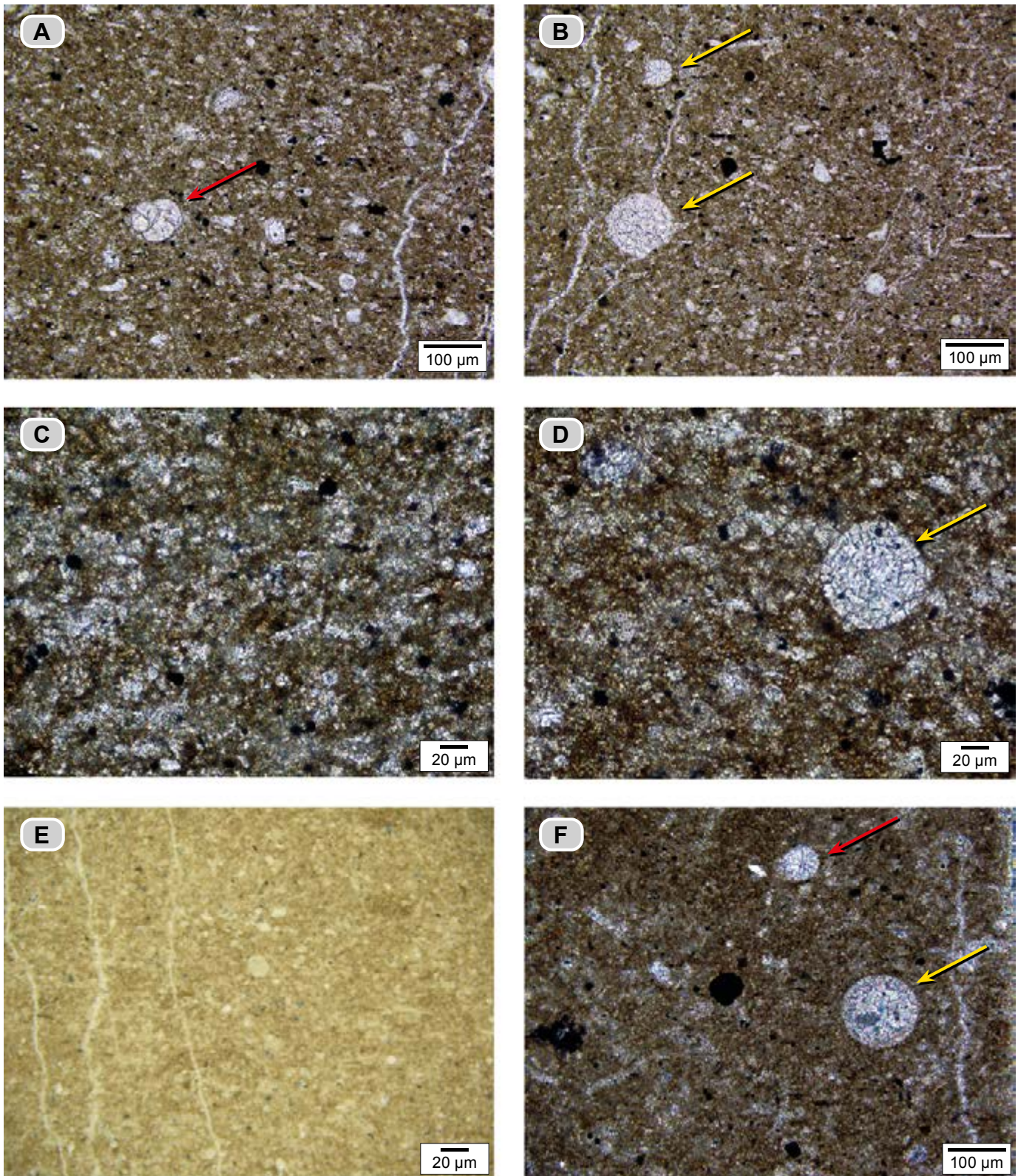
Los cristales rómbicos y cúbicos de calcita en ocasiones llegan a formar lentes; algunos crecen alrededor de un cuerpo circular (**fig. 9**). Los terrígenos son cuarzo y moscovita; hay presencia de pirita (2%).

Después del segundo tramo cubierto (13 m) afloran 16 m de secuencia de este intervalo, en la que los elementos blandos son más delgados que los duros, cuyo espesor permanece constante (**fig. 15**).



**Figura 15.** Intervalo estratigráfico A. Calizas *mudstone* de aspecto macizo, superficialmente de color gris claro, en capas planas paralelas de espesores medianos a gruesos, resaltantes y en alternancia con *mudstone* calcáreos con materia orgánica, de tonos grises oscuros, en capas delgadas (metros 20 a 32 m, Δ37).





**Figura 16.** Calizas *mudstone* de aspecto macizo. **(A y B)** Micrita con recrystalización incipiente (**dma 4812**). **A**) Se resalta un foraminífero planctónico? (flecha roja). Nótese la presencia de pirita de color negro. **B)** Cuerpos circulares de diámetros diferentes: el cuerpo de diámetro de 60 µm está constituido por mosaicos de cristales de calcita espar de hábito triangular, y el cuerpo de diámetro de 110 µm, internamente está constituido por cristales de calcita espar de hábito rectangular, *fungai fruiting bodies* (Goldstein 1988, fig. 8B). **C-D)** Micrita con recrystalización incipiente (**dma 4813**). **C)** A mayor aumento, la micrita deja ver la recrystalización en tono más claro. **D)** Cuerpo circular constituido por un mosaico de cristales de calcita espar rectangulares dispuestos en anillos concéntricos. **E-F)** Micrita con recrystalización incipiente (**dma 4814**). **E)** Fotografía tomada con luz reflejada; la pirita se observa de color amarillo brillante. **F)** Fotografía tomada con nicoles cruzados; la flecha amarilla señala un cuerpo circular (130 µm) constituido por un mosaico de cristales de calcita espar con contornos irregulares (*fungai fruiting bodies*); la flecha roja señala el cuerpo circular (40 µm) conformado por cristales de calcita (bacterias calcificadas?).



Con el microscopio, las calizas *mudstone* de aspecto macizo se identifican como micritas y micritas fosilíferas (**dma 4812**, **dma 4813** y **dma 4814**), con **microfacies I**, la cual presenta recristalización incipiente generalizada y está moteada por bioturbación.

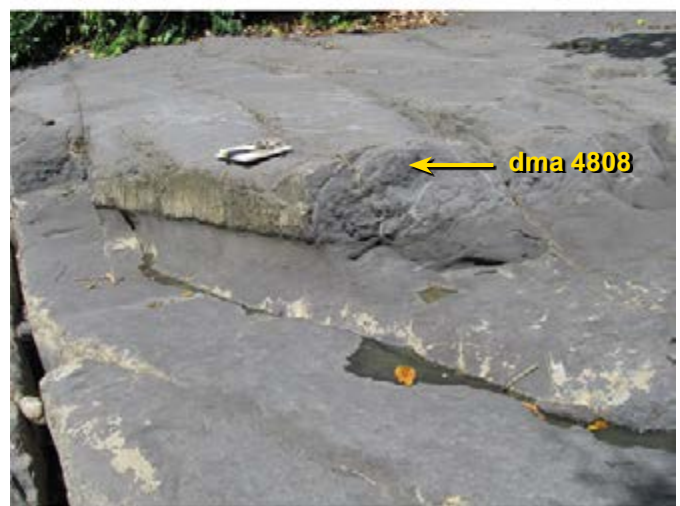
La caliza *mudstone* (**dma 4812**) se identifica como micrita fosilífera (**fig. 16**). La micrita de tono pardo oscuro (70%) muestra recristalización incipiente en forma de agregado de cristales con bordes difusos (16%), y el tono se hace más claro. Los fósiles observados (8%) son: **a)** escasas conchillas de foraminíferos planctónicos reemplazados por cristales de calcita espar; **b)** cuerpos circulares con diámetros desde 100  $\mu\text{m}$  hasta 150  $\mu\text{m}$ , reemplazados por cristales rectangulares de calcita espar, internamente con arreglo en espiral; **c)** cuerpos circulares con diámetro de hasta 150  $\mu\text{m}$ , constituidos por cristales de calcita espar, interpretados como *fungus fruiting bodies* (Goldstein 1988, fig. 8B); **d)** cuerpos circulares con diámetro de hasta 50  $\mu\text{m}$ , constituidos internamente por un único cristal de calcita con un anillo de ocráceo o rodeado por un anillo constituido por cristales rectangulares de calcita: quistes de dinoflagelados calcáreos (Reháková 2000). También hay presencia de piritita (3%), fragmentos de cuarzo con textura limo (2%) y moscovita (1%).

La caliza *mudstone* (**dma 4813**), con el microscopio se identifica como micrita (**fig. 16**). La micrita sin recristalización, que representa el 30%, muestra tono pardo oscuro; el 68% restante de la micrita muestra recristalización incipiente y es de tono pardo claro. En la micrita recristalizada se distinguen dos poblaciones de tamaños: el más fino tiene contornos difusos, color pardo claro, mientras que el segundo forma mosaicos de cristales de calcita espar con tamaño de 7  $\mu\text{m}$ . Los fósiles (2%) son similares a los de la muestra anterior. Hay presencia de trazas de moscovita y cuarzo.

**Intervalo estratigráfico B (37-53 m).** Constituido por calizas *mudstone* grises (N6), de aspecto macizo, en capas entre medianas y gruesas, planas paralelas, que se adelgazan o engrosan, y se resaltan en el perfil topográfico. Alternan con *mudstone* calcáreos grises oscuros (N2) que parten en astillas, dispuestos en capas gruesas que generan entrantes y cuyos espesores son mayores que los de las rocas equivalentes en el intervalo infrayacente (**fig. 17**). Localmente, en la parte superior del segmento, cuando hay afloramientos extensos, se observan engrosamientos y adelgazamientos (**fig. 17**).

**Conjunto B1 (37-42 m).** Con el microscopio, en este conjunto el cuarzo se observa en mayor abundancia, y aparece por primera vez moscovita. Los fósiles son similares a los que se venían observando; sin embargo, se presentan escasos fragmentos de bivalvos y hay presencia abundante de peletoides de micrita (Flügel 2010, 4.2.2, 110).

Las calizas *mudstone* de aspecto macizo se identifican como pelmicrita con recristalización (**dma 4816**, **dma 4808**), y

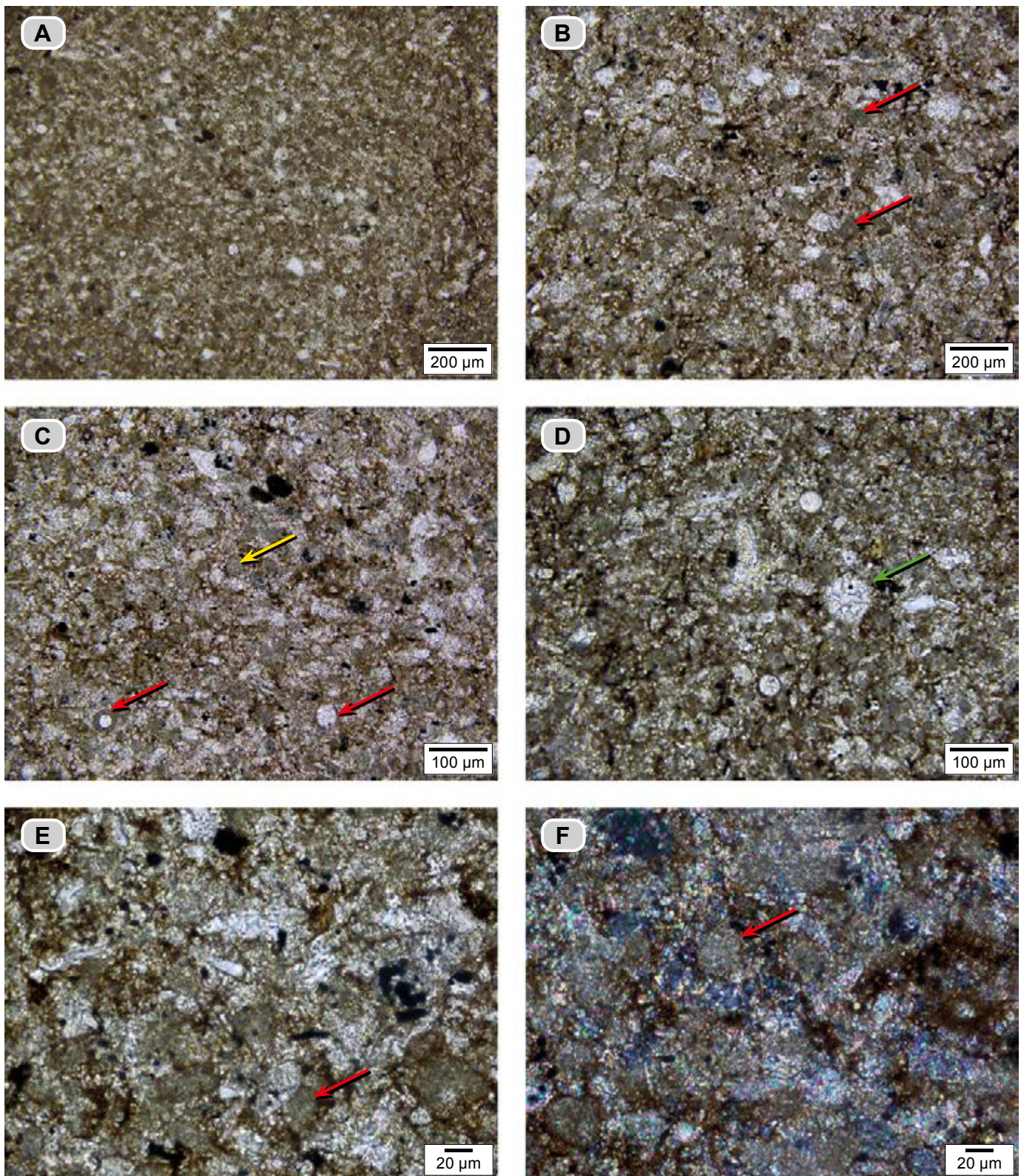


**Figura 17.** Conjunto B1. Alternancia de calizas *mudstone* de aspecto macizo, de tono gris claro (N8), que dan resalte en el perfil topográfico (**dma 4808** y **dma 4810**), y *mudstone* calcáreos con cuarzo que generan entrantes en la morfología (**dma 4809**). El cambio de entrantes a salientes en el perfil topográfico en ocasiones es gradual (metros 32 a 34,  $\Delta 36$ ).

pelmicrita con recristalización y cuarzo (**dma 4810**), pertenecientes a la **microfacies II**. Entre sus constituyentes principales hay peletoides de micrita, fósiles y granos de cuarzo con textura limo. Rodeando los constituyentes con una especie de enrejado destacan agregados de cristales de calcita espar con tamaños de entre 10 y 15  $\mu\text{m}$ , que varían entre el 29% y el 40%, y se interpretan como recristalización de micrita (**fig. 18**). La materia orgánica se observa asociada a la micrita y como fantasmas de raíces y rizoides (Košir 2004).

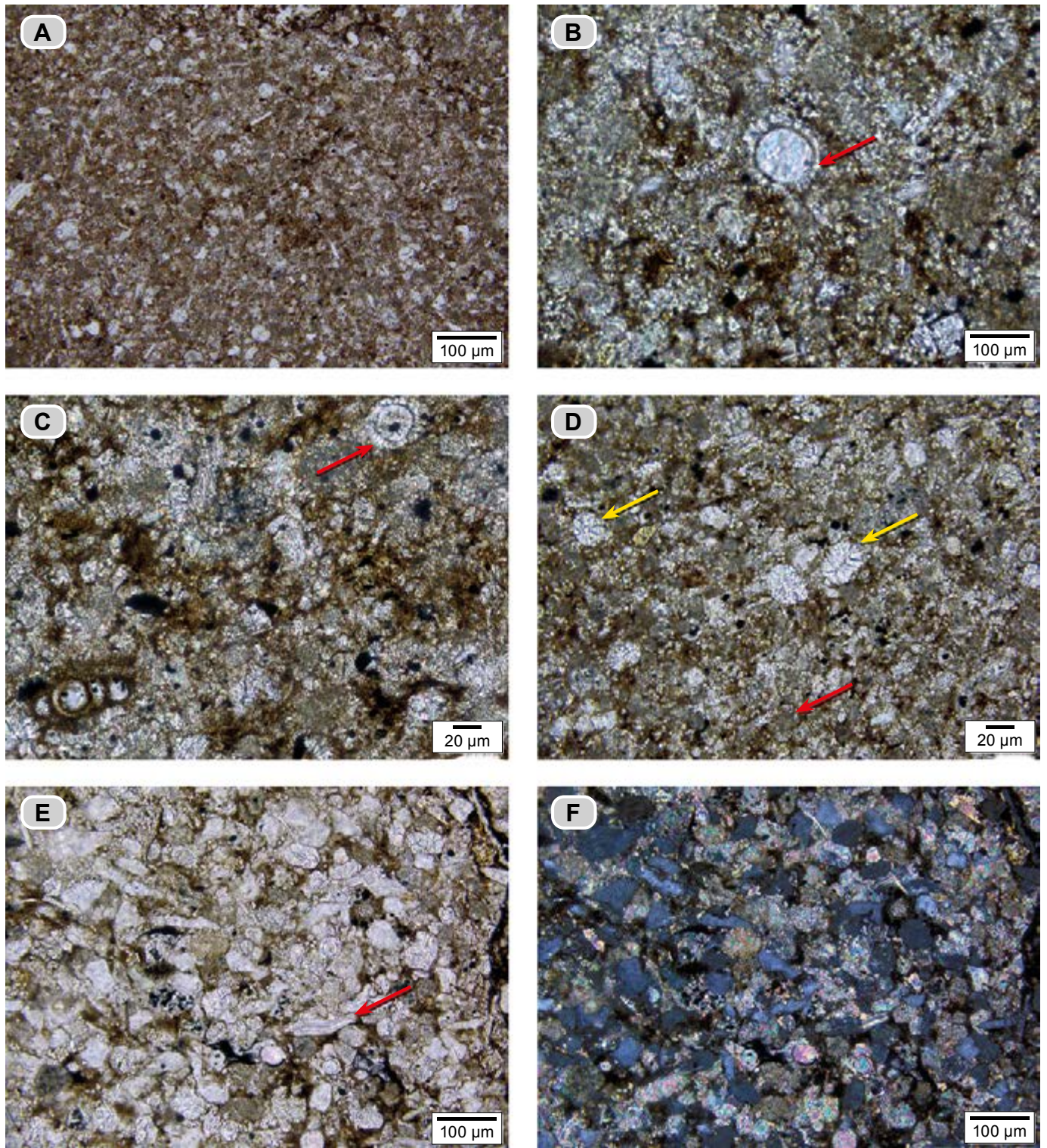
Se enumeran los porcentajes de los constituyentes de estas rocas en el siguiente orden (**figs. 18 y 19**): **dma 4816**, **dma 4810** y **dma 4808**: **1)** peletoides de micrita (30%, 17%, 18%), de tono pardo gris muy claro (Flügel 2010, fig. 4.12); **2)** fósiles (11%, 15%, 13%); entre ellos se reconocen: **a)** cuerpos circulares de 60 a 100  $\mu\text{m}$  de diámetro; en su interior hay cristales de calcita espar interpretados como *fungus fruiting bodies* (Goldstein 1988); **b)** cuerpos circulares de 40 a 60  $\mu\text{m}$  de diámetro, con varios tipos de anillos, identifica-





**Figura 18.** Caliza *mudstone* de aspecto macizo (**dma 4816**) con el microscopio se identifica como pelmicrita con recrystalización. **A)** Aspecto general de la roca; nótese las formas redondeadas de tono gris claro: peletoides de micrita (Flügel 2010, fig. 4.12). **B)** Con mayor aumento se observan peletoides de micrita de tono gris (flechas rojas); en color blanco, fragmentos irregulares de cuarzo de mayor tamaño y los agregados cristales de calcita espar generados por recrystalización. **C y D)** Con mayor aumento se destaca la presencia de cuerpos circulares de un único cristal de calcita con un anillo: quistes de dinoflagelados calcáreos (flechas rojas), y los peletoides de tonos grises (flecha amarilla); nótese la presencia de micrita en tono pardo oscuro, los agregados de cristales de calcita espar en tono blanco, y pirita en tono negro. **D)** Se resalta la presencia de un cuerpo circular con cristales de calcita espar en su interior, interpretado como *fungus fruiting bodies* (Goldstein 1988), y raicillas con restos de materia orgánica. **E y F)** Con mayor aumento se observan peletoides de micrita (flecha roja); nótese la recrystalización de la micrita en tonos blancos. La fotografía **F** fue hecha con nicoles cruzados.





**Figura 19.** Calizas *mudstone* de aspecto macizo (**dma 4808**). Con microscopio se identifican como pelmicritas con recrystalización (**A, B, C y D**). **A)** Aspecto general de la roca; nótese el contraste de tonos entre los peletoides de micrita de tonos grises, micrita de tono pardo oscuro, además de fósiles y cuarzo de tonos blancos. **B)** Con mayor aumento se observa un cuerpo circular cuyo relleno es un cristal único de calcita rodeado por un anillo de cristales de calcita interpretados como quistes de dinoflagelados calcáreos (Reháková 2000, flecha roja). **C)** Con mayor aumento se aprecia un cuerpo circular con anillo de cristales de calcita (flecha roja), interpretado como quistes de dinoflagelados calcáreos (Reháková 2000), micrita de tono pardo oscuro y un mosaico de cristales de calcita, por recrystalización. **D)** Presencia de cuerpos circulares con diámetro de 20  $\mu\text{m}$  y un cuerpo de forma ovoide reemplazado por cristales de calcita que crecen de modo radial (flecha amarilla), interpretados como *microcodium* (Košir 2004); la flecha roja señala un peletoides de micrita (Flügel 2010, fig. 4.12). **E y F)** Pelmicrita con cuarzo y recrystalización (**dma 4810**). Se observan varios constituyentes: peletoides de micrita (tono pardo grisáceo), micrita (tono pardo oscuro), agregados de cristales de calcita espar (blanco), cuarzo (blanco), moscovita (flecha roja), *microcodium*, quistes de dinoflagelados calcáreos. **F)** Misma imagen de **E** hecha con nicols cruzados, en donde se resaltan los peletoides de micrita, moscovitas y cuarzo.



dos como quistes de dinoflagelos calcáreos (Reháková 2010); **c)** escasos cuerpos ovalados con tamaños de 80  $\mu\text{m}$ , reemplazados por cristales de calcita alargados, interpretados como *microcodium* (Kořir 2004.); **d)** escasas conchillas de foraminíferos bentónicos con tamaños entre 30 y 50  $\mu\text{m}$ ; **e)** restos de algas incrustantes. El lodo calcáreo es de tono pardo oscuro por la presencia de materia orgánica (6%, 18%, 22%).

Los fragmentos terrígenos tienen texturas desde limo grueso a arena muy fina y están representados por: **a)** cuarzos angulares a subangulares (5%, 4%, 15%), y **b)** moscovita (1%). Se presenta glauconita (2%) y los minerales opacos (2-6%) tienen formas romboidales, hexagonales o en agregados. (figs. 18 y 19).

Los *mudstone* calcáreos con materia orgánica, de tonos grises oscuros (N2 y N3), parten en astillas y son ásperos al tacto por la presencia de cuarzo; afloran en intervalos de hasta 90 cm, dibujan entradas en el perfil topográfico (figs. 17 y 20) y pasan gradualmente a calizas *mudstone* resaltantes.

Con el microscopio, los *mudstone* calcáreos con materia orgánica (**dma 4809** y **4811**) se identifican como pelmicrita con cuarzo con textura de limo (**microfacies  $\beta$** ). Se observa bioperturbación homogénea. La micrita se presenta en cantidades que varían entre 26% y 33%, en tono pardo oscuro (fig. 21). Otros constituyentes son: **a)** granos de cuarzo angulares (23-39%), y algunos con bahías, de posible origen volcánico, con textura limo grueso; **b)** peletoides de micrita (21% y 28%), con tamaños hasta 70  $\mu\text{m}$ ; **c)** fósiles (2-3%): cortes de espículas de equinodermos, cuerpos circulares rodeados por un anillo oscuro (quistes de dinoflagelados calcáreos), con tamaños de 40  $\mu\text{m}$ , foraminíferos planctónicos? y algunos bentónicos (biseriados); **d)** granos de glauconita (2-3%) y **e)** moscovita (1-6%).



**Figura 20.** Conjunto B1. Calizas *mudstone* de aspecto macizo de tono gris claro, que forman resalte en el perfil topográfico, dispuestas en capas medianas a gruesas. Alternan con *mudstone* calcáreos con cuarzo en capas gruesas, de tonos más oscuros, que parten en astillas (metros 35 a 36).

**Conjunto B2 (42-53 m).** Los últimos siete metros de este segmento afloran después de un tramo cubierto de 4 m (tercer cubierto). Aparecen calizas *mudstone* grises (N3) en capas medianas a gruesas, de aspecto macizo, que dan resalte en el perfil topográfico; en alternancia con *mudstone* calcáreos con materia orgánica y cuarzo, de tonos grises oscuros (N2), que parten en astillas, dispuestas en capas muy gruesas, que dibujan entrantes (figs. 22 y 23). Es gradual el paso de los *mudstone* calcáreos con materia orgánica y cuarzo que dibujan valle, a la roca que los suprayace y genera saliente.

Las calizas *mudstone* de aspecto macizo se presentan en capas con formas planas y en algunas superficies  $S_0$  hay presencia de concreciones decimétricas, subesferoidales a irregulares, con  $\phi$  (eje mayor phi) máximo de 25 a 50 cm; son interpretadas como madrigueras (figs. 22 y 23).

Este conjunto se diferencia del conjunto infrayacente porque en el microscopio, las rocas que generan entrada, *mudstone* calcáreos con materia orgánica, se identifican como *bindstone*.

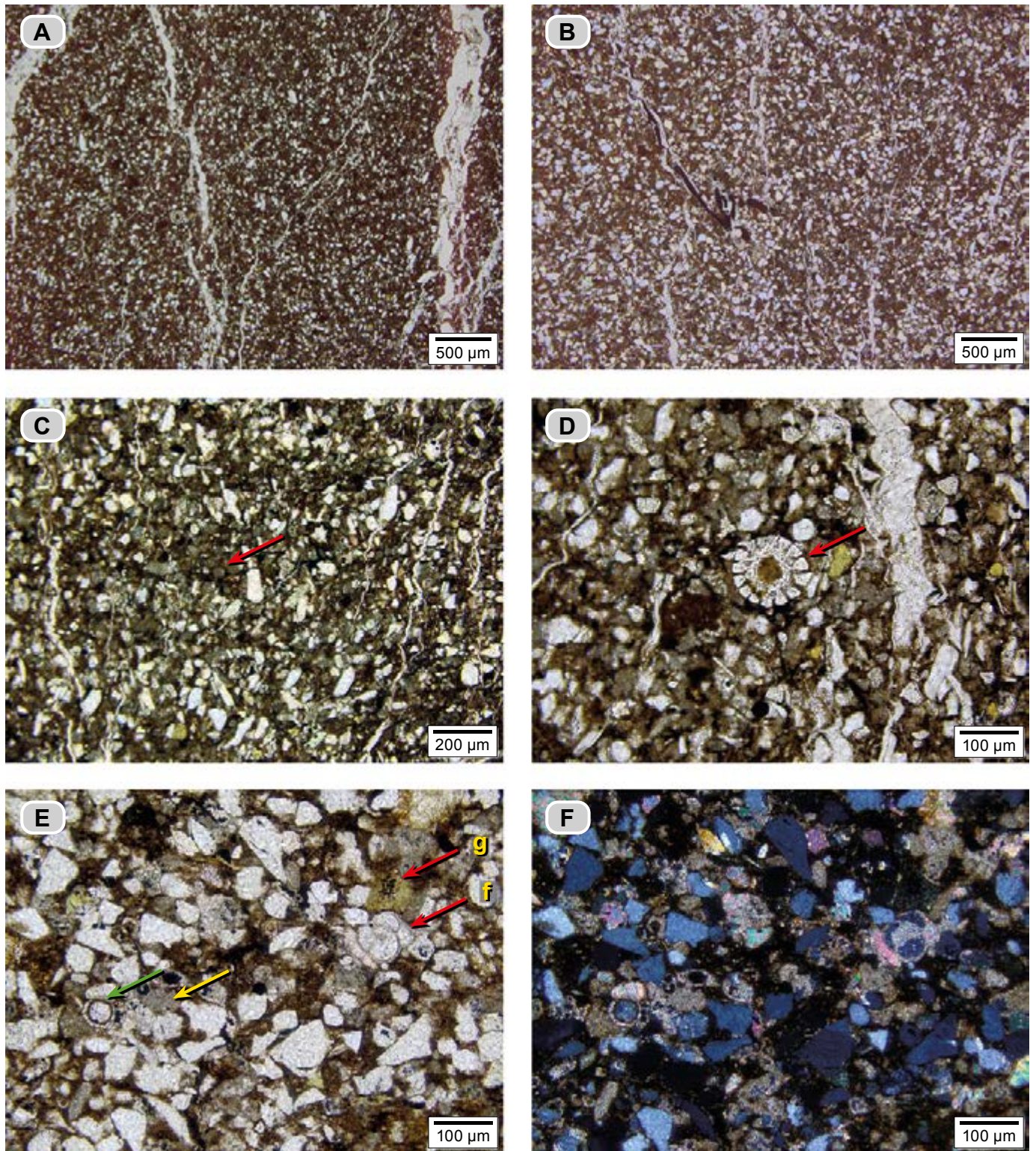
Con el microscopio, las calizas *mudstone* de aspecto macizo se identifican como *bindstone* con recristalización (**dma 4799**), y la caliza *mudstone* menos resistente que presenta cuarzo se identifica como biopelmicrita con recristalización y cuarzo (**dma 4794**).

**i)** Biopelmicrita con recristalización y cuarzo (**microfacies II**) se observa micrita de tonos pardos (16%), calcita espar como mosaico de cristales, con tamaños de entre 10 y 13  $\mu\text{m}$  (23%), por neomorfismo, y peletoides de micrita (12%). Entre los fósiles (14%) se reconocen (fig. 24): **a)** conchillas de foraminíferos bentónicos (biseriales); **b)** escasos fragmentos de bivalvos con tamaños de hasta 150  $\mu\text{m}$ ; **c)** quistes de dinoflagelados calcáreos, y **d)** cuerpos circulares de 40 a 60  $\mu\text{m}$  de diámetro y formas ovaladas de tamaños entre 50 y 70  $\mu\text{m}$ , en su interior con cristales de calcita espar; dichos cuerpos son interpretados como *microcodium* (Kořir 2004)

Los terrígenos están representados por partículas de: cuarzo (30%) con dos poblaciones de texturas: limo grueso y arena muy fina, de formas elongadas a subelongadas y angulares; moscovita (1%), feldespatos (1%) y óxidos de hierro (3%). También se observan trazas de glauconita y circones. La roca muestra bioperturbación.

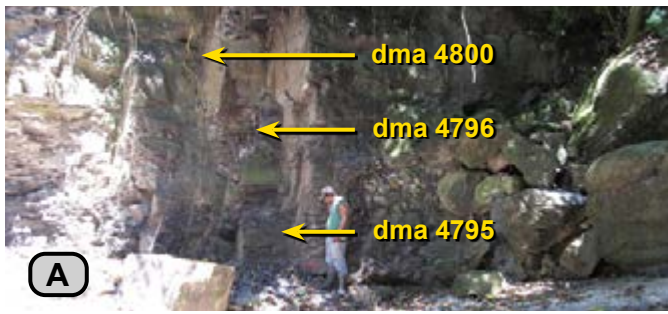
**ii)** *Bindstone* con recristalización (**dma 4799**) reconocida como **microfacies III**, con bioturbación (moteado distinto y láminas relictas). Se observan láminas claras y oscuras (figs. 25A y 25B). En las láminas oscuras hay presencia de fragmentos de cristales de calcita espar de hasta 20  $\mu\text{m}$  de tamaño y calcita microcristalina con materia orgánica (fig. 25D); las láminas claras, constituidas a su vez por láminas más delgadas discontinuas (fig. 25C), están compuestas internamente por un agregado de cristales de calcita. Estas características semejan tapices microbiales recristalizados. Hay



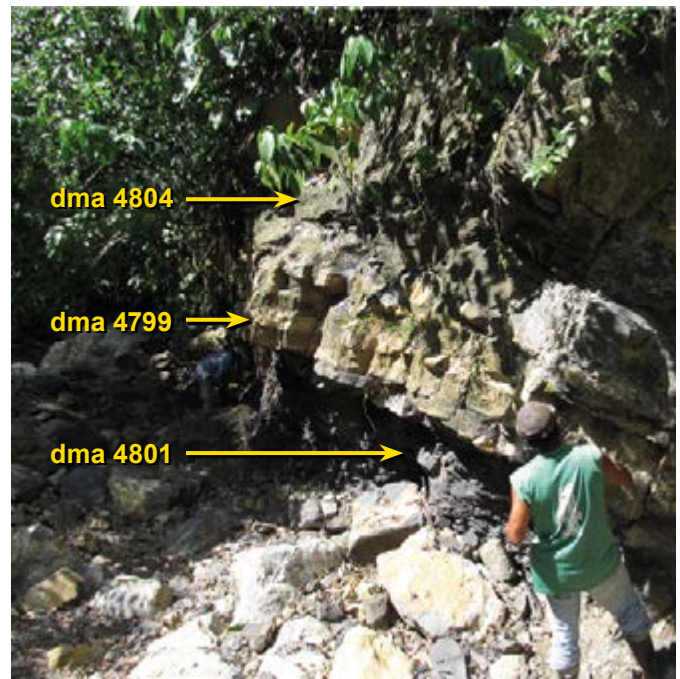


**Figura 21.** *Mudstone* calcáreos con materia orgánica y cuarzo, que parten en astillas y generan entrantes en el perfil topográfico. Con el microscopio se identifican como pelmicritas con cuarzo de textura limo y materia orgánica. **A)** Aspecto general de la muestra **dma 4809**: en tonos blancos destacan fragmentos de cuarzo con textura limo grueso, moscovita y fragmentos fósiles; en tonos pardos aparecen los peletoides de micrita y el lodo calcáreo. **B)** Aspecto general de la muestra **dma 4811**: en tonos blancos, los fragmentos de cuarzo con textura arena muy fina a limo grueso, moscovita y fósiles; en tonos pardos, peletoides de micrita y micrita. **C y D)** Con mayor aumento se observan los constituyentes de la roca **dma 4809**: en **C**, nótese los peletoides de micrita (flecha roja) (Flügel 2010, fig. 4.12); las partículas de cuarzo (en tono blanco) y moscovitas. **D)** Fotografía tomada con mayor aumento para resaltar la presencia de espina de equinodermo (flecha roja), glauconita y moscovita, y peletoides de micrita. **E y F)** Con mayor aumento se observan los constituyentes de la roca **dma 4811**: peletoides de micrita (flecha amarilla), cuarzo, cuerpos circulares con dos anillos, el primero oscuro y el segundo es un anillo de cristales de calcita: quistes de dinoflagelados calcáreos (flecha verde), foraminíferos planctónicos? (f), glauconita (g), el lodo calcáreo con materia orgánica en tonos pardos oscuros; la figura **F** es la misma toma de **E** hecha con nicóles cruzados.

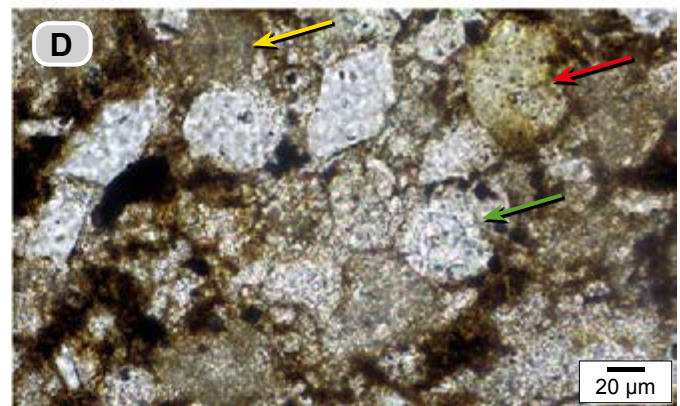
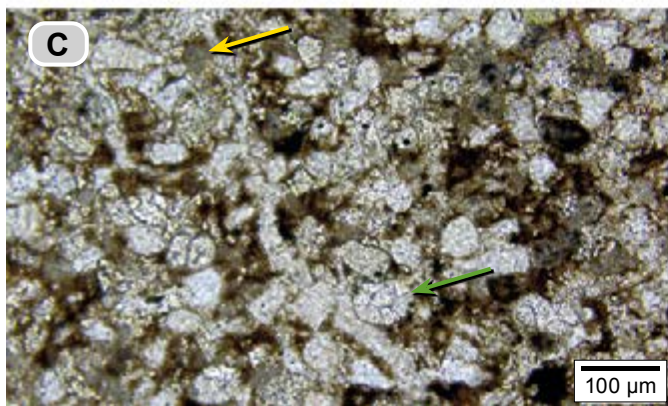
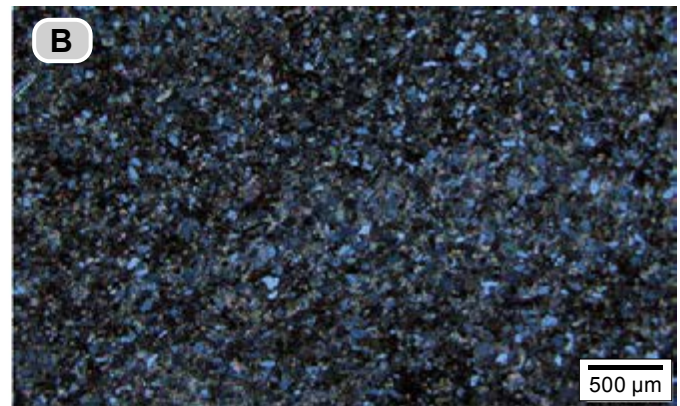
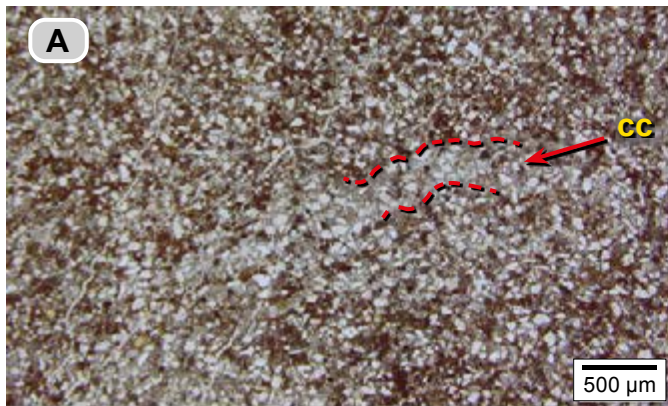




**Figura 22.** A) Conjunto B2. Calizas *mudstone* con cuarzo en capas gruesas que alternan con intervalos de hasta de 2,4 m de *mudstone* calcáreos con cuarzo y materia orgánica (dma 4795, 4976 y 4800). B) Ampliación de la capa que aparece en la parte inferior de la figura A, y representa el techo del intervalo A; se trata de una caliza *mudstone* con cuarzo (dma 4794) con madrigueras irregulares (metros 42 a 47).

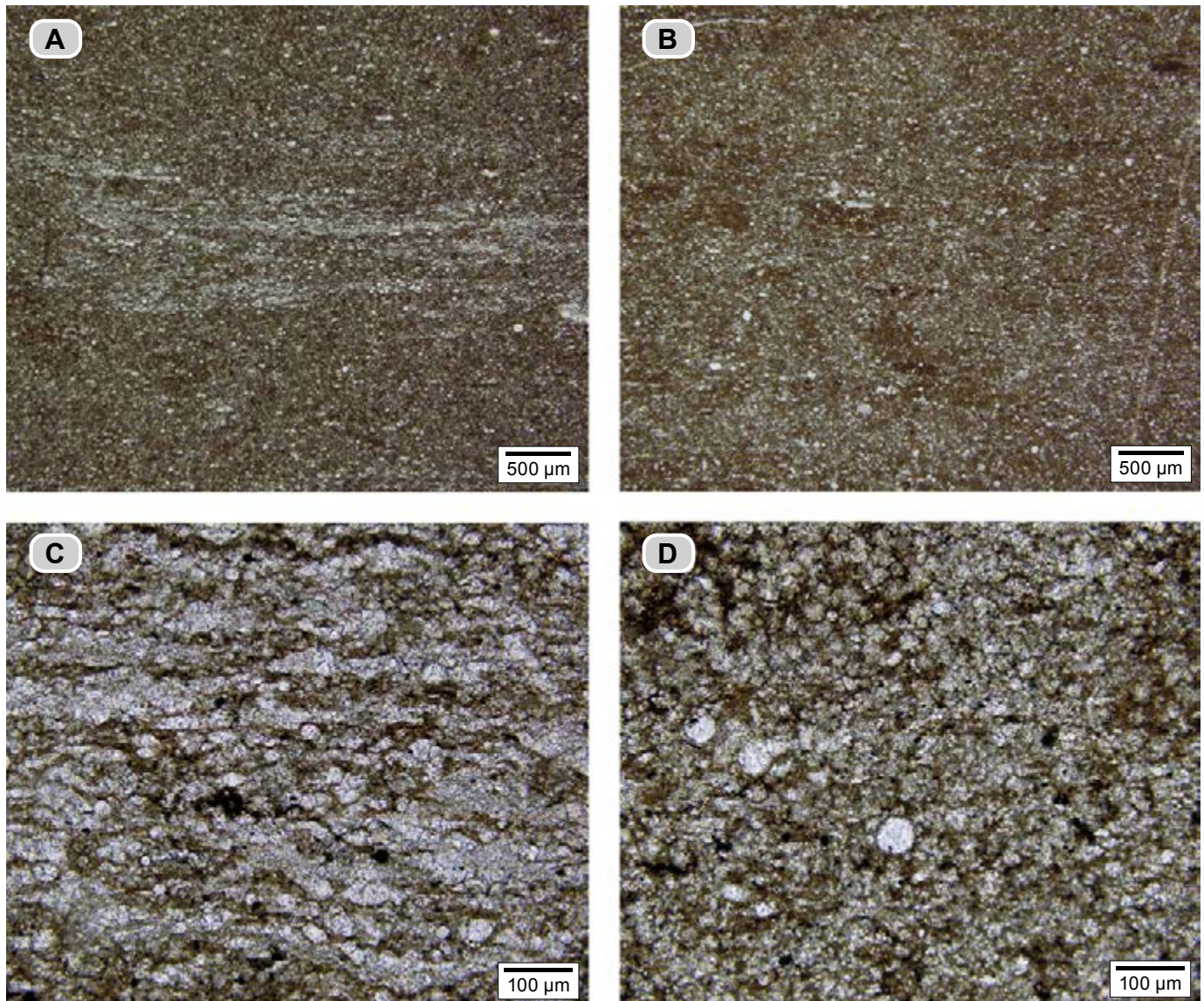


**Figura 23.** Conjunto B2. Calizas *mudstone* (dma 4799), en capas gruesas y concreciones calcáreas de diámetro  $\Phi$  de hasta 30 cm, que alternan con *mudstone* calcáreos con cuarzo (dma 4801 y dma 4804), también en capas gruesas (metros 49 a 51).



**Figura 24.** Caliza *mudstone* con cuarzo (dma 4794). Con el microscopio es una biopelmicrita con recrystalización y cuarzo. A) Aspecto general de la roca: las líneas rojas punteadas encierran sectores bioturbados de color claro, en donde el material entre el armazón corresponde a mosaicos de cristales de calcita espar (cc). B) Fotografía de la misma sección delgada hecha con nicols cruzados. C) peletoides e intraclastos de micrita (flecha amarilla), cuerpos de formas ovoides tipo frijol reemplazados por cristales, señalados por una flecha verde (*microcodium?*), además de fragmentos de cuarzo. D) Con mayor aumento se observan los peletoides de micrita (flecha amarilla), glauconita (flecha roja) y cuerpos circulares con un anillo segmentado constituido por cristales de calcita señalado con flecha verde (quiste de dinoflagelado calcáreo).





**Figura 25.** Caliza *mudstone* (dma 4799), que en el microscopio se identifica como un *bindstone* recristalizado con bioturbación. **A)** Láminas claras, relictos por la bioturbación, y láminas oscuras más gruesas. **B)** Otro sector de la sección delgada con bioturbación moderada (distinta) y fragmentos de cristales de calcita disgregados. **C)** Láminas claras constituidas por fragmentos laminares, compuestas a su vez por cristales de calcita; sus contornos semejan picos; nótese los cuerpos circulares de calcita, interpretados como elementos reproductores. **D)** Con mayor aumento se observa la recristalización: mosaicos de cristales de calcita espar con tamaños de hasta 25 µm.

presencia de cuerpos circulares de un único cristal de 25 a 40 µm de diámetro, interpretados como elementos reproductores de algas y quistes de dinoflagelados calcáreos.

Hay presencia de restos de hidrocarburo, en ocasiones reemplazando fósiles: espinas de huesos.

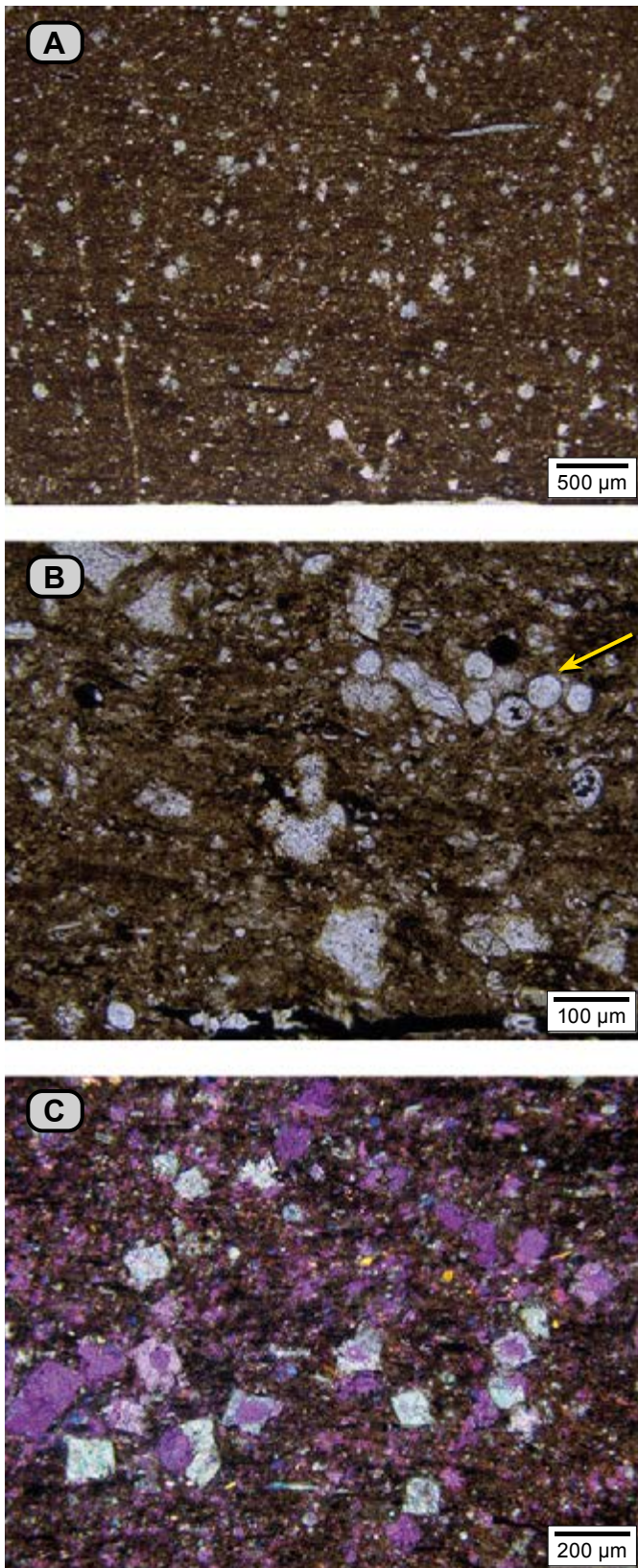
Con el microscopio, los *mudstone* calcáreos con materia orgánica y partición en astillas se identifican como *bindstone* con materia orgánica (**microfacies α**). Hacia la base de la sucesión, la bioturbación está ausente, mientras que hacia el techo se observan relictos de laminación y moteamiento.

**i)** *Bindstone* con materia orgánica (**dma 4795, dma 4800**). Se observan tapetes microbiales litificados por calcita mi-

crocristalina en tonos pardos, con presencia de laminillas discontinuas de materia orgánica (**fig. 26**).

Los fragmentos fósiles (hasta 4%) son: **a)** cuerpos circulares con un centro de único cristal rodeado por un anillo segmentado por cristales de calcita (quistes de dinoflagelados calcáreos); **b)** cuerpos circulares de 20 a 25 µm reemplazados por un cristal único, que se presentan agregados, interpretados como elementos reproductores bacterianos; **c)** cuerpos circulares de 40 a 60 µm de diámetro, internamente con cristales de calcita espar, son interpretados como *fungus fruiting bodies* (Goldstein 1988, fig. 8B); **d)** coprolitos de cangrejos, **e)** conchillas de foraminíferos bentónicos de tamaños de hasta 40 µm y escasos fragmentos de bivalvos con tamaños de 100 µm; **f)** espinas de peces rellenas de hidrocarburos.





**Figura 26.** *Mudstone* calcáreos con materia orgánica, con el microscopio se identifican como un *bindstone* con materia orgánica (**dma 4808**). **A)** Aspecto general: se observan láminas de micrita con laminillas de materia orgánica. **B)** Nótese las concentraciones de cuerpos circulares de 20 a 25 µm de diámetro (flecha amarilla), interpretados como elementos reproductores bacterianos. **C)** Nótese el desarrollo de los cristales de calcita a partir de cuerpos circulares de 20 a 25 µm (fotografía tomada con nicóles cruzados y compensador  $\lambda$ ).

Hay presencia de cristales rómbicos de calcita (9-14%), con tamaños que varían desde 95 hasta 115 µm; en ocasiones los cristales están maclados; además, se observa su crecimiento a partir de un núcleo. También se presentan sulfuros de formas cúbicas reemplazando fósiles y diseminados.

ii) *Bindstone* con bioturbación (**dma 4801** y **dma 4804**), expresada como relictos de laminación o moteamiento indistinto y raicillas (**fig. 27**). En el moteamiento indistinto se reconocen sectores de la sección delgada con mayor proporción de fragmentos de cuarzo. Los relictos de laminación aparecen representados por fragmentos de láminas constituidos por cristales de calcita.

Otros materiales constitutivos de la roca son fragmentos fósiles que varían en cantidad desde 3% hasta 18%; son más abundantes en las rocas con mayor bioturbación. Se observan los siguientes fósiles: **a)** cuerpos circulares de calcita con un anillo segmentado, y con dos anillos, el interior ocráceo y circundándolo un anillo de cristales de calcita retangulares, estos cuerpos se han reconocido como quistes de dinoflagelados calcáreos; **b)** cuerpos circulares de 20 a 50 µm, interpretados como elementos reproductores bacterianos; **c)** fragmentos de espinas de peces, en ocasiones rellenos de hidrocarburos, de equinodermos y de conchas micritizadas de bivalvos; **d)** presencia de cuerpos circulares con diámetro y cuerpos de forma ovoide reemplazados por cristales de calcita alargados que crecen de modo radial, interpretados como *microcodium* (Košir 2004), y **e)** peletoides de micrita (6%).

Hay presencia de fragmentos cristalinos disgregados de calcita con tamaño limo grueso, que alcanza hasta 27%, además de trazas de glauconita.

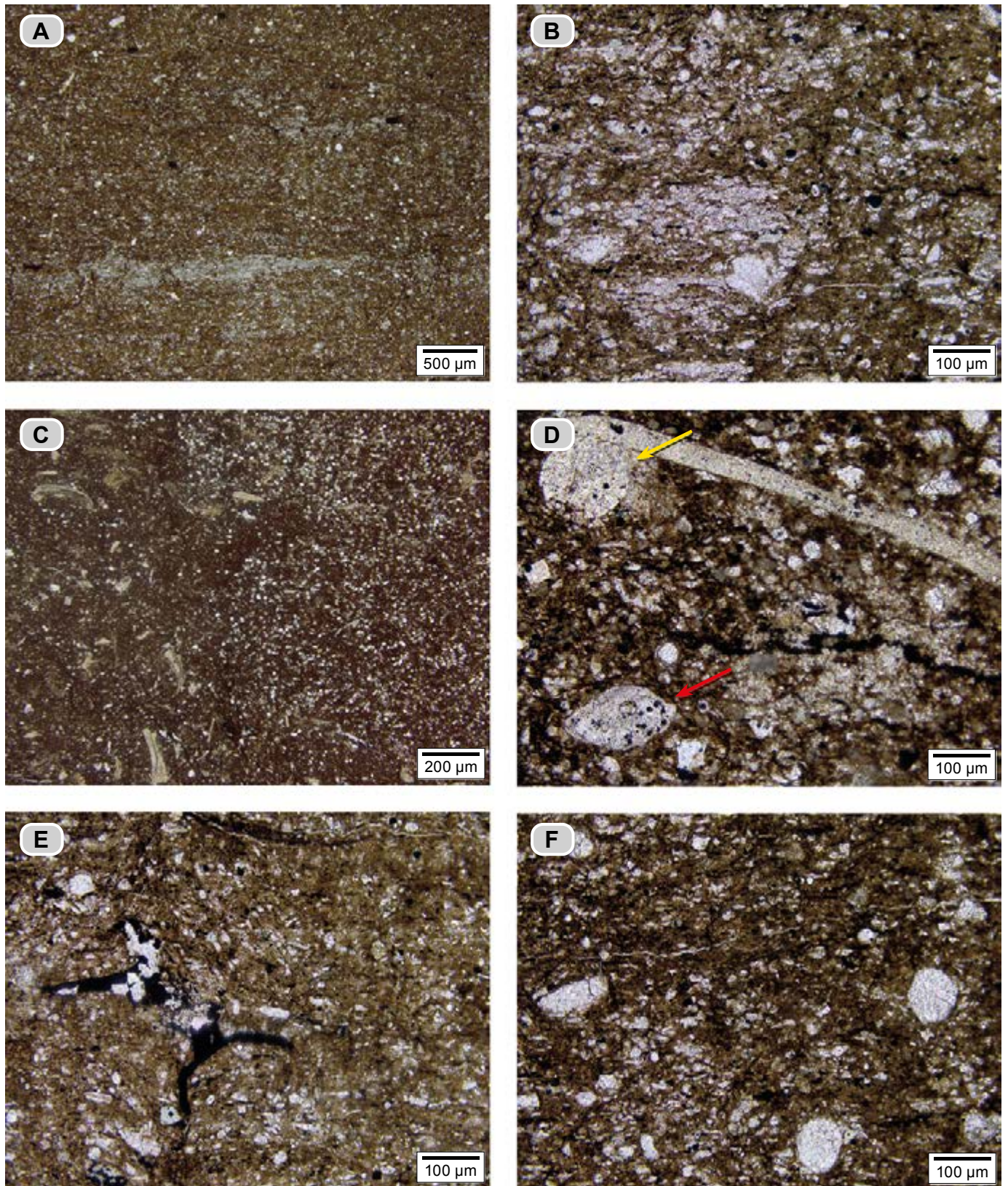
La materia orgánica se presenta en hilillos paralelos a  $S_0$ , en motas y asociadas a las raicillas. La pirita se observa entre framboidal y cúbica.

El cuarzo (4%) se presenta como fragmentos angulares con textura limo grueso a arena muy fina.

iii) *Bindstone* con materia orgánica y cuarzo con textura limo, que se adhiere (**dma 4796**), presenta intervalos laminares: son láminas oscuras correspondientes a tapices microbiales con biomineralización de calcita microcristalina, diferenciadas por la mayor o menor abundancia de las partículas angulares de cuarzo (16%), y que definen las láminas. La materia orgánica se presenta en laminillas discontinuas y en motas. También se observan vestigios de moscovita y glauconita (**fig. 28**).

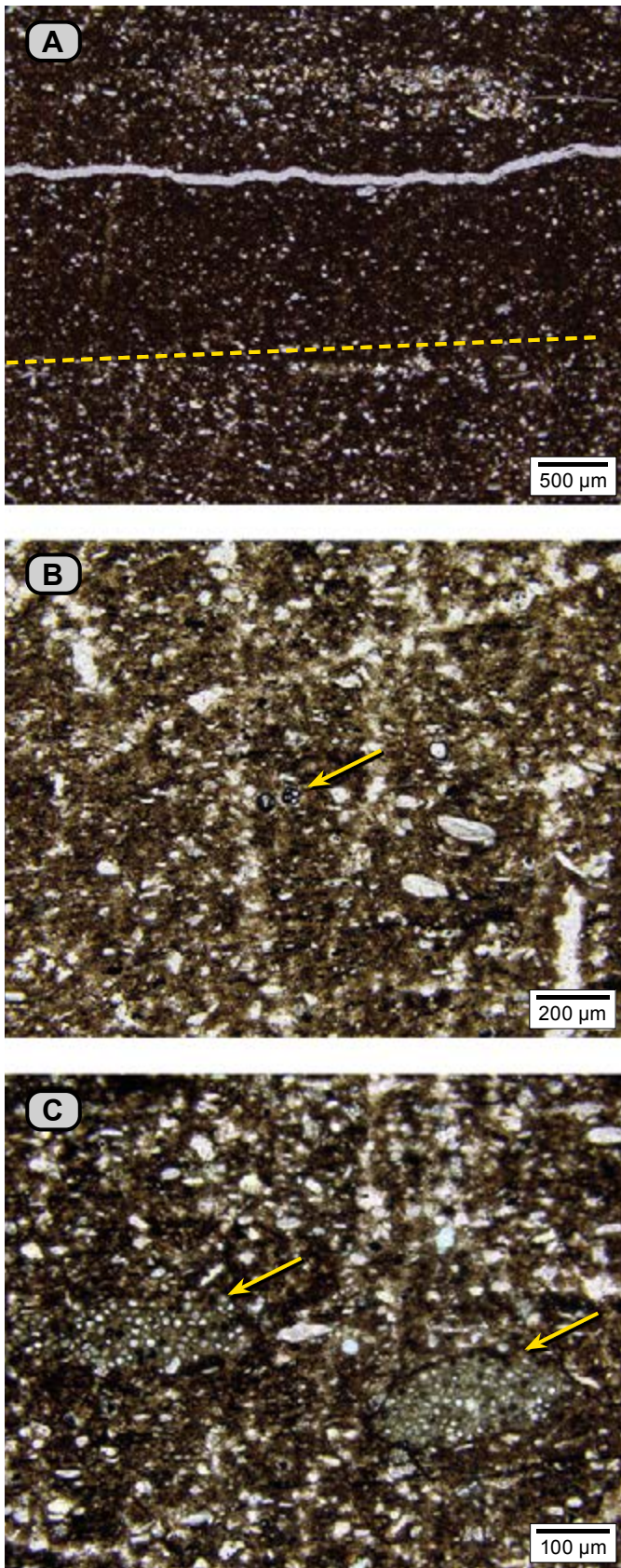
En los metros cuspidales del intervalo estratigráfico B afloran calizas *mudstone* de aspecto macizo, en tonos grises claros (N6), dispuestas en capas medianas y gruesas, que alternan con calizas *mudstone* con terrígenos que parten en astillas, de color gris oscuro (N3), en capas medianas y delgadas (**fig. 29**). En las calizas *mudstone* se presentan madrigueras desconectadas, con tamaños de hasta 28 cm.





**Figura 27.** *Mudstone* calcáreos con materia orgánica (**dma 4801** y **dma 4804**); en el microscopio se identifican como *bindstone*. **A**) Nótese los relictos de láminas claras (**dma 4801**). **B**) Detalle del extremo SW de la figura **A**, para mostrar la bioturbación y los restos de láminas recrystalizadas de tapetes microbiales (**dma 4801**). **C**) *Mudstone* calcáreo con bioturbación (**dma 4804**); nótese la bioturbación diferenciada por la mayor abundancia de fragmentos de cuarzo, mientras que en la mitad izquierda se observa micrita con presencia de fragmentos de restos óseos y de fragmentos de bivalvos. **D**) Con mayor aumento se observan espinas de equinodermo? (flecha amarilla) y ostrácodo (flecha roja) (**dma 4804**). **E**) Molde de espina de pez relleno de hidrocarburos (**dma 4801**). **F**) Nótese la presencia de fragmentos de cristales de calcita con tamaño limo, en tonos blancos, y cuerpos circulares de 90 µm, indiferenciados.





**Figura 28.** *Mudstone* de carbonatos con materia orgánica; en el microscopio se identifica como un *bindstone* con materia orgánica (**dma 4796**). **A)** Láminas diferenciables con base en el porcentaje de terrígenos (límite destacado por la línea punteada amarilla). **B)** La flecha señala posible coprolito de crustáceo. **C)** Intraclastos de algas? señaladas por flechas amarillas.



**Figura 29.** Alternancia de capas medianas cuspidales del Intervalo estratigráfico B (segmento estratigráfico I) (metro 53,  $\Delta 21$ ).

### Segmento estratigráfico II (53-87 m)

Este segmento genera una entrada en el perfil topográfico (**figs. 3 y 8**). En él se diferencian tres intervalos estratigráficos: dos de ellos (C y E) constituidos por *mudstone* arcillosos y calcáreos, separados por un intervalo compuesto por limolitas de cuarzo (D). En la quebrada La Paja se describe el intervalo estratigráfico D, entre el  $\Delta 10$  y el  $\Delta 0$  de la poligonal, mientras que los intervalos estratigráficos C y E se describen con base en los afloramientos presentes en el cruce de carretera Lebrija-San Vicente de Chucurí con la quebrada La Molinilla (sección La Molinilla).

**Intervalo estratigráfico C (53-65 m).** En la quebrada La Paja, en el  $\Delta 21$  solo afloran los 2 m basales, representados por *mudstone* arcillosos (**fig. 30**). En la quebrada La Molinilla se observa el intervalo en su totalidad; las descripciones se hicieron con base en esta sección (**fig. 31**).

La parte basal está compuesta por *mudstone* arcillosos grises (N4) (**dma 4806, dma 5362**). Hay presencia de gasterópodos turrítellidos con longitud de espiral de 1,5 a 2 cm, orientados en dos direcciones perpendiculares entre sí. También se observan impresiones de equinodermos aplastados con sus espinas adheridas (**fig. 32**).

A medida que se asciende en la sucesión, los *mudstone* se tornan calcáreos y tienen materia orgánica (**dma 5363**). En ocasiones se observa laminación: se presentan láminas de *mudstone* calcáreo y materia orgánica, con láminas de *mudstone* calcáreo y cuarzo (**dma 5368**). Hacia el techo los *mudstone* calcáreos son micáceos y parten en lajas. Se observan madrigueras entre irregulares y semilunares paralelas a  $S_0$ .





**Figura 30.** A) Superficie techo de la caliza *mudstone*, que marca el contacto entre los segmentos estratigráficos I y II de la Formación Tablazo, en la quebrada La Paja (metro 53, Δ 21). B) Detalle del contacto ilustrado en A; nótese tanto las madrigueras en la capa cuspidal del segmento I, así como los *mudstone* arcillosos con materia orgánica de la base del segmento estratigráfico II.

Con el microscopio, en los *mudstone* arcillosos (**dma 4806**, **dma 5362**) se reconocen láminas con textura porosa (tapetes microbiales) a las que se adhiere arcilla con fino hábito micáceo (Konhauser 1998), que perfilan el aspecto laminado. Paralelos a las láminas se observan hilos de materia orgánica, que definen la **microfacies Ω (fig. 33)**. Hay escasas espinas de equinodermo y cristales de calcita, de forma rómbrica, individuales y maclados.

Con el microscopio, los *mudstone* calcáreos se identifican como micritas fosilíferas con cuarzo (**microfacies δ**). La muestra **dma 5363** está constituida por micrita (63%) de tono pardo oscuro, acompañada de materia orgánica, con fragmentos de bivalvos de tamaño máximo de 150 μm (14%), paralelos a  $S_0$  (**fig. 34**). El cuarzo es angular, con textura limo grueso (15%); hay presencia de moscovita (3%), sulfuros (3%), glauconita (2%) y trazas de fosfatos. La roca presenta bioturbación y se observan caminos verticales de materia orgánica (raicillas?).

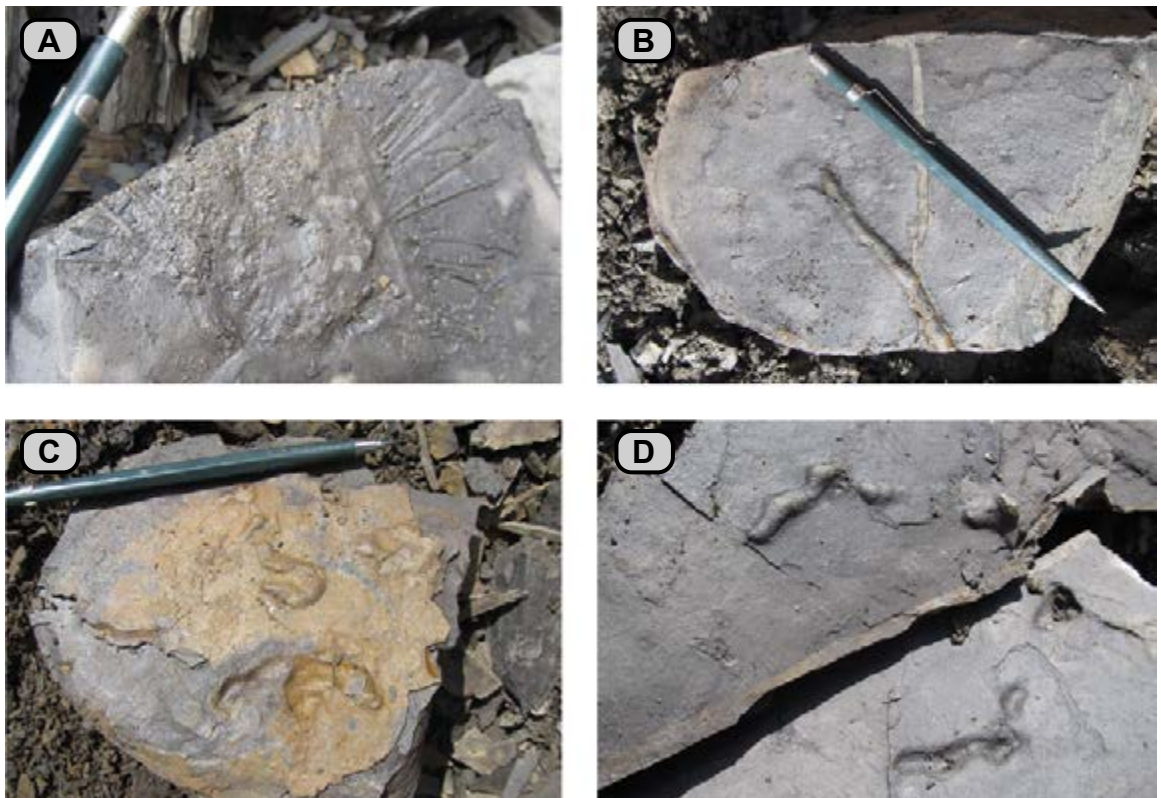
Con el microscopio, la muestra **dma 5368** se identifica como micrita fosilífera (**microfacies δ**). Tiene laminación plano-paralela, es de tonos claros y oscuros (**fig. 34**). Las láminas oscuras presentan micrita con materia orgánica; también se aprecia en hilos y motas. Por el contrario, las claras tienen cemento esparítico. Los constituyentes son: **a)** cemento esparítico (15%); **b)** lodo calcáreo recristalizado (65%); **c)** moscovita (6%) de varios tamaños, desde 100 hasta 244 μm, dispuesta en forma paralela a  $S_0$ ; **d)** cuarzo angular con tamaño limo fino (3%); **e)** fragmentos de bivalvos (6%) con tamaños entre 100 y 300 μm; **f)** pirita (3%) y trazas de glauconita.

**Intervalo estratigráfico D (65-82 m).** Este intervalo se describe con base en los afloramientos presentes en la quebrada La Paja, localizados en la poligonal desde el Δ10 hasta el Δ0. Se trata de una sucesión siliciclástica de 13 m de espesor, representada por limolitas y arenitas de grano muy fino. Aunque las rocas de la porción más baja conservan sus estructuras originales, en general dichas estructuras están difusas por bioturbación. Se diferencian dos conjuntos con tres grados de bioturbación: I) bajo, II) moderado a alto y III) alto.

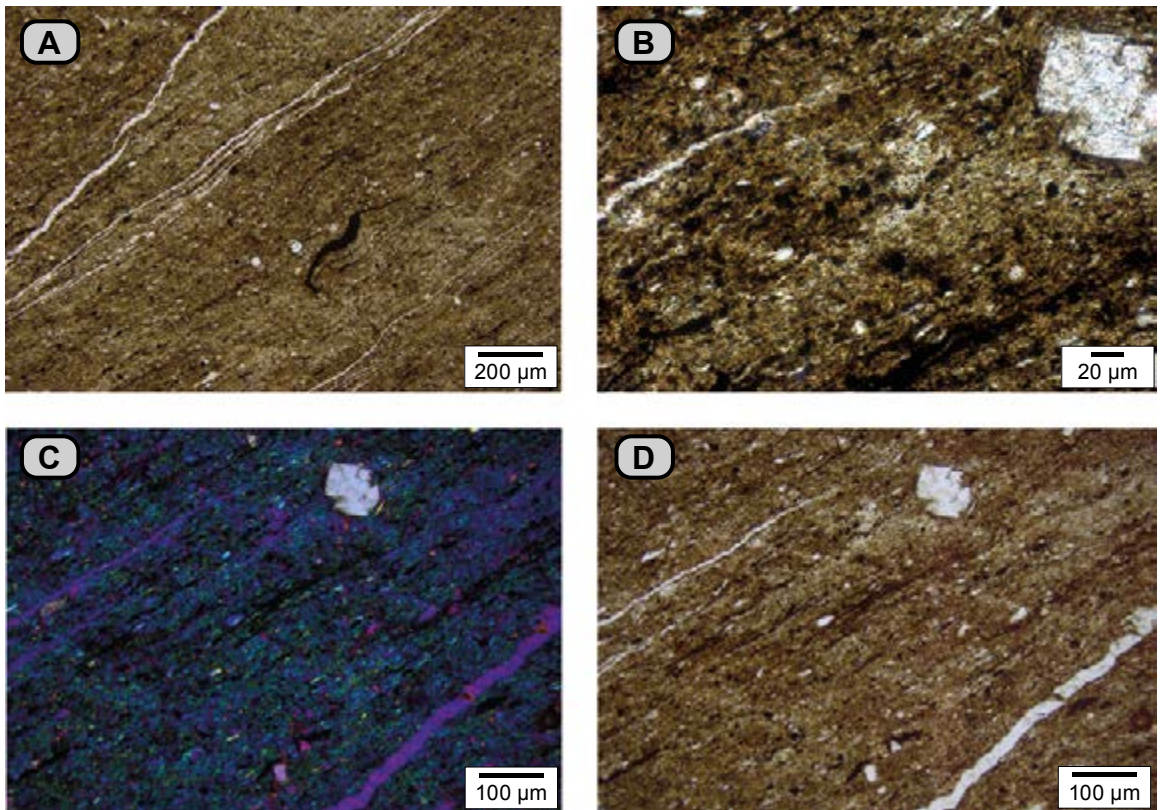


**Figura 31.** Segmento estratigráfico II, destacado entre líneas amarillas punteadas, en la vía Lebrija-San Vicente de Chucurí, cerca del cruce con la quebrada La Molinilla (fotografía tomada desde un punto con coordenadas N:1.279.786, E:1.085.425 y azimut 120°). Se reconocen tres intervalos estratigráficos: el inferior, C, y el superior, E, están constituidos por *mudstone* arcillosos y *mudstone* calcáreos, mientras que el intervalo intermedio, D, entre líneas punteadas rojas, está representado por limolitas de cuarzo, y hacia el techo arenitas de cuarzo de textura muy fina (metros 50 a 87).



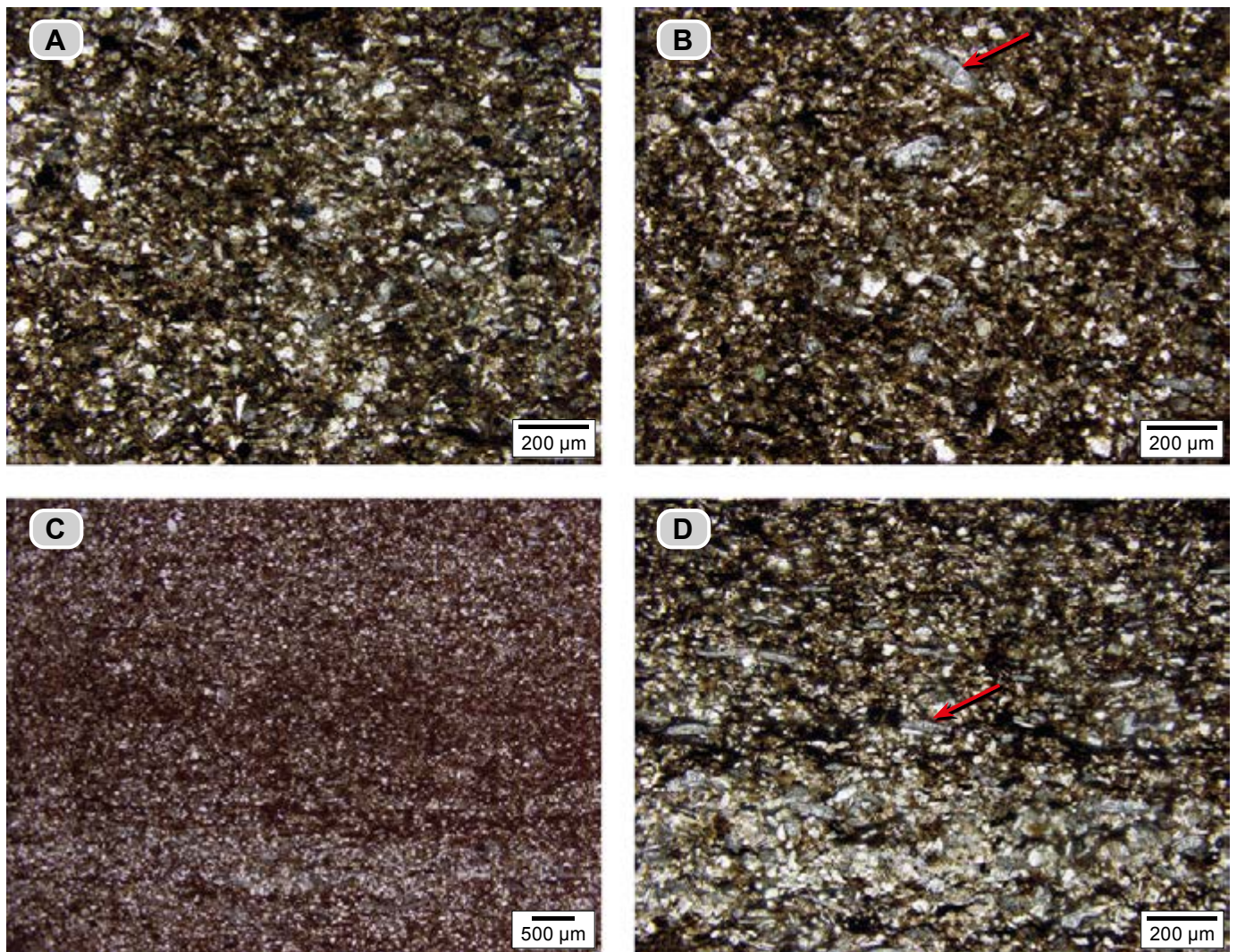


**Figura 32.** A) Impresión en vista de planta de caparazón de equinodermo con sus espículas aún adheridas (metro 60). B, C y D) Rasgos de bioturbación identificados como madrigueras (metros 63 a 65, sección La Molinilla).



**Figura 33.** *Mudstone* arcilloso con materia orgánica (dma 4806), con el microscopio se identifica como un *bindstone* con arcillas. A) Obsérvense las láminas de los tapices microbiales con arcilla adherida y las laminillas de materia orgánica con estructura ondulada recostada (Porada, Ghergut y Bouougrí 2008, fig. 4). B) En otro sector de la placa, con mayor aumento se observa la textura porosa de los tapices microbiales con cristales rómbicos maclados de calcita. C) Tapices microbiales con arcilla adherida: esta se reconoce por el tono azul, que se genera al aplicar el compensador 1A, con nicoles cruzados y rotación de la platina a posición NE-SW, D) Fotografía de C tomada con nicoles paralelos.





**Figura 34.** A y B) *Mudstone* calcáreo con materia orgánica (dma 5363), con el microscopio se identifica como una micrita fosilífera con cuarzo. Nótese el moteamiento indistinto por bioturbación. Los constituyentes son: lodo calcáreo pardo oscuro, fragmentos de cuarzo blancos, fragmentos de bivalvos (flecha roja) y materia orgánica en motas. C y D) *Mudstone* calcáreo con materia orgánica, laminados (dma 5368), con el microscopio se identifica como una micrita fosilífera; en C nótese la laminación por color y textura resaltada en tonos oscuros y claros, y en D, en la misma placa, con mayor aumento, se observa el contacto entre dos láminas: en la lámina clara inferior se reconoce la presencia de cemento esparítico en tono claro, y en menor proporción, micrita en tono pardo; nótese los fragmentos de cuarzo, fragmentos de bivalvos y moscovitas paralelas a  $S_0$ ; en la lámina oscura superior, el porcentaje de micrita pardo oscura es mayor; obsérvense los fragmentos de bivalvos (flecha roja) y la materia orgánica.

**Conjunto D1 (65-71 m).** Son limolitas de cuarzo grises oscuras (N2), que se presentan en intervalos de hasta 90 cm. Tienen laminación entre muy delgada y delgada, continua a discontinua (fig. 35); es común observar concreciones elipsoidales con  $\Phi$  mayor hasta de 80 cm.

**Conjunto D2 (71-82 m).** Son limolitas de cuarzo grises oscuras (N2-N3), en capas muy gruesas, con contactos levemente ondulados y alto grado de bioturbación (III), que les imprime un aspecto homogéneo (fig. 35). Debido a la bioturbación —madrigueras—, en el metro 80 la capa presenta aspecto nodular.

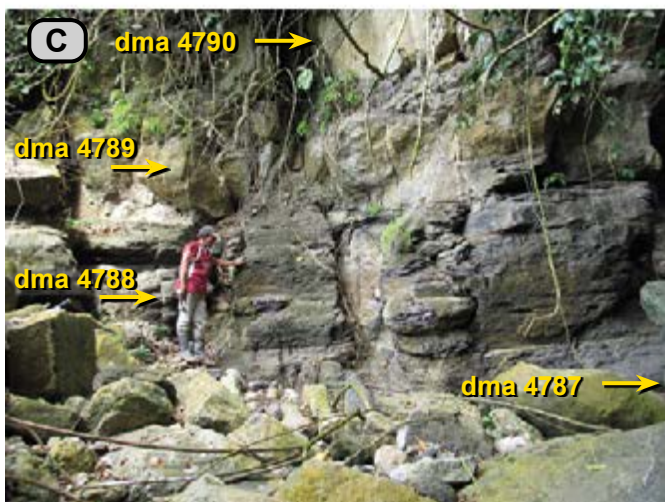
A continuación se describen las limolitas de cuarzo y sus estructuras sedimentarias tal como son vistas en el microscopio:

**I) Bioturbación entre mínima y baja (grado A).** Con el microscopio, las limolitas (dma 4792, dma 4793, dma 4781),

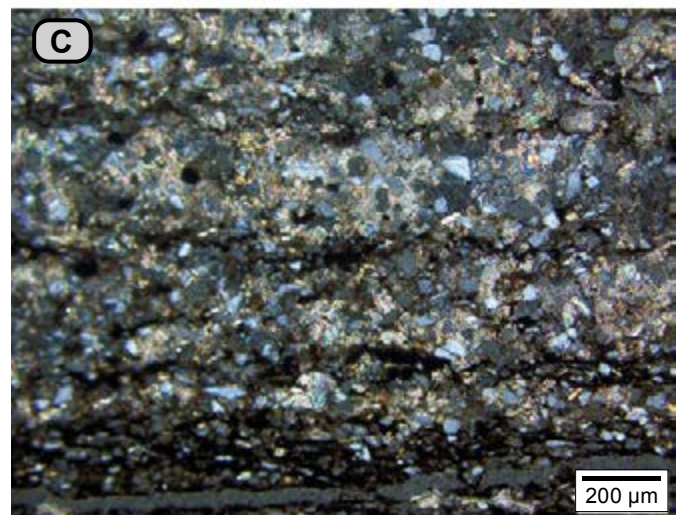
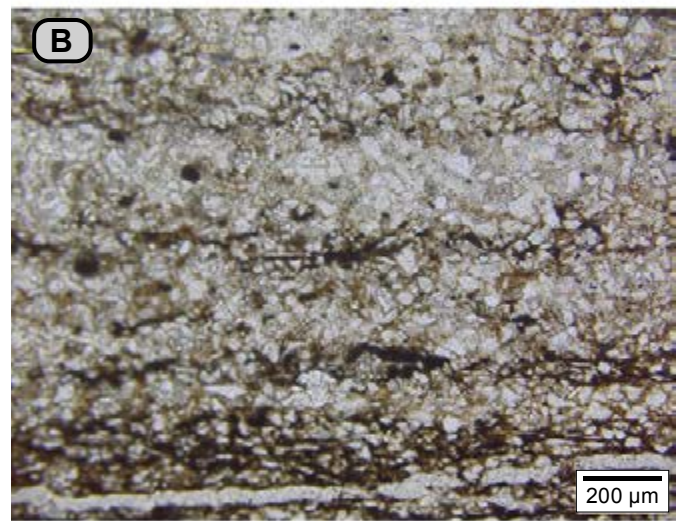
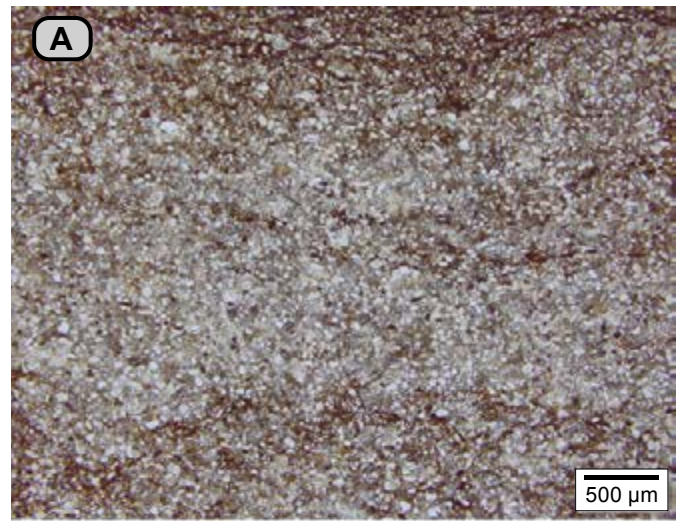
tienen laminación plana paralela a inclinada (**microfacies  $\epsilon$** ). Los tonos oscuros se deben al mayor porcentaje de matriz arcillosa con materia orgánica, mientras que en las láminas de tonos claros el material entre granos es exclusivamente cemento esparítico (figs. 36 y 37).

En las láminas claras, en menor proporción, los constituyentes tienen textura limo grueso, aunque a veces alcanzan textura arena muy fina, y están compuestos por fragmentos de cuarzo (26-38%), de formas alargadas a equidimensionales y de contornos angulares. La moscovita (8-10%) tiene tamaños entre 70 y 148  $\mu\text{m}$ , paralelas a  $S_0$ . Hay presencia de minerales opacos-sulfuros (1%) y glauconita en cantidades traza. El cemento esparítico se presenta en cantidades entre el 23% y el 32%. En algunas láminas claras también se presenta matriz arcillosa (14%) de color pardo acompañada de materia orgánica; esta también se presenta en motas (figs. 36 y 37).



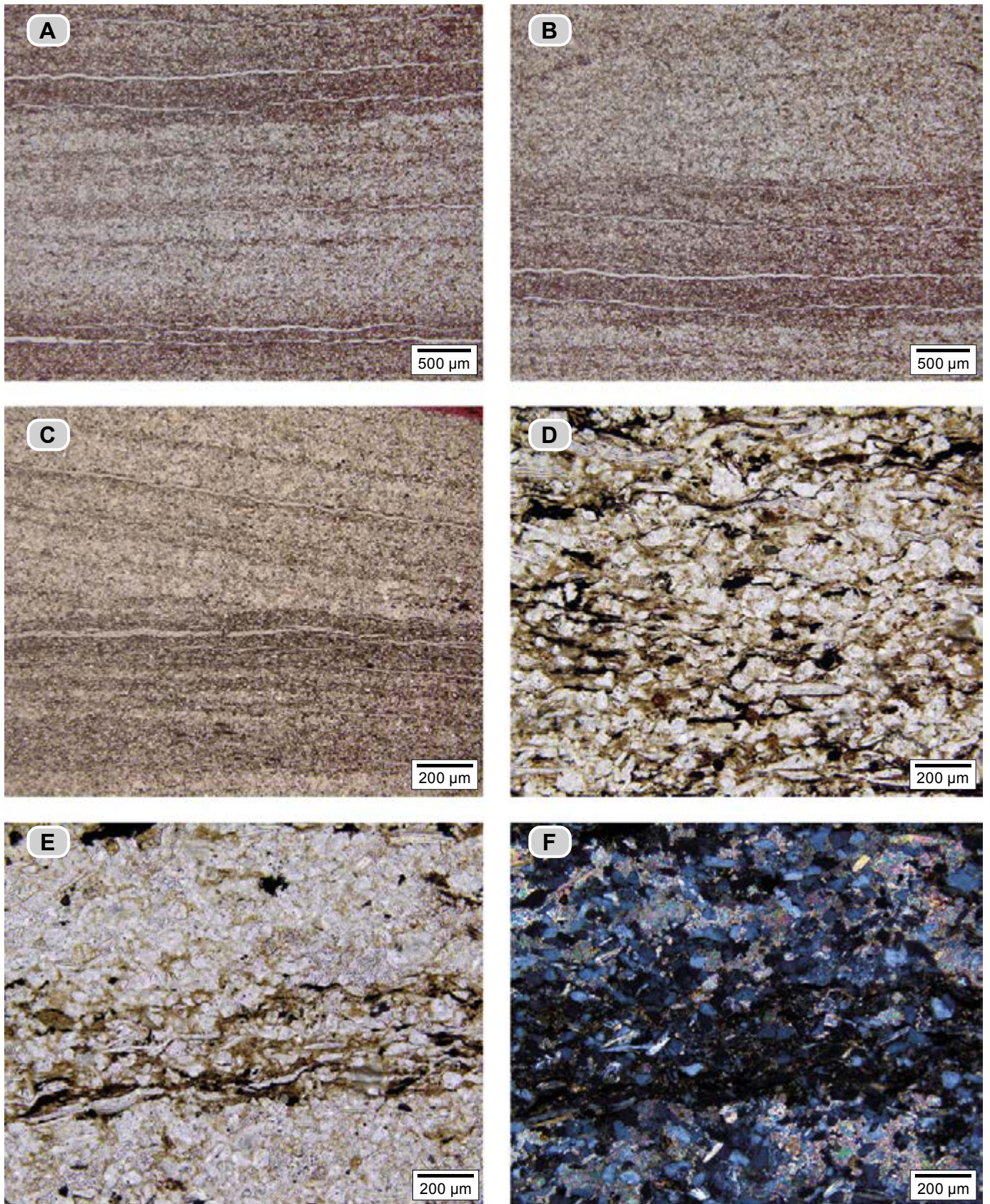


**Figura 35.** A) Conjunto D1, conformado por limolitas de cuarzo con láminas entre delgadas y medianas (metro 69, Δ10). B) Se observan limolitas laminadas hacia la base (conjunto D1), y bioturbadas hacia el techo (conjunto D2, metros 72 a 75, Δ8). C) Conjunto D2, limolitas del techo; obsérvese la forma nodular de la capa superior aflorante (dma 4789 y dma 4790).



**Figura 36.** Limolitas de cuarzo (dma 4781). A) Aspecto general; se observan láminas en tonos claros y oscuros con límites difusos (bioturbación). B) Otro sector de la placa observado con mayor detalle, que deja ver los constituyentes de las láminas; en las láminas claras el material entre granos es cemento esparfítico, mientras que en las láminas pardas el tono se oscurece por la concurrencia de matriz arcillosa y lodo calcáreo, materia orgánica y minerales opacos. C) La misma sección delgada vista con nicoles cruzados; nótese los contactos ondulosos entre las láminas y el cemento esparfítico.





**Figura 37.** Limolitas de cuarzo laminadas (dma 4793). En **A**, **B** y **C** se observan láminas entre muy delgadas y delgadas, planas paralelas e inclinadas, resaltadas por color y composición (presencia de matriz arcillosa y materia orgánica). **D**) Lámina oscura constituida por cuarzo y moscovita paralelos a  $S_0$ ; laminillas y motas de materia orgánica y la presencia de minerales opacos, con matriz arcillosa de tono pardo. **E**) Detalle de la interposición de una lámina oscura por presencia de materia orgánica entre dos que no la presentan. En **F**) la misma fotografía de **E** tomada con nicoles cruzados. Nótese algunos granos de cuarzo subredondeados.



En las láminas oscuras los constituyentes son similares a como se describió en las láminas claras; sin embargo, la matriz de arcilla se presenta en mayores porcentajes (hasta 48%), y aumenta también la proporción de materia orgánica (figs. 36 y 37). El tamaño de los granos varía de limo fino a grueso.

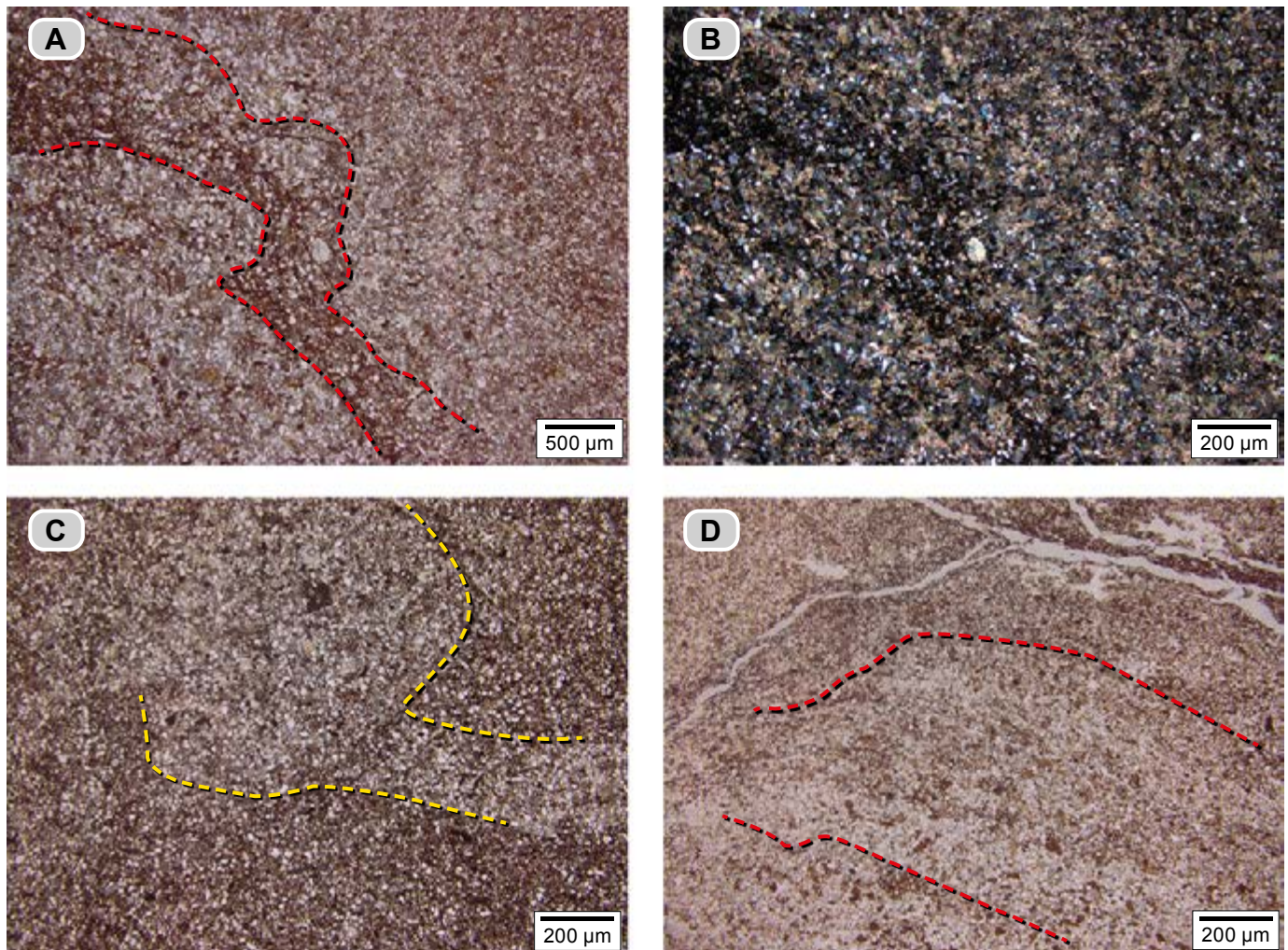
**II) Bioturbación de alta a moderada (grados C y B).** En el microscopio se identifican como limolitas de cuarzo con grado de bioturbación alto a moderado (**microfacies  $\pi$** ); se observa moteado distinto y laminación relictas (**dma 4782, dma 4783, dma 4784, dma 4785 y dma 4786**).

En las limolitas con bioturbación alta se observan zonas irregulares en tonos claros y oscuros. En las zonas claras el tono se debe a la presencia de cemento calcáreo, mientras que en las zonas oscuras predomina la matriz de arcilla teñida por óxido y materia orgánica (fig. 38).

El tamaño de los fragmentos varía entre limo grueso y arena muy fina, y se tratan de: **a)** cuarzo (26-34%), predominantemente granos angulares a subangulares, y unos pocos bien redondeados; **b)** moscovita (2-4%) de tamaños desde 100-200  $\mu\text{m}$ ; destaca la disposición vertical de algunas hojuelas de moscovitas; **c)** fragmentos irregulares glauconitizados (1-3%), y **d)** fósiles (6%): son visibles cortes transversales de espinas de equinodermos, bivalvos fragmentados de 150  $\mu\text{m}$  y conchillas de foraminíferos planctónicos.

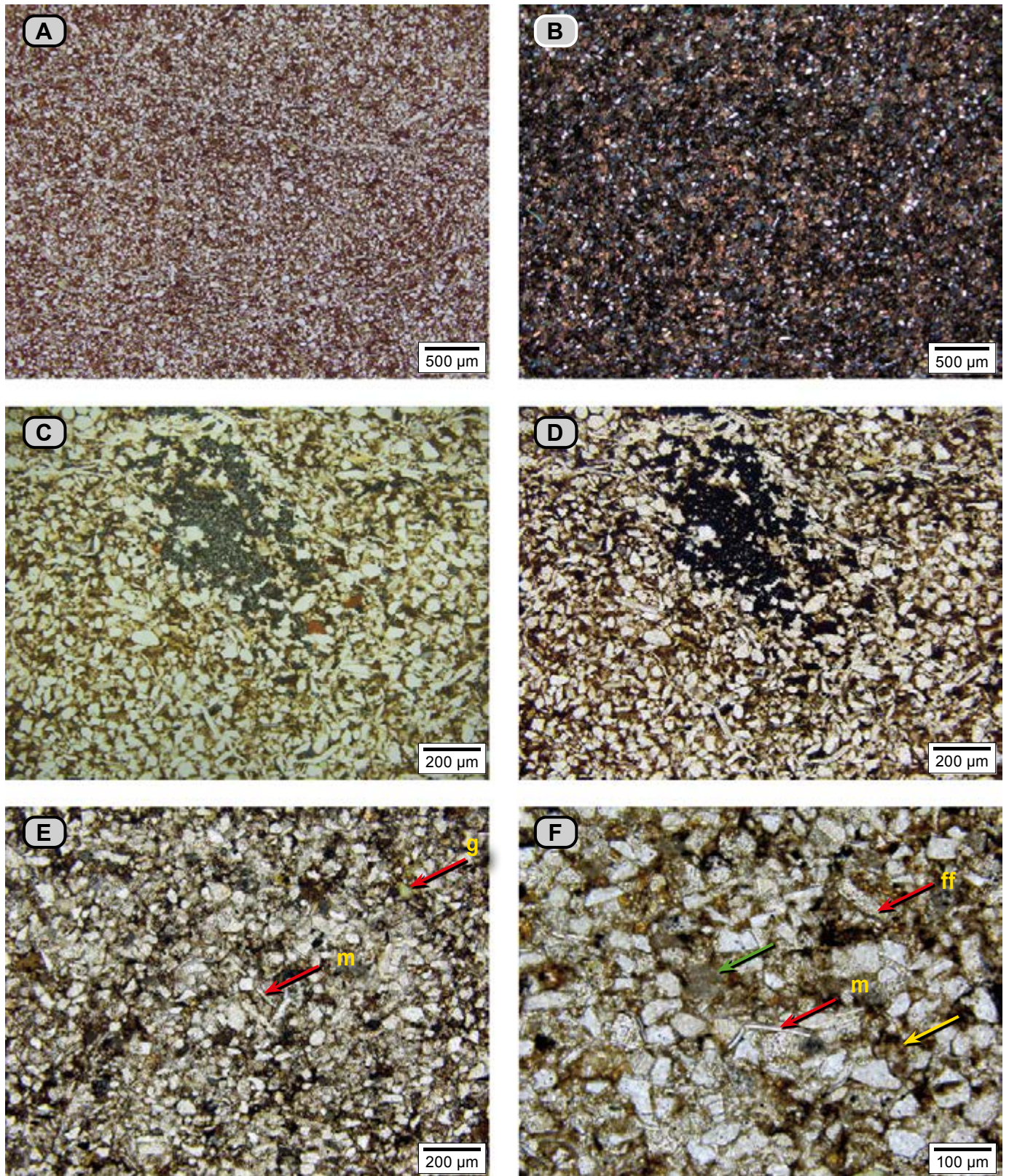
Por sectores se presentan relictos de laminación. Las láminas resaltan por sus tonos claros y oscuros; las primeras se deben a la presencia de cemento calcáreo, y las oscuras, a la matriz arcillosa parda.

**III) Bioturbación entre muy alta y completa (grados D y E).** Se observa bioturbación entre indistinta y homogénea (**microfacies  $\pi$** ) (fig. 39):



**Figura 38.** Limolitas bioturbadas (alta a moderada). **A y B)** Limolita de cuarzo (**dma 4782**). Se observa moteado indistinto: las líneas rojas punteadas trazan los límites entre sectores claros y oscuros, producto de bioturbación; en el sector oscuro, el porcentaje de matriz arcillosa es mayor, mientras que en los sectores más claros el cemento calcáreo se encuentra en mayor porcentaje. Los granos son de cuarzo, moscovitas y algunas espinas de equinodermo. **B)** La misma fotografía que en **A**, hecha con nicóles cruzados, en donde se resalta la presencia de cemento calcáreo. **C)** Bioturbación distinta (alta a moderada) (**dma 4784**); las líneas amarillas punteadas delimitan una posible madriguera: el lodo calcáreo está subordinado al cemento calcáreo y los granos son de mayor tamaño, desde limo grueso a arena muy fina; en tono pardo se destacan los sectores con fragmentos de textura limo, rodeados por matriz arcillosa. **D)** Bioturbación distinta y con láminas relictas (alta a moderada) (**dma 4785**); las líneas rojas demarcan el límite de un sector con bioturbación y otro con laminación relictas; en esta roca el material entre granos es cemento calcáreo, matriz arcillosa y lodo calcáreo.





**Figura 39.** Limolitas con bioturbación entre muy alta y completa. **A, B, C y D)** Limolita de cuarzo con bioturbación alta (**dma 4788**). **A)** Aspecto homogéneo de la roca, y **B)** fotografía anterior hecha con nicols cruzados. **(C)** Otro sector de la sección delgada y fotografía hecha con luz reflejada, para observar los sulfuros en tono amarillo. La matriz presenta color pardo, y los granos de cuarzo y moscovita aparecen en tono blanco. En color negro se observa una concentración de sulfuros en cristales cúbicos maclados. **D)** Se trata de la misma muestra que en **C**, sin luz reflejada; en tono pardo destaca el lodo calcáreo, y los sulfuros, en tono negro. **E y F)** Limolita bioturbada (**dma 4790**). Las partículas constitutivas son cuarzo, moscovitas (**m**) y glauconita (**g**), embebidos en matriz arcillosa. **F)** Con mayor aumento para detallar los mismos constituyentes; nótese la presencia de peletoides de micrita (flecha verde), fragmento de bivalvos (**ff**) y matriz arcillosa (flecha amarilla).



Limolitas de cuarzo en las que el material entre granos es pardo y en ocasiones se comporta como isotrópico; por sectores se observa matriz arcillosa (**dma 4787, 4788, 4789, 4790 y 4791**). El cuarzo representa entre 37% y 54%; son granos angulares a subangulares, alargados, y algunos están redondeados. La moscovita está presente entre el 5% y el 10%, paralela o perpendicular a  $S_0$  y en tamaños que varían desde 100 hasta 200  $\mu\text{m}$ . La glauconita puede variar entre 1% y 8%.

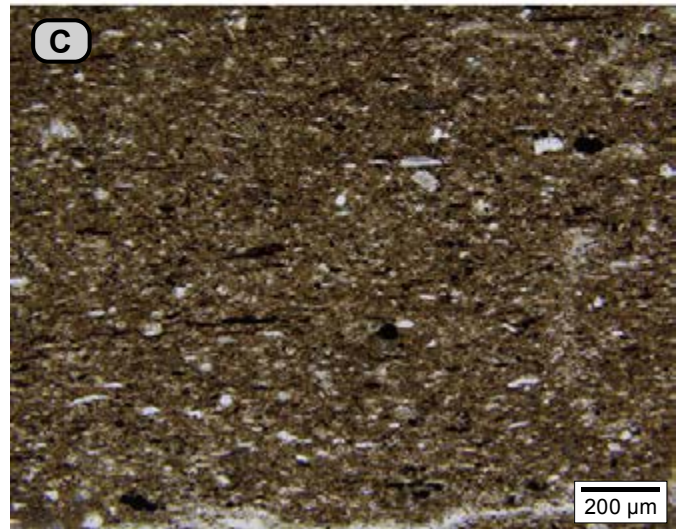
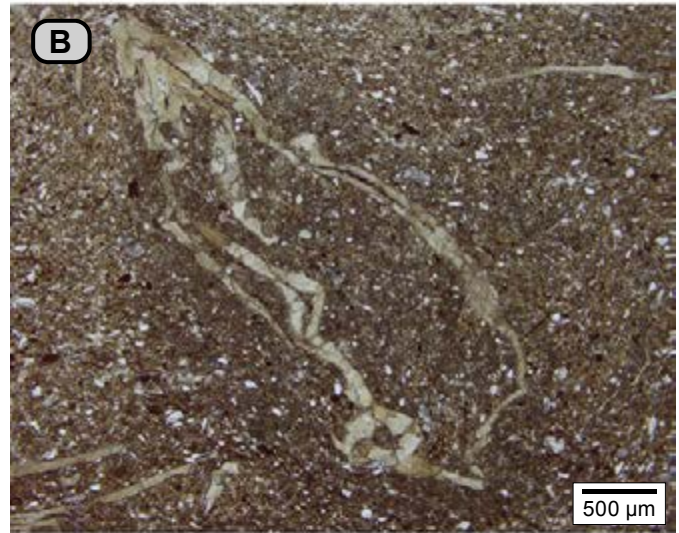
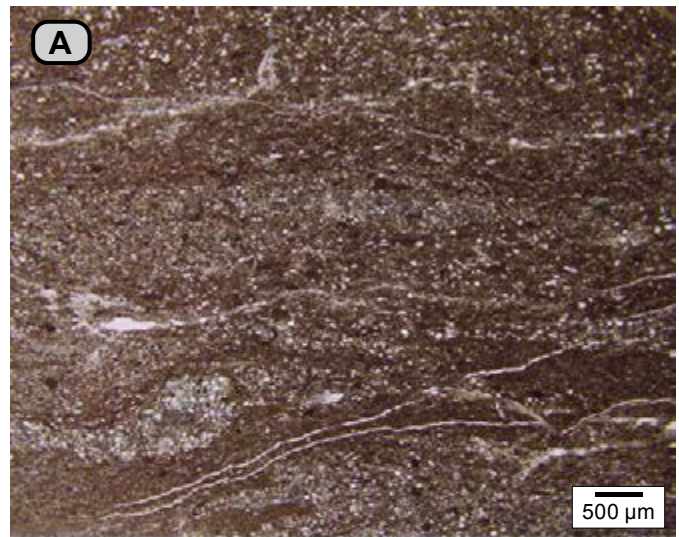
Los porcentajes del material isotrópico (óxidos) varían de 19% a 28%. El cemento calcáreo puede presentarse desde 2% hasta 20%.

**Intervalo estratigráfico E (82-87 m).** En la sección tipo, así como en la quebrada La Paja, este intervalo se encuentra cubierto. Su descripción se basa en los afloramientos en la vía que conduce a San Vicente de Chucurí, en la intersección con la quebrada La Molinilla.

Este intervalo está integrado por *mudstone* arcillosos grises (N3). Presenta cuerpos entre lenticulares y reniformes de color pardo claro (5YR 5/6), alineados a modo de capas. (**fig. 40**).



**Figura 40. A)** Intervalo estratigráfico E. *Mudstone* arcillosos de color gris, con lentes de tonos pardos. **B)** Detalle de los lentes y cuerpos irregulares de tono pardo (metro 87).



**Figura 41. Mudstone** arcilloso (**dma 5374**). **A)** Aspecto general: en tonos claros se observan láminas irregulares y madrigueras de limolitas, y en tonos oscuros, *mudstone* arcillosos y *mudstone* arcillosos con cuarzo con tamaño limo. **B)** Otro sector de la sección delgada; nótese la presencia de un bivalvo articulado. **C)** Con mayor detalle destaca, en los *mudstone* arcillosos con cuarzo, textura limo, laminillas de materia orgánica, partículas de moscovita y pirta.



Hacia el tope del segmento se observan concentraciones de conchas de bivalvos desarticuladas, paralelas a  $S_0$ .

Con el microscopio, en los *mudstone* arcillosos (**dma 5374**) se identifican láminas de *mudstone* arcillosos y de limolitas de cuarzo (**microfacies  $\Phi$** ), que se observan discontinuas por hundimiento en las láminas de lodo fluido o por bioturbación.

En las láminas de *mudstone* arcillosos hay presencia de materia orgánica en laminillas, trazas de cuarzo y moscovita. En las láminas con textura o tamaño limo se reconocen cuarzo angular y escasos granos bien redondeados; lodo calcáreo, cemento calcáreo y granos de glauconita (**fig. 41**). Hay presencia de bivalvos desarticulados y articulados, y pirita.

### Segmento estratigráfico III (87-151 m)

Este segmento genera el segundo contrafuerte en el perfil topográfico y mide 64 metros (**fig. 8**). Litológicamente es variable; los intervalos resaltantes F, G, H y J están constituidos por calizas, arenitas de cuarzo y rocas mixtas calcáreo-arenosas, y el intervalo I es de composición calcárea. La descripción de los 25 m basales (intervalo estratigráfico F) se hace con base en la columna estratigráfica levantada en la vía a San Vicente de Chucurí, en la intersección con la quebrada La Molinilla, y el resto de la sucesión se estudia con base en los

afloramientos de la sección tipo (**fig. 10**) localizados en el estribo sur del río Sogamoso, cuando este corta el cerro La India (Tablazo).

**Intervalo estratigráfico F (87-115 m).** El tránsito entre el intervalo E, predominantemente arcilloso, al banco basal del intervalo F, de calizas con concentraciones de bivalvos, es neto.

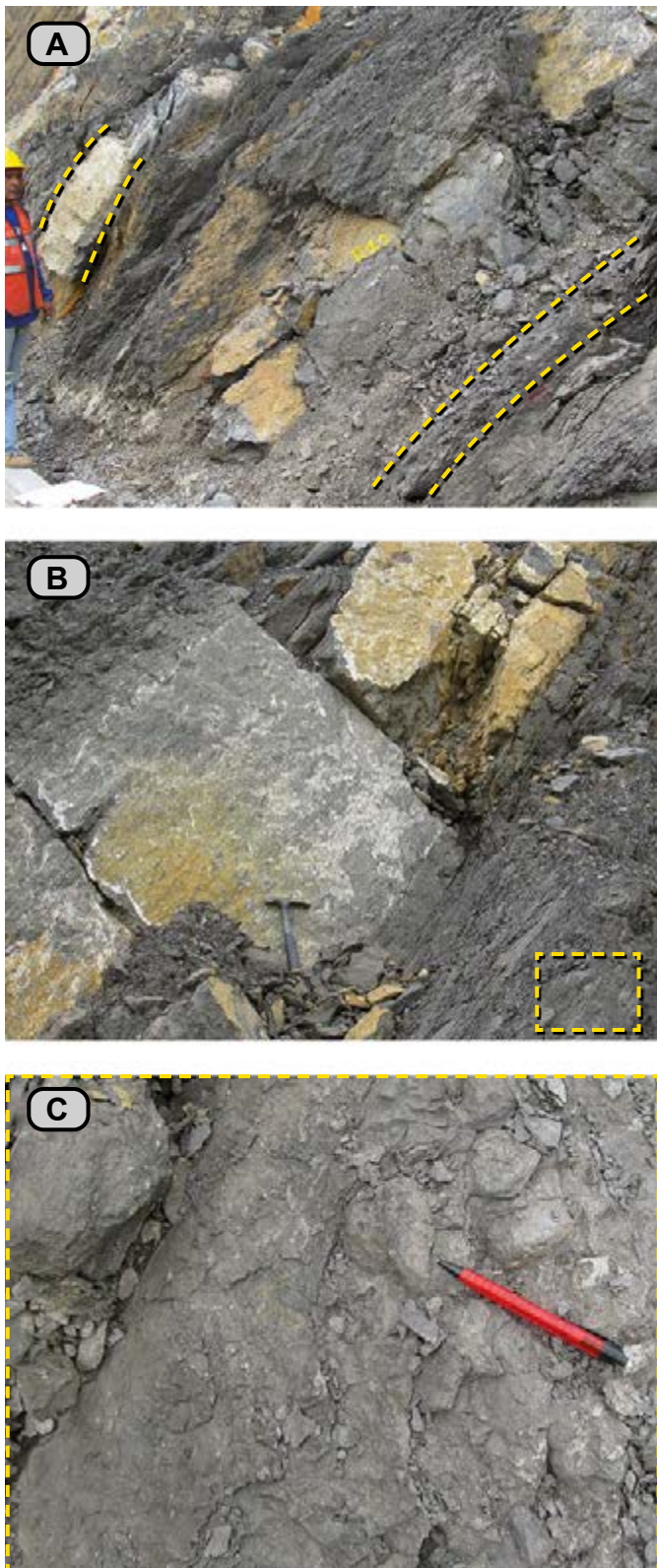
Por su litología, este intervalo se subdivide en siete conjuntos (**fig. 42**): el conjunto F1, inferior, está formado por calizas con textura *packstone* y *wackestone*, de fragmentos de bivalvos pequeños (1 a 2 cm); los conjuntos F2, F4 y F6 presentan calizas *mudstone* y *wackestone* cuyas texturas varían de limo a arena muy fina, en capas medianas que alternan con *mudstone* calcáreos y *mudstone* arcillosos en capas muy delgadas, mientras que los conjuntos F3 y F5 son arenitas de cuarzo en capas muy gruesas. El conjunto F7, superior, de naturaleza calcárea, está constituido por calizas *mudstone* en capas gruesas; se reconoce nodularización de la roca, capas de *Thalassinoides* apretados y capas con formas nodulares interpretadas como *nodular rubble* (Fürsich 1973, fig. 5).

**Conjunto F1 (87-91 m).** Está constituido por tres capas con formas plano-paralelas (**fig. 42**). La primera corresponde a 30 cm de *wackestone* de fragmentos de bivalvos de valva delgada, esparitizados, de 1 cm, dispuestos en forma paralela a  $S_0$ . La roca es de tono gris oscuro (N2).



**Figura 42.** Fotografía de la mitad inferior del intervalo estratigráfico F: el conjunto F1 (87-91 m) corresponde a un *wackestone* de bivalvos (**dma 5376**), *packstone* de bivalvos (**dma 5377**), y termina en un *packstone* de bivalvos (**dma 5378**). En las partes inferior y superior del conjunto F1 se presenta nodularización de la roca. En el conjunto F2 (91-95 m) se notan calizas *mudstone* (**dma 5379**, **dma 5380**) en capas entre delgadas y medianas, alternadas con *mudstone* calcáreos en capas muy delgadas. Las capas tienen formas continuas, paralelas, onduladas: capas apretadas de *Thalassinoides* (Fürsich 1973). El conjunto F3, de naturaleza siliciclástica (95-105 m), está representado por arenitas de cuarzo con textura entre fina y muy fina (**dma 5381**, **dma 5382**), y forma un banco grueso con estratificación plano-paralela.





**Figura 43.** Conjunto F1. Calizas con texturas de *wackestone* y *packstone*, con bivalvos cuyos tamaños varían desde 5 mm hasta 2 cm, dispuestos en capas gruesas (metros 94 a 96). **A)** Afloramiento donde se observan tres capas: la inferior, de color gris (N4), muestra nodularización; la intermedia, de tonos superficiales cremas (10YR 7/4 y 10YR 8/6) (ampliada en **B**), muestra nodularización hacia la parte inferior y es suprayacida por caliza *packstone* con bivalvos, sin bioturbación, de tonos grises (N4-N5). **B)** Nótese los contactos transicionales graduales y las capas la apariencia nodular en la parte superior e inferior del afloramiento. **C)** Detalle del aspecto nodular del recuadro amarillo en **A**.

La segunda capa de caliza es de tono gris oscuro (N3-N4) y presenta variación textural desde *wackestone* a *packstone*, con fragmentos de bivalvos, con texturas desde gránulo hasta 2 cm; las valvas son delgadas y están esparitizadas. La bioturbación se expresa en la nodularización de la roca (Garrison, Kennedy y Palmer 1987, figs. 4 y 5) y en calizas nodulares (Fürsich 1973) (**figs. 42 y 43**). La variación textural de esta capa se describe a continuación:

**i)** Hacia la parte basal es de textura *wackestone*. Las conchas de bivalvos están articuladas y desarticuladas, y tienen un tamaño promedio de 1 cm (**dma 5376**). Por bioturbación, la roca presenta nodularización.

**ii)** Hacia la parte media tiene textura *packstone* con bivalvos, y por meteorización desarrolla una pátina amarillo-grisácea (5Y 8/4). Las conchas de bivalvos son delgadas y tienen distribución bimodal (desarticuladas y articuladas), dispuestas paralelamente a  $S_0$ , con tamaño de 5 mm (**dma 5377**).

**iii)** Caliza *wackestone* de conchas de bivalvos desarticulados y articulados, color gris (N5). La roca presenta bioturbación expresada en cuerpos nodulares interpretados como madriaguas (cámaras de *Thalassinoides*).

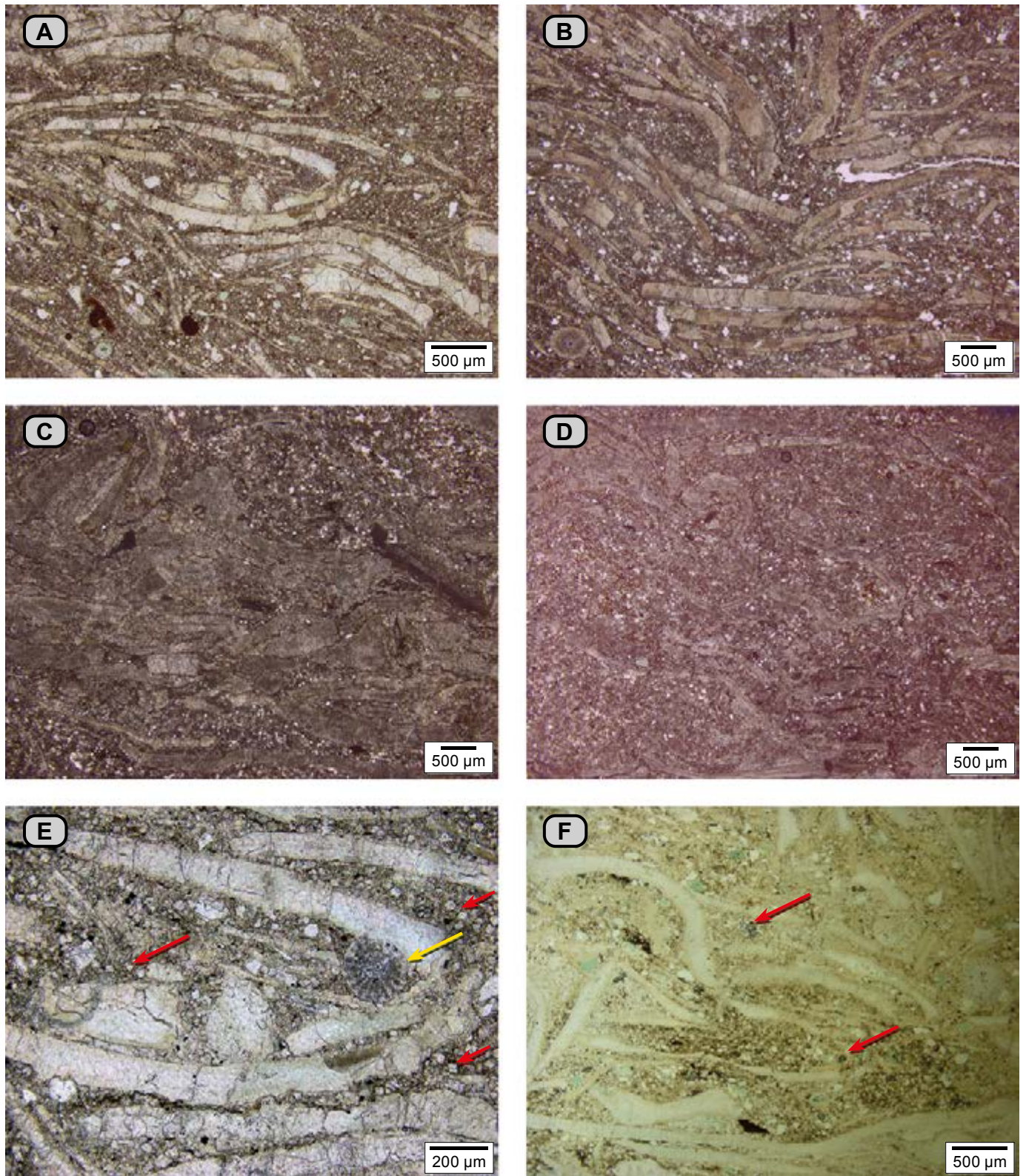
Este conjunto, que culmina en la tercera capa, es una caliza *packstone* de bivalvos (**dma 5378**), gris (N5), con conchas de bivalvos de valva delgada y gruesa, con tamaño máximo de 2 cm —las últimas esparitizadas—.

En el microscopio, la caliza *wackestone* (**dma 5376**) se identifica como una biomicrita rala con bivalvos (**microfacies 1**), y se caracteriza por la disposición de las conchas de bivalvos paralelas a  $S_0$ ; dichas conchas están articuladas y desarticuladas, con calibre homogéneo (**fig. 44**). Entre las conchas de bivalvos (37%) se presentan cristales de calcita espar de formas rómbicas (42%), con tamaños de 20 a 35  $\mu\text{m}$ , y arcilla (10%); además, hay presencia de glauconita (3%), cuarzo (6%), moscovita (2%) y pirita (1%), esta última concentrada o diseminada (**fig. 44**). Localmente se observa moteado distinto.

La muestra **dma 5377** se identificó como biomicrita empaquetada (**microfacies A**). Las conchas de bivalvos (55%) tienen su convexidad dirigida hacia abajo o hacia arriba, están desarticuladas y paralelas a  $S_0$ ; presentan además esporádicas espinas de equinodermos. Los fósiles están envueltos en una matriz de arcilla (7%) y de lodo calcáreo (36%). Hay presencia de cuarzo (8%), glauconita (4%) y pirita (1%) (**figs. 44 y 45**).

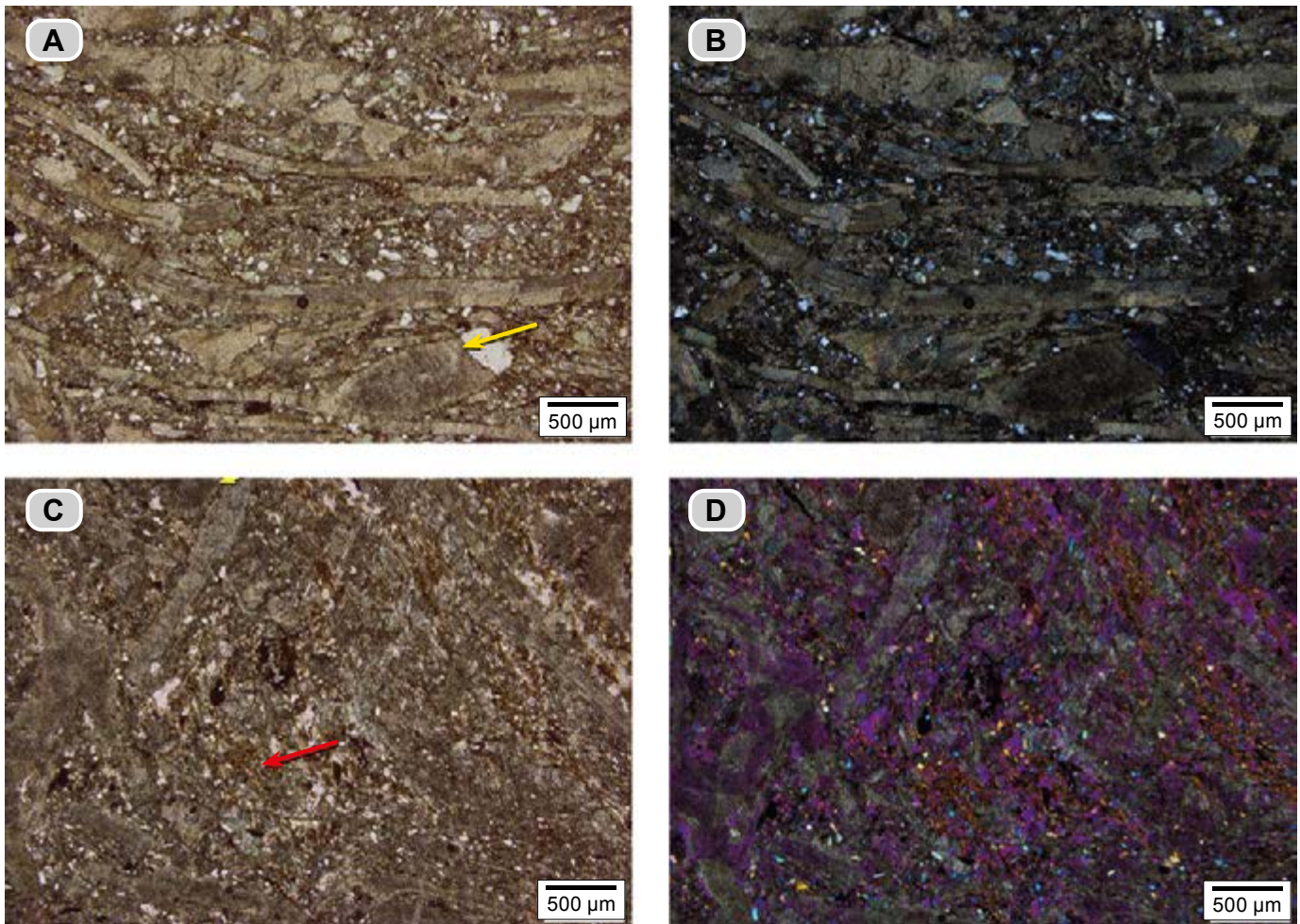
En la muestra **dma 5378** (**fig. 44**) se reconocen láminas de *packstone* (biomicritas empaquetadas), y con menos frecuencia láminas de *wackestone* (biomicritas ralas) (**fig. 45**). Las conchas de bivalvos se disponen paralelas a  $S_0$  (52%). Entre las conchas se observan agregados de cristales de calcita espar con tamaño de 30  $\mu\text{m}$  (12%); se observa cómo es-





**Figura 44.** Diferentes gamas texturales en las calizas del conjunto F1. **A)** *Wackestone* (**dma 5376**), en el microscopio se identifica como biomicrita rala; nótese la disposición de las conchas paralelas a  $S_0$  y el buen calibrado; entre los fósiles por neomorfismo se aprecian cristales rómbicos de calcita espar; la arcilla tiene tono pardo oscuro; hay presencia de cuarzo, fosfatos y glauconita. **B)** *Packstone* (**dma 5377**), en el microscopio se identifica como biomicrita empaquetada, entre fósiles se observa lodo calcáreo y arcilla. **C)** Lámina de *packstone* (**dma 5378**), en el microscopio se identifica como biomicrita empaquetada; entre los fósiles se presentan laminillas de pirita. **D)** Láminas de *wackestone* (**dma 5378**), se identifica como una biomicrita rala; las conchas de bivalvos se disponen paralelas a  $S_0$ ; en este caso, el material entre fósiles es un agregado de cristales de calcita neoformados y arcilla. **E** y **F)** Detalles del *wackestone* (**dma 5376**). **E)** Se observan las conchas de bivalvos paralelas a  $S_0$ ; nótese los cristales de calcita con formas rómbicas de hasta 30  $\mu\text{m}$  (flechas rojas) y la presencia de una espícula de equinodermo (flecha amarilla). **F)** Fotografía hecha con luz reflejada para resaltar la presencia de pirita (flechas rojas).





**Figura 45. A y B)** Caliza *packstone* (dma 5377). **A)** Se observan fragmentos de conchas de bivalvos y escasos restos de espículas de equinodermos (flecha amarilla); nótese la presencia de cuarzo y glauconita. **B)** Fotografía de **A** hecha con nicoles cruzados; el tono pardo oscuro entre las conchas de bivalvos se debe a la presencia de arcilla y lodo calcáreo. **C y D)** Lámina de caliza *wackestone* (dma 5378). **C)** Se observan conchas de bivalvos y esporádicas espinas de equinodermo (flecha amarilla); la fotografía se toma rotada 135° con respecto a  $S_0$ ; entre las conchas se observa, en tono pardo rojizo, arcilla en fino hábito micáceo (flecha roja); con menos frecuencia se observan cristales de calcita con tamaños de hasta 30  $\mu\text{m}$ . **D)** La misma fotografía de **C**, hecha con nicoles cruzados y el compensador 1 $\lambda$ ; la arcilla toma un color rojizo naranja cuando se gira la platina 135 con respecto a  $S_0$ .

tos cristales crecen y estrujan la arcilla (6%); en ocasiones, el material entre conchas de bivalvos es pirita, que define laminillas. Estas características definen la **microfacies 10**. Hay cuarzo (9%), glauconita (5%), moscovita (3%), pirita (3%) y fosfatos (2%).

**Conjunto F2 (91-95 m).** Calizas *mudstone* con materia orgánica, grises (N3-N6), en capas entre delgadas y medianas, con formas continuas, paralelas, onduladas; alternan con *mudstone* calcáreos con materia orgánica, negros (N1-N2), en capas muy delgadas; constituyen paquetes de capas apretadas de *Thalassinoides* (fig. 42).

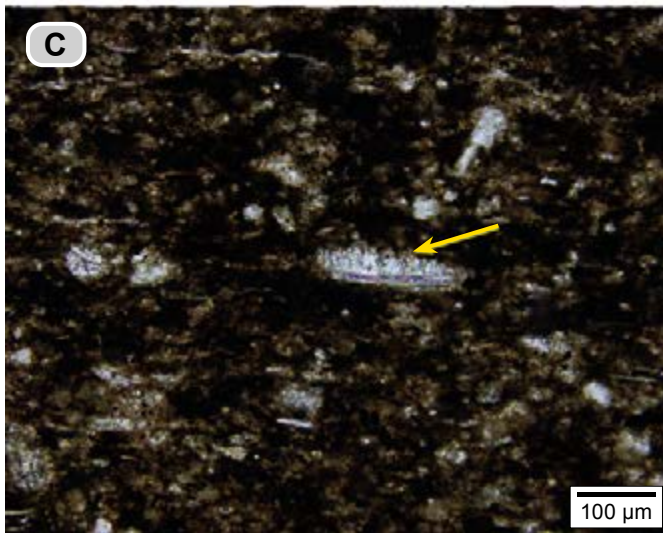
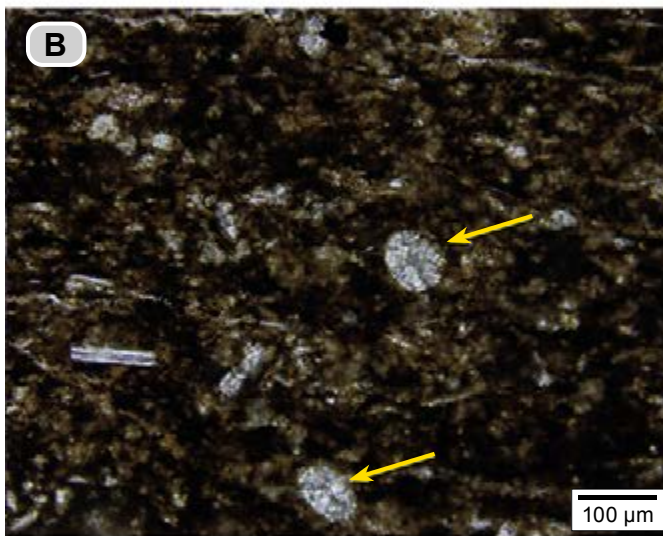
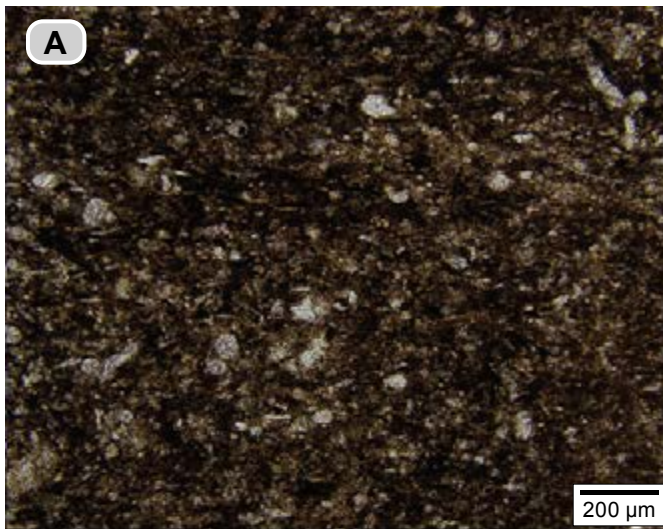
Em el microscopio, las calizas *mudstone* con materia orgánica (dma 5379 y dma 5380) se identifican como micritas fosilíferas con materia orgánica (**microfacies IV**). La micrita (85%) tiene recristalización incipiente, está enmascarada por materia orgánica, que también se observa en laminillas y motas (fig. 46). Los fósiles (9%) son: **a)** fragmentos de bivalvos con tamaños de 100 a 150  $\mu\text{m}$ , y **b)** cuerpos circulares

con diámetro de 40  $\mu\text{m}$  y ovalados, con tamaños de 60  $\mu\text{m}$ , interpretados como cortes de espinas de espongiarios (Scholle y Ulmer Scholle 2003; *plate* 139; Flügel 2010, *plate* 78). Los constituyentes terrígenos son cuarzo (9%), trazas de moscovita y glauconita.

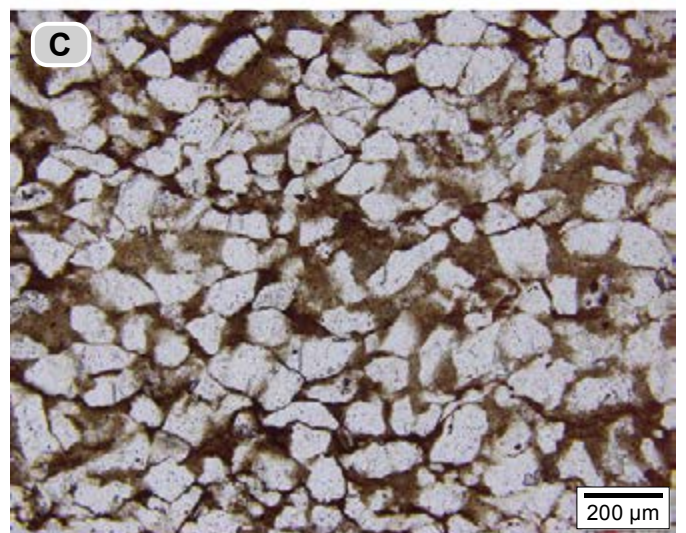
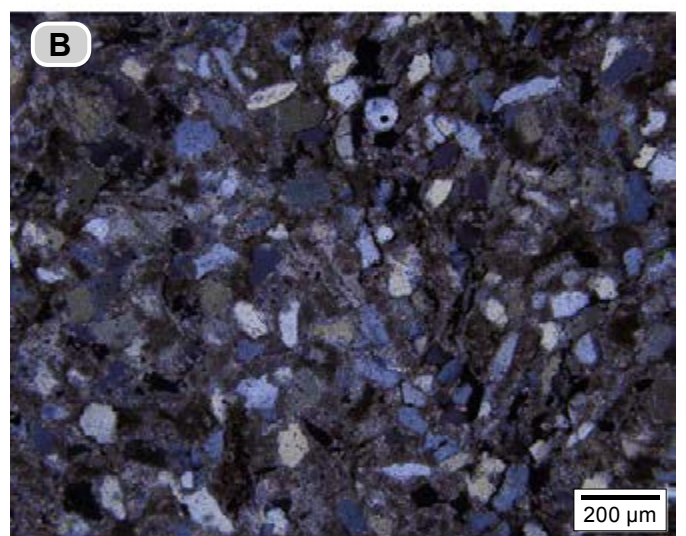
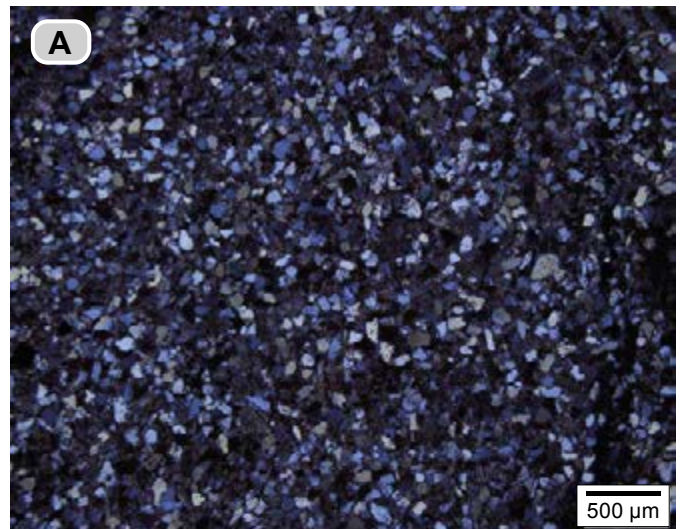
**Conjunto F3 (95-100 m) y Conjunto F5 (105-107 m).** Estos conjuntos están integrados por arenitas de cuarzo de textura entre muy fina a fina, de color gris claro (N4-N6). Cada conjunto está constituido por una capa muy gruesa plano-paralela (fig. 42). Presentan bioturbación que varía desde el moteado distinto hasta la homogeneización.

Con el microscopio, las arenitas (dma 5381 y dma 5382) presentan características que constituyen la **microfacies A**. La muestra dma 5381 está constituida así (fig. 47): **a)** cuarzo (56%) en partículas angulares, y en menor proporción subredondeadas, en general subelongadas, algunas equidimensionales; **b)** fósiles (5%): fragmentos de placas de equinodermos y espinas, y algunos foraminíferos bentónicos con





**Figura 46.** Caliza *mudstone* con materia orgánica (dma 5379). En el microscopio se identifica como una micrita fosilífera con materia orgánica. **A)** Aspecto general: se observa micrita y materia orgánica en motas negras; nótese la presencia de fósiles. **B)** Nótese cortes de espinas de espongiarios (flechas amarillas). **C)** Fragmento de bivalvo (flecha amarilla) envuelto en lodo calcáreo con materia orgánica.



**Figura 47.** **A y B)** Arenita de cuarzo de grano muy fino con matriz de lodo calcáreo, con recristalización incipiente (dma 5381). **A)** Aspecto general de la roca; nótese la bioturbación homogénea. **B)** Detalle de la figura **A**; se observan los granos de cuarzo y lodo calcáreo con recristalización incipiente (fotografía hecha con nicóles cruzados). **C)** Arenitas de grano fino con matriz de lodo calcáreo (dma 5382).



micritización; **c**) trazas de moscovita, glauconita, feldespatos y circones. Todas las partículas están rodeadas por lodo calcáreo con recristalización incipiente (39%).

También se identificaron arenitas de cuarzo de textura fina (**dma 5382**), con menor proporción de lodo calcáreo (28%) y mayor contenido de granos de cuarzo (72%), angulares, y algunos subredondeados; es de anotar que algunos granos presentan sobrecrecimiento de cuarzo heredado. Se observa que el lodo calcáreo no presenta recristalización incipiente.

**Conjunto F4 (100-105 m).** Calizas *mudstone* con cuarzo y calizas *wackestone* con textura arena muy fina, de color gris claro (N5), dispuestas en capas medianas, en alternancia con *mudstone* calcáreos grises oscuros (N3), en capas delgadas y muy delgadas.

En el microscopio, en las calizas *wackestone* con textura entre limo y arena muy fina se han diferenciado las siguientes microfacies:

**i)** Biomicrita rala de foraminíferos bentónicos *Praebulimina sp.* (**dma 5383**). La micrita está acompañada de materia orgánica (83%) y los bioclastos (11%) son: **a**) foraminíferos bentónicos calcáreos (*Praebolivinas sp.?*), con tamaños de hasta 130  $\mu\text{m}$ ; **b**) cuerpos calcáreos circulares con diámetro de hasta 40  $\mu\text{m}$  y cuerpos ovalados calcáreos de tamaños de 80 a 95  $\mu\text{m}$ , con extinción única, interpretados como cortes de espículas de espongiarios (**fig. 48**). Estas características definen la **microfacies 3**. Hay presencia de cuarzo (4%) angular con textura limo grueso a arena muy fina; pirita (2%) y trazas de glauconita *sl*.

**ii)** Biomicrita rala con espongiarios y materia orgánica (**dma 5384**), en general bioturbada, que define la **microfacies 2**; muestra bioturbación distinta: sectores oscuros ricos en micrita con materia orgánica y sectores claros donde la materia orgánica está ausente, y se observa micrita con recristalización incipiente. La micrita (64%) está asociada con materia orgánica en hilos discontinuos y motas (**fig. 49**). Los constituyentes fósiles (9%) son: **a**) cuerpos circulares calcáreos con extinción única, con diámetros que varían entre 40 y 50  $\mu\text{m}$  (cortes de espículas de espongiarios); **b**) cuerpos de formas ovoides, calcáreos, con extinción única, con diámetro de hasta 80  $\mu\text{m}$  (cortes de espículas de espongiarios); **c**) cuerpos calcáreos, alargados, con forma de agujas, con extinción única y tamaños de hasta 500  $\mu\text{m}$  (espículas de espongiarios), y **d**) fragmentos de bivalvos con tamaño de hasta 200  $\mu\text{m}$ . La glauconita alcanza porcentajes de 3%. Los fragmentos terrígenos son cuarzo (5%), y como trazas, fragmentos de feldespatos y moscovitas.

La muestra **dma 5385** se identifica como biomicrita rala con espongiarios, materia orgánica y cuarzo (**microfacies 2**). La bioperturbación va desde indistinta a homogénea (**fig. 49**). Los sectores claros están constituidos por micrita con re-

cristalización incipiente, peletoides de micrita, cuarzo y glauconita. En los sectores oscuros, más abundantes, se reconoce micrita y materia orgánica.

La micrita con recristalización incipiente (31%) tiene tonos claros, mientras que la micrita pardo oscura (37%) debe su color a la presencia de materia orgánica. Los fósiles (15%) están representados por: **a**) cuerpos circulares constituidos por un solo cristal de calcita espar con diámetros de 40 a 50  $\mu\text{m}$  (cortes transversales de espículas de espongiarios); **b**) cuerpos calcáreos alargados con formas de agujas (fragmentos de espongiarios); **c**) fragmentos de bivalvos con tamaños de hasta 120  $\mu\text{m}$ ; **d**) peletoides de micrita (7%). Las partículas terrígenas corresponden a cuarzo (11%), con tamaño que varía desde limo grueso a textura arena muy fina, angular a elongado; glauconita (5%), moscovita (1%) y trazas de feldespatos y opacos.

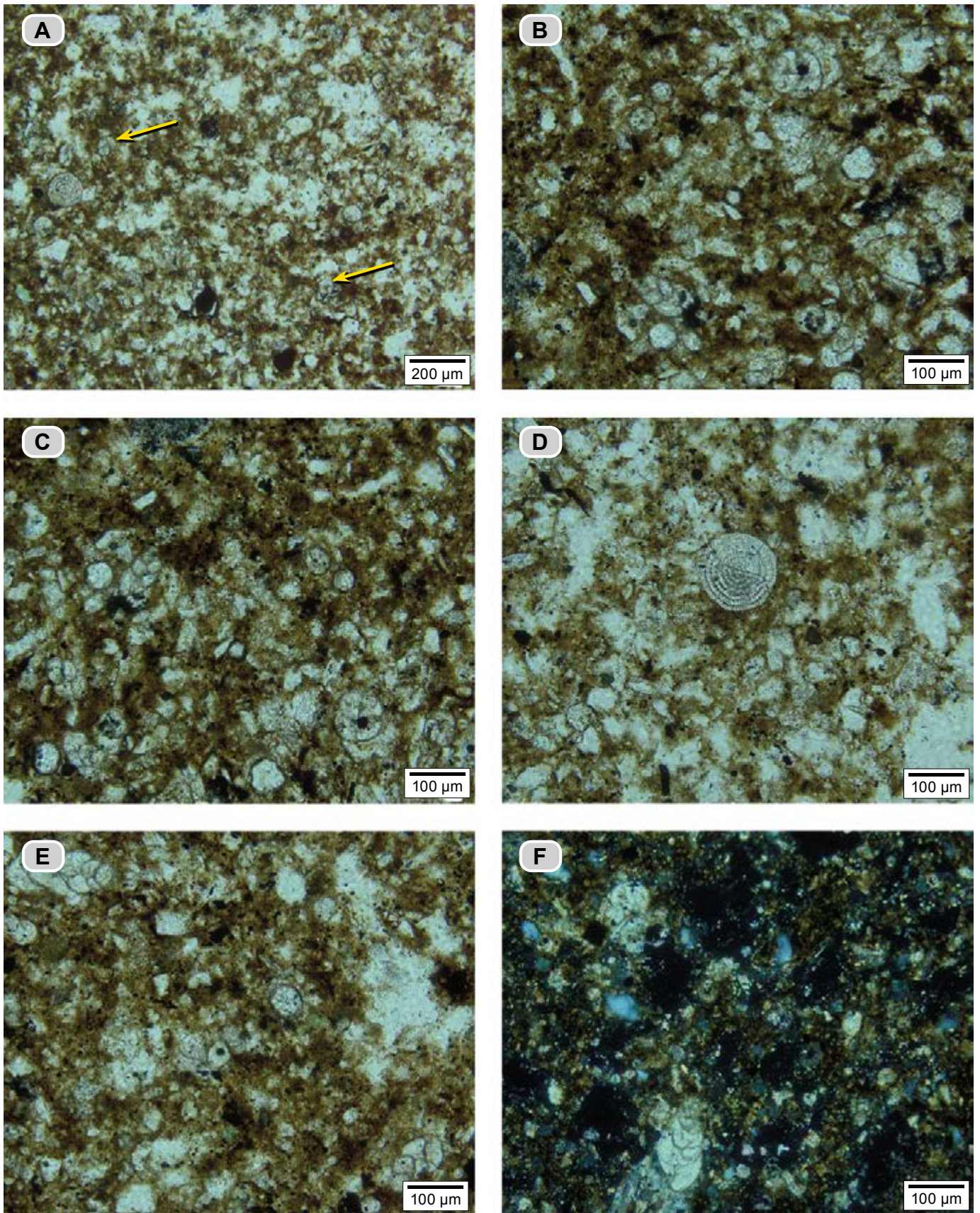
**Conjunto F6 (107,5-113 m).** Calizas *mudstone* y *wackestone* con textura arena muy fina, grises (N3), en capas entre delgadas y medianas, con formas planas paralelas, que alternan con *mudstone* calcáreos con materia orgánica, grises oscuros (N2), dispuestos en capas muy delgadas (**fig. 50**). En las calizas se observan varios grados de bioturbación, que varían entre completa (homogénea) y alta (moteamiento distinto). Hay presencia de algunas entradas de madrigueras centimétricas (**fig. 50**).

En el microscopio, las calizas *wackestone* de textura arena muy fina (**dma 5387** y **dma 5388**) se identifican como biomicritas ralas con espongiarios y materia orgánica (**fig. 51**), con **microfacies 2**, cuyas características principales son el tamaño muy fino de los fósiles (espongiarios) y la presencia de materia orgánica que acompaña a la micrita. El porcentaje de cuarzo es variable, entre 4% y 13%.

En la biomicrita rala con cuarzo (**dma 5387**), la micrita (66%) presenta recristalización incipiente y está acompañada de materia orgánica; por bioturbación se observan sectores claros. Los fósiles (19%) son: **a**) cuerpos circulares de 30 a 40  $\mu\text{m}$ , y ovalados tipo fríjol, de tamaños que varían de 60 a 80  $\mu\text{m}$ , constituidos por un único cristal central de calcita (cortes transversales de espículas de espongiarios), y **b**) cuerpos calcáreos alargados (100  $\mu\text{m}$ ), con forma de agujas (fragmentos de espículas de espongiarios). Los fragmentos terrígenos son: **1**) cuarzo (12%) angular, entre elongado y subelongado, y **2**) trazas de moscovitas paralelas a  $S_0$ . La glauconita se presenta en cantidades que suman un 2%.

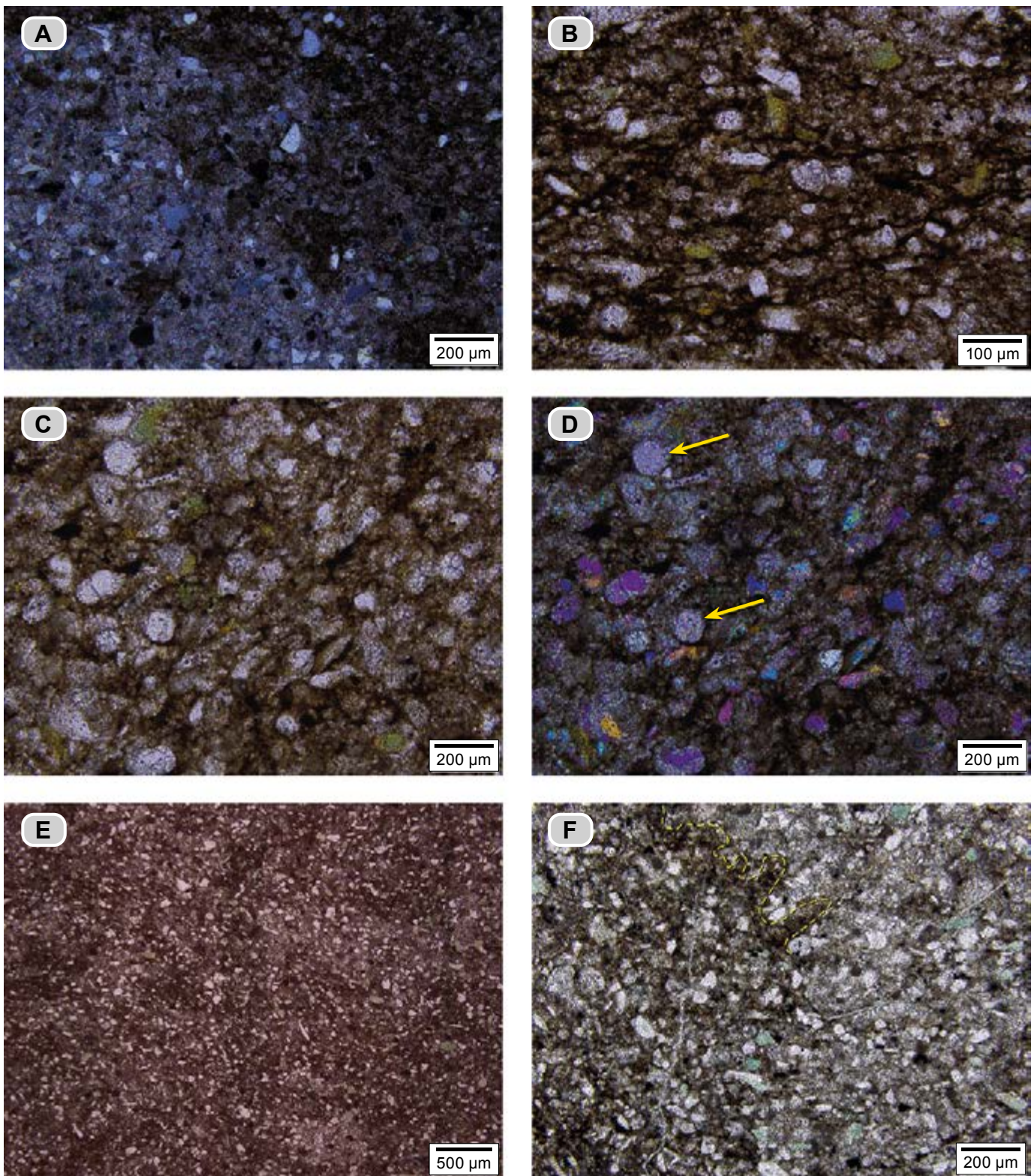
En las biomicritas ralas (**dma 5388**), la micrita (78%) tiene recristalización incipiente, está acompañada por materia orgánica, y los fósiles (17%) son: **a**) espículas de espongiarios: cortes circulares u ovalados con forma de fríjol, y como fragmentos alargados; **b**) entre los terrígenos se identifica el cuarzo (4%), trazas de moscovita y la glauconita en forma de granos (1%) (**fig. 46**).





**Figura 48.** Caliza wackestone con textura arena muy fina (dma 5383), que bajo el microscopio se identifica como una biomicrita rala con foraminíferos bentónicos *Praebulimina* sp. **A)** Aspecto general de la roca: nótese la presencia de *Praebulimina* sp., algunas indicadas por flechas amarillas. **B, C, E y F)** Con mayor aumento se observan diferentes cortes de *Praebulimina* sp. La figura **E** es hecha con nicoles cruzados. **D)** Cuerpo circular que recuerda a opérculo de serpúlido juvenil?



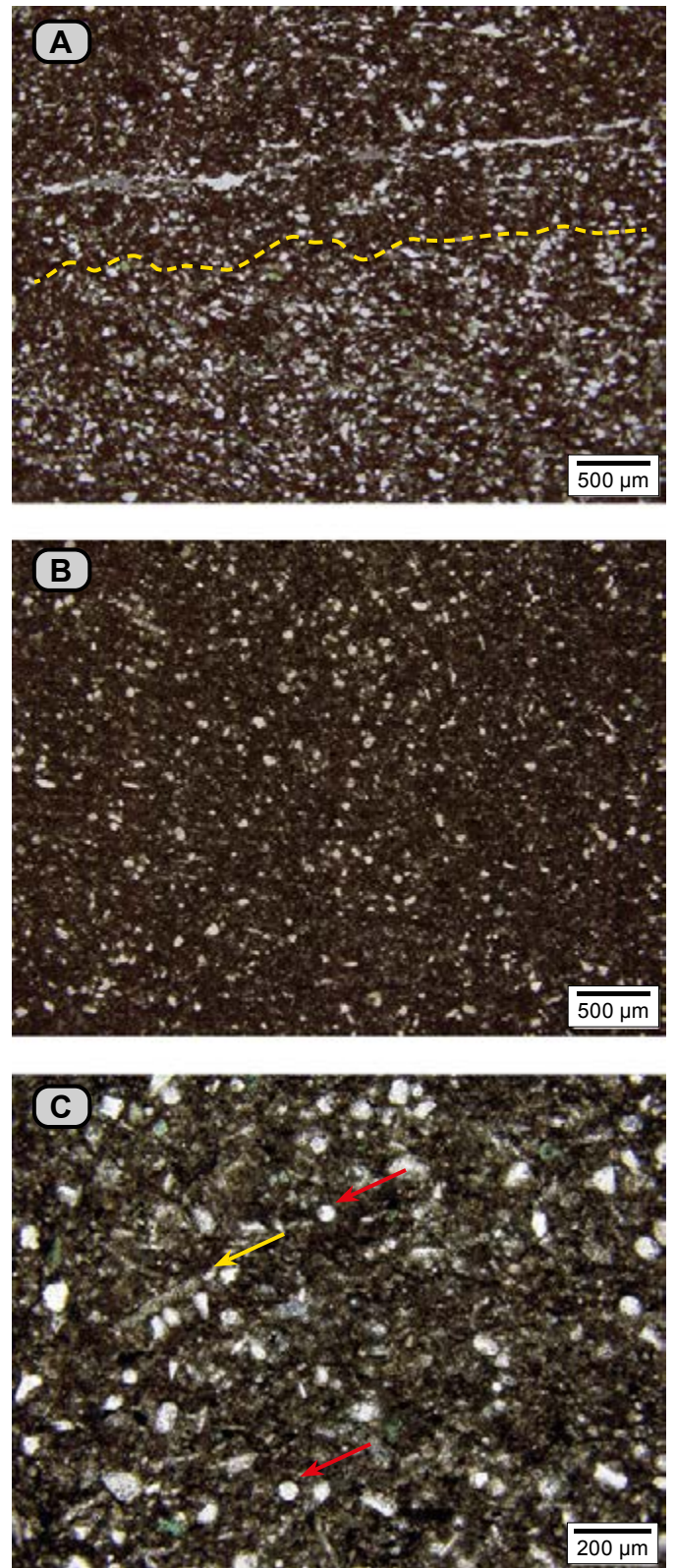


**Figura 49.** Caliza *wackestone* con textura arena muy fina (**dma 5384**); en el microscopio se identifica como biomicrita rala con espongiarios, materia orgánica y bioturbada (**A, B, C y D**). **A)** Se observa bioturbación: el tono claro manifiesta ausencia de materia orgánica, y el tono pardo oscuro, presencia de micrita acompañada de materia orgánica; fotografía hecha con nicoles cruzados. **B)** Con mayor aumento se observa cómo la micrita va acompañada de materia orgánica dispuesta en motas y laminillas; los fragmentos blancos corresponden a cuarzo y fósiles; también se presenta glauconita. **C)** Con mayor aumento se observan cuerpos circulares con un único cristal interior de calcita espar (cortes de espículas de espongiarios?) y glauconita. **D)** Misma fotografía que en **C)**, hecha con nicoles cruzados; las flechas amarillas señalan los cuerpos circulares. **E y F)** Caliza *wackestone* con textura de arena muy fina (**dma 5385**); en el microscopio se identifica como una biomicrita rala con espongiarios y materia orgánica, bioturbada. **E)** Bioturbación indistinta; nótese los parches oscuros y claros. **F)** Con mayor detalle se aprecian, a la derecha de la fotografía, parches claros con micrita con recristalización incipiente, y en los parches oscuros, a la izquierda de la fotografía, micrita con materia orgánica (la línea amarilla punteada delimitada parches oscuros y claros).





**Figura 50.** A y B) Calizas *mudstone* y *wackestone* con textura arena muy fina en capas medianas alternantes con *mudstone* calcáreos en capas muy delgadas (metros 109 a 111). C) Vista de planta de una capa de caliza *mudstone* en donde se reconoce el moteamiento distinto por bioturbación moderada; las formas circulares pueden corresponder a entradas de madrigueras.



**Figura 51.** A y B) Aspecto general de un *wackestone* con textura arena muy fina con cuarzo (dma 5387); con el microscopio se identifica como una biomicrita rala con espongiarios, cuarzo y materia orgánica. A) Se observa en la parte inferior de la placa mayor abundancia de fragmentos de cuarzo. B) En otro sector de la misma placa se observa el lodo calcáreo en tono pardo oscuro, y resalta en tonos blancos los restos fósiles y cuarzo. C). *Wackestone* de grano muy fino (dma 5378), con el microscopio se identifica como una biomicrita rala con espongiarios y materia orgánica. Las flechas rojas señalan cortes transversales de espículas de espongiarios?, y la flecha amarilla, una espícula de espongiarios.



Las descripciones que siguen se han hecho de acuerdo con los afloramientos de la sección tipo, en la base del cerro El Tablazo, hoy día inundado (fig. 9). A continuación se describe el techo del intervalo estratigráfico F (punto de amarre litológico).

**Conjunto F7 (113-115 m).** La capa inferior es una caliza *mudstone* con cuarzo, de color gris (N5), bioturbada. Constituye una capa muy gruesa con base y techo levemente ondulados; en ella se diferencian dos horizontes de nódulos calcáreos de tono gris azulado (5B 7/1), con formas entre redondeadas y lenticulares, cuyos ejes mayores no sobrepasan de 10 cm, tienen orientación preferencial paralela a  $S_0$  y aparecen envueltos por calizas *mudstone* con cuarzo, laminadas. Estos horizontes de “nódulos” son interpretados como madrigueras (cámaras de *Thalassinoides*) (fig. 52). Rocas con aspecto similar han sido reportadas como *nodular rubble* (Fürsich 1973, fig. 5), y para Garrison, Kennedy y Palmer (1987) están formadas por segmentos desarticulados de *Thalassinoides*.

En el microscopio, el horizonte superior de nódulos (dma 5071) presenta un sector de la placa redondeado, en tono claro, producto de bioturbación, mientras que el resto de la sección delgada muestra tono oscuro. La roca se identifica como pelmicrita con cuarzo (microfacies V), y se caracteriza por la presencia de peletoides de micrita (Flügel 2010, fig. 4.12), foraminíferos bentónicos y cuarzo (fig. 53).

El conteo en el sector oscuro arroja estos resultados: micrita, que representa el 24% y está acompañada por materia orgánica (fig. 53); los constituyentes aloquímicos de esta roca son: peletoides de micrita (28%), fósiles (13%) representados por fragmentos de bivalvos, equinodermos y foraminíferos bentónicos (*Epistomina sp.*), con bordes micritizados. Se observa cómo algunos foraminíferos están micritizados y configuran peletoides (Flügel 2010, 116).

Los constituyentes terrígenos son granos de cuarzo (20%) con textura arena muy fina, entre angulares y subangulares, con formas elongadas a subelongadas; moscovita (3%) con textura entre fina y mediana (130 a 260  $\mu\text{m}$ ), dispuesta paralela u oblicua a  $S_0$ ; trazas de feldespatos. Otros minerales presentes son fosfatos (2%), pirita (2%), glauconita de tono amarillo (7%), los dos últimos minerales, oxidados.

El sector claro debe su tono a la ausencia de materia orgánica (43%), debido a la bioturbación; es un mosaico de cristales de calcita espar con tamaño promedio de 13  $\mu\text{m}$ ; peletoides de micrita (36%) y foraminíferos bentónicos (11%). El cuarzo es angular, de textura muy fina (9%), y la moscovita representa un 1% (fig. 53).

Sobre esta capa de pelmicrita con cuarzo *nodular rubble*, hay una capa gruesa de caliza, gris oscura (N3), con su techo plano paralelo; en la base es un *wackestone* cuya textura varía de limo a arena muy fina (dma 5072-1), y pasa a una caliza *mudstone* con cuarzo (dma 5072-2), con moteado entre dis-

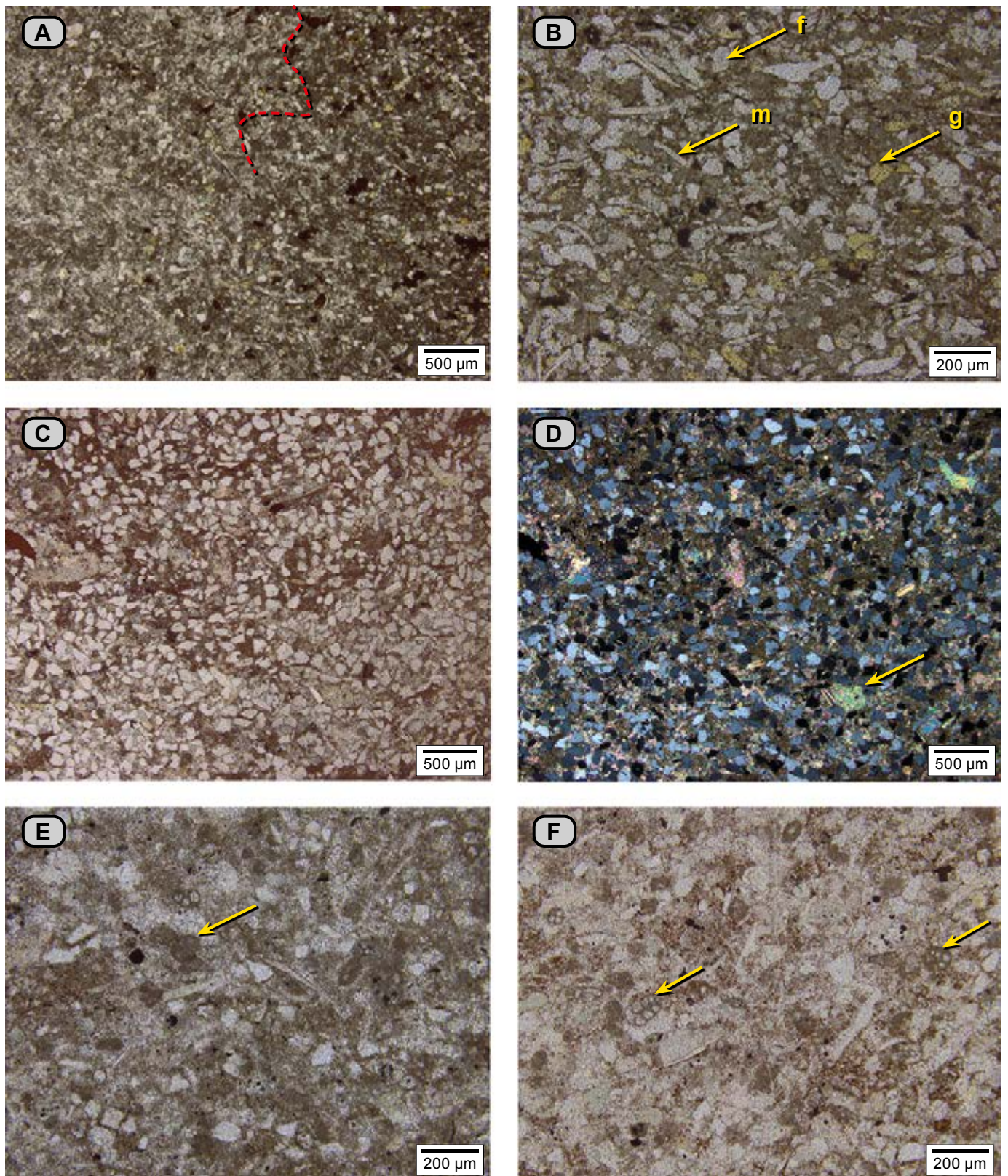
tinto e indistinto. Para mejor entendimiento de la composición de esta capa se describen dos secciones delgadas colaterales (fig. 52):

i) Biopelmicrita con foraminíferos bentónicos (dma 5072-1) con microfacies 4. En ella se observan sectores oscuros y claros debido a la bioturbación, siendo los sectores oscuros los menos bioturbados y con mayor presencia de materia orgánica (fig. 54). Los constituyentes principales de la roca son: micrita



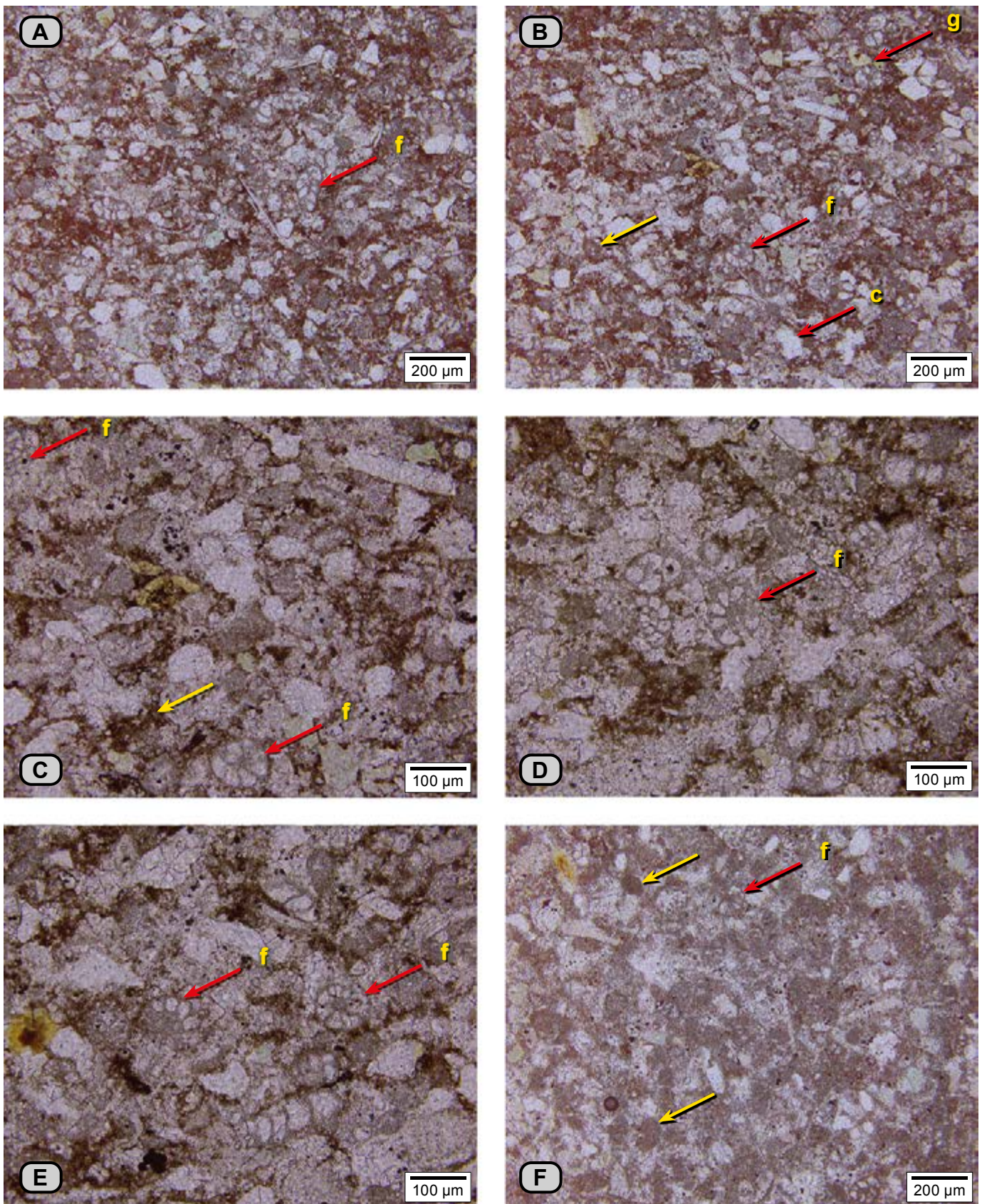
Figura 52. A) Caliza *mudstone* con *Thalassinoides*, de aspecto nodular (dma 5071). B) Ampliación del recuadro amarillo de la figura A: se observan nódulos englobados en caliza *mudstone*, laminados (*nodular rubble*) (metros 114 a 115). C) Caliza *mudstone* (dma 5072-1 y dma 5072-2) en capa plano-paralela, que constituye el techo del intervalo estratigráfico F.





**Figura 53.** Caliza *mudstone* con cuarzo de textura arena muy fina (**dma 5071**); en el microscopio se identifica como pelmicrita con cuarzo. **A)** La línea roja demarca el moteamiento indistinto; el tono pardo oscuro se debe a la presencia de micrita, mientras que el sector de tono claro corresponde a micrita con recristalización. **B)** Con mayor aumento, en tono pardo oscuro se observan los constituyentes de la roca del sector: peletoides e intraclastos de micrita, cuarzo, glauconita (**g**), moscovita (**m**) y feldespatos (**f**). **C)** Otro sector de la roca, en donde se observa el aspecto general. **D)** La fotografía se toma con nicoles cruzados; la flecha amarilla señala fragmentos de placas de equinodermos. **E y F)** Sectores claros ampliados. **E)** Nótese la presencia de peletoides de micrita, foraminíferos bentónicos, glauconita y cuarzo; la flecha amarilla señala un peletoides formado por la micritización de un foraminífero. **F)** Se indica con flechas amarillas la presencia de foraminíferos bentónicos.





**Figura 54.** Caliza *mudstone* (dma 5072-1), que se identifica como biopelmicrita con foraminíferos bentónicos. **A y B)** Aspecto general de la roca: se reconoce micrita en tono pardo rojizo, peletoides de micrita (flecha amarilla), foraminíferos bentónicos (f), cuarzo (c) y glauconita (g). **C, D y E)** Se ilustra la presencia de foraminíferos bentónicos como *Epistominas* sp. y otros (f), y micrita en tono pardo rojizo (flecha amarilla). **F)** Sector de la sección delgada con bioturbación; en tono blanco se muestran los agregados de cristales de calcita espar con tamaños de 10 a 15  $\mu\text{m}$ ; se resaltan algunos peletoides de micrita (flechas amarillas); nótese la presencia de foraminíferos bentónicos (flecha roja).



(30%), en ocasiones con recristalización, cristales de calcita espar con tamaños que varían entre 10 y 15  $\mu\text{m}$  (10%), peletoides de micrita (11%). Entre los fósiles se reconocen: **a)** foraminíferos bentónicos (14%): *Epistomina sp.*, *Praebulimina sp.*, y *Miliolidae?*; **b)** fragmentos de placas de equinodermos (7%); **c)** cuerpos circulares, ovalados y alargados con forma de agujas (10%), interpretados como restos de espículas de espongiarios. Otros constituyentes son cemento esparítico (4%), glauconita (3%), cuarzo (9%), feldespatos (1%) y sulfuros (1%).

**ii) Micrita fosilífera con cuarzo, microfacies VII (dma 5072-2)**, con moteado indistinto. La micrita (56%) se destaca en tono pardo. Hay presencia de materia orgánica en laminillas. El cuarzo (30%) tiene textura de arena fina, los granos son entre elongados y equidimensionales, y entre subangulares y angulares; hay presencia de feldespatos (1%) y de trazas de moscovita. Los fósiles están representados por fragmentos de placas de equinodermos (8%). Entre los elementos de origen químico se aprecia glauconita (3%), pirita (2%) y fosfatos como trazas. Se observa la presencia de un clasto de roca calichizada que contiene cuarzo, peletoides de micrita, foraminíferos bentónicos y peloides.

**Intervalo estratigráfico G (115-124 m).** Este intervalo está integrado por dos conjuntos: el G1, constituido por *mudstone* arcillosos, dibuja entrante en el perfil topográfico, y el conjunto G2 muestra cambio progresivo de arenitas en la base a calizas *wackestone* en el techo; genera un resalte en el perfil topográfico.

**Conjunto G1 (115-118 m).** Constituido por *mudstone* calcáreos, grises oscuros (N2 y 5Y 4/1); se intercalan con dos calizas con textura de *mudstone*; son grises (N5) y se presentan en capas medianas con formas planas paralelas (**dma 5073, dma 5074**) (fig. 55).

En el microscopio, las calizas *mudstone* (**dma 5073 y 5074**) se identifican como micrita fosilífera con recristalización (**microfacies VI**). La bioturbación es distinta y condiciona los tonos. Parches en tonos oscuros y claros (fig. 56): los sectores de tono claro están constituidos por mosaicos de cristales de calcita espar con tamaños de 9 a 15  $\mu\text{m}$  (73%), que se deben al neomorfismo. El tono oscuro refleja la presencia de materia que acompaña a la micrita (6%). Se reconocen peletoides de micrita (2%).

Los fósiles (8%) observados son: **a)** cuerpos ovalados con tamaños de hasta 90  $\mu\text{m}$ , constituidos por cristales de calcita alargados (*microcodium*); **b)** foraminíferos bentónicos (*Epistominas sp.?*, 2%), con diámetros entre 48 y 84  $\mu\text{m}$ ; **c)** cuerpos circulares con cristal de calcita con extinción única, en ocasiones rodeados por una película ocrácea (quistes de dinoflagelados calcáreos); **d)** cuerpos circulares con diámetro de hasta 40  $\mu\text{m}$ , rodeados por un anillo segmentado de cristales (restos de algas *Dasycladaceas*).

Los constituyentes terrígenos son cuarzo (8%) con textura de limo grueso y arena muy fina, presente como granos an-

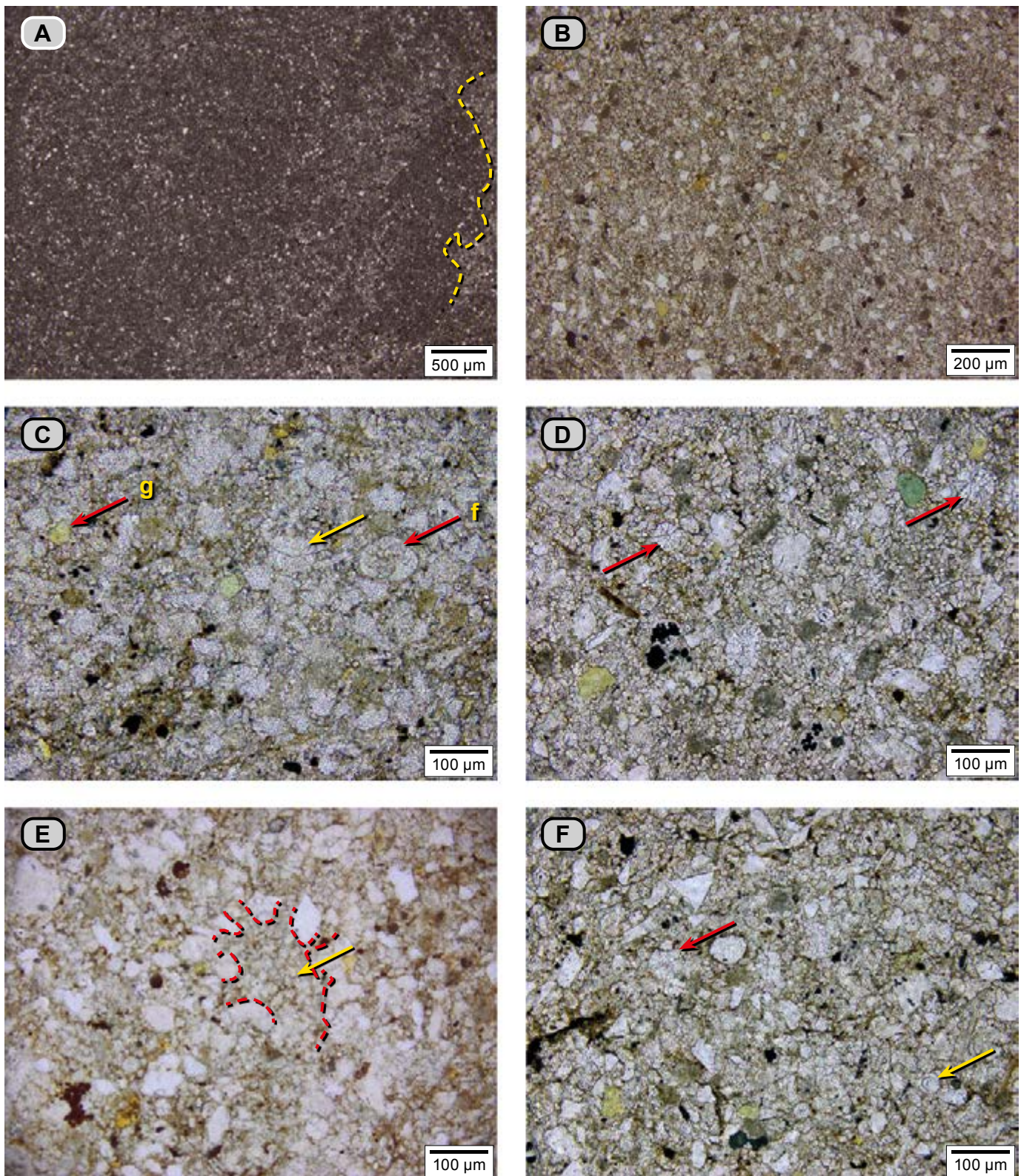
gulares, elongados a equidimensionales; y moscovita (1%), que forma ángulo con  $S_0$ . Como minerales de origen químico hay peloides de glauconita (2%) y pirita (1%) diseminada o en agregados. Se observan varios fragmentos de circones.

**Conjunto G2 (118-124 m).** La sucesión se inicia con arenitas de cuarzo con textura de fina a muy fina, grises (N4-N5), que conforman una capa muy gruesa cuyos límites son superficies planas levemente onduladas (fig. 55). Hacia la base, la capa tiende a romperse en lajitas (**dma 5075**), mientras que hacia el techo se hace maciza (**dma 5076**). La sucesión transita a un paquete calcáreo que inicia en caliza *mudstone*, grada a *wackestone* (**dma 5077**), y de manera neta se presenta una caliza *packstone* de bivalvos con diámetro up de 1 a 2 cm (**dma 5079**).



**Figura 55. A)** Cambio gradual entre los conjuntos estratigráficos G1 y G2: en el conjunto estratigráfico G1 (parte inferior de la fotografía) afloran *mudstone* calcáreos con calizas *mudstone* en capas medianas, mientras que el conjunto estratigráfico G2 (parte superior de la fotografía) está constituido por arenitas de cuarzo (**dma 5075 y dma 5076**). **B)** Detalle del recuadro amarillo de A: son calizas *wackestone* con restos de *Thalassinoides* dispersos (metros 118 a 120).





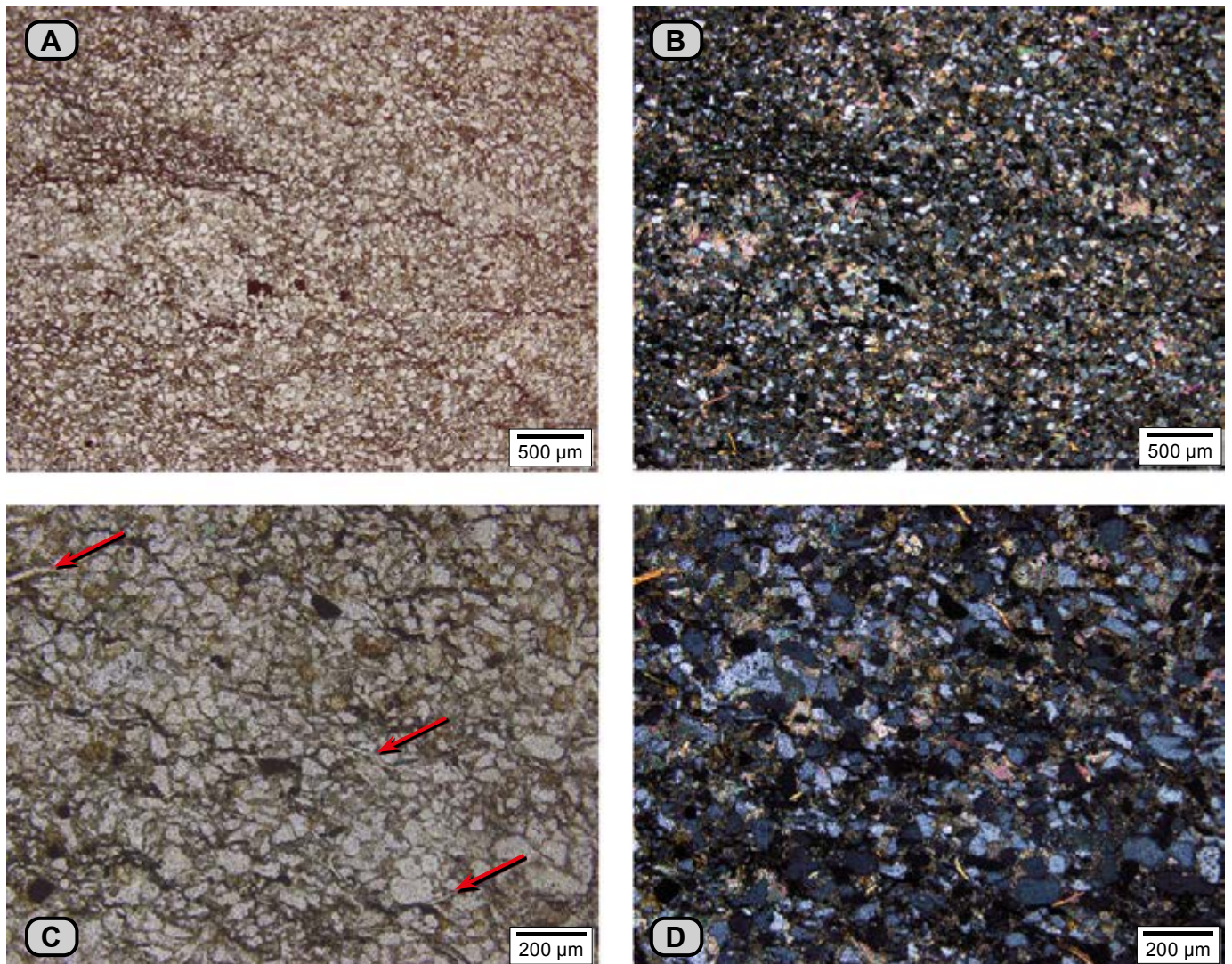
**Figura 56.** Caliza *mudstone* (dma 5073); en el microscopio se identifica como micrita fosilífera con recristalización. **A)** Bioturbación distinta; se observan parches en tonos oscuros y claros (la línea amarilla punteada resalta uno de los límites). **B)** Detalle de un sector claro: se identifica un mosaico de cristales de calcita, cuarzo, peletoides de micrita, moscovita y glauconita. **C)** Con mayor aumento se diferencian foraminíferos (f), glauconita (g) y *microcodium* (flecha amarilla). **D)** Otro sector de la placa: se aprecian los microcristales que forman los mosaicos de calcita espar; nótese los cuerpos circulares con reemplazo de calcita espar y los cuerpos en tonos grises que corresponden a peletoides; algunos son resultado de la micritización de foraminíferos (Flügel 2010, fig. 4.11). **E)** Fotografía con luz conosópica: resaltan los contornos de los cristales de calcita espar producto de la recristalización de la micrita; los sulfuros toman tonos pardo-rojizos y forman agregados. **F)** Se resalta la presencia de cuerpos circulares biosferoides calcícticos (flecha roja) y un quiste de dinoflagelado calcáreo (flecha amarilla).



Con el microscopio, la arenita (**dma 5076**) se identifica como arenita de cuarzo de textura muy fina, con matriz de lodo calcáreo (26%); está bioturbada con moteamiento entre distinto e indistinto (**microfacies A**). Se aprecian sectores oscuros y claros. En los claros, la micrita tiene recristalización incipiente, mientras que en los sectores oscuros la micrita aunque tiene recristalización incipiente, está acompañada de materia orgánica (**fig. 57**).

El cuarzo es monocristalino y representa el 53%, mientras que el policristalino, solo el 4%. Son granos equidimensionales a subelongados y de formas entre angulares y subangulares. De modo subordinado se observan moscovita (3%) y trazas de feldespatos. Hay presencia de glauconita (4%) y pirita (3%). Se observan fragmentos de placas de equinodermos (4%) con textura arena fina. La bioturbación se acentúa por la distribución de las hojuelas de moscovita en dos direcciones aproximadamente perpendiculares entre sí.

Suprayaciendo la capa anterior se presenta un paquete calcáreo constituido por dos capas. Inicia una capa muy gruesa que hacia la base tiene textura de *mudstone*, en donde destacan contornos de madrigueras calcificadas, dispersas, a modo de nódulos calcáreos; grada a un *wackestone* de bivalvos con cuarzo que tiene textura de arena fina (**dma 5077**), de color gris medio (N4) (**fig. 58A**); las conchas tienen diámetro up de 3 a 6 cm y grosor de 2 mm, están tanto articuladas como desarticuladas y se presentan en diferentes posiciones; estas conchas se encuentran esparitizadas. Se reconoce la presencia de glauconita. Sobre ella aflora de manera neta la segunda capa, una caliza *packstone* con conchas de bivalvos con tamaños de 2 a 6 mm, dispuestas en varias posiciones; están articuladas y desarticuladas (**dma 5079**). Hacia el techo se desarrollan cuerpos nodulares desconectados y rotados (seudonódulos), de 7 a 2 cm (**figs. 58B y 58C**), producto de rellenos de madrigueras redepositadas *nodular rubble* (Fürsich 1973, fig. 5).



**Figura 57.** Arenita de cuarzo cuya textura varía de muy fina a limo (**dma 5076**). **A**) Aspecto general de la roca: se observan sectores claros y oscuros debido al moteado indistinto; en los sectores oscuros la micrita está acompañada por materia orgánica. **B**) Misma imagen de **A** hecha con nicols cruzados; nótese los fragmentos de placas de equinodermo con alta birrefringencia. **C**) Nótese los fragmentos de cuarzo y la moscovita (flechas rojas). **D**) Misma fotografía de **(C)** hecha con nicols cruzados; entre granos de cuarzo se observan lodo calcáreo, fragmentos de placas de equinodermo y las moscovitas con altos colores de interferencia, con orientación oblicua a  $S_0$ .





**Figura 58.** Calizas del conjunto G2. **A)** Caliza *wackestone* de bivalvos centimétricos; nótese las conchas recristalizadas (**dma 5077**) (metro 124). **B)** Caliza *packstone* en capa muy gruesa; nótese los cuerpos redondeados correspondientes a madrigueras redepositadas (metro 124). **C)** Detalle de **B** para mostrar los bivalvos de 1 a 3 cm.

En el microscopio, la caliza *wackestone* con cuarzo (**dma 5077**) se identifica como una biomicrita rala de fragmentos de bivalvos con cuarzo (**microfacies 5**). El lodo calcáreo (52%) tiene recristalización incipiente (**figs. 59A, 59B y 59C**); los fósiles (25%) tienen varios tamaños, de milimétricos a micrométricos, y centimétricos dispuestos de manera dispersa; presentan diversas posiciones y están representados por: **a)** conchas de bivalvos esparitizadas, menos frecuentemente silicificadas; **b)** espinas y fragmentos de placas de equinodermos, y **c)** fragmentos de colonias de briozoarios. Las partículas siliciclásticas observadas corresponden a cuarzo (21%) con textura limo grueso a arena muy fina, angulares; moscovita (2%) y trazas de fosfatos. Se observan estilolitos rellenos con materia orgánica y cuarzo.

En el microscopio, la caliza *packstone* (**dma 5079**) se identifica como biomicrita empaquetada (**microfacies B**), caracterizada por tener lodo calcáreo y fósiles que se disponen oblicuos a  $S_0$ , con tamaños centimétricos (hasta 2 cm) y con una textura que varía de arena muy gruesa a gránulo. Se observa micrita (51%), que envuelve los siguientes fósiles (49%): **a)** restos de conchas de bivalvos, trigonias y pectínido, completas o desarticuladas, paralelas y oblicuas a  $S_0$  (**figs. 59 D, 59E y 59F**); las conchas están reemplazadas por esparita; con textura que varía desde 2 centímetros hasta textura arena muy gruesa, **b)** serpúlidos. También se observan trazas de cuarzo y piritita.

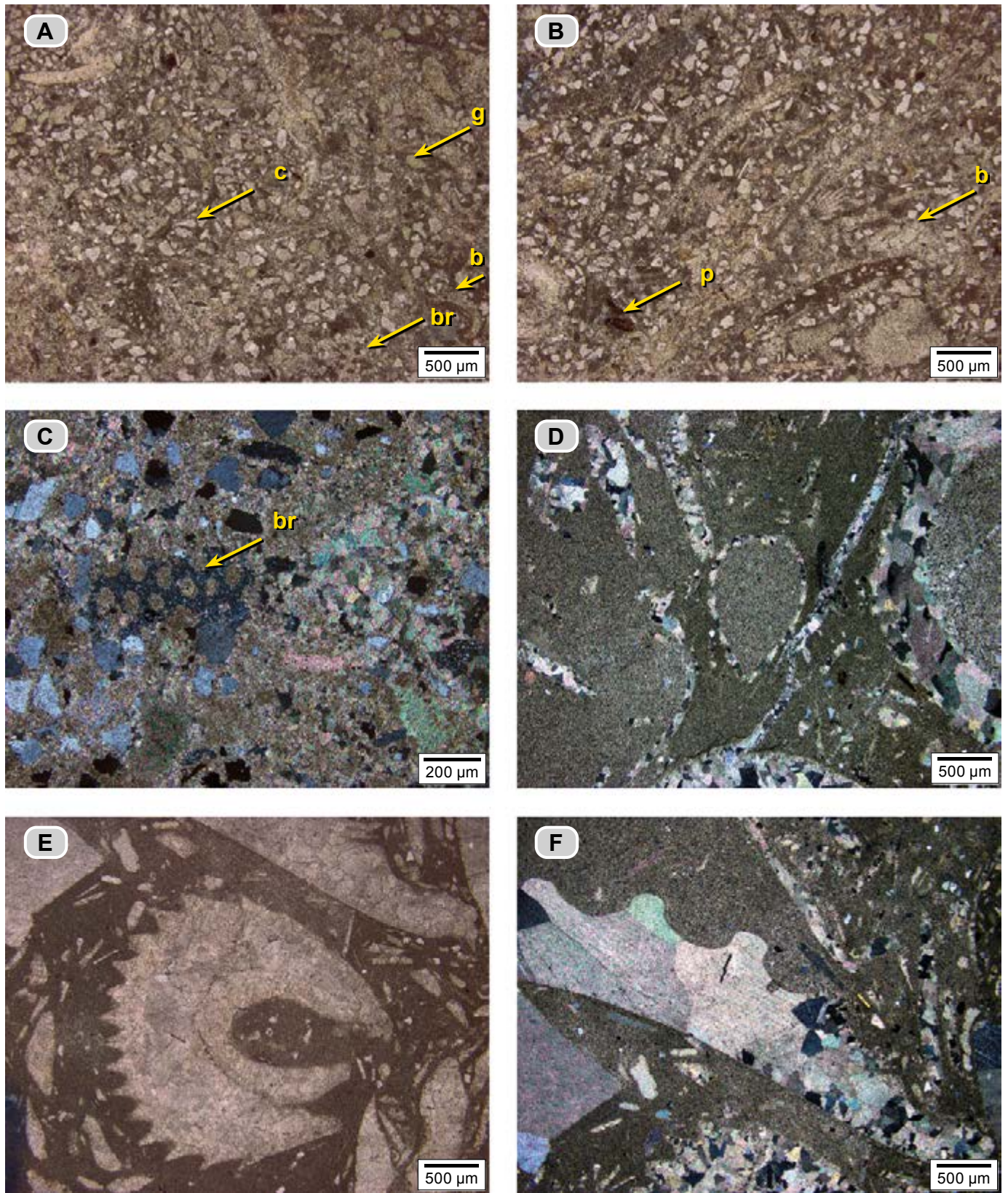
**Intervalo estratigráfico H (124-140 m).** Este intervalo está integrado por cuatro conjuntos numerados de 1 a 4. Los conjuntos pares resaltantes se caracterizan por el cambio progresivo de arenitas en la base a calizas *wackestone* en el techo; están separados por conjuntos con numeración impar constituidos por *mudstone* arcillosos que dibujan entrantes en el perfil topográfico.

**Conjunto H1 (124-125 m).** Está constituido por *mudstone* arcillosos grises (N4) con moscovita; hay presencia de venas de óxidos de Fe que cruzan la estratificación.

**Conjunto H2 (125-132 m).** Conjunto constituido por rocas resistentes, en su mayoría (tres cuartos) son arenitas de tonos grises (N4 y N5): grises oliva y grises pardos (5Y 4/1, 5YR 4/1); hacia la base tiende a romperse en lajitas, mientras que hacia el techo la roca se hace maciza y hay presencia de bivalvos articulados con diámetro up de hasta 4 cm, para pasar a limolitas que se parten en lajitas. El cuarto superior de este conjunto es de rocas de naturaleza calcárea, representadas por calizas *mudstone* (**fig. 60A**).

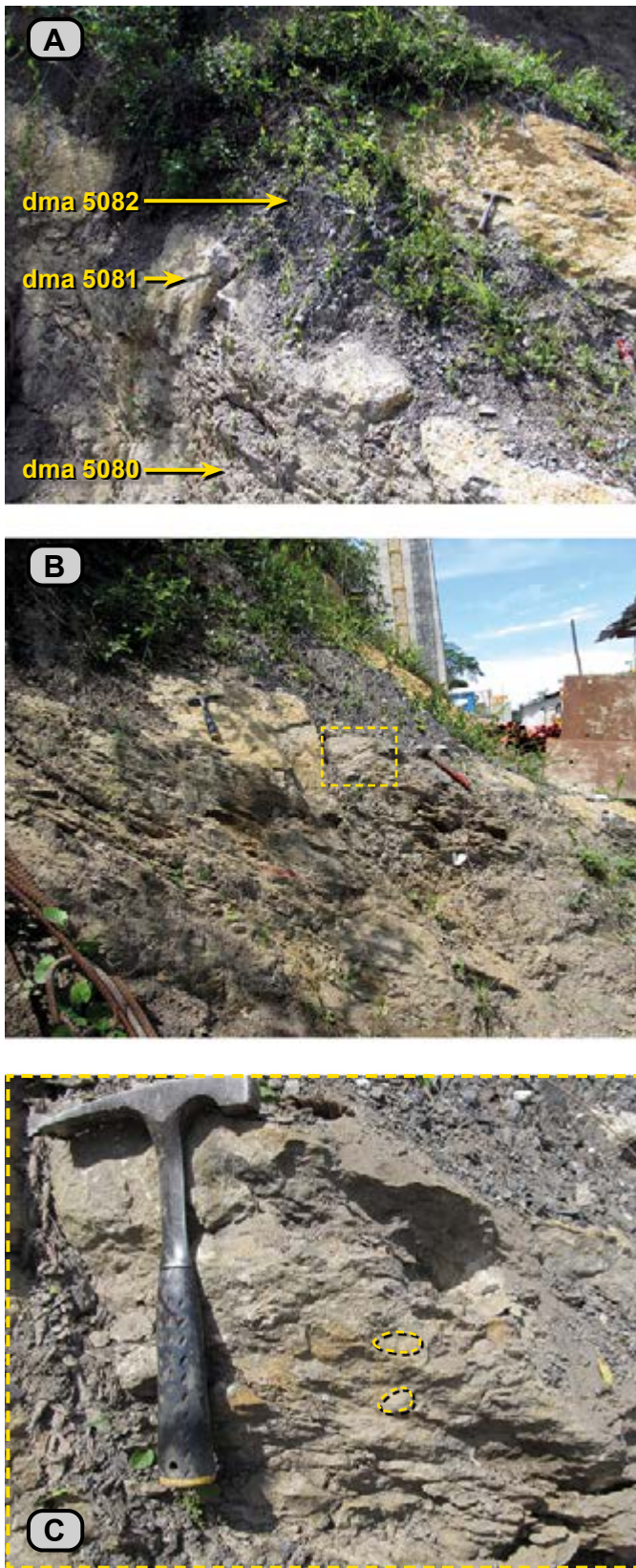
Los tres cuartos inferiores del conjunto H3 están constituidos por limolitas y arenitas, en donde se diferencian dos paquetes. El primer paquete muestra granocrecimiento: en la base son limolitas de cuarzo con cemento esparítico; pasa gradualmente a una arenita de cuarzo de textura muy fina (**dma 5080**), con laminación relictas, y termina en una arenita de cuarzo fosilífera, de textura fina (**dma 5081**), de apa-





**Figura 59. (A, B, C)** Caliza *wackestone* (*dma 5077*), en el microscopio se identifica como biomicrita rala con cuarzo. **A y B)** En tonos pardos se reconoce el lodo calcáreo con recristalización incipiente, además de cuarzo (**c**), glauconita (**g**), conchas de bivalvos y fragmentos de briozoarios (**br**). **B)** En otro sector de la placa se reconocen conchas de bivalvos (**b**), con dos tamaños: centimétricos y milimétricos; fosfatos (**p**); nótese la presencia de cuarzo. **C)** Con mayor aumento destaca un fragmento de una colonia de briozoarios (**br**). **D, E, F)** Caliza *packstone* (*dma 5079*) que se identifica como biomicrita empaquetada. **D)** Concha completa de bivalvo y fragmentos de bivalvos esparitados, en lodo calcáreo. **E)** Un espécimen de pectínido con recristalización. **F)** Fragmento de una concha de trigonia y otros fragmentos de conchas de bivalvos dispuestos en ángulo respecto a  $S_0$ .





**Figura 60.** Conjunto H2. **A y B)** En la parte basal, arenitas de cuarzo (**dma 5080**) con laminación relictas, que finalmente gradan a arenitas de cuarzo homogéneas con bivalvos (**dma 5081**) (metros 125 a 128). **B)** Detalle del afloramiento anterior, en donde se observa, en la parte basal, la arenita de cuarzo que se parte en lajitas, y sobre ella la arenita de cuarzo homogénea con bivalvos enteros; la capa es señalada por martillo y maceta. **C)** Se amplía el recuadro amarillo de **B** para mostrar algunos bivalvos, resaltados con líneas amarillas punteadas.

rente aspecto macizo: se presentan nódulos elipsoidales aislados (madrigueras); además, se observan bivalvos articulados, con diámetros up de 2 a 4 cm (**fig. 60C**). Suprayaciendola, en contacto neto aflora el segundo paquete, una limolitas de cuarzo cuya textura varía de fina a muy fina, fosilífera, con cemento calcáreo, laminada (**dma 5082**).

En el microscopio, la sección delgada **dma 5080** es una arenita de cuarzo con textura que varían de muy fina a limo grueso; muestra bioturbación indistinta (**microfacies  $\pi$** ): se observan sectores claros con cemento calcáreo y sectores oscuros con matriz arcillosa. El armazón es de cuarzo (46%), feldespatos (3%) y moscovitas (3%); también se identifican óxidos (4%), glauconita (2%), trazas de fósiles y fosfatos. El cemento calcáreo representa el 30%, y la matriz de arcilla con materia orgánica ascienden a 12% (**fig. 61**).

Con el microscopio, la sección delgada **dma 5081** se identifica como una arenita de cuarzo de textura muy fina (**microfacies  $\pi$** ). Presenta armazón de cuarzo (45%), con trazas de moscovita y feldespatos. Se observa cemento esparítico (41%). Hay vestigios de óxidos de hierro y fosfatos; también se observa glauconita (2%). Los fósiles (2%) son restos de bivalvos con sus conchas reemplazadas por cristales de calcita y espinas de equinodermos (**fig. 61**).

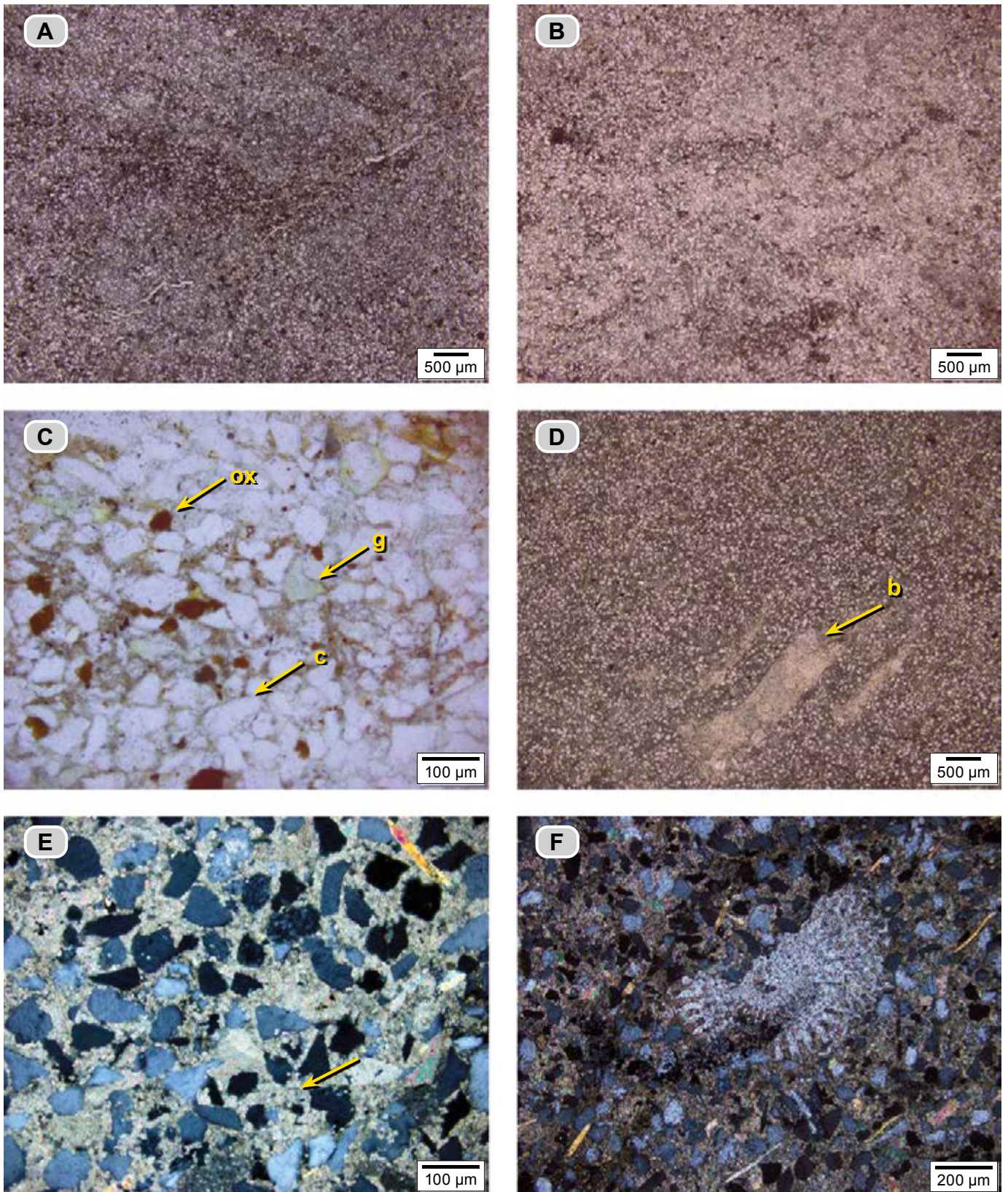
En el microscopio, la sección delgada **dma 5082** tiene laminación gruesa, resaltada por tonos claros y tonos pardos amarillentos; las láminas claras son arenitas de cuarzo, cuya textura varía de fina a muy fina (**microfacies  $\pi$** ), fosilíferas con cemento calcáreo. Los fósiles son fragmentos de bivalvos desarticulados y de placas de equinodermos con textura que varía de arena muy gruesa a gránulo. Las láminas pardas amarillentas, a pesar de tener la misma composición del armazón, presentan cemento calcáreo de tonos pardo amarillentos acompañados por laminillas de arcilla con materia orgánica.

**Conjunto H3 (132-136 m).** Está constituido por *mudstone* arcillosos, de tonos grises (N5), en los que se intercala una capa delgada de *packstone* que varía localmente a textura *wackestone* (**dma 5083**), que además muestra adelgazamientos y engrosamientos y define una forma nodular (**fig. 62A**).

La caliza está compuesta por conchas articuladas y desarticuladas de bivalvos con tamaños de hasta 5 cm, de color gris (N4), si bien por sectores tiene tonos rojizos (10R 3/4), debido a la presencia de óxidos de hierro (**fig. 62B**).

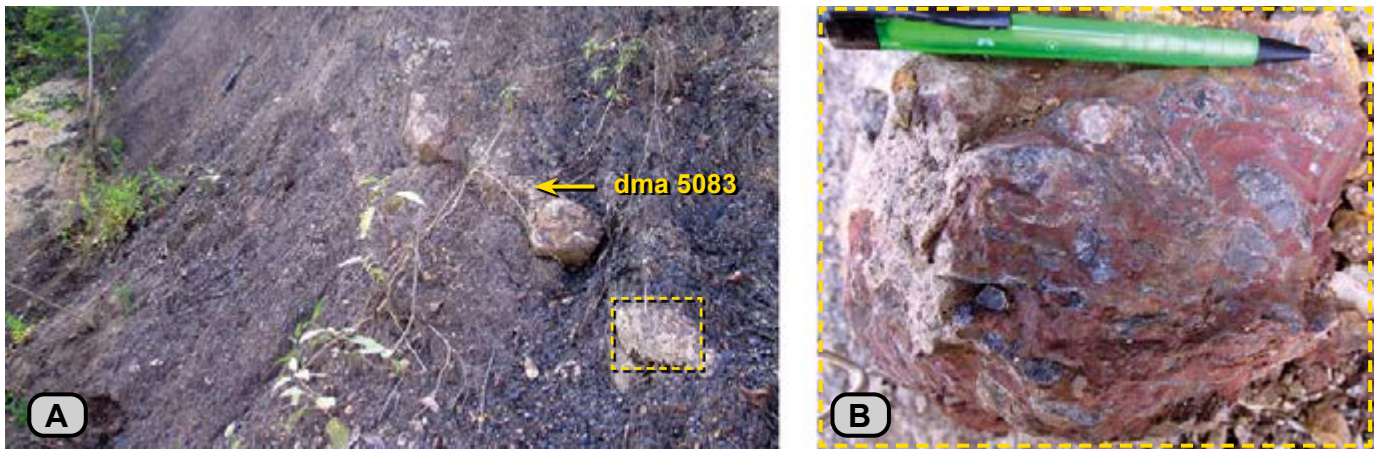
En el microscopio se identifica como biomicrita (**dma 5083**), **microfacies C**. Se observan sectores claros y sectores pardos rojizos (**fig. 63**). En los sectores claros se reconocen: **a)** cristales de carbonato (45%) en mosaico de cristales con formas de lanceta y tamaños de entre 7 y 12  $\mu\text{m}$ ; **b)** Conchas y fragmentos de bivalvos desarticulados (40%), con tamaños de hasta de 5 cm, dispuestos en varias posiciones, paralelos y perpendiculares a  $S_0$ ; las conchas conservan su estructura original; también



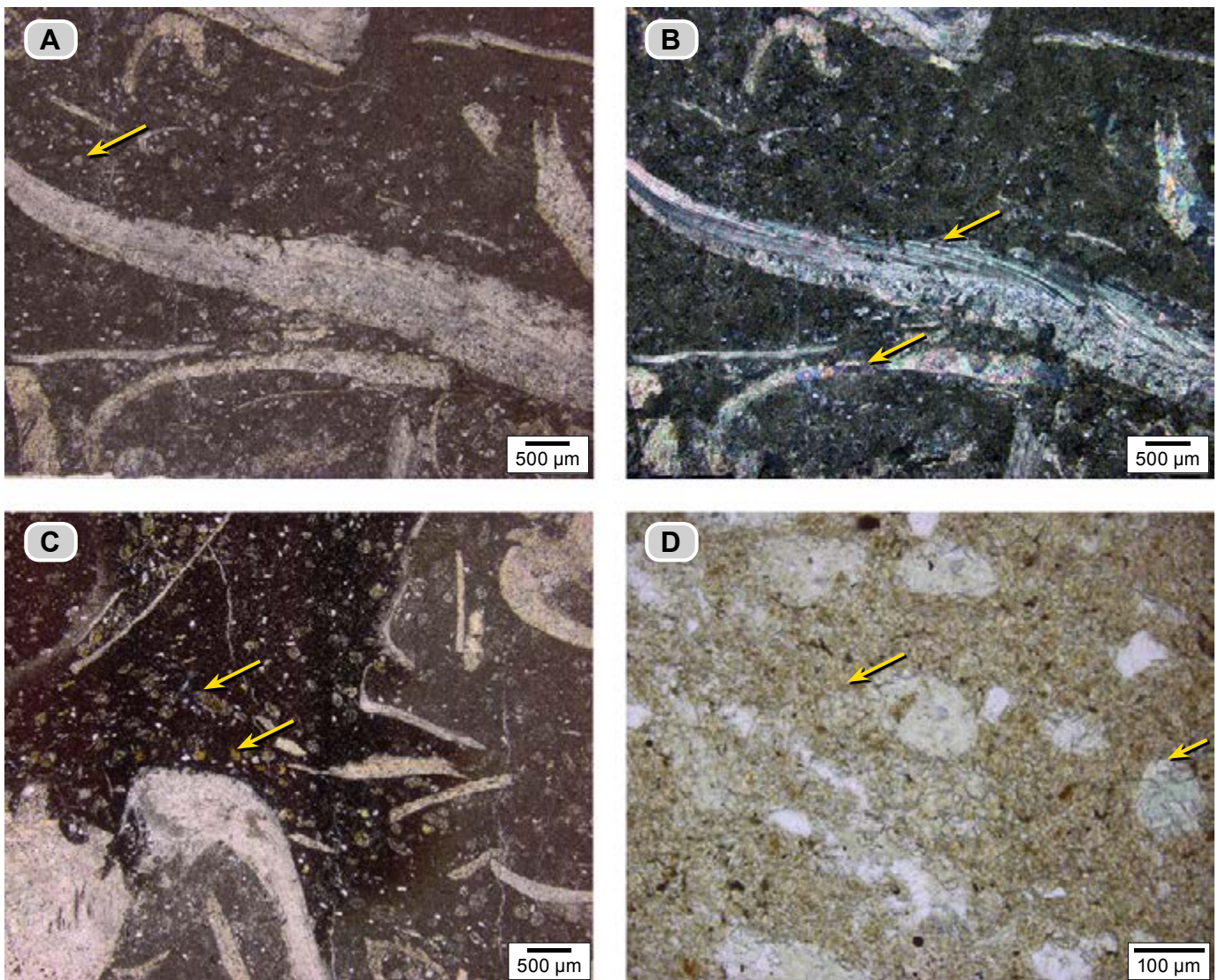


**Figura 61.** Arenitas de cuarzo con textura muy fina del conjunto H2. Las figuras **A**, **B** y **C** corresponden a la muestra **dma 5080**, mientras que las figuras **D**, **E** y **F** pertenecen a la muestra **dma 5081**. **A** y **B**) Bioturbación indistinta: se observan sectores de tonos claros y oscuros, en ocasiones sin contornos bien definidos; el tono más claro se debe al cemento calcáreo, y los tonos oscuros, a la presencia de matriz de arcilla. **C**) Con mayor aumento se observa el cemento calcáreo, cuarzo (**c**), glauconita (**g**) y óxidos de hierro (**ox**); en la parte central de la fotografía se presenta matriz arcillosa. **D**) Arenita de cuarzo de textura muy fina con cemento calcáreo y bioturbación homogénea; la flecha amarilla señala un fragmento de bivalvo. **E**) Con mayor aumento se observa el cemento calcáreo (flecha amarilla). **F**) Se observa una espina de equinodermo en sección transversal y moscovitas oblicuas a  $S_0$ .





**Figura 62.** A) *Mudstone* arcillosos grises intercalados con una capa delgada de *packstone* de bivalvos. El recuadro amarillo se amplía en B, donde se observan conchas de bivalvos de hasta 5 cm, parcialmente reemplazadas por hematita (metros 132 a 136).



**Figura 63.** Caliza *wackestone* (dma 5083), en el microscopio se identifica como una biomicrita rala con recristalización. A) Aspecto de un sector de la sección delgada: se observan fragmentos y conchas desarticuladas de bivalvos; los cuerpos ovoidales son producto de procesos pedogénicos (flecha amarilla). B) Corresponde a la imagen de A, fotografiada con nicoles cruzados; las flechas amarillas señalan las conchas de bivalvos reemplazadas por esparita (la inferior), y otras con su estructura interna original (superior). C) Sector de esta sección delgada con presencia de cristales de hematita, que le imprimen un tono pardo rojizo, acompañados por conchas de bivalvos y presencia de cuerpos ovoidales de tono naranja amarillento. D) Con mayor aumento se identifica el mosaico de cristales de calcita espar con formas de lanceta y rombo; nótese los cuerpos ovoidales silicificados o rellenos de caolinita, de posible origen pedogénico (Retallack 2001).



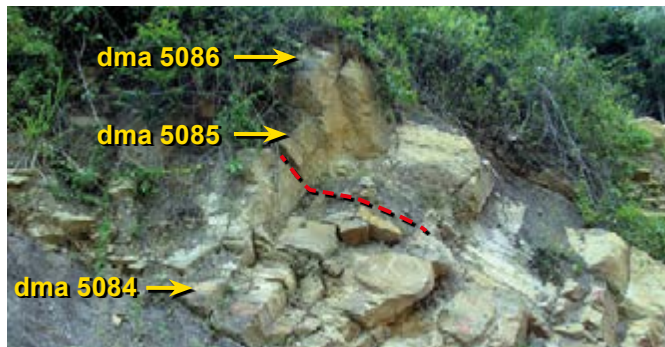
se observan conchas esparitizadas; **c)** escasos fragmentos de briozoarios; **d)** formas entre ovaladas y circulares con textura de arena fina, de tonos verde manzana, que internamente se revela como caolinita, y **e)** Cuarzo y fosfatos en vestigios.

El sector oscuro (en muestra de mano, tono rojizo) debe su color a la presencia de cristales de hematita (8%), que bajo luz conoscópica tiene un color rojizo; son cristales con forma de lanceta, aciculares y rómbicos sobreimpuestos a la micrita, pero las conchas de bivalvos no sufren sobreimpedición de cristales de hematita. También se observan cuerpos ovalados (7%) de colores grises verdosos, amarillos verdosos pálidos y, cuando están asociados a la presencia de hematita, toman pardos naranjas; de manera tentativa se interpretan estos cuerpos ovalados como envolturas radiculares generadas por procesos pedogénicos (Retallack, 2001).

**Conjunto H4 (136-140 m).** Resalta en el perfil topográfico (fig. 64). Se trata de un banco que tiende a separarse en capas planas paralelas; en la parte inferior hay arenitas de cuarzo cuya textura varía de fina a muy fina, de color crema (5Y 7/2), y como accesorios hay glauconita y moscovita (**dma 5084**). En general están bioturbadas, con moteado entre distinto e indistinto; por sectores se reconoce laminación.

En contacto neto se superponen calizas *mudstone* con cuarzo (**dma 5085**, **dma 5086**), grises (N5), con fragmentos de bivalvos de tamaños que varían de 1 a 4 cm. En los metros más inferiores, por sistemas de *Thalassinoides* se forman capas medianas apretadas; también se aprecian madrigueras desconectadas de *Thalassinoides* (fig. 64).

En el microscopio, la arenita es de cuarzo, cuya textura varía de fina a muy fina (**dma 5084**), bioturbada (fig. 65). Presenta matriz arcillosa-ferruginosa (22%); a la arcilla se le ha sobreimpuesto por sectores óxidos de hierro (**microfacies η**). La bioturbación genera sectores claros en donde los granos están en contacto y la matriz es escasa. En los sectores con tonos oscuros hay matriz de arcilla con óxidos de hierro que le imprimen un color pardo. El cuarzo (72%) tiene aspecto equidimensional y bordes angulares; también se identifica moscovita (2%), peloides de glauconita, restos de feldspatos y óxidos. Los bioclastos, que alcanzan un 4%, están representados por fragmentos de placas de equinodermos.



**Figura 64.** Conjunto H4. Arenita de cuarzo de textura muy fina, en capa muy gruesa en contacto con caliza *mudstone* de capas medianas y gruesas (línea roja punteada).

En el microscopio, las calizas *mudstone* con cuarzo se identifican como micritas fosilíferas con cuarzo. Presentan bioturbación (**dma 5085** y **dma 5086**). Los fósiles son restos de bivalvos cuya textura varía de arena muy gruesa a gránulo (**microfacies VII**). La bioturbación produce sectores más oscuros, entre irregulares y redondeados, constituidos principalmente por micrita. En sectores más claros hay mayor presencia de cuarzo.

La micrita (51-69%) sufre neomorfismo que produce mosaicos de cristales de hasta 10  $\mu\text{m}$ . Los fósiles (5-6%) son: **a)** conchas y fragmentos de bivalvos desarticulados, micritizados y reemplazados por cristales de esparita, con tamaños de hasta de 2.000  $\mu\text{m}$ ; y **b)** fragmentos de placas de equinodermos. Hay presencia de peloides de glauconita (3%), piritita y óxidos como minerales trazas.

El cuarzo (22%) presenta texturas entre limo grueso y arena muy fina; los granos son angulares y algunos son equidimensionales. También se observa moscovita en diferentes posiciones.

La muestra **dma 5085** tiene fosfatos como rellenos de fósiles y en coprolitos, además de peletoides (5%) y *microcodium* (4%) (fig. 65).

**Intervalo estratigráfico I (140-147 m).** Forma un contrafuerte en el que se diferencian dos conjuntos litológicos: el inferior (I1) constituido por *mudstone* arcillosos, y el superior (I2), por calizas *mudstone* (microbialitas recristalizadas).

**Conjunto I1 (140-142 m).** Está constituido por *mudstone* arcillosos grises (N4-N6), con partición en astillas. Se alterna con una capa delgada de caliza *mudstone* (**dma 5087**).

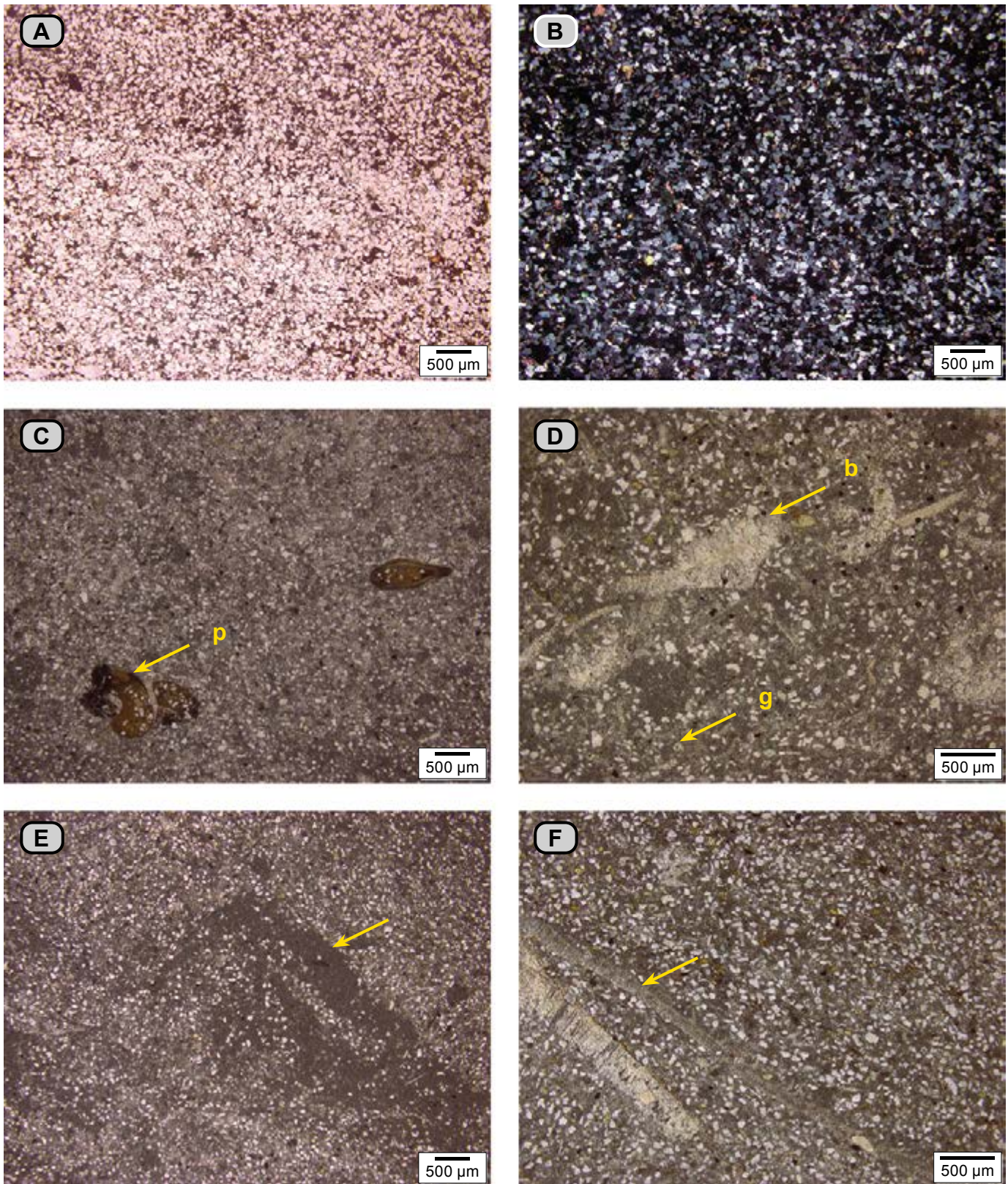
**Conjunto I2 (142-147 m).** En este conjunto alternan dos elementos litológicos: uno duro, representado por calizas *mudstone* laminadas (**dma 5089**) de color gris medio (N5), y otro blando constituido por *mudstone* calcáreos con materia orgánica, de tonos grises oscuros (N3) (fig. 66A). Hacia la parte baja de este conjunto, las capas son gruesas, mientras que hacia el tope son medianas; sus superficies son planas, paralelas.

La laminación de las calizas *mudstone* duras va desde muy fina hasta muy gruesa, y es plana, continua; resalta por las entradas y salientes (fig. 66B), que recuerdan la presencia de los tapetes microbiales.

Los *mudstone* calcáreos con materia orgánica forman paquetes desde 30 hasta 70 cm y presentan laminación plana paralela continua, de mediana a gruesa (fig. 66C).

En el microscopio, las calizas *mudstone* laminadas se identifican como *bindstone* recristalizados (microbialitas), **microfacies III** (**dma 5087** y **dma 5089**). Se observan láminas desde delgadas a muy gruesas, de tonos claros y oscuros.





**Figura 65.** A) Arenitas de cuarzo cuya textura varía de fina a muy fina, con matriz arcillosa-ferruginosa (tono pardo oscuro) (dma 5084). B) La misma fotografía que en (A), hecha con nicoles cruzados. C, D, E y F) Calizas *mudstone*. C y D) Caliza *mudstone* (dma 5085), que en el microscopio se identifica como una micrita fosilífera con cuarzo; se observa moteado indistinto; en general la micrita tiene neomorfismo; en tonos más oscuros se observan algunas madrigueras; hay presencia de fosfatos (p). D) Con mayor detalle se observan micrita, fragmentos de cuarzo, peloides de glauconita (g) y fragmentos de conchas de bivalvo (b) reemplazados por cristales de esparita. E y F) Caliza *mudstone* (dma 5086), que en el microscopio se identifica como una micrita fosilífera con cuarzo; tiene bioturbación; se aprecian zonas de tonos grises pardos constituidas por micrita. F) Se observa otro sector de la sección delgada; nótese un fragmento de bivalvo milimétrico (flecha amarilla) y los granos de cuarzo.





**Figura 66.** Intervalo estratigráfico I. **A)** Alternancia de calizas *mudstone* laminadas y *mudstone* calcáreos con materia orgánica laminados. **B)** Ampliación del recuadro amarillo de la figura **A**; se observan láminas medias y gruesas con formas planas continuas y paralelas de colores gris oscuro (N3) y gris claro (N5), que recuerdan tapices microbiales. **C)** Laminación muy fina y fina de los *mudstone* calcáreos con materia orgánica.

Los tonos claros están constituidos por un agregado de cuerpos laminares (**fig. 67**), que a su vez están formados por un mosaico de cristales de calcita de hasta 12  $\mu\text{m}$ . Estos cuerpos laminares se superponen y conforman láminas onduladas, domos y picos; están acompañados por cuerpos circulares de hasta 25  $\mu\text{m}$ , y se interpretan como células reproductoras de algas. En ocasiones, entre los fragmentos laminares se observan hilos de calcita microcristalina con materia orgánica, de tonos pardos.

Las láminas de tonos oscuros (**fig. 67**) dejan ver micrita de tono pardo moderado a pardo amarillento, en la que la recristalización es incipiente. Hay fragmentos de cristales de calcita con tamaños de hasta 30  $\mu\text{m}$ , provenientes de la disgregación de las láminas que definen las formas laminares discontinuas antes descritas. Los fósiles son similares a los observados en la sección delgada anterior. También se observan trazas de cuarzo, glauconita y opacos.

**Intervalo estratigráfico J (147-151 m).** Está constituido por arenitas de cuarzo en capas medianas y delgadas, con techos ondulados, que representan el conjunto inferior (J1). Sobre ellas se presenta una capa muy gruesa de arenita de cuarzo. A estas capas se superpone un *packstone* de conchas de grifidos correspondientes al conjunto superior (J2).

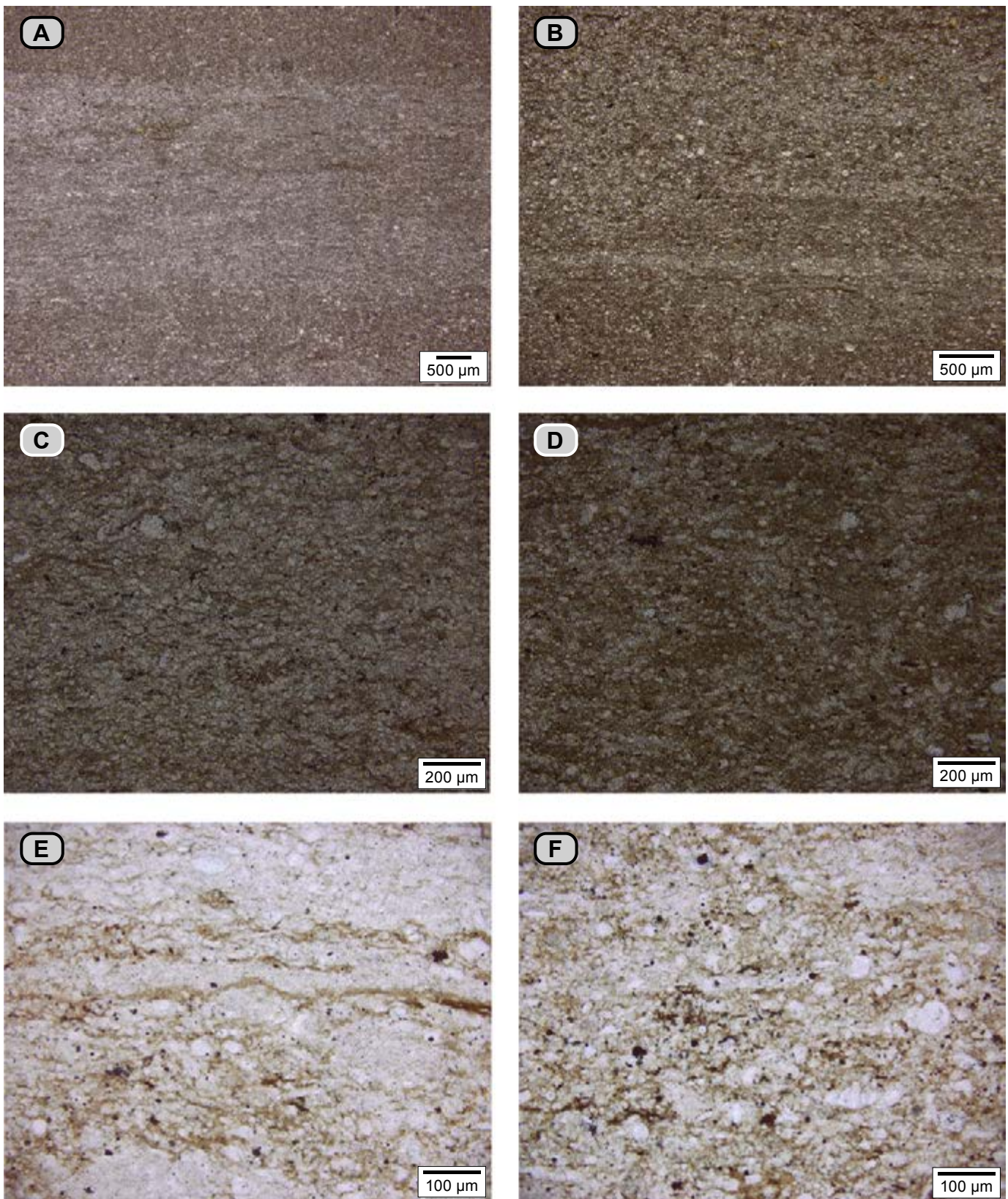
**Conjunto J1 (147-149 m).** Sucesión de arenitas de cuarzo fosilíferas y arenitas de cuarzo con cemento calcáreo, de tonos grises (N4), en capas delgadas con formas onduladas paralelas continuas (**fig. 68**), y estructuras internas como laminación *hummocky*. Hacia el techo, las capas son muy delgadas y hay mayor bioturbación. Se observan nódulos de formas lenticulares, con diámetros de hasta de 10 cm, interpretadas como *Thalassinoides* desarticulados (**fig. 68B**).

En el microscopio se identifican como arenitas de cuarzo con cemento calcáreo, cuya textura varía de arena muy fina a limo (**dma 5093**). Presentan laminación (**microfacies  $\epsilon$** ) y, menos frecuente, sectores con moteado indistinto (**fig. 69**). En los sectores laminados, en las láminas oscuras, el armazón está rodeado por matriz de arcilla, mientras que en las láminas más claras es cemento esparítico. En los sectores bioturbados la roca muestra fantasmas de la laminación original.

El cemento esparítico (44%) y la matriz arcillosa-carbonosa (13%) envuelven los fragmentos de los siguientes materiales: **a)** cuarzo (36%), presente en dos formas: en general equidimensionales y subangulares, y con menos frecuencia sublongado y angulares, y **b)** moscovita (2%); cuando se presenta en láminas, está dispuesta paralelamente a  $S_0$ , mientras que en los sectores bioturbados forma ángulo con  $S_0$ .

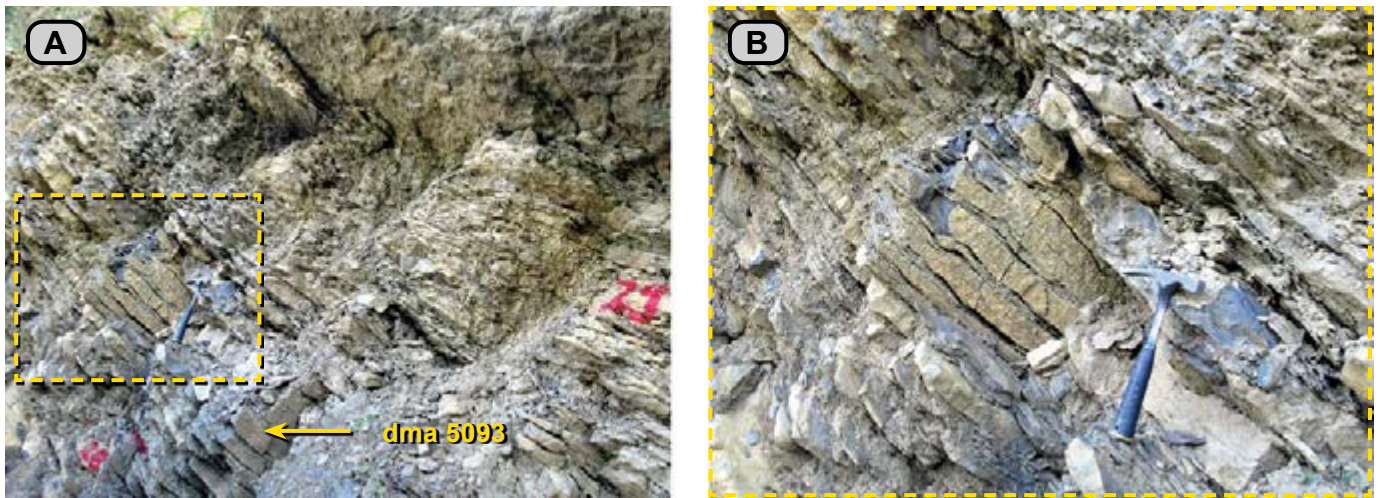
También se observan peloides e intraclastos (6%) de micrita y fragmentos fósiles (2%): fragmentos de bivalvos, placas de equinodermos y espículas de espongiarios. La glauconita



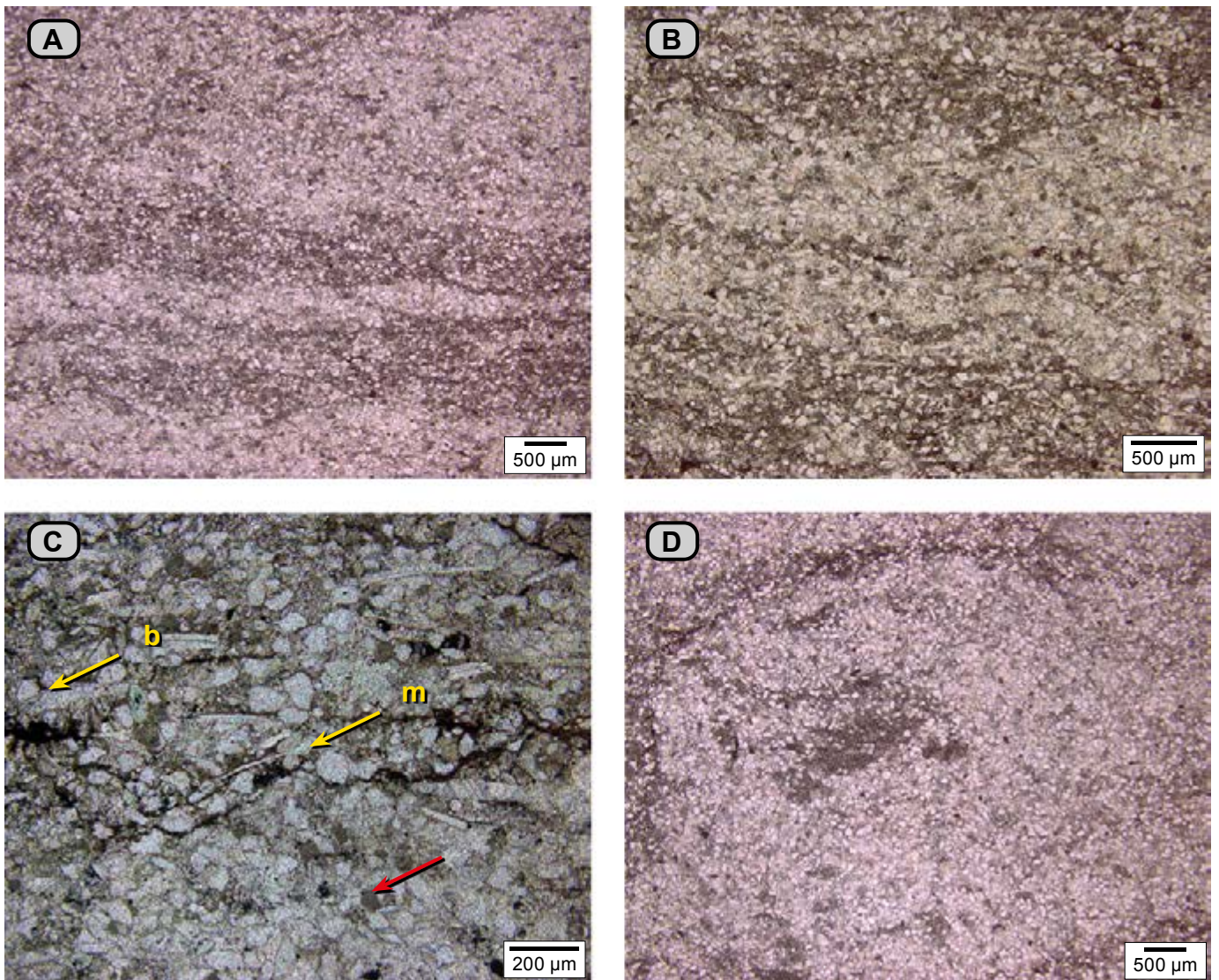


**Figura 67.** Caliza *mudstone* (dma 5089); en el microscopio se identifica como un *bindstone* recristalizado (microbialita recristalizada). **A y B)** Láminas muy finas y gruesas, claras y oscuras. **C)** Detalle de una lámina clara; se observa un agregado de fragmentos laminares con formas onduladas, en ocasiones separados por laminillas de calcita microcristalina con materia orgánica y con cuerpos circulares: elementos reproductores de algas. **D)** Detalle de una lámina oscura en el que se observan los mismos constituyentes; la calcita microcristalina se presenta en mayor proporción. **E y F).** Con mayor aumento y agregando luz conoscópica se observan dos tipos de láminas claras. **E)** Láminas continuas con formas onduladas y fragmentos laminares yuxtapuestos. **F)** Se observan fragmentos laminares ondulados yuxtapuestos, además de agregados de cristales con forma de palomitas de maíz: *popcorn*.





**Figura 68.** Conjunto J1. **A)** Arenita de cuarzo con texturas que varían desde arena muy fina a limo grueso, en capas delgadas; hacia el techo del conjunto las capas son muy delgadas y presentan mayor bioturbación. **B)** Detalle de las capas delgadas (recuadro amarillo); en ocasiones los contactos son ondulados.



**Figura 69.** Arenita de cuarzo con textura de arena muy fina (**dma 5093**). **A y B)** Láminas claras y oscuras; las láminas claras tienen cemento calcáreo, mientras que en las láminas oscuras, entre el armazón se observa matriz arcillosa, que les imprime el tono oscuro. **C)** En las láminas oscuras se observa cuarzo, moscovita (**m**) paralela a  $S_0$ , peletoides de micrita (flecha roja) y restos de bivalvos (**b**) rodeados por lodo calcáreo. **D)** Madriguera con pared de arcilla con materia orgánica, rellena con el mismo tipo de constituyentes que el armazón y cemento esparítico.



(2%) se observa como peloides, y los minerales traza son fosfatos y pirita. Hay desarrollo de estilolitos en los que se concentra la materia orgánica.

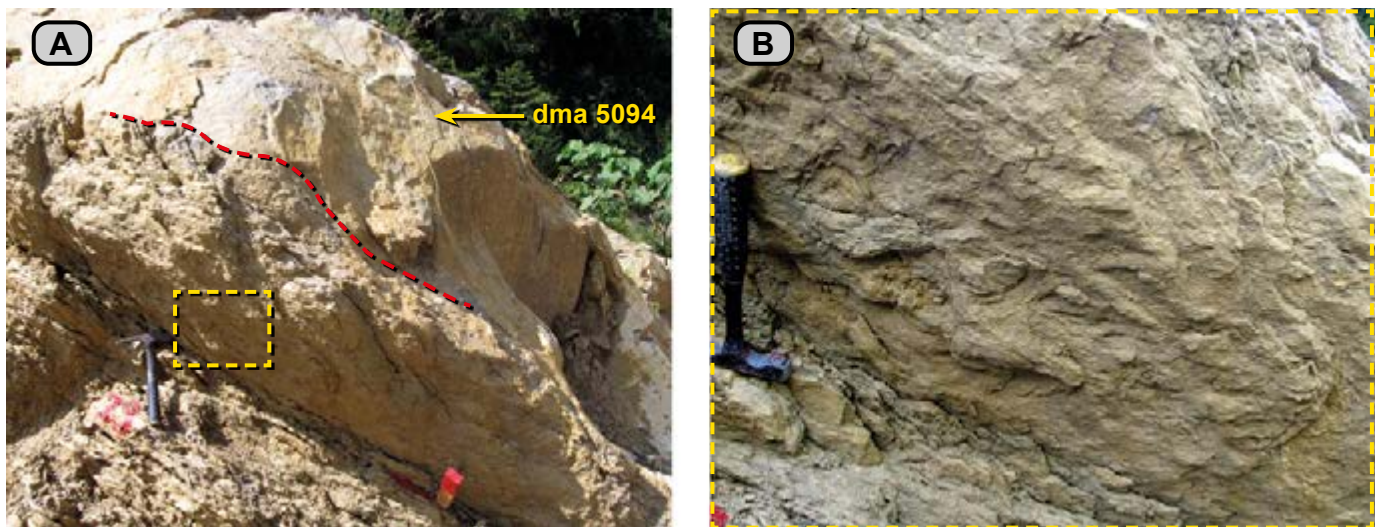
**Conjunto J2 (149-151 m).** Capa muy gruesa de arenita de cuarzo, cuya textura varía de arena muy fina a limo (**dma 5094, dma 5095**), de tono gris (N4), con fragmentos de bivalvos. La roca presenta bioturbación desde homogénea a distinta. En la base destacan madrigueras que se ramifican en “Y” y forman una red (*Thalassinoides*) (**figs. 70 y 71**). En el microscopio, la roca **dma 5094** se identifica como una areni-

ta de cuarzo con texturas que varían de arena muy fina a limo; presenta bioturbación homogénea (**microfacies  $\pi$** ); se observa matriz arcillosa y lodo calcáreo recristalizado; hay sectores irregulares de tonos claros por la presencia de cemento calcáreo (**fig. 72**).

El cemento esparítico (13%), el lodo calcáreo recristalizado (17%) y la arcilla (3%) envuelven el cuarzo (62%) con formas elongadas angulares, la moscovita (3%) con tamaños hasta textura arena mediana, los feldspatos (2%), y como trazas, glauconita, restos fosfáticos y sulfuros.

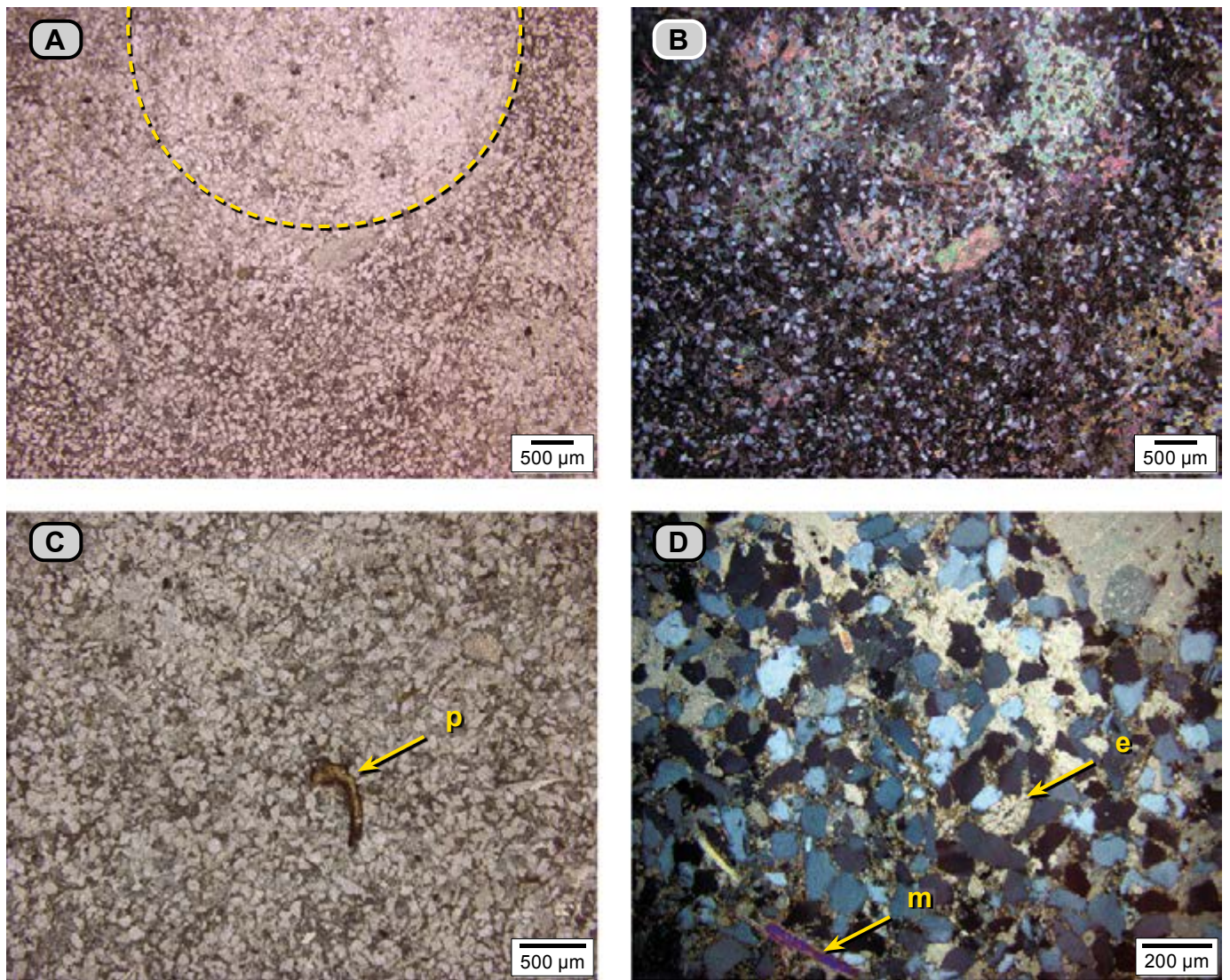


**Figura 70.** Se observan los conjuntos I2, J1, J2 y J3. En el conjunto I2 alternan calizas *mudstone* (*bindstone* recristalizados) en capas medianas planas paralelas con *mudstone* calcáreos que contienen materia orgánica en capas delgadas. En el conjunto J1 alternan capas delgadas onduladas de arenitas de cuarzo con textura muy fina. El conjunto J2 está constituido por una arenita de cuarzo con textura de arena muy fina; en su base hay una red de *Thalassinoides*; y el conjunto superior (J3) es una caliza *packstone* de grifeidos (metros 145-150).



**Figura 71. A)** Conjunto J2. Bioturbación generada por madrigueras bifurcadas horizontales con diámetro de 5 cm, observadas en la base de la capa de arenita de cuarzo. **B)** Ampliación del recuadro amarillo de la fotografía A: se observan las madrigueras con mayor detalle (metro 149).





**Figura 72.** Arenita de cuarzo con textura de arena fina (**dma 5094**). **A**) Madriguera (línea amarilla punteada); el material cementante es esparita; en el resto de la fotografía el material entre el armazón tiene un tono más oscuro, debido a la presencia del lodo calcáreo. **B**) Misma imagen que en **A**, fotografiada con nicols cruzados: nótese el material cementante de la madriguera. **C**) Detalle de la arenita de cuarzo con presencia de un resto orgánico fosfatizado (**p**). **D**) Otro sector de la misma muestra visto con mayor aumento y nicols cruzados; deja ver cuarzo, moscovita (**m**), espina de equinodermo (**e**); en el extremo superior derecho se observa cemento esparítico.

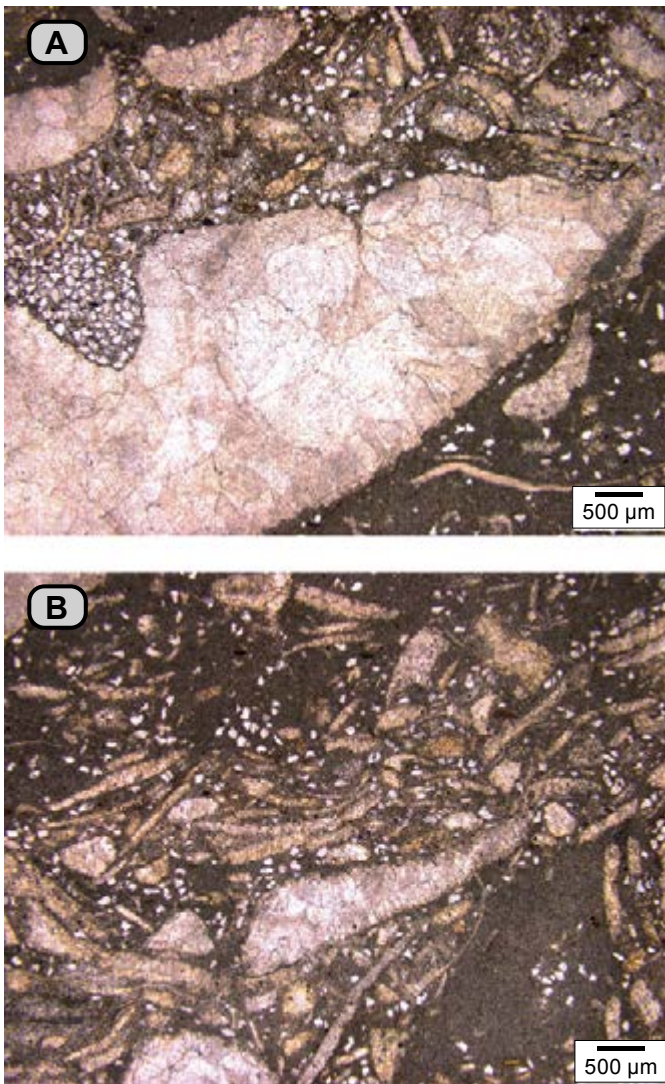
**El conjunto J3 (150-151 m).** Es un *packstone* de bivalvos grifeidos (**dma 5095**). Las conchas están articuladas o desarticuladas y en varias posiciones, su tamaño puede llegar a 10 cm (**fig. 73**).

En el microscopio, la caliza *packstone* de grifeidos (**dma 5095**) **microfacies D**, se manifiesta, sin embargo, como una biomicrita rala (**fig. 74**). En ella se reconocen: **a**) conchas de bivalvos (46%) de diversos tamaños, con texturas desde arena gruesa hasta centimétricas; la mayoría de las conchas están esparitizadas y otras conservan algunas características originales; las conchas esparitizadas tienen perforaciones de espongiarios y se disponen paralelas u oblicuas a  $S_0$ ; **b**) cuarzo (12%), cuya textura varía de limo a arena muy fina; **c**) micrita con neomorfismo, expresada en mosaicos de cristales de 12  $\mu\text{m}$  (38%), y **d**) materia orgánica (4%). Hay trazas de minerales opacos y fosfatos.



**Figura 73.** Techo del conjunto J3: caliza *packstone* con bivalvos grifeidos gris azulosos, articulados y desarticulados. Entre ellos se observa lodo calcáreo de tono pardo.





**Figura 74.** Caliza *packstone* (dma 5095), que en el microscopio se identifican como una biomicrita rara. Se observan las conchas de bivalvos de diferentes tamaños rodeadas por micrita con neomorfismo incipiente (tono pardo oscuro), acompañadas por cuarzo. **A)** Nótese una concha centimétrica con perforación de espongiarios rellena de cuarzo con textura arena media. **B)** Concentración de fragmentos de conchas de bivalvos en diferentes posiciones.

### Segmento estratigráfico IV (151-177 m)

Este segmento genera un entrante en el perfil topográfico (fig. 8), se diferencian tres intervalos estratigráficos: dos constituidos por *mudstone* arcillosos (K y M), separados por un intervalo (L), compuesto por arenitas de cuarzo, arenitas de cuarzo fosilíferas y calizas con textura de *wackestone*. Las rocas muestran un entramado de *Thalassinoides* que dan a la roca una apariencia nodular.

**Intervalo estratigráfico K (151-159 m).** Intervalo de morfología blanda que aparece cubierto; sin embargo, en la vía a Betulia que desprende de la carretera a San Vicente de Chucurí, en el cruce con la quebrada El Ramo. Se observan *mudstone* arcillosos de color pardo rojizo (10R 5/4) que indican un episodio de aporte de finos siliciclásticos sobre la superficie del techo del intervalo J.

**Intervalo estratigráfico L (159-169 m).** Se diferencian tres conjuntos: L1, L2 y L3. El conjunto L1, o inferior (3,5 m), y el L3, o superior (2,5 m), generan en el perfil topográfico salientes (arenitas y calizas bioturbadas), mientras que el conjunto intermedio, L2 (3 m), de *mudstone* arcillosos, genera una entrante.

**Conjunto L1 (159 m - 163 m).** Lo integran tres capas: dos de arenitas de cuarzo de textura muy fina con cemento calcáreo (inferior y superior) separadas por una caliza *wackestone* (fig. 75).

La capa basal es una arenita de cuarzo que varía de color gris claro (N6) a gris verdoso (5GY 6/1). Tiene cemento calcáreo, fragmentos de conchas de bivalvos, moscovita y granos de glauconita. Está bioturbada, de manera que en ocasiones se producen nódulos con sus contornos difusos; estos nódulos corresponden a madrigueras (fig. 75). La bioturbación disminuye hacia el techo, allí se observan bioturbación indistinta y relictos de laminación (dma 5096).

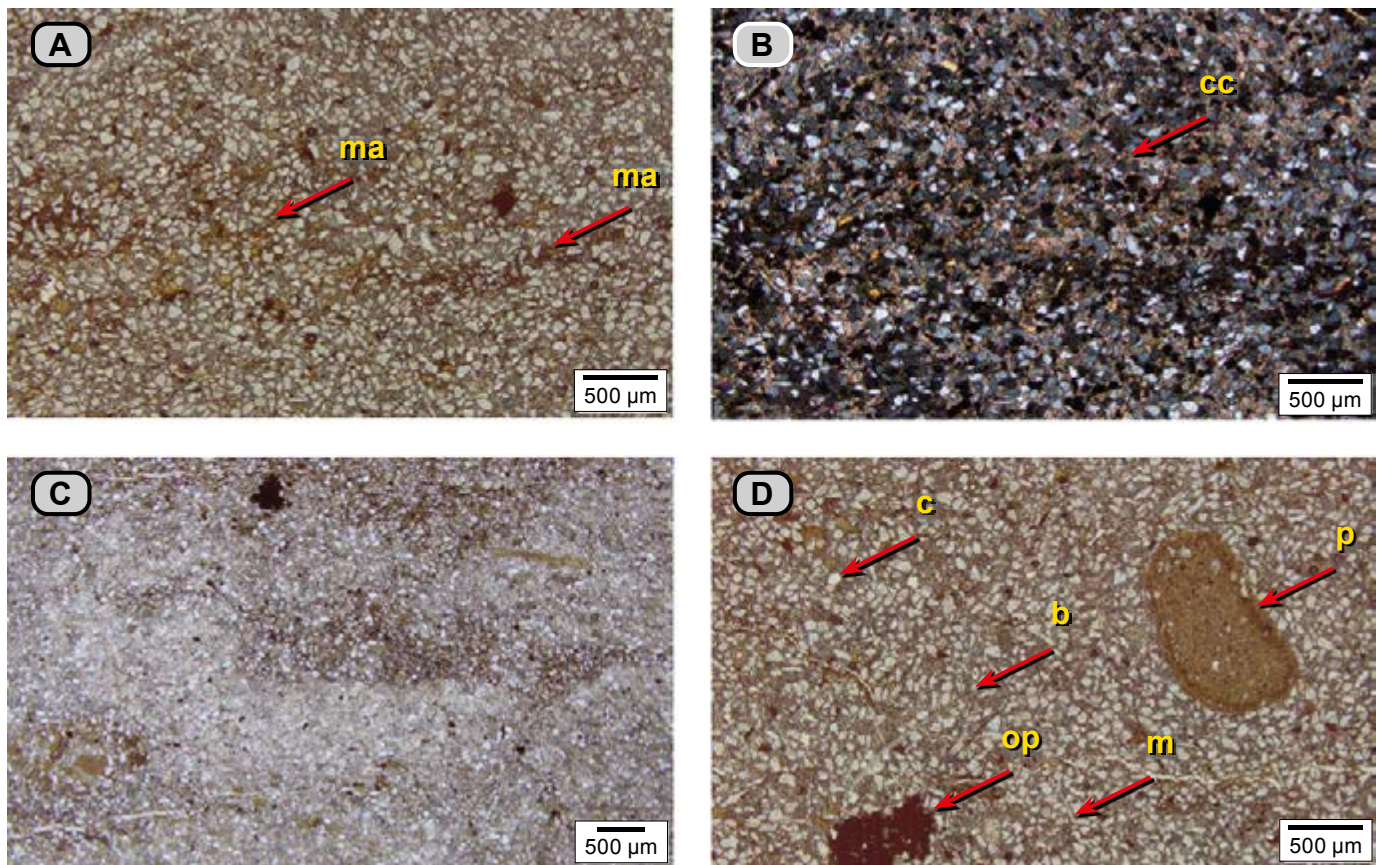
En el microscopio, la arenita de cuarzo con textura de arena muy fina tiene bioturbación distinta y por sectores, con laminación relictas (microfacies  $\eta$ ) (dma 5096), que se manifiesta en parches claros y oscuros. En los oscuros se observa el armazón rodeado por matriz de arcilla (10%); en tonos claros (gris verdoso, 5G 8/1) se reconoce cemento calcáreo (19%) y cemento caolínico (8%). El armazón está constituido por cuarzo (55%) presente en granos subangulares y equidimensionales; también se presenta moscovita (2%) en diferentes posiciones respecto a  $S_0$ , glauconita (2%), feldespato (2%), pirita (2%) y trazas de fosfatos (fig. 76).

Sobre la capa descrita descansa una caliza *wackestone* bioturbada (dma 5097) en la que se reconocen bivalvos espaciados con diámetros up de 3 a 10 cm, entre los que se reconocen grifeidos y *Cucullaea (Noramyia) gabrielis* articulados; fragmentos de bivalvos con textura de arena mediana, fragmentos de tu-



**Figura 75.** Conjunto L1. Parte basal del conjunto: arenita de cuarzo de textura muy fina, bioturbada. En la parte basal, la roca tiene aspecto brechoide (nódulos). Hacia el techo de la capa se presenta menos bioperturbación y se observa laminación discontinua relictas. Las flechas rojas señalan algunos nódulos (metros 160 a 161).



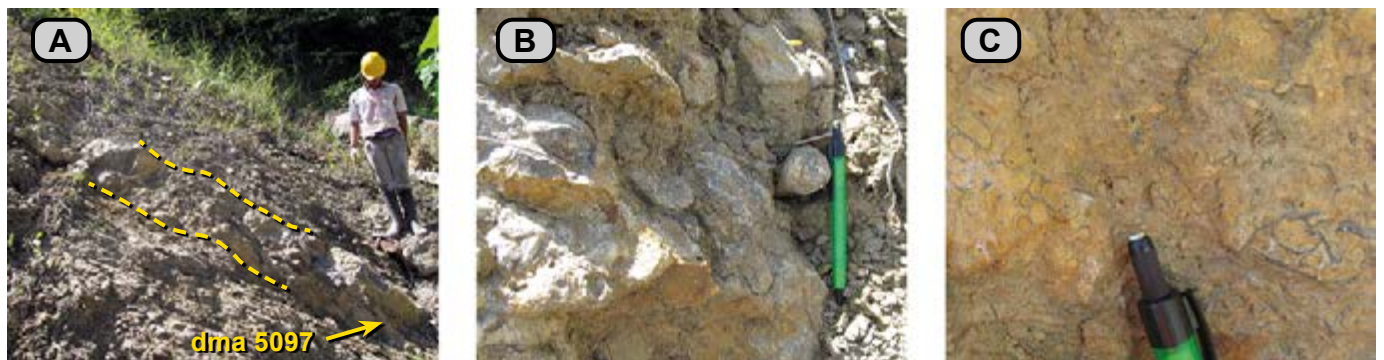


**Figura 76.** Arenita de cuarzo de textura muy fina (**dma 5096**). **A)** Aspecto general de la roca: algunos granos de cuarzos son equidimensionales, tienen bordes subangulares y angulares; están envueltos por cemento calcáreo de tono pardo claro, mientras que la matriz arcillosa (**ma**) presenta tonos amarillentos y pardos. **B)** La misma fotografía que en **A**, hecha con nicols cruzados para diferenciar el cemento calcáreo (**cc**). **C)** Aspecto general de la roca: se observa bioturbación marcada por tonos claros con cemento y oscuros con arcilla. **D)** Elementos del armazón: cuarzo (**c**), fragmentos de bivalvos (**b**), moscovitas (**m**), fosfatos (**p**) y opacos (**op**).

bos de serpúlidos, restos de briozoarios y otros fragmentos fósiles no identificados. En el perfil topográfico, este *wackestone* destaca como una saliente débil (**fig. 77A**) que por su bioturbación tiene aspecto de brecha: se diferencian bloques de 10 cm y madrigueras desconectadas de 4 cm (**fig. 77B**).

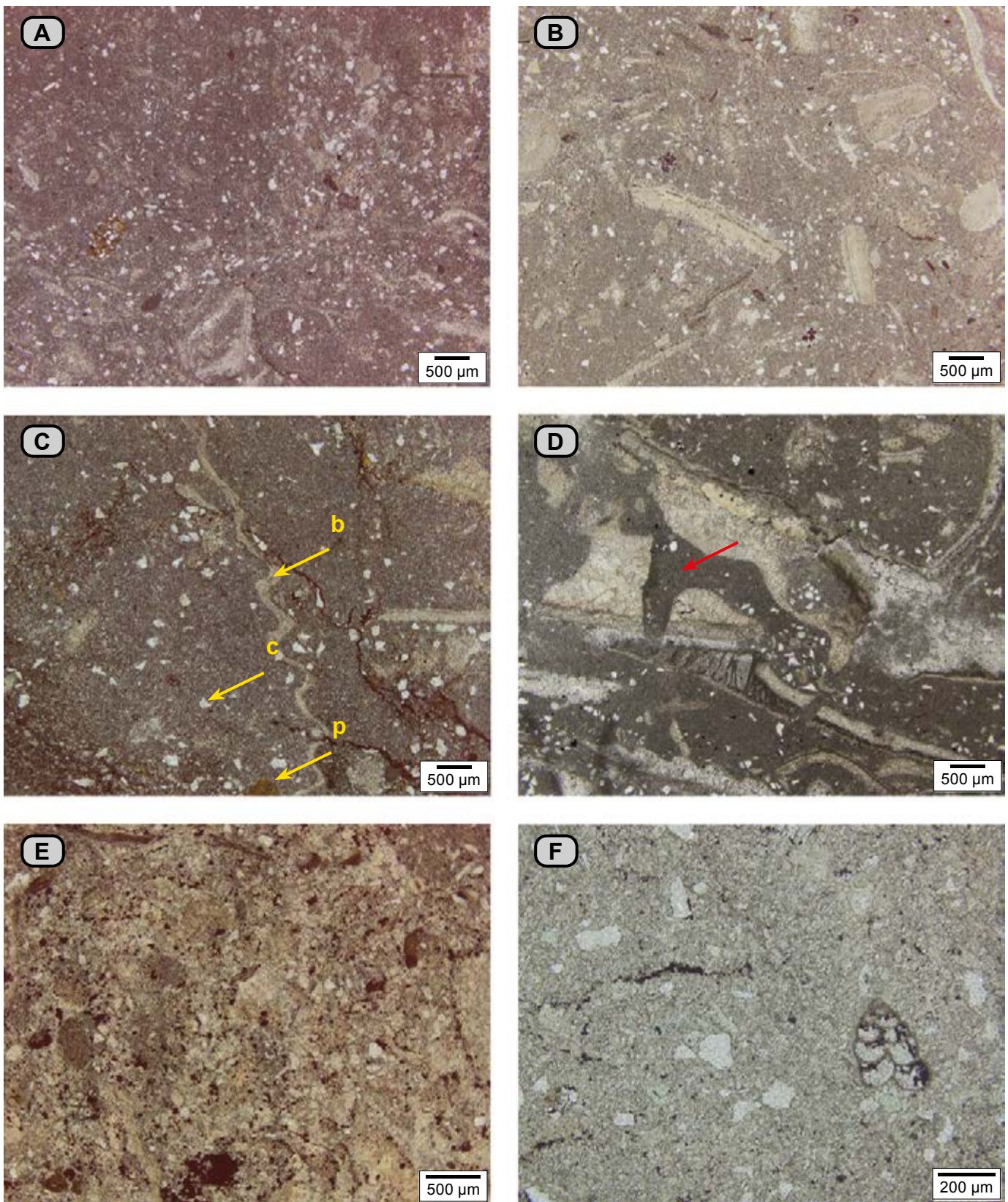
En el microscopio, el *wackestone* se identifica como biomicrita rala bioturbada (**microfacies 6**). Se observan los siguientes sectores: **i)** sectores claros, constituidos casi exclusivamente por micrita con recristalización incipiente, rodeados por ma-

teria orgánica (**fig. 78A**). **ii)** Madrigueras con fragmentos de fósiles, y piritita, envueltas por un agregado de calcita espar de 20 µm de tamaño (**fig. 78D**). **iii)** El resto de la sección delgada está representada por micrita (58%), que tiene recristalización: agregado de cristales de calcita espar con tamaños de 7 a 10 µm, y por fósiles (30%); entre estos se reconocen restos de fragmentos de placas de equinodermos y conchas de bivalvos esparitizadas; estas últimas con tamaños desde arena mediana hasta centimétrica (2,5 cm); están desarticuladas, y algunas presentan perforaciones de espongiarios y, con me-



**Figura 77.** **A)** Vista de la parte media y superior del conjunto L1. Entre arenitas de cuarzo se observa el *wackestone* (entre líneas amarillas punteadas) (**dma 5097**) (metros 164 a 166). **B)** Detalle del *wackestone* para mostrar rasgos de bioturbación, la presencia de bloques irregulares y tubos de madrigueras. **C)** Mayor detalle de la caliza *wackestone* para observar restos de bivalvos y serpúlidos.





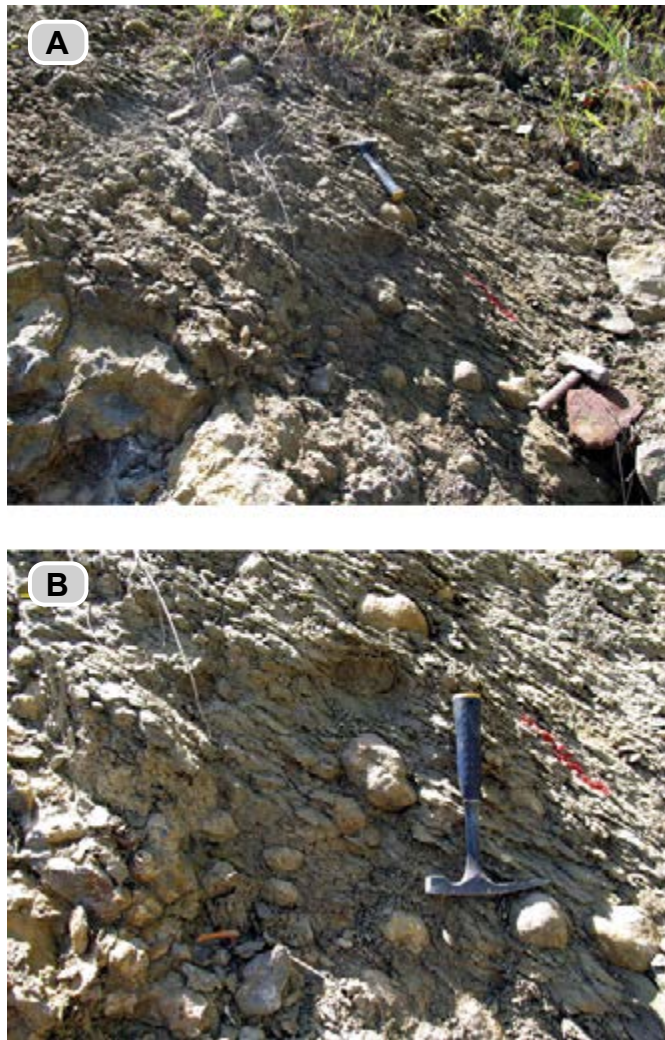
**Figura 78.** Caliza *wackestone* (dma 5097), se identifica en el microscopio como biomicrita rala bioturbada. **A y B)** Aspecto general de la roca: se observa lodo calcáreo con recristalización; fragmentos de cuarzo, conchas de bivalvos y restos fosfatizado. **C)** Se observa un sector bioturbado; hacia la parte inferior izquierda hay presencia de materia orgánica, mientras que en el resto de la fotografía hay ausencia de ella, como respuesta a la bioturbación; nótese los bivalvos (**b**), cuarzo y fosfatos (**p**). **D)** Conchas de bivalvos con perforaciones de espongiarios (flecha roja). **E)** Madriguera en donde se observan fósiles, pirita, cuarzo y calcita espar. **F)** Con mayor aumento se observa la recristalización de la micrita en un agregado de cristales de calcita espar de 7 a 10  $\mu\text{m}$ ; además, la presencia de un foraminífero, granos de cuarzo y pirita de tono negros.



nor frecuencia, foraminíferos bentónicos biseriados. Los otros constituyentes son cuarzo (6%), fosfatos (2%), peloides de glauconita (3%) y pirita (1%) (figs. 78B y 78C).

La capa superior es de arenita de cuarzo con textura de arena muy fina, con laminación relictas (fig. 79). Se observan nódulos: madrigueras rellenas que le imprimen a la roca apariencia de brechas; están acompañados de bivalvos *Cucullaea (Noramya) gabrielis* articulados, en volumen, con diámetros up de entre 7 y 10 cm. Hay presencia de glauconita y moscovita como minerales accesorios.

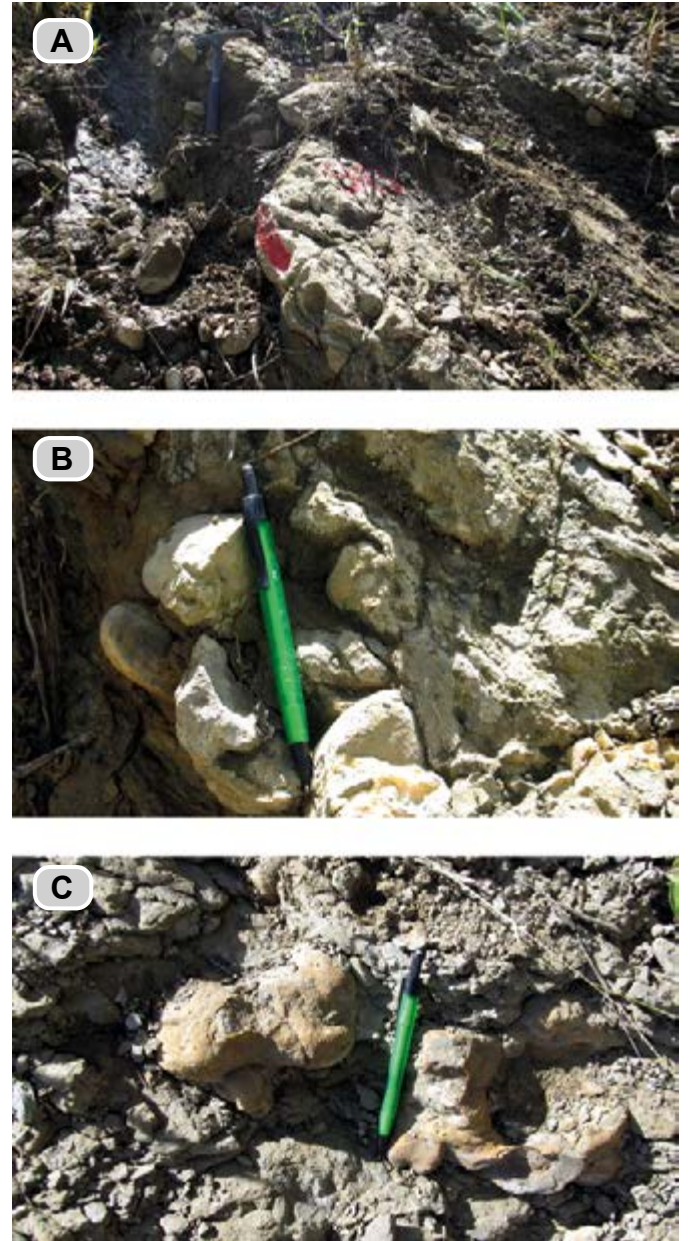
**Conjunto L2 (163-167 m).** Son *mudstone* arcilloso-arenosos grises (N7). Presentan madrigueras aisladas irregulares de tonos naranja-amarillentos (5Y 6/1), con bivalvos *Cucullaea (Noramya) gabrielis* articulados cuyo diámetro up varía entre 7 y 9 cm, trigonias y nódulos irregulares. Se intercalan con horizontes grises (N7), en donde hay concentraciones de bivalvos *Cucullaea (Noramya) gabrielis*, articulados, con diámetro up de hasta de 9 cm (fig. 80).



**Figura 79.** A) Arenitas de cuarzo con textura de arena muy fina; presencia de bivalvos articulados con diámetro up de 7 a 9 cm. Nótese los seudonódulos flotantes en la roca. B) Con mayor detalle se observan los bivalvos *Cucullaea (Noramya) gabrielis* (punta del martillo) y los seudonódulos (metro 164).

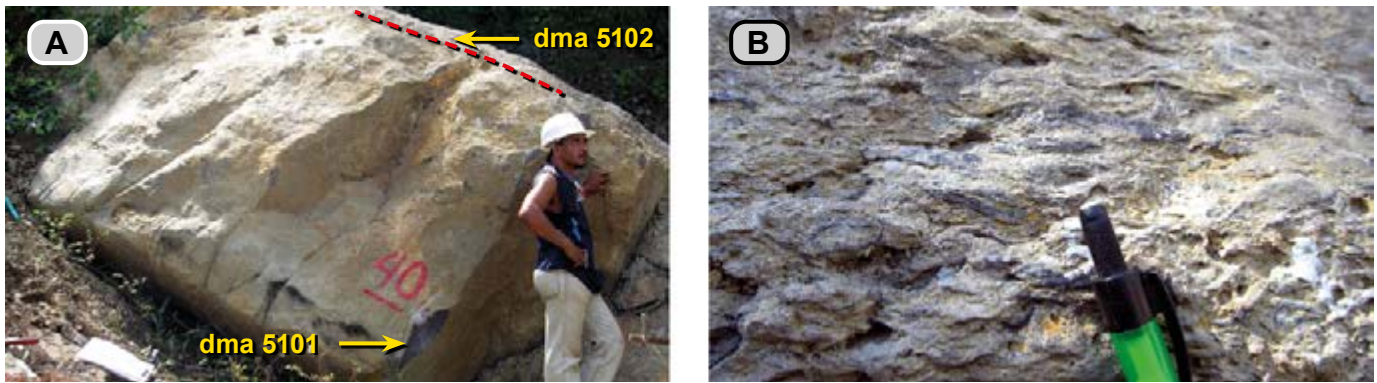
A continuación se relacionan las muestras con estos bivalvos: **dma 5100, dma 5142, dma 5144:** *Cucullaea (Noramya) gabrielis* (LEYMERIE, 1842). Los bivalvos recuperados de la muestra **dma 5143** son *Trigonia (Buchotrigonia) abrupta* (VON BUCH, 1839).

**Conjunto L3 (167-169 m).** Está constituido por una arenita de cuarzo de textura muy fina, gris oscura (N3). En su techo, y en contacto neto, hay un *packstone* de bivalvos (**dma 5102**) en el que las conchas están tanto articuladas como desarticuladas, y cuyos diámetros up varían entre 2 y 4 cm, orientadas paralelas a  $S_0$  (fig. 81).



**Figura 80.** A) Afloramiento del conjunto L2. Son *mudstone* arcillosos-arenosos, grises, intercalados con dos horizontes con concentraciones de bivalvos articulados. B) Detalle de la acumulación de bivalvos articulados con diámetro up de 9 cm. C) *Mudstone* arcillosos con presencia de madrigueras con extensiones laterales en su parte inferior, a modo de raíces, en tono naranja amarillento (10YR 6/6) (metro 162).

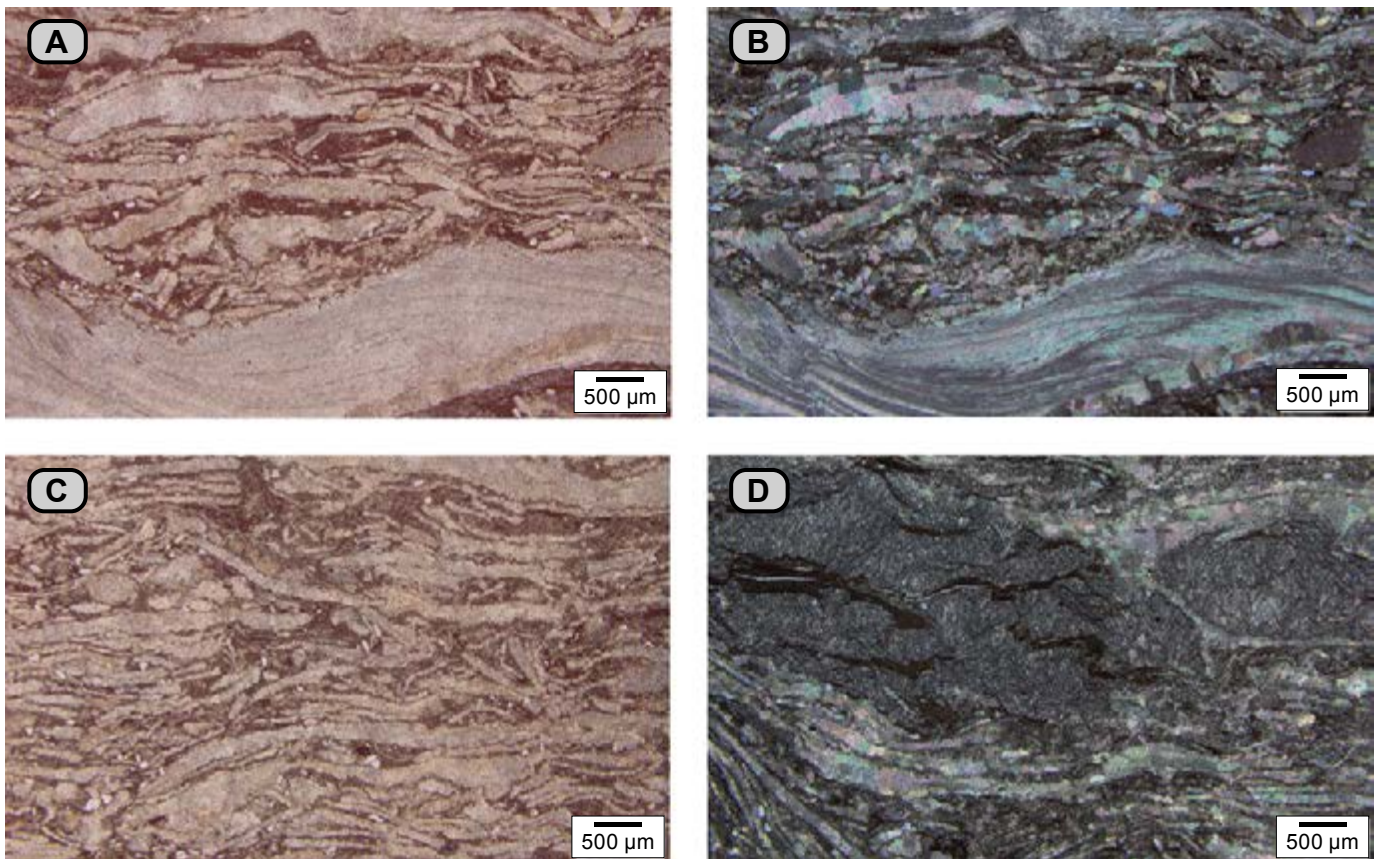




**Figura 81.** A) Metros superiores del conjunto L3 (metro 174). De manera neta sobre un paquete de *mudstone* arcillosos aflora una arenita de cuarzo de textura muy fina que es suprayacida por una caliza *packstone* de bivalvos. B) Detalle de la caliza *packstone* (**dma 5102**); se observan conchas de bivalvos desarticulados paralelos a  $S_0$ ; algunos bivalvos conservan sus conchas articuladas.

La arenita de cuarzo tiene textura arena muy fina y se presenta con cemento calcáreo (**microfacies  $\Delta$** ) (**dma 5101**). En el microscopio muestra bioturbación homogénea; sin embargo, se presentan laminillas oscuras constituidas por arcilla. Estos son los porcentajes del armazón: cuarzo (53%), presente en granos subangulares y equidimensionales; fragmentos fósiles indiferenciados con textura de arena muy fina (6%); granos de glauconita y feldspatos como trazas. El cemento es esparítico y representa un 33%.

La caliza *packstone* (**dma 5102**), en el microscopio se identifica como una biomicrita empaquetada (**microfacies A**) (**fig. 82**). Está compuesta por conchas de bivalvos (79%) desarticuladas, con texturas que varían desde arena gruesa hasta centimétricas; en general se presentan con su dimensión mayor paralela a  $S_0$ ; algunas de estas conchas corresponden a grifeidos. Las conchas de bivalvos muestran su ornamentación original o están esparitizadas. Entre las conchas se observan cristales de calcita (13%) que se disponen de la



**Figura 82.** *Packstone* de bivalvos (**dma 5102**), en el microscopio se identifica como una biomicrita empaquetada. A) Acumulación de conchas de bivalvos dispuestas paralelamente a  $S_0$ ; entre ellas se observa, en tono rojo pardo, arcilla. B) Misma fotografía de A hecha con nicols cruzados; se observan los diferentes estados de esparitización de las conchas; en la parte inferior de la fotografía se observa la ornamentación original de una concha. C) Se observa la disposición de las conchas de bivalvos en otro sector de la placa; nótese los diferentes tamaños de las conchas y la disposición de la arcilla en abrigos. D) Con mayor aumento se observan las estructuras como en cono entre conchas de bivalvos; los cristales de calcita que forman las estructuras como en cono son alargados, con tamaños de hasta 60  $\mu\text{m}$ .



siguiente manera: **a)** en láminas constituidas por cristales de calcita alargados con tamaño de 60  $\mu\text{m}$ , que forman estructuras como en cono; **b)** láminas constituidas por cristales de calcita, con tamaños de hasta 12  $\mu\text{m}$ , en ocasiones disgregados. La arcilla (6%) se presenta en tono pardo rojizo.

**Intervalo estratigráfico M (169-177 m).** En este intervalo siliciclástico se diferencian dos conjuntos. El inferior (conjunto M1) forma entrada en el perfil topográfico y está constituido por *mudstone* arcillosos que gradan al conjunto superior (conjunto M2), representado por arenitas de cuarzo que generan un resalte en el perfil topográfico y que hacen parte de la tercera cornisa (**fig. 8**).

**Conjunto M1 (169-174 m).** Está parcialmente cubierto. Son *mudstone* arcillosos grises (N4), en ocasiones arenosos, de cuarzo. Presentan venillas de óxidos de colores entre naranja y amarillo oscuro (10YR 6/6), que atraviesan las rocas en diferentes direcciones; alternan con esporádicas capas delgadas de arenitas de cuarzo de grano muy fino, moscovíticas, que se hacen más constantes hasta llegar a las arenitas.

En los *mudstone* arcillosos se observa una lámina de 10 cm constituida por bivalvos con diámetro up de 5 mm, que corresponden a *Corbula sp.* (**dma 5399**).

A continuación se describirán los segmentos estratigráficos V, VI y VII, presentes en la ribera norte del río Sogamoso, donde corta el cerro La India (Tablazo, plancha del IGAC).

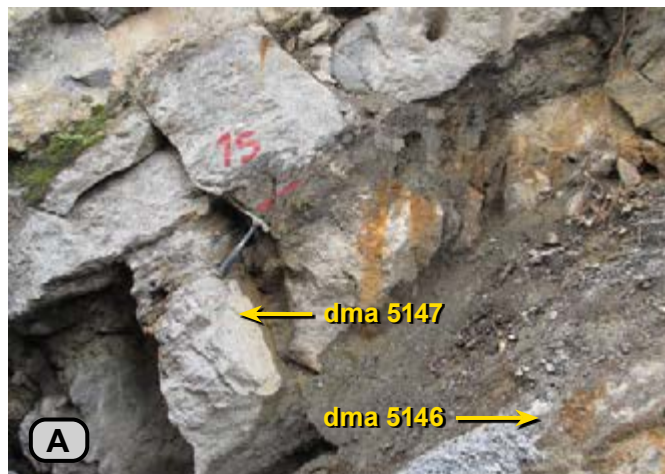
**Conjunto M2 (174-177 m).** Es una sucesión siliclástica representada por arenitas de cuarzo dispuestas en capas gruesas con formas planas paralelas (**fig. 83A**), que termina en una capa de arenita fosilífera. Entre los contactos hay superficies levemente onduladas e irregulares, paralelas a  $S_0$ , que semejan contactos probablemente por *solution pressure*.

Hacia la parte baja, las arenitas son de cuarzo, de textura muy fina y color gris (N4, 5GY 4/1), tienen laminación plano-paralela a inclinada (**dma 5146**). Las láminas están definidas por la presencia de materia orgánica que aporta el tono gris oscuro; también presentan, por bioturbación, sectores con moteado entre indistinto y homogéneo (**fig. 83B**).

Hacia la parte superior del conjunto, las arenitas son de cuarzo con textura de arena fina, fosilíferas (**dma 5147**). Se reconocen conchas de bivalvos con diámetro up de 2 a 4 cm, articuladas y desarticuladas, de color negro o blanco; también hay presencia de glauconita (**fig. 83C**).

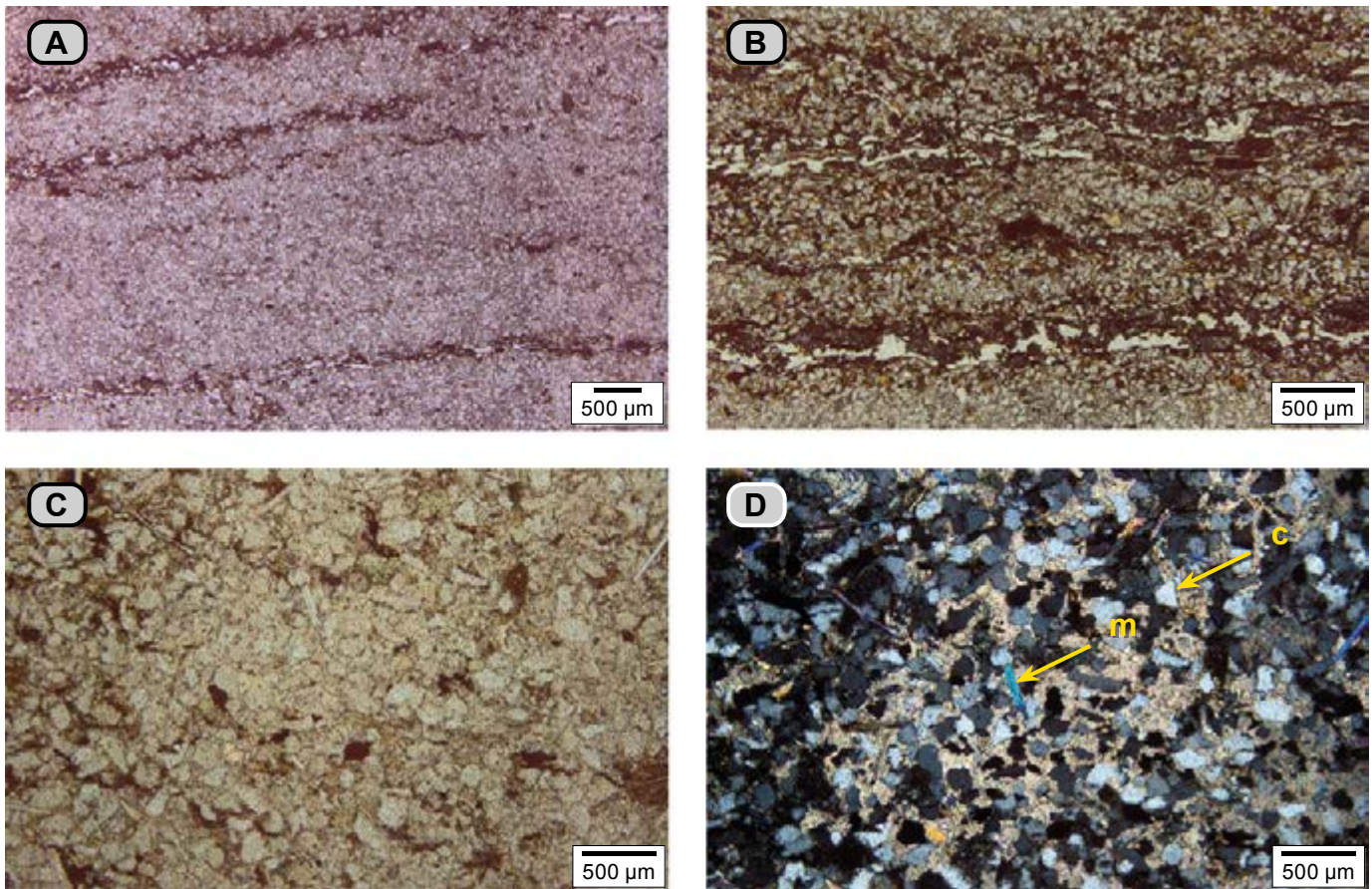
Con el microscopio, se observa una alternancia de láminas de arenitas de cuarzo de textura muy fina y limolitas de cuarzo, que a su vez son separadas por láminas muy delgadas de arcillas con materia orgánica (**dma 5146**). Las láminas muestran cemento calcáreo (29%), y otras, matriz de lodo calcáreo (11%), lo que explica los tonos claros y oscuros

de la roca (**microfacies  $\epsilon$** ). En otros sectores de la roca, la laminación está destruida por la bioturbación (moteamiento distinto) (**fig. 84**).



**Figura 83.** Conjunto M2. **A)** En la parte inferior del afloramiento se observan arenitas de cuarzo en capas gruesas (metros 175 a 177). **B)** Arenita de cuarzo con bioturbación; se observa moteado indistinto en tonos verdosos (señalados por la flecha amarilla) y tonos grises claros. **C)** Arenita de cuarzo con textura de arena fina, fosilífera, en la que se observan las conchas articuladas reemplazadas por calcita espar, y las conchas desarticuladas de tono negro. **Nota:** de aquí en adelante, las fotografías de afloramiento corresponden a la ribera norte del río Sogamoso, cuando el río corta el cerro La India o Tablazo.

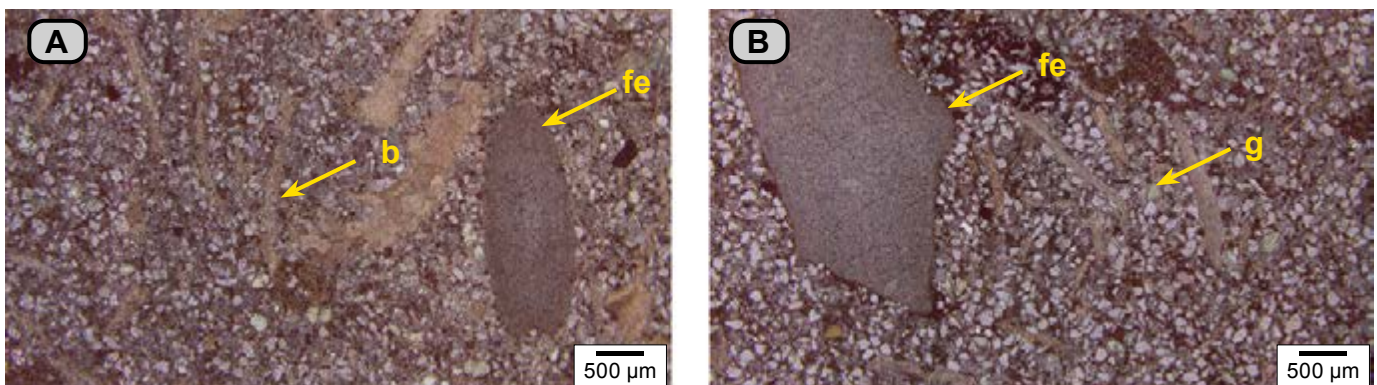




**Figura 84.** Arenitas de cuarzo con cemento calcáreo (**dma 5146**). **A)** Láminas inclinadas de tonos claros por presencia de cemento calcita espar, y láminas oscuras más delgadas cuyo color se debe a la presencia de arcilla y materia orgánica. **B)** Con mayor aumento se observan láminas plano-paralelas; en tonos claros, arenitas de cuarzo de textura muy fina y limolitas de cuarzo; en tonos oscuros arcillosos, con sulfuros asociados. **C)** Fotografía con mayor detalle de un sector bioturbado visto con nicoles cruzados; nótese la presencia de cuarzo (**c**), moscovita (**m**) formando ángulo con  $S_0$ , y cemento esparítico. **D)** Misma figura de **C** fotografiada con nicoles paralelos.

El armazón está constituido por granos de cuarzo (52%) cuya textura varía de arena fina a limo grueso, angulares, con formas elongadas a equidimensionales; moscovita (4%) paralela a  $S_0$ ; además, hay presencia de glauconita (2%) y minerales opacos (1%).

En el microscopio, la muestra **dma 5147** es una arenita de cuarzo de textura fina fosilífera (**microfacies  $\mu$** ); el cemento (42%) es esparítico y en el armazón tiene cuarzo (32%); fósiles (14%), como conchas de bivalvos y fragmentos de equinodermos; moscovita (1%), y peloides de glauconita (5%). Los minerales opacos (4%) que se concentran por sectores corresponden a hematite (color pardo) y pirita (2%) de formas cúbicas y hexagonales (**fig. 85**).



**Figura 85.** Arenitas de cuarzo fosilíferas de textura fina con cemento calcáreo (**dma 5147**). **A)** Se observan, en el armazón, cuarzo y fósiles, en este caso, fragmentos de equinodermos (**fe**) y de conchas de bivalvos (**b**), y pirita. **B)** En otro sector de la sección delgada se muestra la presencia de glauconita (**g**), fragmentos de equinodermos (**fe**) y minerales opacos (hematite).



## Segmento estratigráfico V (177-213 m)

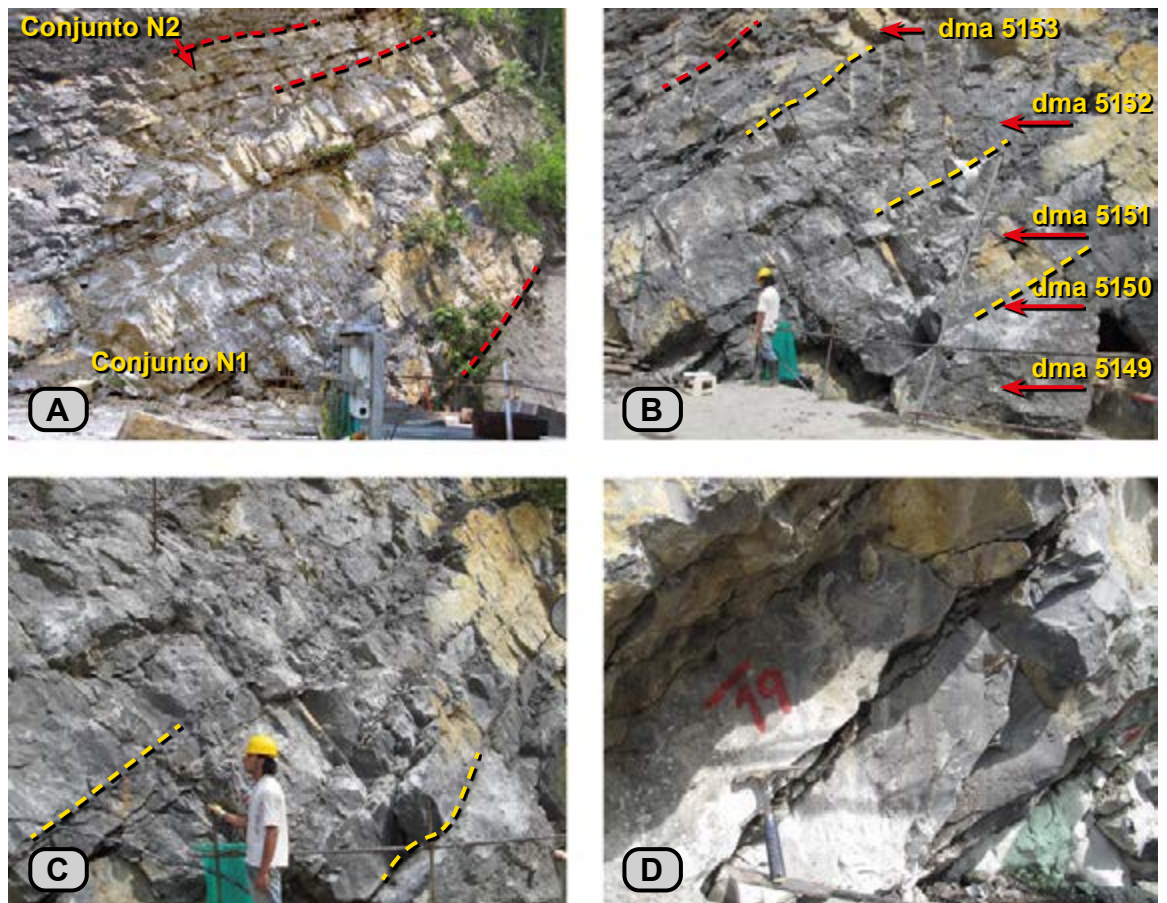
Este segmento genera una cornisa en la topografía (**fig. 8**). Su espesor es de 36 m, y en él pueden diferenciarse dos intervalos estratigráficos: el inferior (N), constituido por calizas *wackestone* predominantes, dispuestas en capas muy gruesas, con formas planas paralelas, y el intervalo superior (O), que presenta calizas *packstone*, con textura que varía de limo a arena muy fina predominantes, en alternancia con arenitas cuyos espesores varían desde delgados a muy gruesos.

**Intervalo estratigráfico N (177-197 m).** Constituido por calizas con diferentes texturas, y con menor frecuencia, arenitas de cuarzo. Son capas muy gruesas y tienen formas planas paralelas. Es notoria la presencia de superficies angulosas paralelas a  $S_0$ , que se asemejan a contactos, interpretados como rasgos suturados, originados posiblemente por *solution pressure*.

**Conjunto N1 (177-193 m).** Se han diferenciado cuatro paquetes compuestos por calizas con texturas *wackestone*, *packstone* y, en menor proporción, *mudstone*, de colores grises (N5-N6) (**fig. 86**).

El primer paquete (176 a 180,5 m) está constituido por dos capas con contactos planos paralelos. En la primera, muy gruesa, la base fosiliza una superficie de erosión; es un *packstone* gris (N4) de bivalvos (**dma 5149**), con conchas distribuidas en dos poblaciones: enteras, con diámetro up de 2 a 9 cm, entre las que se reconocen algunos especímenes de trigonias (*Notoscabrotrigonia*) *tocaimaana* (Lea) (**dma 5143**), y conchas fragmentadas con textura arena gruesa que se disponen en posiciones diversas en relación a  $S_0$ . Por sectores los bivalvos disminuyen su presencia y la roca muestra textura *wackestone*. Sobre la capa anterior sigue una capa gruesa de caliza *packstone* (**dma 5150**), con conchas de bivalvos de tamaños homogéneos, de hasta 2 cm, en general, desarticuladas y paralelas a  $S_0$ .

El segundo paquete (180,5 a 184,5 m) es una capa muy gruesa de forma plana paralela que presenta superficies de separación dentelladas y paralelas a  $S_0$ , que semejan estilolitos irregulares y dibujan una seudoestratificación atribuible a *solution pressure* (**fig. 86**). En estas seudosuperficies se reconocen *Thalassinoides* desconectados. Desde el punto de vista textural se trata de caliza *wackestone* (**dma 5151**) gris (N5), con bivalvos cuya textura varía de gránulo a arena muy gruesa.



**Figura 86.** A) Se observan dos conjuntos, el N1 y N2, limitados por líneas rojas punteadas. En el conjunto N1 se observan tres paquetes conformados por capas muy gruesas, constituidos por *packstone* y *wackestone* (metros 176 a 200). En el conjunto N2 se presentan capas gruesas, plano-paralelas. B) Conjunto N1 con mayor detalle; se observan los cuatro paquetes (entre líneas amarillas punteadas): el primero está constituido por dos capas, mientras que los otros tres corresponden a una sola capa. C) Segundo paquete, en el que se observa la seudoestratificación debido al desarrollo de estilolitos. D) Detalle de las superficies de la figura C, en donde se observa una superficie no continua que corresponde a seudoestratificación.



El tercer paquete (184,5 a 188 m) está formado por *wackestone* (**dma 5152**) gris (N4), con esporádicos bivalvos articulados con diámetro up de hasta 5 cm, y en fragmentos, textura arena mediana. Se destaca como capa muy gruesa, con forma plana paralela (**figs. 86 y 87**), con escasas superficies internas continuas, paralelas a  $S_0$ , con apariencia dentellada, que semeja estilolitos irregulares y que dibuja pseudoestratificación.

Separando el tercero del cuarto paquete, aparecen 40 cm de calizas *packstone* (**dma 5153**) con textura de limo grueso, en capas delgadas planas paralelas (**fig. 87**).

El cuarto paquete (188 a 193 m) está integrado por calizas *mudstone* y *wackestone* con cuarzo (**dma 5112**), grises (N4), con concentraciones locales de bivalvos de 4 a 5 cm. Se destaca la presencia de un intervalo de 30 cm de espesor con

madrigueras de aspecto trenzado, paralelas a  $S_0$ , rodeadas de material fino negro laminado (**fig. 87**).

A continuación se hace la descripción petrográfica de los paquetes de calizas del conjunto N2. Con el microscopio se identifican seis tipos de microfacies, reconocidas por la naturaleza y el arreglo de los constituyentes (**fig. 88**):

**Packstone (dma 5149)**. En el microscopio se identifica como bioesparita pobremente lavada con bivalvos (**microfacies E**). El armazón está constituido por fósiles (69%) y cuarzo (6%). El material que rodea el armazón (23%), es un agregado equigranular de cristales de calcita con tamaño de 38  $\mu\text{m}$ , que crecen a partir de los bioclastos, el tamaño de los cristales varía entre 12  $\mu\text{m}$  y 7  $\mu\text{m}$ . Los constituyentes menores son minerales opacos (2%), peloides de glauconita y moscovita (**fig. 88A**).

Los fósiles son fragmentos de conchas de bivalvos y equinodermos que presentan varios rangos de tamaños: 300-450  $\mu\text{m}$ , 640-718  $\mu\text{m}$ , 1.400-3.200  $\mu\text{m}$  y > 5.100  $\mu\text{m}$  (**fig. 88A**). Las conchas de bivalvos tienen disposición oblicua o paralela a  $S_0$ , están articuladas o desarticuladas, y además algunas tienen reemplazamiento por esparita, mientras otras conservan la estructura original; algunas presentan silicificación. Se observan espinas y fragmentos de placas de equinodermos con tamaños de hasta 2.000  $\mu\text{m}$ .

Se observan estilolitos con un ancho de hasta 1.000  $\mu\text{m}$ , en los que se concentran cuarzo y cristales rómbicos (7%) de carbonato de calcio (dolomita) (**fig. 89B**). En algunos sectores de la placa se observa, entre el armazón, cemento de óxidos de hierro (**fig. 89B**).

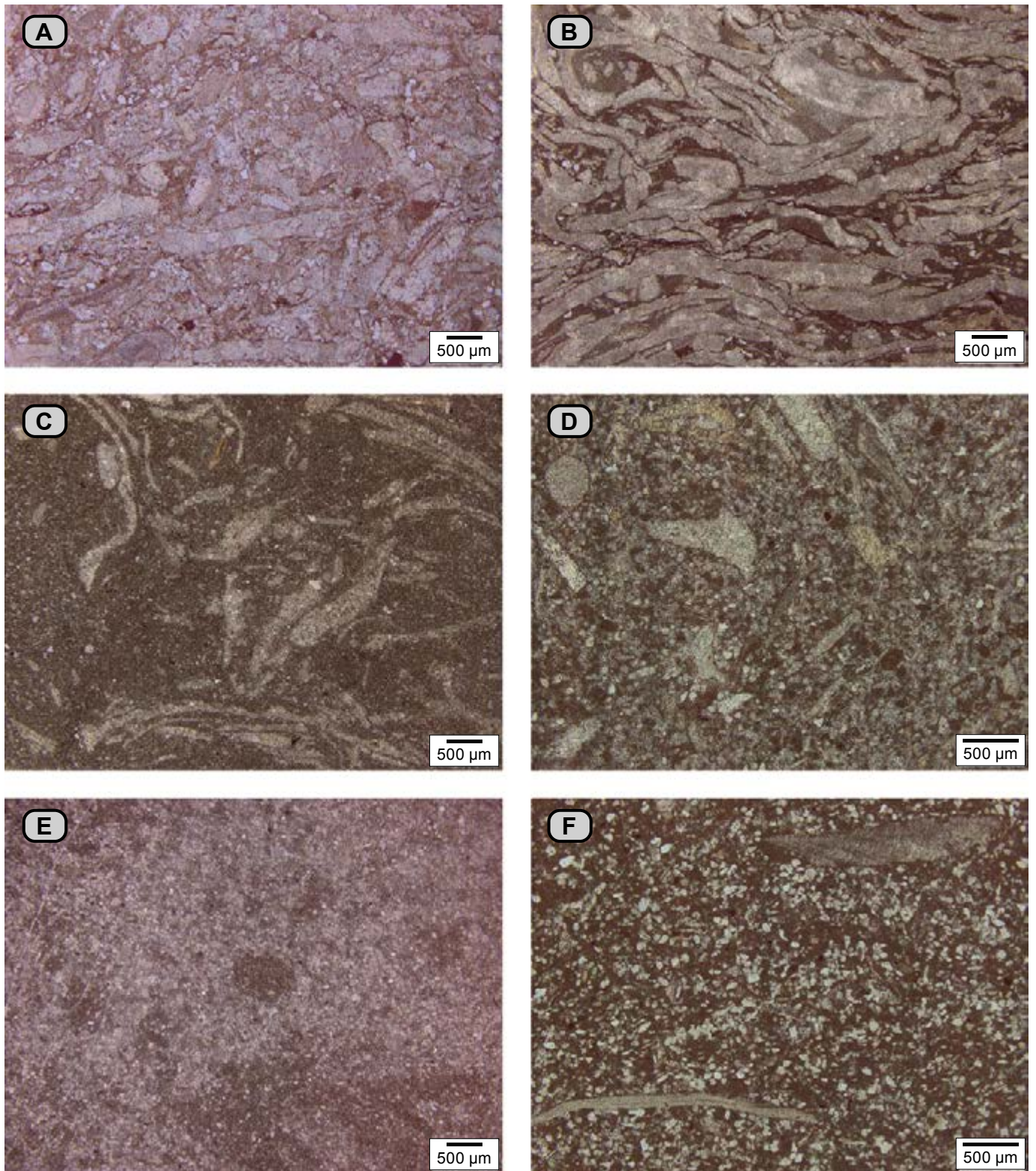
**Packstone (dma 5150)**. En el microscopio se identifica como biomicrita empaquetada (**microfacies A**). El armazón está constituido por conchas de bivalvos desarticuladas (70%), con arreglo paralelo a  $S_0$ . Las conchas tienen dos tamaños: 2 mm y con textura de arena gruesa (**figs. 88B y 89C**); también se observan fragmentos de colonias de briozoarios; son vueltos por micrita (25%), con neomorfismo. Además, se observan cuarzo (1%) y cristales rómbicos de dolomita (4%).

**Packstone (dma 5153)**. Es una roca con textura de limo grueso, está bioturbada con sectores claros y oscuros y se identifica como una biomicrita empaquetada. En los sectores oscuros se reconocen, entre los fósiles (52%), espículas de espongiarios y cortes transversales u oblicuos de ellas, y fragmentos calcáreos indiferenciados, cuya textura varía de arena muy fina a limo. Estos elementos están envueltos por



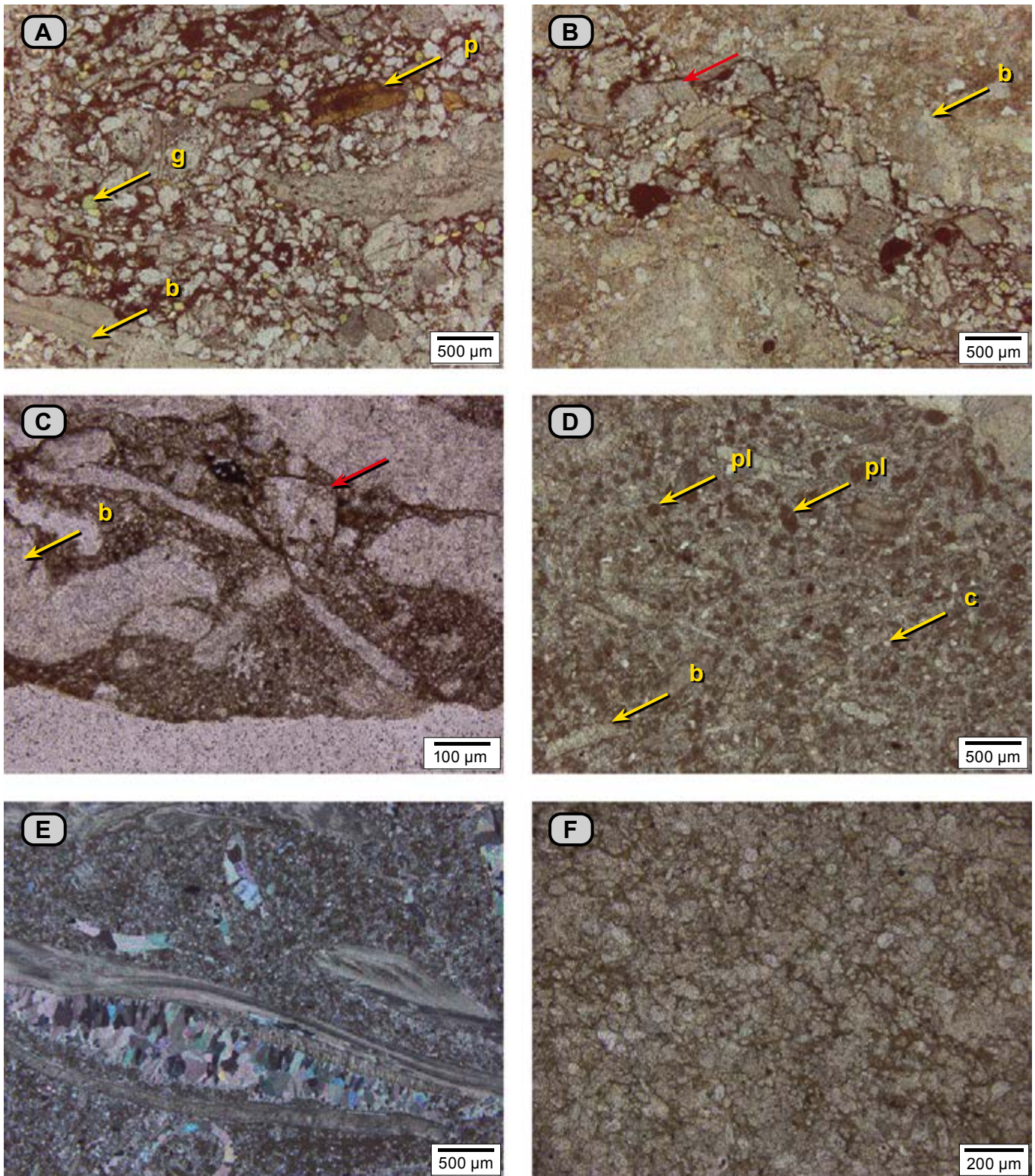
**Figura 87.** Conjunto N. **A)** Se observa el tercer paquete, constituido por una capa muy gruesa de *wackestone*, con esporádicas superficies discontinuas paralelas a  $S_0$ , interpretadas como superficies resultado de la presión (metros 184 a 189). **B)** Tercero y cuarto paquete, separados por 40 cm de *packstone* con textura de limo y *mudstone* calcáreos en capas delgadas (recuadro amarillo). El cuarto paquete es una caliza con textura de *packstone*; nótese un horizonte de *Thalassinoides* paralelos a  $S_0$  (metros 183 a 186). **C)** Detalle del recuadro amarillo en **B**: son *mudstone* de carbonatos negros separados por caliza *packstone* con textura de limo en capa delgada (metro 188).





**Figura 88.** Espectro textural de las calizas del conjunto N1. **A)** *Packstone* (**dma 5149**). Es una bioesparita pobremente lavada mal sorteada con bivalvos (**microfacies E**); obsérvense los tamaños de los fragmentos de conchas de bivalvos y de equinodermos, que abarcan desde 300 µm hasta 3 cm; su orientación es paralela u oblicua a  $S_0$ . **B)** *Packstone* (**dma 5150**). Biomicrita empaquetada con bivalvos (**microfacies A**); nótese las conchas de bivalvos orientadas paralelamente a  $S_0$ , envueltas por micrita. **C)** *Wackestone* (**dma 5151**). Biomicrita rala (**microfacies 7**), con conchas de bivalvos cuyas texturas varían de arena mediana a gránulo, con disposición paralela u oblicua a  $S_0$ . **D)** *Wackestone* (**dma 5152**). Se identifica como biopelmicrita (**microfacies 8**) y está compuesta por conchas de bivalvos y equinodermos cuya textura varía de fina a gruesa; hay peloides de micrita; nótese los cristales de calcita espar a modo de enrejado. **E)** *Packstone* (**dma 5153**). Biomicrita empaquetada con restos de espongiarios (**microfacies F**); nótese la bioturbación en sectores oscuros y claros. **F)** *Wackestone* de textura muy fina, con cuarzo (**dma 5112**). Biomicrita rala con restos de espongiarios y otros fósiles con cuarzo (**microfacies 9**); los fósiles son espículas de espongiarios, fragmentos de bivalvos con tamaños de alrededor de 500 µm y ocasionalmente 1 mm, y fragmentos de placas de equinodermos.





**Figura 89.** **A)** *Packstone* (dma 5149, microfacies E). Sector de la sección delgada, donde los óxidos de hierro son el material cementante; el armazón está constituido por conchas de bivalvos (b) y cuarzo; hay restos de fragmentos fosfatizados (p) y glauconita (g). **B)** *Packstone* (dma 5149, microfacies E); se observa estilolito con cristales de dolomita (flecha roja), cuarzo y minerales opacos (pardo rojizo, posiblemente hematite); nótese los fragmentos de bivalvos (b) como constituyente principal de la roca. **C)** *Packstone* (dma 5150, microfacies A); detalle para ilustrar los fragmentos de bivalvos (b), cristales de dolomita (flecha roja) y espícula de equinodermo, rodeados por micrita (tonos pardos oscuros). **D)** *Wackestone* (dma 5152, microfacies 8); se identifica como biopelmicrita con recristalización; obsérvense los fragmentos de bivalvos (b) y espículas de espongiarios cuya textura varía de media a gruesa, con bordes redondeados y bordes micritizados; peloides de micrita (pl) y cuarzo (c); nótese los cristales de calcita espar a modo de enrejado **E)**. *Wackestone* (dma 5152, microfacies 8); detalle para ilustrar un bivalvo con parte de su ornamentación. **F)** Detalle de un *packstone* (dma 5153, microfacies F) para mostrar espículas de espongiarios y fragmentos calcáreos no identificados.



cemento esparítico (34%), que rellena zonas bioturbadas, y micrita (12%). En menor proporción se presentan peletoides (2%) y hay trazas de glauconita y minerales opacos (figs. 88E y 89F). En las partes oscuras, los mismos fósiles alcanzan el 74%, la matriz de lodo calcáreo, el 18%, y el cemento espar, el 8%, y se denomina biomicrita empaquetada (**microfacies F**). Los fósiles están constituidos por **a**) espículas de espongiarios y cortes de ellas (Scholle y Ulmer Scholle 2003, 95; Flügel 2010, *plate 78*); y **b**) fragmentos calcáreos indiferenciados, cuya textura varía de arena muy fina a limo, separados entre sí por laminillas de lodo calcáreo.

**Wackestone (dma 5151)**. En el microscopio se identifica como biomicrita rala (**microfacies 7**). Se reconoce micrita (59%) con neomorfismo, con formación de agregados de cristales cuyos tamaños varían de 8 a 10  $\mu\text{m}$ . Los fósiles (40%) son conchas de bivalvos con dos orientaciones: paralelas y oblicuas a  $S_0$ ; sus tamaños oscilan entre arena gruesa y gránulo (4 mm). Además, hay trazas de pirita (0,7%) (fig. 88C).

**Wackestone (dma 5152)**. En el microscopio se identifica como biopelmicrita (**microfacies 8**). Los bioclastos (38%) tienen dos poblaciones de tamaño: textura que fluctúa entre arena muy gruesa y arena mediana, y centimétrica, que corresponden a conchas de bivalvos, fragmentos de equinodermos, foraminíferos y restos de serpulidos. Las espículas de espongiarios, con sus bordes micritizados, tienen texturas desde limo hasta arena muy fina (figs. 88D, 89D y 89F). Hay presencia de peloides de micrita (11%) y algunos coprolitos de crustáceos. El cuarzo alcanza el 1%. Los bioclastos, así como los peloides, están envueltos por micrita (20%) de tonos pardo y por cemento (30%) de tonos claros, que en general los encierran a modo de una malla. Se observan estilolitos de gran amplitud.

Los bioclastos son conchas de bivalvos cuyos tamaños varían desde 1 hasta 4 mm; están desarticuladas, unas muestran reemplazamiento por esparita, mientras que otras conservan su ornamentación original. También se observan valvas con perforaciones de espongiarios y, menos frecuentemente, con silicificación.

Los peloides de micrita (73 a 142  $\mu\text{m}$ ) en ocasiones tienen en su núcleo fragmentos de fósiles o de cuarzo.

**Wackestone con cuarzo (dma 5112)**. En el microscopio se identifica como una biomicrita rala con espongiarios y cuarzo (**microfacies 9**). Los componentes son fósiles (28%) y cuarzo (24%), todos englobados en micrita (44%) con recristalización (fig. 88F). Los fósiles están representados por espigas de espongiarios, fragmentos de bivalvos desarticulados cuya textura varía entre arena mediana y gruesa, y fragmentos de equinodermos con tamaños de 150 a 200  $\mu\text{m}$ . Como constituyentes accesorios aparecen glauconita, pellets de micrita y minerales opacos. Se observa una madriguera con desarrollo de *spreite*.

**Conjunto N2 (193-197 m)**. En este conjunto, si se compara con el anterior, el grosor de las capas disminuye. La capa in-

ferior es una caliza *packstone* (**dma 5154**) con bivalvos centimétricos de conchas gruesas esparitizadas y con fragmentos de bivalvos con textura de arena gruesa.

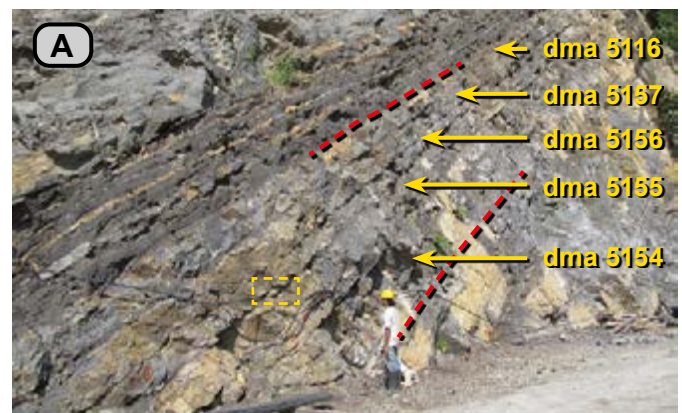
Las capas que la suprayacen tienen como característica distintiva la variación textural vertical en cada capa; en general, en una misma capa se pasa de texturas *wackestone* (**dma 5155**) a texturas *packstone* (**dma 5156**), o de *mudstone* a *packstone*; están intercaladas con capas delgadas y láminas de *mudstone* calcáreos, grises oscuros (N3) (fig. 90).

Las calizas con textura de *packstone* están compuestas por bivalvos de valvas delgadas, cuya textura varía desde gránulo hasta centimétrica, y tienen orientación oblicua a paralela a  $S_0$ . Las texturas *wackestone* corresponden a fragmentos de bivalvos con textura de arena muy gruesa.

Hacia la parte superior (195-197 m) se presentan *mudstone* con alto grado de bioturbación (**dma 5157** y **dma 5116**).

Hay bioturbación manifiesta como madrigueras que producen superficies onduladas con  $\lambda$  de 30 cm, y asociadas a ellas hay concreciones con  $\phi$  máximo de 20 cm (fig. 90B).

En el microscopio las calizas se subdividen en cuatro tipos, por la naturaleza y el arreglo de sus constituyentes (fig. 91):



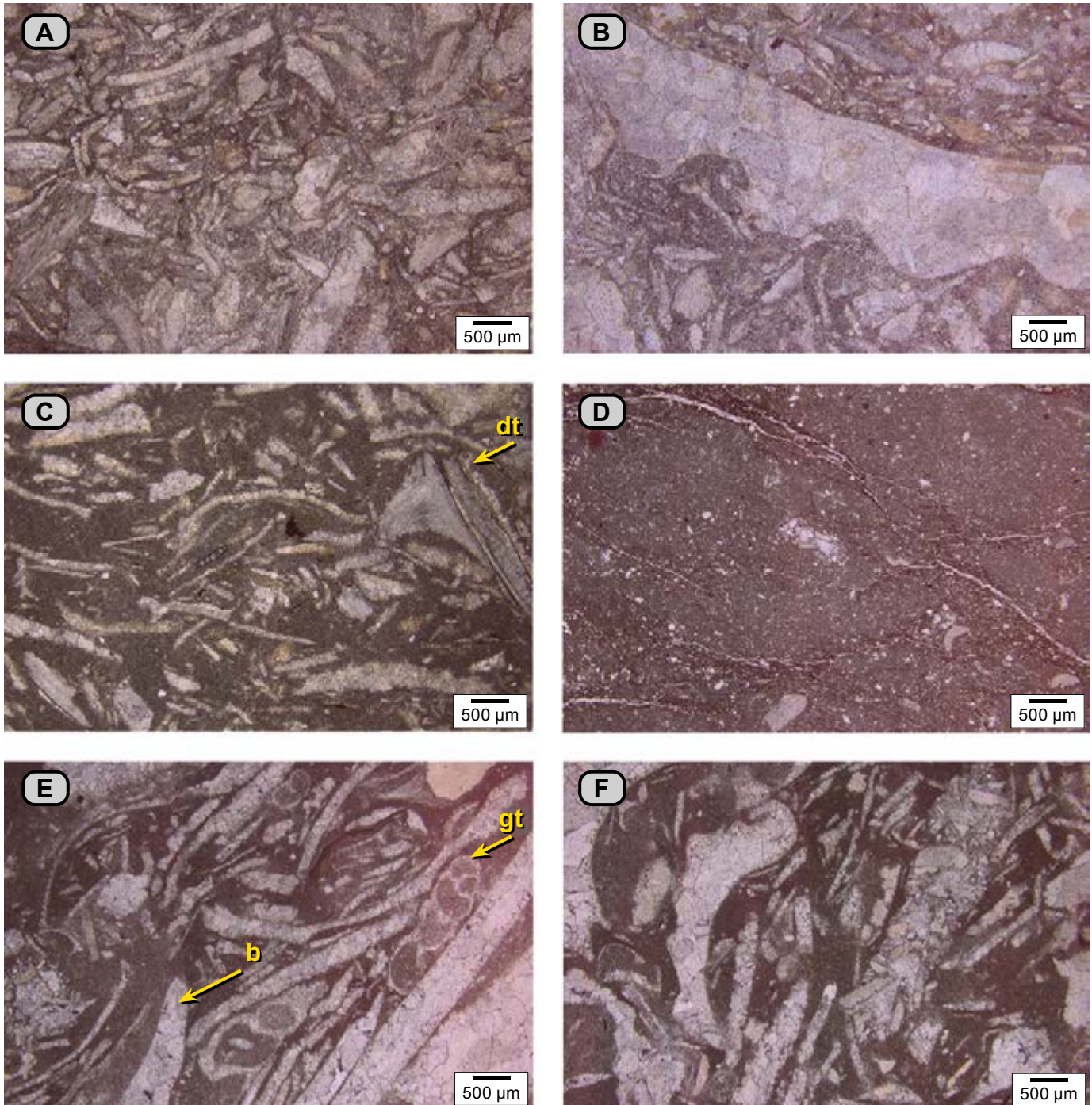
**Figura 90. A)** El conjunto N2 (entre líneas rojas punteadas) suprayace al conjunto N1 e infrayace al intervalo estratigráfico O (de tono gris oscuro). En el conjunto N2 alternan calizas con texturas de *packstone* y *wackestone* de capas gruesas. **B)** En la figura se observa cómo la base de la capa se acomoda a las ondulaciones generadas sobre *Thalassinoides* (metros 193 a 202).



*Packstone* (**dma 5154**). En el microscopio es una biomicrita empaquetada (**microfacies D**), con bivalvos (61%), que en general son fragmentos (textura de arena gruesa); algunos bivalvos están articulados y son centimétricos; las conchas presentan esparitización, conservan su estructura original y otras están silicificadas (**figs. 91A, 91B, 92A y 92B**). La

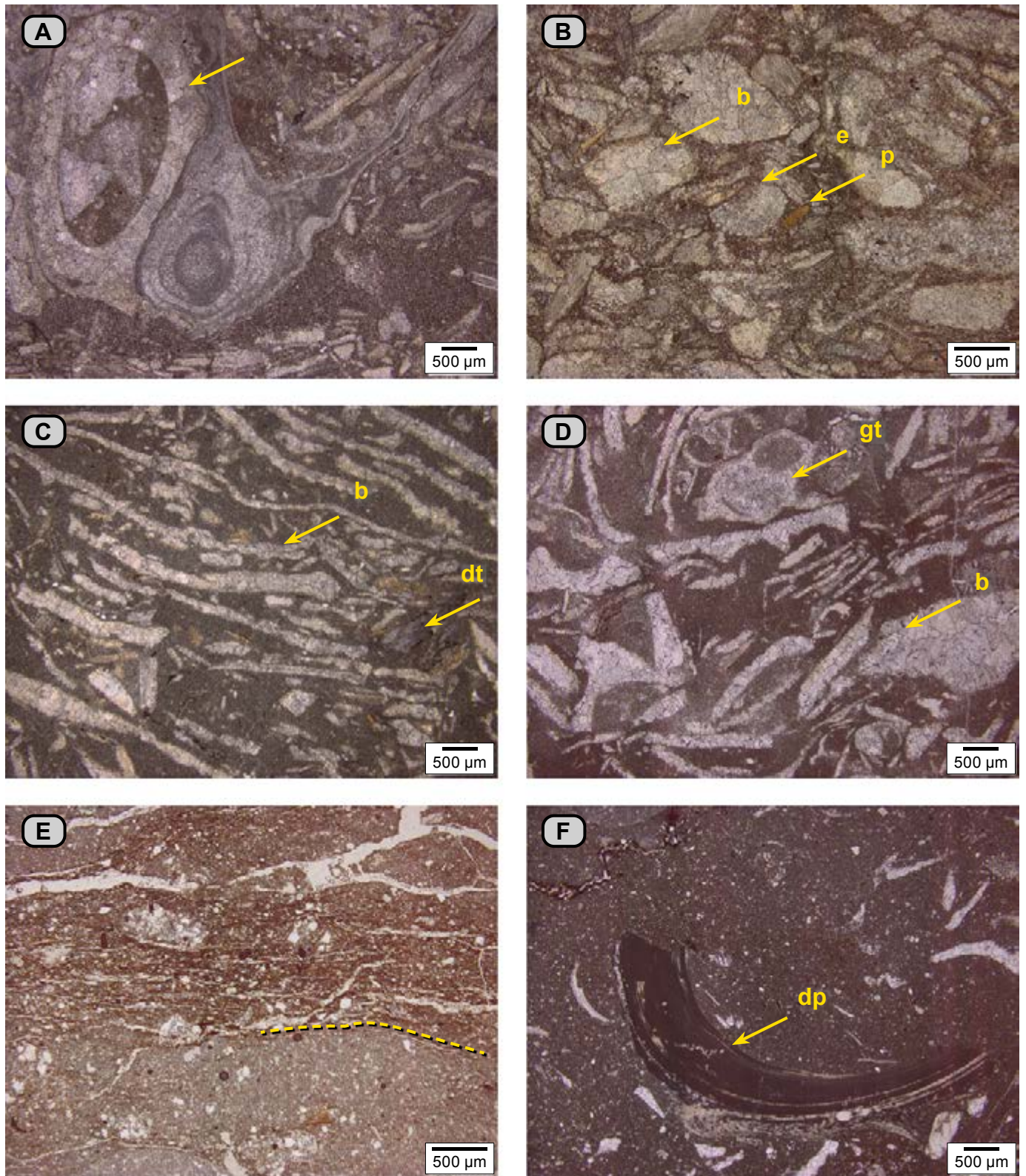
micrita esta recrystalizada a un agregado de cristales de calcita espar de 20  $\mu\text{m}$  (38%) y hay presencia de fosfatos (1%).

*Packstone* (**dma 5156**). Es una biomicrita empaquetada (**microfacies B**) (**figs. 91E, 91F y 92D**). Presenta tamaño más uniforme en los fragmentos fósiles (51%), de los cuales se ven dos pobla-



**Figura 91.** Diferentes tipos texturales de calizas del conjunto N2. **A y B)** *Packstone* con bivalvos cuya textura varía de arena gruesa a centimétrica. Se identifica como biomicrita empaquetada, con mal calibrado (**dma 5154**). Los fósiles son conchas de bivalvos y fragmentos de bivalvos, con orientación paralela y oblicua a  $S_0$ , rodeados por micrita con neomorfismo (**Microfacies D**). **C)** *Wackestone* con bivalvos con textura de arena muy gruesa; se identifica como biomicrita rala (**dma 5155**); los fósiles son fragmentos de conchas de bivalvos; nótese la presencia de un diente de tiburón (**dt**) (**Microfacies 7**). **D)** *Mudstone*; se identifica como micrita fosilífera bioperturbada (**dma 5157**); se diferencian madrigueras rellenas de micrita en un tono más claro; en ocasiones, algunas de ellas tienen una pared de micrita con materia orgánica y óxidos (en tonos pardos oscuros) (**Microfacies VIII**). **E y F)** *Packstone* con bivalvos con textura que varía de arena gruesa a gránulo; se identifica como biomicrita empaquetada (**dma 5156**); los fósiles son conchas de bivalvos (**b**) y gasterópodos (**gt**) envueltos por micrita con neomorfismo bajo, paralelos e inclinados con relación a  $S_0$  (**Microfacies B**).





**Figura 92.** Rasgos texturales del conjunto N2. **A)** Biomicrita empaquetada (**dma 5154**); las flechas amarillas señalan los restos de bivalvos, algunos de concha gruesa. **B)** Nótese los fragmentos de conchas de bivalvos de texturas similares (**b**), espículas de equinodermos (**e**) y fosfato (**p**), envueltos por micrita con neomorfismo, la cual se aprecia como un mosaico de cristales de hasta 9 µm (**dma 5154**). **C)** Biomicrita rala (**dma 5155**); nótese los fragmentos de conchas de bivalvos alargadas (**b**), en su mayoría con reemplazo de esparita, con disposición paralela a  $S_0$ , y un diente de tiburón (**dt**). **D)** Biomicrita empaquetada (**dma 5156**), con fragmentos de conchas de bivalvos (**b**) y de gasterópodos (**gt**), envueltos por micrita con recristalización. **E** y **F)** Micrita fosilífera con bioturbación (**dma 5157**). **E)** Nótese la laminación relictas de micrita en tono pardo oscuro, con materia orgánica y óxidos (demarcada por la línea amarilla punteada), acompañada de fragmentos de cuarzo con textura limo fino. Por debajo de la línea amarilla se observa micrita. En **(F)** se observa micrita, algunas conchas de bivalvos y un diente de pez (**dp**).



ciones en porcentajes similares: texturas entre gránulo y arena muy gruesa, menos frecuentemente tamaños centimétricos (2 cm). Los fósiles yacen oblicuos a  $S_0$  y están representados por conchas de bivalvos esparitizados y por gasterópodos. La micrita (49%) que envuelve los fósiles está recristalizada a un agregado de cristales de calcita con un tamaño máximo de 8  $\mu\text{m}$ .

**Wackestone (dma 5155).** Con el microscopio se identifica como una biomicrita rala (**microfacies 7**) en la que los fósiles alcanzan un 42%, y la micrita, un 58%; sin recristalización. Los fósiles son conchas de bivalvos con estructura original y otras reemplazadas por calcita espar, dispuestas de modo paralelo a  $S_0$ , y con tamaños que varían entre 1.000 y 4.200  $\mu\text{m}$  (**figs. 91C y 92C**).

**Mudstone (dma 5157 y dma 5116).** En el microscopio se identifican como micritas fosilíferas (**microfacies VIII**), con bioturbación entre indistinta y homogénea (**figs. 91D y 92E**). Por sectores se observan madrigueras con pared definida de micrita, materia orgánica y óxidos de hierro. El relleno de las madrigueras es micrita de tono más claro que el de la micrita que rodea las madrigueras.

Los porcentajes de los constituyentes son: micrita, 87%, y fragmentos de bivalvos, 7%; también se observan minerales opacos (5%) y cuarzo (1%).

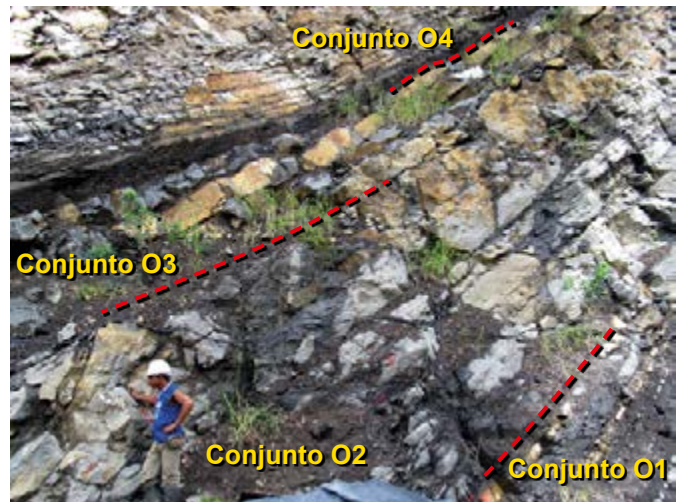
Hay presencia de láminas oscuras de micrita con materia orgánica y con óxidos de hierro. Dichas láminas están acompañadas por fragmentos de cuarzo y moscovita como accesorio.

Los fósiles son conchas de bivalvos con reemplazo a esparita; también se observan algunos dientes de peces (**fig. 92F**).

**Intervalo estratigráfico O (197-211 m).** En este intervalo alternan cuatro conjuntos de naturaleza calcárea y siliciclástica (**fig. 93**): el inferior (O1) es cuarzo arenoso-calcáreo; el conjunto O2 que se le superpone consiste en arenitas de cuarzo distribuidas en capas muy gruesas; el conjunto O3 son calizas wackestone, mientras que el conjunto O4 está conformado por calizas packstone.

**Conjunto O1 (197-199 m).** Este conjunto suprayace de manera neta las rocas del intervalo estratigráfico N, es de color muy oscuro y tiene menor expresión morfológica, comparado con los conjuntos que lo infra y suprayacen. Está conformado por arenitas de cuarzo de textura muy fina, de tonos grises oscuras (N1-N2), laminadas en capas medianas y gruesas, que alternan con calizas mudstone grises (N3), que superficialmente tienen tonos claros (N6), y están dispuestas en capas delgadas de formas plano-paralelas (**figs. 93 y 94**).

El contacto inferior de este conjunto, que coincide con la base del intervalo, es un horizonte de tono pardo de aspecto irregular: presenta protuberancias y surcos que semejan una costra endurecida (*hardground*). Sobre esta superficie también aparecen bolsones de fragmentos arrancados de la superficie superior del *hardground* (**figs. 94C y 94D**).



**Figura 93.** Intervalo estratigráfico O (metros 197 a 210). El conjunto O1 se compone de arenitas de cuarzo laminadas con arenitas arcillosas de cuarzo en capas medianas y gruesas que alternan con calizas mudstone en capas delgadas. El conjunto O2 es una capa muy gruesa de arenita de cuarzo. El conjunto O3 es un intervalo de wackestone y arenitas fosilíferas en capas gruesas. El conjunto O4 se observa como calizas con textura mudstone que alternan con mudstone calcáreos, y que hacia la base han gradado a intercalaciones de calizas packstone.

Las arenitas son laminadas (**dma 5117 y dma 5158**), suprayacen el *hardground* descrito y presentan diferentes rasgos de bioturbación: **a)** madrigueras apretadas (**figs. 94E y 94F**), **b)** laminación relicta, **c)** moteados distintos.

En el microscopio, en las arenitas se observa bioturbación moderada, con láminas irregulares interpretadas así: los tonos oscuros corresponden a arenita arcillosa de cuarzo cuya textura varía de arena fina a muy fina, y en los tonos claros se identifica una arenita de cuarzo con cemento calcáreo y matriz arcillosa (**microfacies  $\pi$** ) (**fig. 95**).

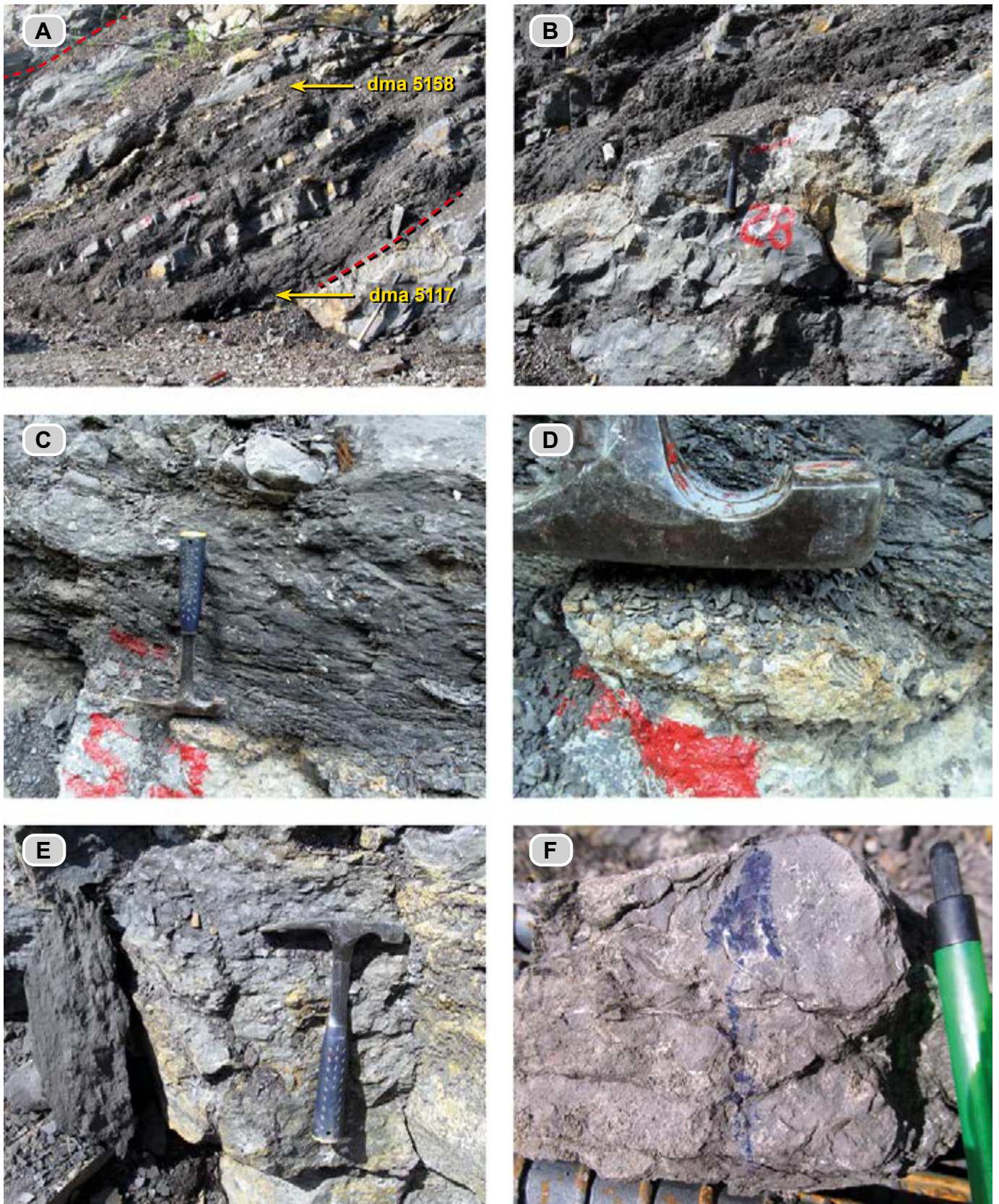
Las láminas oscuras se identifican como arenitas arcillosas de cuarzo, con textura muy fina-limo grueso, con matriz de arcilla de tonos pardos (39%). El armazón es de cuarzo (43%), y los fragmentos de fósiles (10%) corresponden a placas de equinodermos, restos de algas incrustantes y cortes transversales de espículas de espongiarios, glauconita (6%), moscovita (1%) y minerales opacos (2%).

En los sectores claros se observa un armazón constituido por cuarzo (39%), y en cantidades subordinadas, glauconita, feldspatos, plagioclasas y fragmentos de espículas de espongiarios, con cemento calcáreo (46%) y matriz arcillosa (13%). También hay presencia de restos fósiles indeterminados (2%).

**Conjunto O2 (199-205 m).** Este conjunto se describirá con base en los afloramientos de las riberas norte y sur del río Sogamoso, cuando corta el cerro El Tablazo o la India. En la ribera sur (**fig. 96A**) se trata de sola una capa muy gruesa (5,5 m), mientras que en la ribera norte la capa se separa en cuatro cuerpos litológicos (**fig. 93**).

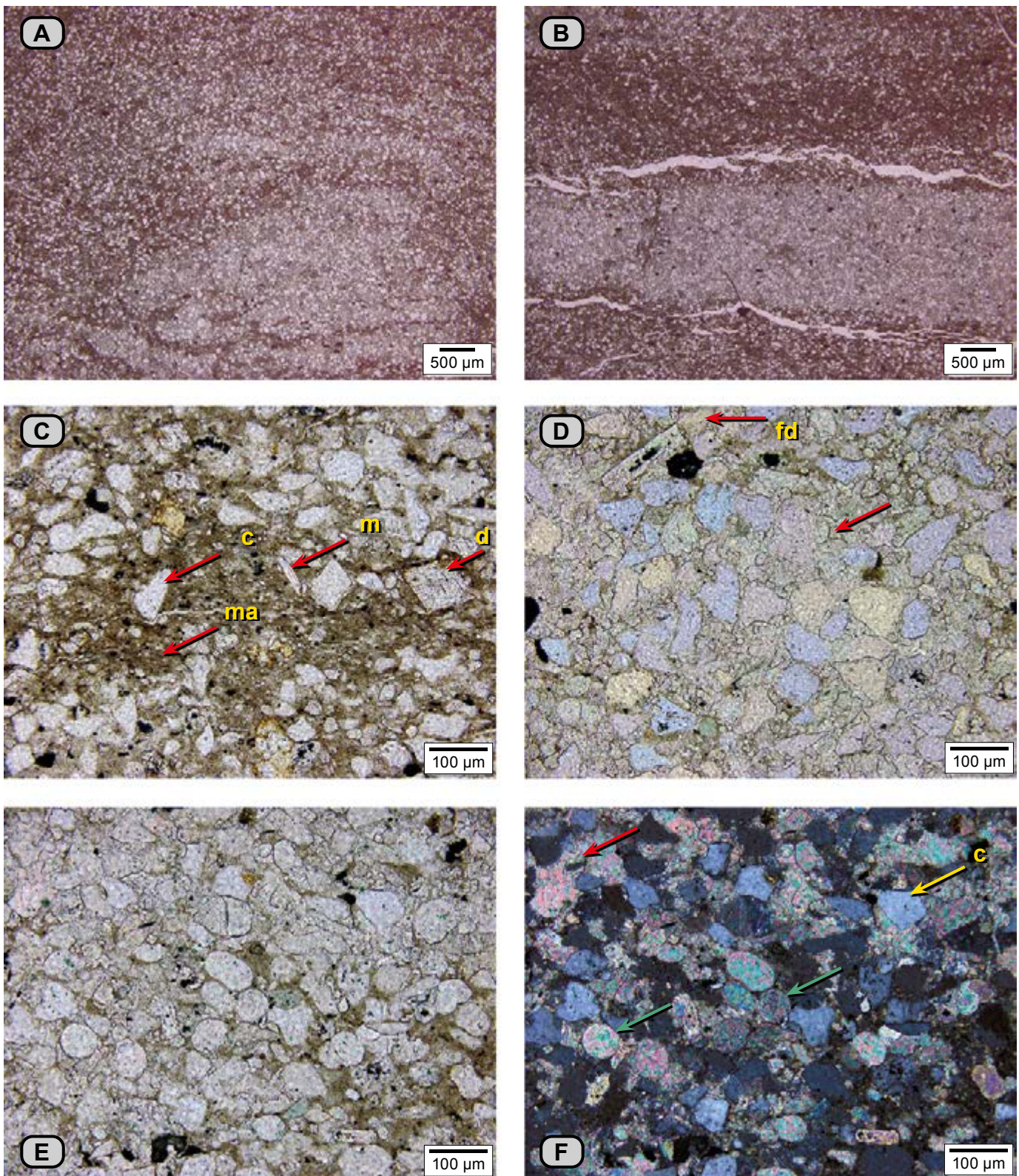
Son arenitas de cuarzo de textura muy fina, grises (N4-N3). La cantidad de bioclastos está entre 2% y 3%. Se observan





**Figura 94.** Conjunto O1. **A)** Alternancia de arenitas grises con textura muy fina y calizas *mudstone* grises claras (metros 197 a 200). **B)** Contacto entre las calizas del conjunto N2 (inferior, bastón 28) y las arenitas arcillosas del conjunto O1 (superior), marcado por una superficie irregular con costra de color naranja amarillento (10YR 6/6), interpretado como un *hardground*, en la fotografía señalado por la cabeza del martillo. **C)** Se observa mayor detalle para mostrar los bolsones de fragmentos del *hardground*. **D)** Se observa mayor detalle de uno de los bolsones de fragmentos; nótese los restos de trigonias. **E)** Arenitas de cuarzo bioturbadas con destrucción de la laminación. **F)** Madrigueras apretadas; se observa una apariencia nodular.





**Figura 95.** A, B, C, D) Aspecto general de la arenita laminada (**dma 5117**) del conjunto O1. **A)** Sector de la sección delgada, con laminación relicta; el tono claro corresponde a una arenita de cuarzo con cemento esparítico y limolitas de cuarzo con lodo calcáreo. **B)** Otro sector de la misma sección delgada, donde se observa la laminación no bioperturbada: láminas claras y oscuras; en las láminas oscuras hay presencia de matriz de arcilla, y en las claras hay cemento calcáreo. **C)** Con mayor aumento se observa una lámina oscura; nótese la matriz de arcilla (**ma**), cuarzo (**c**), moscovita (**m**), cristal rómbico de dolomita (**d**) y sulfuros en color negro. **D)** Con mayor aumento, en una lámina clara se observa cemento calcáreo (flecha roja) que envuelve fragmentos de cuarzo y feldspatos (**fd**); los granos de cuarzo, cuya textura varía de arena muy fina a limo grueso, son equidimensionales y angulares. **E y F)** Lámina clara (**dma 5158**) en la que se observa cemento calcáreo (flecha roja) y matriz arcillosa (pardo oscuro), cuarzo (flecha amarilla), cortes de espículas de espongiarios (flechas verdes) y glauconita. **F)** La misma fotografía anterior, pero fotografiada con nicoles cruzados.





**Figura 96.** Conjunto O2. **A)** Arenita de cuarzo de textura muy fina, en capa muy gruesa (5,5 m), en su afloramiento, en la ribera sur del río Sogamoso, cuando corta el cerro La India o Tablazo. **B)** Bioturbación indistinta a modo de parches de tonos grises claros (N6) y grises oscuros (N3). **C)** Contornos de madrigueras desconectadas (metro 204). **B** y **C)** fotografías tomadas en la ribera norte, donde el río Sogamoso corta el cerro El Tablazo.

moscovita (<1%) y glauconita (2-3%). Por bioturbación se observan relictos de laminación y algunas madrigueras desconectadas con contornos desvanecidos (**figs. 96B** y **96C**). El tope de este conjunto es una capa gruesa de caliza *wackestone*.

En el microscopio se identifican dos tipos de bioturbación: I) entre alta y muy alta, con moteados distinto e indistinto (**dma 5159**, **dma 5160** y **dma 5161**); II) bioturbación completa, es decir, la roca aparece homogénea (**dma 5162**).

En el microscopio, las arenitas de cuarzo de textura muy fina con bioturbación alta (**dma 5159**) (**microfacies  $\pi$** ) presentan sectores claros y oscuros. En los oscuros, que son más frecuentes, el armazón está rodeado por matriz arcillosa, mientras que en los sectores claros el material intergranular es cemento calcáreo con menor presencia de arcilla (**fig. 97**).

El armazón es de cuarzo (52%), son granos subangulares, equidimensionales y subelongados, con textura de arena muy fina y, con menor abundancia, con textura de limo muy grueso. También se presentan glauconita (4%), moscovita (1%), minerales opacos (2%) y trazas de fosfatos. Hay presencia de espículas, fragmentos de placas de equinodermos y briozoarios, así como restos de espículas de espongiarios, que son más frecuentes en los sectores donde hay cemento calcáreo. La matriz es arcillosa (16%), y el cemento (25%) es calcáreo.

En el microscopio, las arenitas de cuarzo de textura muy fina están homogeneizadas por bioperturbación (**dma 5162**). El lodo calcáreo (27%) tiene recristalización incipiente y es de tinte rojizo, y hay presencia de rombos de dolomita entre granos (5%) (**microfacies  $\rho$** ). El armazón está compuesto por cuarzo (54%); además, hay presencia de glauconita (5%), feldespatos y fragmentos de placas y espículas de equinodermos (9%). La moscovita y los minerales opacos aparecen como vestigios (**fig. 97**).

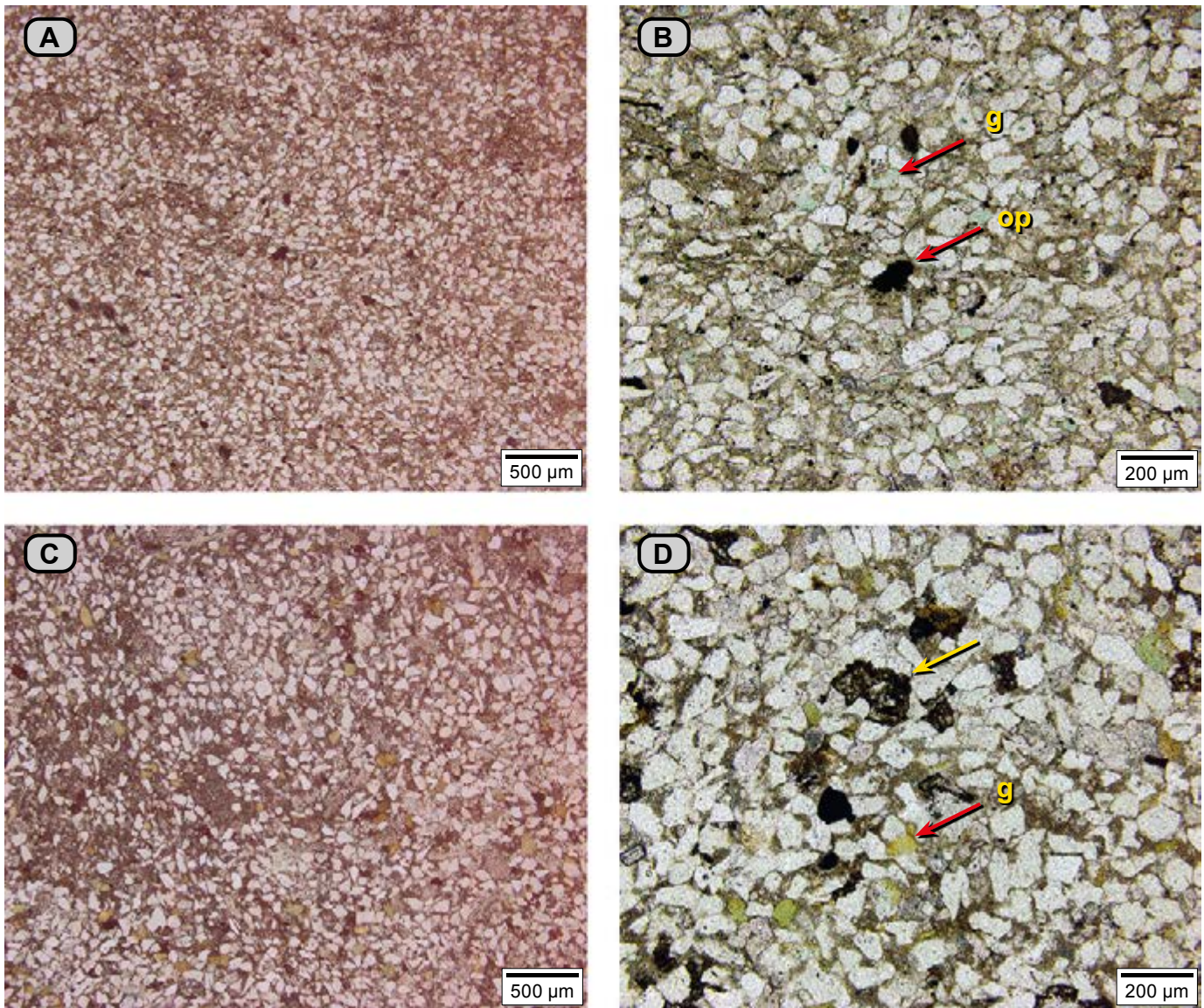
En la placa, el tono pardo rojizo se debe a la oxidación proveniente de los sulfuros de hierro, que le imprimen este tono al lodo calcáreo.

En el techo de este conjunto se observan conchas de bivalvos de colores negro y blanco.

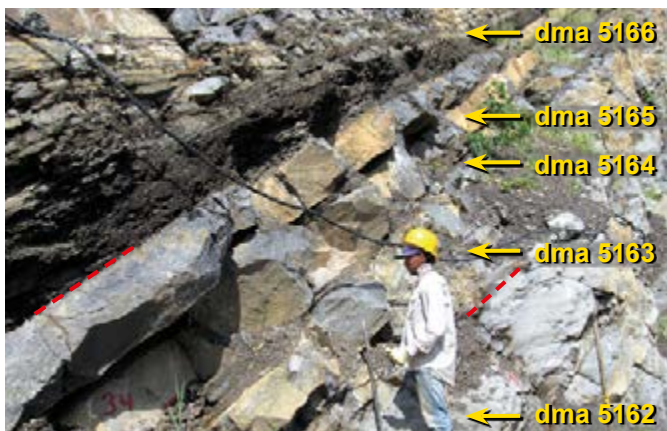
**Conjunto O3 (205-207 m).** En este conjunto las rocas están dispuestas en capas gruesas, plano-paralelas; empieza con calizas con texturas de *wackestone* con cuarzo (**dma 5163**); sobre ellas afloran principalmente arenitas de cuarzo (**dma 5164** y **dma 5165**) de textura muy fina, fosilíferas, con matriz de lodo calcáreo (**fig. 98**).

En el microscopio, la caliza *wackestone* con cuarzo (**dma 5163**) se identifica como una biomicitra rala con cuarzo (**microfacies 5**). La micrita (69%) tiene recristalización y produce un mosaico de cristales con tamaños de hasta 10  $\mu\text{m}$ . El armazón está constituido así: **a)** fósiles (13%), representados por conchas de bivalvos, que están dispuestos de modo perpendicular





**Figura 97.** A) Arenita de cuarzo de textura muy fina con matriz de arcilla (tonos pardos) y cemento calcáreo (tonos claros) (dma 5159). B) Detalle de la figura A para observar a mayor detalle claridad la matriz arcillosa de tonos pardos y el armazón constituido por cuarzo; además, se observa presencia de glauconita (g) y minerales opacos (op) representados por pirita. C) Arenitas de cuarzo de textura muy fina con matriz de lodo calcáreo, con recrystalización incipiente; se observan puntos pardos que corresponden a rombos de dolomita (dma 5162). D) Con mayor aumento se observa el armazón de cuarzo y la micrita (tonos pardos), además de presencia de glauconita (g) y cristales rómbicos de dolomita.

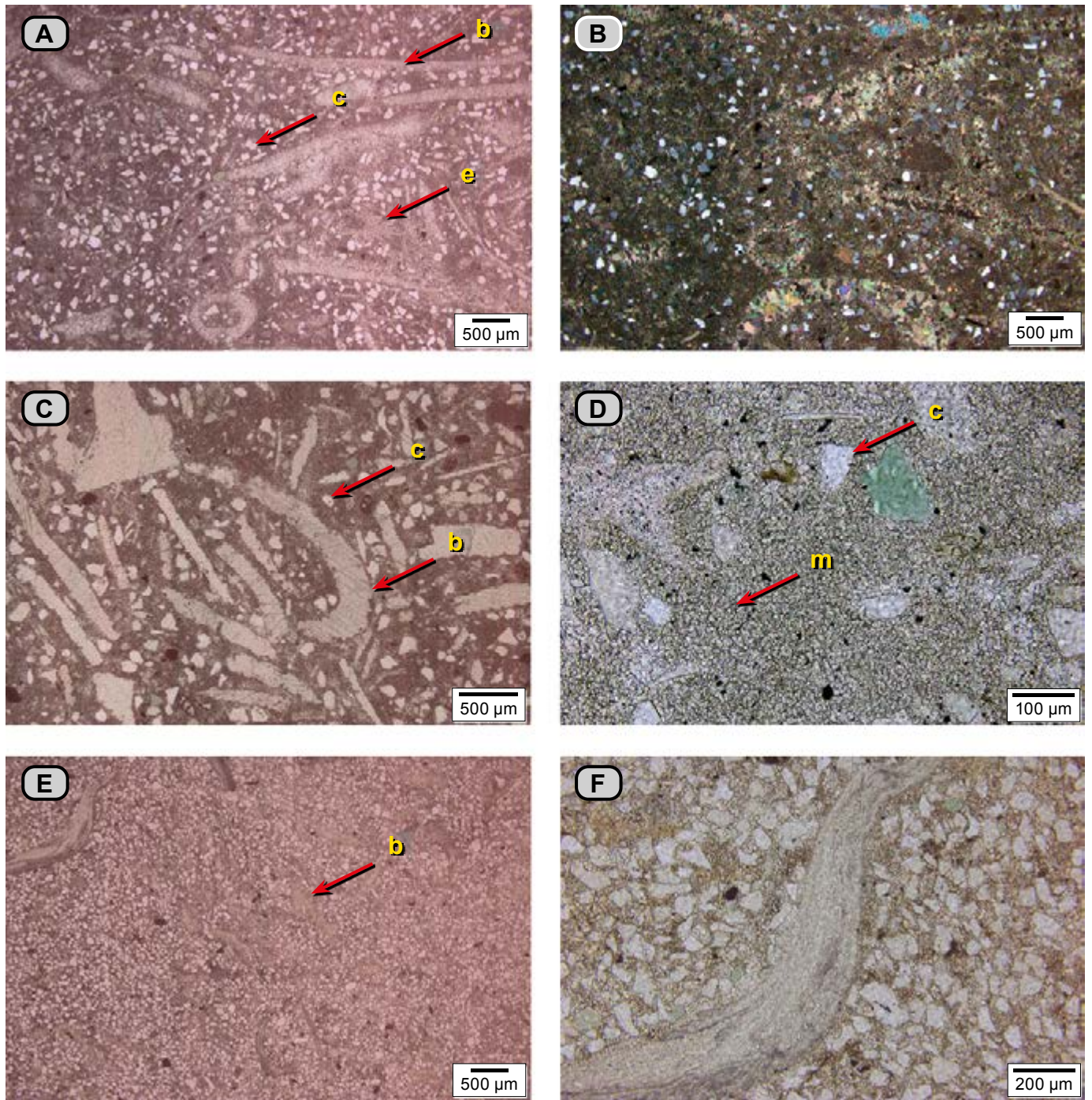


**Figura 98.** Conjunto O3 entre líneas rojas punteadas, constituido por wackestone y arenitas de cuarzo fosilíferas en capas gruesas (metros 204 a 208).

o paralelo a  $S_0$ ; fragmentos de equinodermos, espinas de equinodermos y restos de serpulidos (fig. 99); y b) cuarzo (16%) textura limo grueso y de arena muy fina. Hay glauconita (1%), pirita (1%); como minerales accesorios, feldspatos y fosfatos. Presenta bioturbación alta, con moteado indistinto, lo que da como resultado sectores irregulares oscuros y claros.

En el microscopio, en las arenitas de cuarzo fosilíferas la textura aparece muy fina (dma 5165) (microfacies  $\mu$ ). Las proporciones de los componentes son: cuarzo (57%) y fósiles (11%). Estos últimos están representados por conchas de bivalvos que están predominantemente esparitizadas, y con menos frecuencia aparecen con su estructura original (lamelar). Glauconita (1%), y como minerales traza hay sulfuros y fosfatos. La micrita (31%) forma un mosaico de cristales de hasta 11  $\mu\text{m}$  (fig. 99).





**Figura 99.** Caliza *wackestone* con cuarzo (**dma 5163**), que se identifica como biomicrita rala con cuarzo. **A)** Textura general: el material oscuro es micrita con neomorfismo; se observan fragmentos de cuarzo (**c**) y bioclastos: conchas de bivalvos (**b**) reemplazados por cristales de esparita y espinas de equinodermos (**e**). **B)** La misma fotografía que en **A**, fotografiada con nicoles cruzados. **C)** Mayor detalle de la misma muestra para diferenciar las conchas de bivalvos (**b**), el cuarzo (**c**), la glauconita, los minerales opacos y los fosfatos. **D)** Mayor detalle para observar el neomorfismo de la micrita, que constituye un mosaico de cristales de calcita espar con tamaños entre 7 y 11  $\mu\text{m}$ . **E y F)** Arenitas de cuarzo con textura arena muy fina, fosilíferas, con matriz de lodo calcáreo (**dma 5165**); se reconocen cuarzo y bivalvos (**b**). **F)** Fotografía de la muestra anterior hecha con mayor aumento; se observa una concha de bivalvo (**b**) dispuesta oblicua a  $S_0$ ; nótese los granos de cuarzo, glauconita y minerales opacos; la matriz es lodo calcáreo recristalizado.

**Conjunto 04 (207-211 m).** De manera neta se pasa a este conjunto, en el que se observa una sucesión que inicia en *mudstone* arcillosos, que luego alternan con capas delgadas de calizas, y hacia el techo se presenta una alternancia de capas de calizas, por lo que se reconocen tres paquetes, a saber (**fig. 100**):

El primer paquete está conformado por *mudstone* arcillosos con laminación lenticular y ondulada, en ocasiones bioturbadas; alternan con una capa delgada de caliza *packstone* de textura entre limo y arena muy fina (**dma 5166**). En el segundo paquete destacan calizas con textura de *packstone* de textura limo-arena muy fina (**dma 5167**), de tonos grises (N5) y gri-



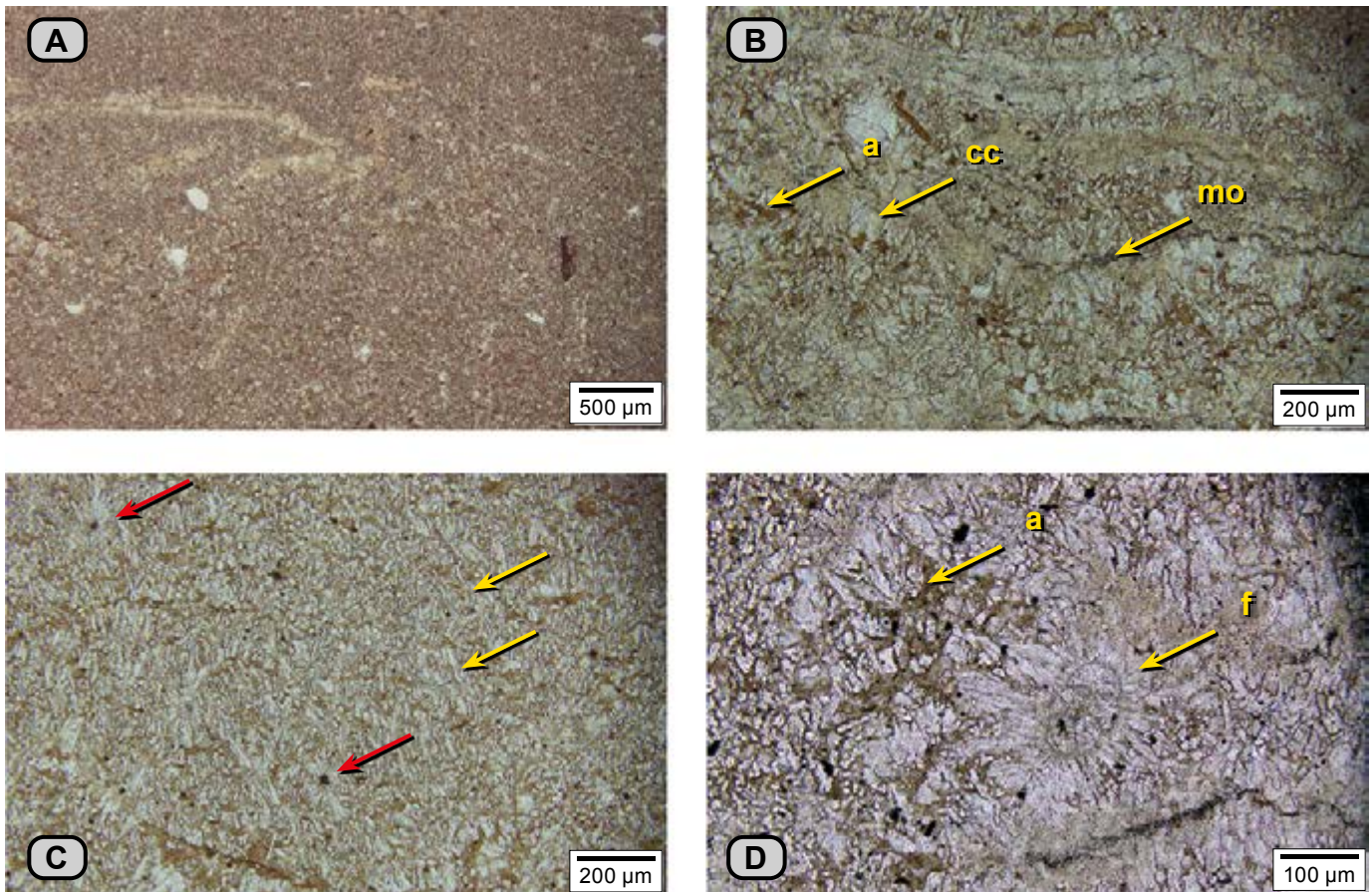


**Figura 100.** Conjunto O4 (metros 204 a 213). Entre líneas rojas punteadas se señalan los contactos del conjunto O4. Se observan varios paquetes: el inferior, de color gris oscuro, corresponde a *mudstone* de arcillas; el segundo paquete es una alternancia de calizas *packstone*, con texturas entre limo y arena muy fina, con *mudstone* calcáreos; el tercer paquete está conformado por capas gruesas de calizas *packstone* cuya textura oscila entre limo y arena muy fina.

ses claros (5YR 8/1), en capas delgadas con contactos tenuemente ondulados, que alternan con *mudstone* de carbonatos, grises oscuros (N2), en capas muy delgadas; hacia el techo de este paquete, los *mudstone* de carbonatos están ausentes. El tercer paquete está constituido por calizas *packstone* cuya textura varía de limo a arena muy fina (**dma 5170**), grises (N5, 5YR 8/1), dispuestas en capas muy gruesas.

En el microscopio, la caliza *mudstone* (**dma 5166**) con diagénesis (**microfacies IX**) está laminada (**fig. 101**). En las láminas se reconocen cristales de calcita alargados con formas de espada (71%), con dimensiones que varían entre 50 y 185  $\mu\text{m}$ , que crecen perpendiculares a  $S_0$  o que en forma radial giran alrededor de restos fósiles. Estos son otros constituyentes: arcilla (14%); fósiles (4%), que corresponden a conchas de bivalvos esparitizados y foraminíferos; alrededor de la pirita también se presenta crecimiento radial de cristales de calcita. Hay presencia de cemento esparítico (9%), y como mineral traza, fosfatos.

Las láminas son de dos tipos: **I**) lámina representada exclusivamente por cristales alargados de calcita, con tamaño promedio de 50  $\mu\text{m}$ ; hay presencia de arcilla (tonos pardos oscuros) y fósiles esporádicos, entre los que se reconocen



**Figura 101.** Caliza *mudstone* (**dma 5166**). **A**) Lámina de cristales de calcita con forma de espada que crecen perpendiculares a  $S_0$ ; nótese el desarrollo de cristales a partir de las conchas de bivalvos. **B**) Se observan algunas conchas de bivalvos y laminillas de arcilla (**a**) y materia orgánica (**mo**) con crecimiento de cristales de calcita alargados, fibrosos, con forma de espada. (**cc**). **C**) Detalle de sector de la misma placa, en donde se observan cristales alargados que crecen perpendiculares a  $S_0$  (flechas amarillas); las flechas rojas señalan cristales de calcita con crecimiento radial a partir de minerales opacos. **D**) Con mayor aumento se observan arcilla (**a**) y foraminíferos (**f**) con crecimiento a su alrededor de cristales de calcita con forma de sable.



conchas de bivalvos, foraminíferos y fragmentos de placas de equinodermos (**fig. 101A**). **II**) La lámina está representada principalmente por una aglomeración de conchas de bivalvos, laminillas de arcillas y materia orgánica, con crecimiento de cristales alargados perpendiculares a  $S_0$ , cuyo tamaño varía desde 115 hasta 185  $\mu\text{m}$  (**fig. 101B**).

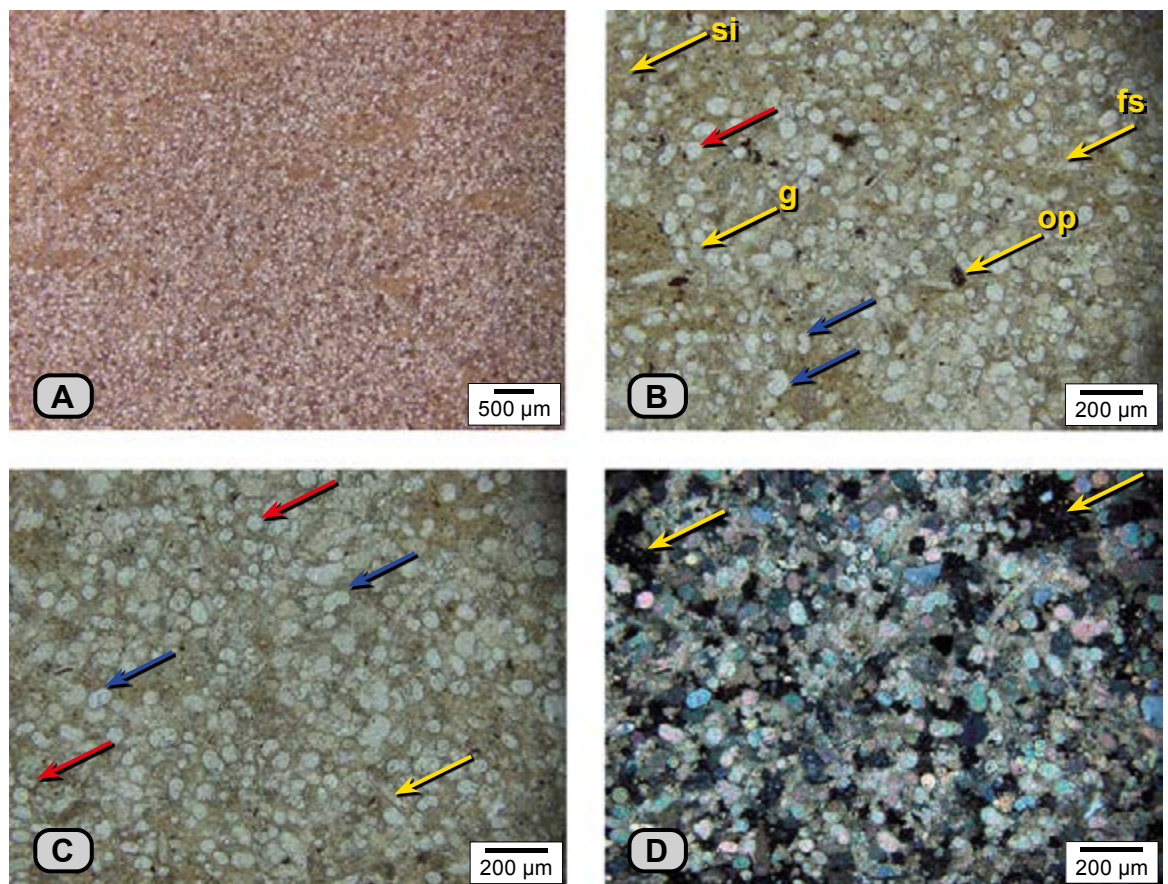
Las calizas *packstone* con textura entre limo y arena muy fina de los paquetes dos y tres, con el microscopio se identifican como biomicritas empaquetadas con restos de espongiarios (**microfacies F**). Presentan bioturbación desde indistinta hasta homogénea (**dma 5167**, **dma 5168**, **dma 5169** y **dma 5170**) y se reconocen madrigueras (**fig. 102**).

*Packstone* (**dma 5167**), con moteado indistinto (grado alto), tiene un armazón de restos de espongiarios (54%) representados por: **a**) cortes de espículas con formas circulares constituidas por un solo cristal de carbonato de calcio y formas con aspecto de fríjol; **b**) formas circulares con una cavidad central y un anillo de carbonato de calcio que lo rodea; **c**) cuerpos con formas de aguja, afiladas, con una cavidad interna alargada de carbonato de calcio. Estas formas tienen

naturaleza calcárea y sílicea, y corresponden a espículas de espongiarios, y **d**) fragmentos de espongiarios (Scholle y Ulmer-Scholle, 2003, 95; Flügel 2010, 495).

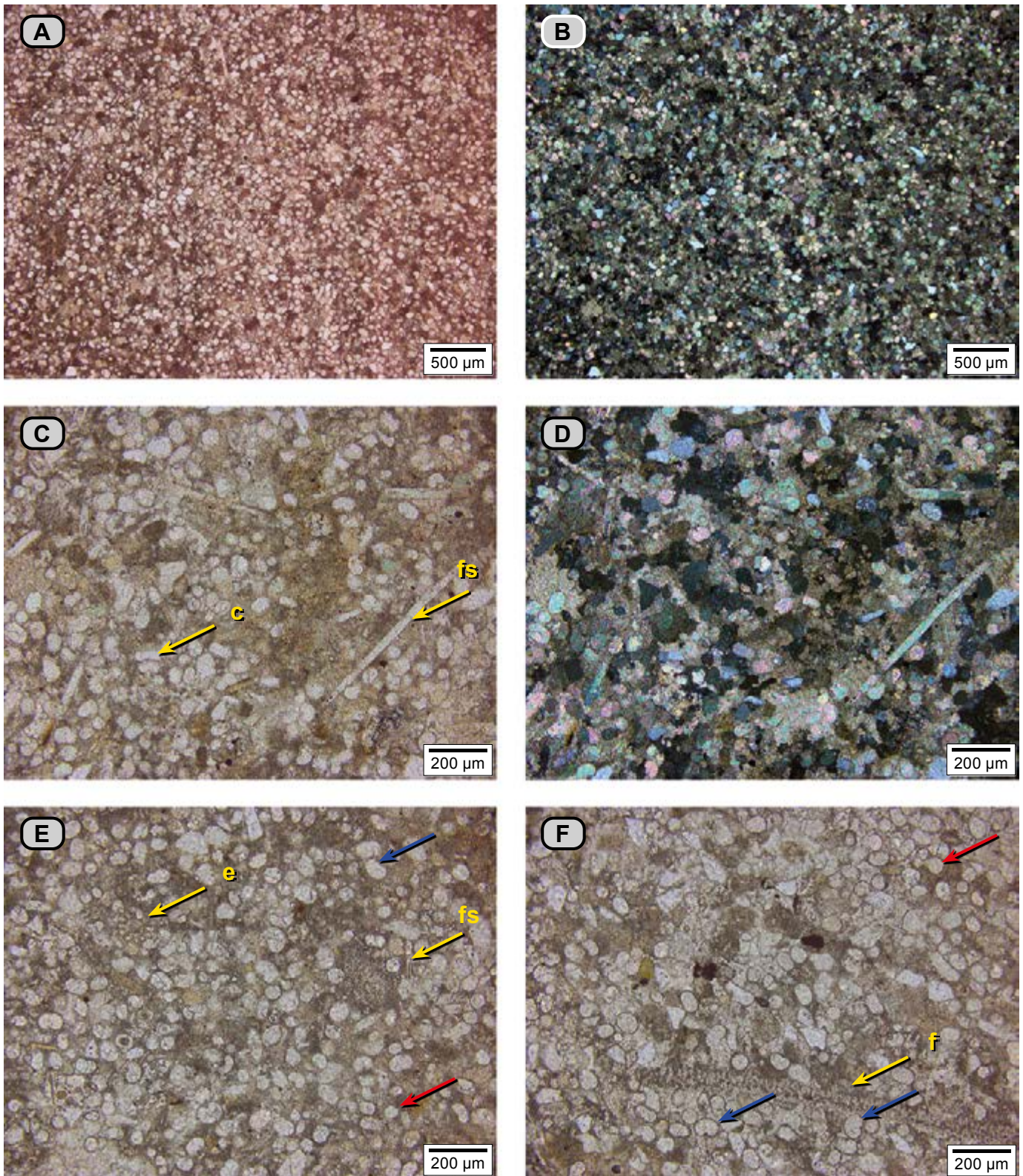
Se presenta lodo calcáreo (23%) con recristalización baja, acompañada de cemento esparítico (4%) y sílice hidratada (15%), de tonos pardos claros amarillentos (10YR 8/6). También se observan glauconita (1%), opacos (1%) y cuarzo (1%). La bioturbación se expresa en tonos claros y oscuros; en los sectores claros hay cemento calcáreo, mientras que en los sectores oscuros, pardos, hay presencia de sílice.

*Packstone* (**dma 5170**), con menor contenido de sílice; los fósiles (56%) en él presentes son: **a**) cuerpos con formas de agujas, reconocidos como espículas de espongiarios; **b**) cuerpos circulares (**fig. 103**) o con forma de fríjol identificados como cortes de espículas de espongiarios; **c**) espigas y placas de equinodermos, y **d**) fragmentos de espongiarios. Hay presencia de peletoides de micrita (2%). Los fragmentos fósiles y peletoides están envueltos por una matriz de lodo calcáreo (32%). Hay presencia de cuarzo (8%), glauconita (2%) y vestigios de minerales opacos.



**Figura 102.** Caliza *packstone* (**dma 5167**) del paquete II. **A**) *Packstone* con textura de arena muy fina. Aspecto general de la roca: se reconocen sectores de tono pardo amarillo que corresponden a sílice hidratada. **B**) Un sector de la placa visto con mayor aumento; se observan cuerpos circulares (flecha roja) y cuerpos con formas de fríjol (flechas azules), conformados por un solo cristal de calcita. Los anteriores cuerpos representan cortes de espículas de espongiarios; fragmentos alargados: espículas de espongiarios; nótese la glauconita (**g**) y minerales opacos-pirita (**op**); los tonos pardos amarillos corresponden a sílice hidratada (**si**). **C**) Las flechas rojas señalan los cuerpos circulares conformados por un solo cristal de calcita; las flechas azules señalan los cuerpos con formas de fríjol; ambas formas representan cortes de espículas de espongiarios; la flecha amarilla corresponde a espículas de espongiarios en su aspecto longitudinal; parte del material de color pardo amarillo es sílice hidratada. **D**) Misma fotografía que en **C**, con nicoles cruzados; las flechas amarillas señalan sílice hidratada.





**Figura 103.** *Packstone* del paquete III del conjunto O4 (dma 5170). **A)** Se observa la textura general; el armazón está constituido por fósiles de textura limo - arena muy fina, representados por espículas de espongiarios; nótese la presencia de peletoides de micrita. **B)** La misma fotografía de la figura **A)** hecha con nicoles cruzados. **C)** Otro sector de la sección delgada, en donde se muestran cuerpos de formas circulares o con forma de frijol, constituidos por un solo cristal de calcita, y formas longitudinales con forma de agujas (**fs**), que corresponden a espículas de espongiarios (**fs**); también se señala grano de cuarzo (**c**). **D)** En la fotografía anterior, tomada con nicoles cruzados, se observa el cemento esparítico. **E y F)** Fotografías con mayor detalle de otros sectores de la placa. Las flechas rojas señalan los cuerpos circulares conformados por un solo cristal de calcita; las flechas azules señalan los cuerpos con formas de frijol, que corresponden a espículas de espongiarios (**fs**); nótese espinas de equinodermo (**e**) y un fragmento alargado con estructura orgánica, que se asocia a espongiarios? (**f**).



## Segmento estratigráfico VI (211-221 m)

Este segmento estratigráfico genera un entrante en el perfil topográfico. Está compuesto por *mudstone* de arcilla de tonos grises oscuros (N2-N3), micáceos; superficialmente muestran tono rojizo (10R 4/2) y crema (5YR 8/1) (**fig. 104**). Hay presencia de láminas discontinuas de yeso paralelas a  $S_0$ , con espesor de hasta 2 cm, material que también aparece en venas con diversas orientaciones que atraviesan la estratificación. En este segmento se intercalan tres capas de calizas con textura de *wackestone* (**dma 5172**) y *packstone* (**dma 5171** y **dma 5173**), de tonos grises.

Este conjunto empieza con un *mudstone* arcilloso fosilífero gris oscuro (N2) con presencia de láminas discontinuas de yeso; sobre él descansa un *packstone* de bivalvos desarticulados de 1 a 3 cm, de conchas delgadas, de tonos grises oscuras; hacia el techo, el porcentaje de bivalvos disminuye, y pasa a ser un *wackestone* (**dma 5171**). Esta roca presenta menor compactación (**fig. 105**).

En el microscopio, la caliza (**dma 5171**) se identifica como biomicrita rala (**microfacies 10**). En ella se observan dos láminas. En la inferior los bivalvos están en mayor proporción que en la superior, y las conchas están dispuestas de forma paralela a  $S_0$  (**fig. 106**).

En la lámina inferior, entre las conchas de bivalvos esparitizadas de tamaños milimétricos (3.500  $\mu\text{m}$ ) se observan láminas blanquecinas, contorsionadas, constituidas por: **a)** un agregado de cristales de calcita con tamaño de 20  $\mu\text{m}$ , y **b)**

cristales de calcita alargados con tamaño de hasta 120  $\mu\text{m}$ , que semeja una estructura como en cono (Cobbold y Rodríguez 2007), estrujando la arcilla (**figs. 106A y 106B**). La lámina superior tiene menor porcentaje de bivalvos, y entre ellos hay presencia de cristales de calcita recrystalizados, con forma de sable, pueden alcanzar tamaños de hasta de 750  $\mu\text{m}$ , y que crecen a partir de las conchas de los bivalvos como también, perpendiculares a  $S_0$  (**figs. 106C, D, E y F**).

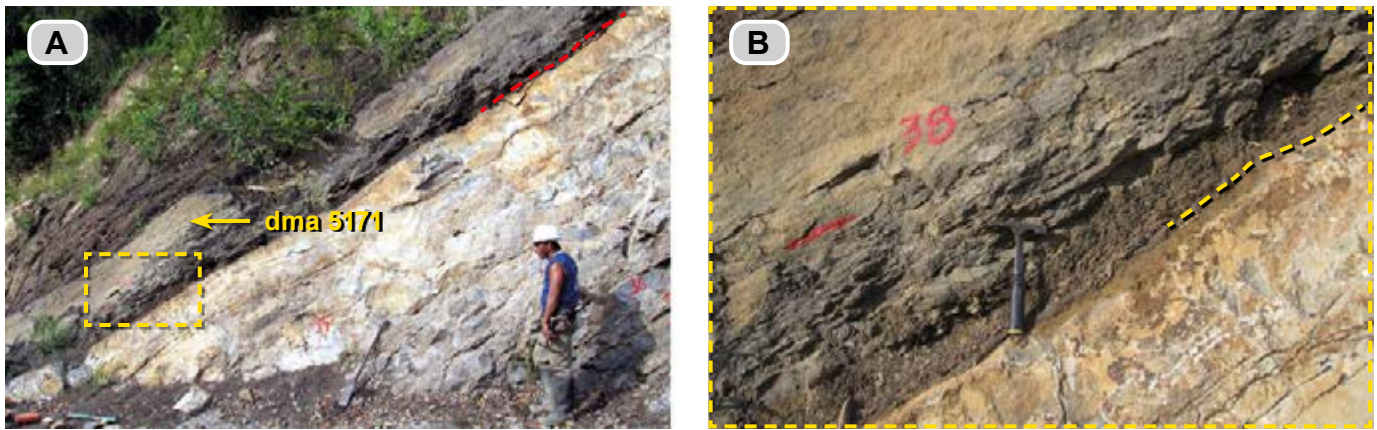
Los porcentajes de los constituyentes de la roca son conchas de bivalvos, 52%; cristales de calcita recrystalizados, 33%; arcilla, 10%; cuarzo, 4%, y como minerales traza, opacos y fosfatos.

La caliza intermedia (metro 216) es un *wackestone* de bivalvos (**dma 5172**) gris oscuro (N2). Se dispone en una capa mediana con superficies planas paralelas (**figs. 104 y 107**), las conchas de bivalvos, se presentan articuladas y desarticuladas, esparitizadas, con tamaños de hasta 3 cm, con varias orientaciones (paralelas u oblicuas a  $S_0$ ), acompañadas de fragmentos calcáreos no identificables, de tamaños milimétricos. En el microscopio se identifica como biomicrita rala (**microfacies tipo 10**), las conchas de bivalvos destacan con dos poblaciones de texturas: una centimétrica y otra, la más frecuente, que varía entre guijo y arena gruesa. Entre los bioclastos se observa recrystalización, dada por crecimiento de cristales de calcita con textura de arena muy fina, en ocasiones con texturas *popcorn*; también se observan cristales de calcita milimétricos alargados, que en ocasiones constituyen texturas como en cono. Hay presencia de arcilla, se observa estrujada y conforma sectores irregulares, y dispersos. (**fig. 108**).

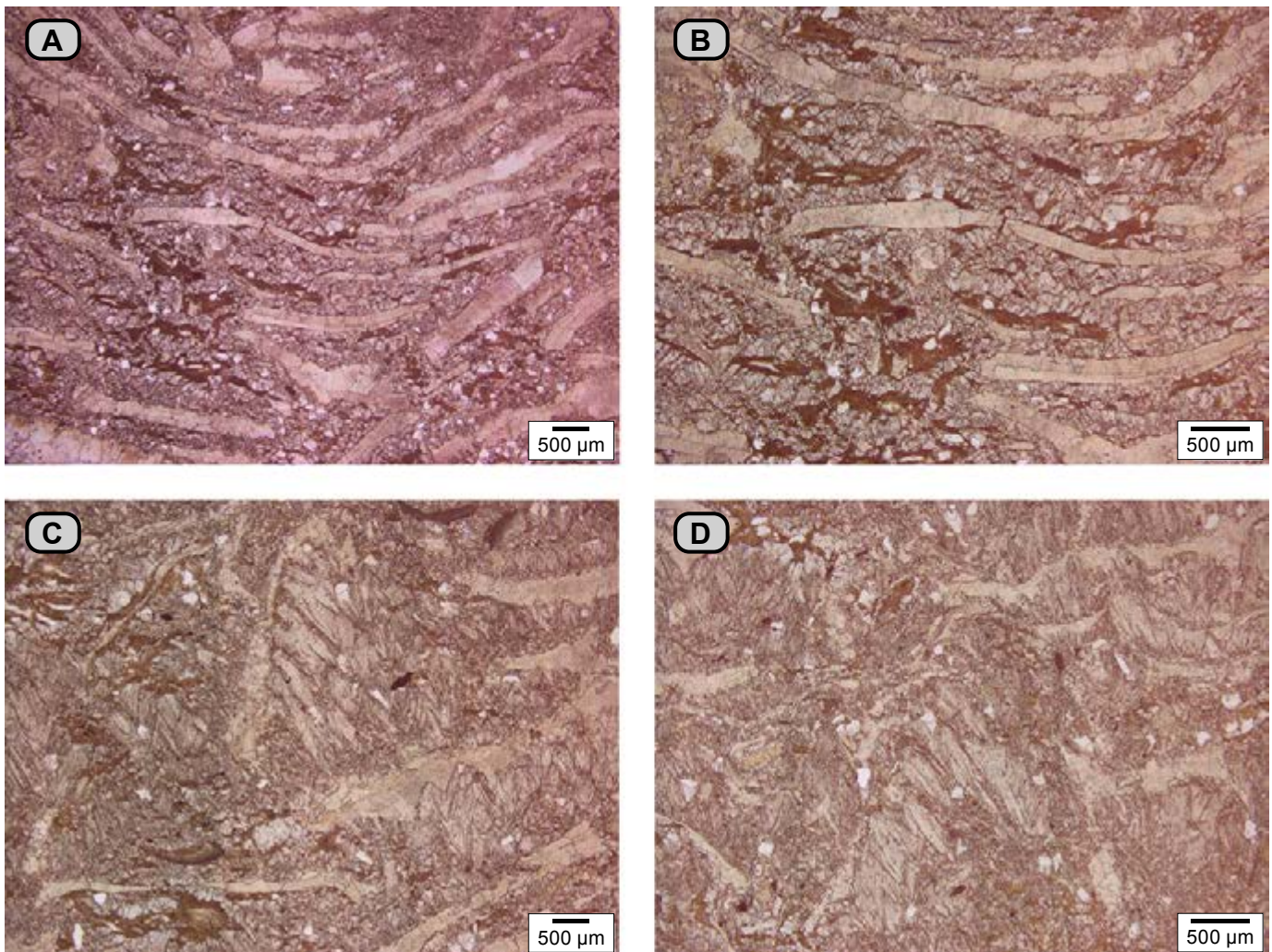


**Figura 104.** Segmento estratigráfico VI. El contacto inferior de este segmento está resaltado por líneas discontinuas rojas y está constituido por *mudstone* arcillosos de tonos grises oscuros. Los *mudstone* se alternan con tres capas de calizas *wackestone* y *packstone* (metros 213 a 221).



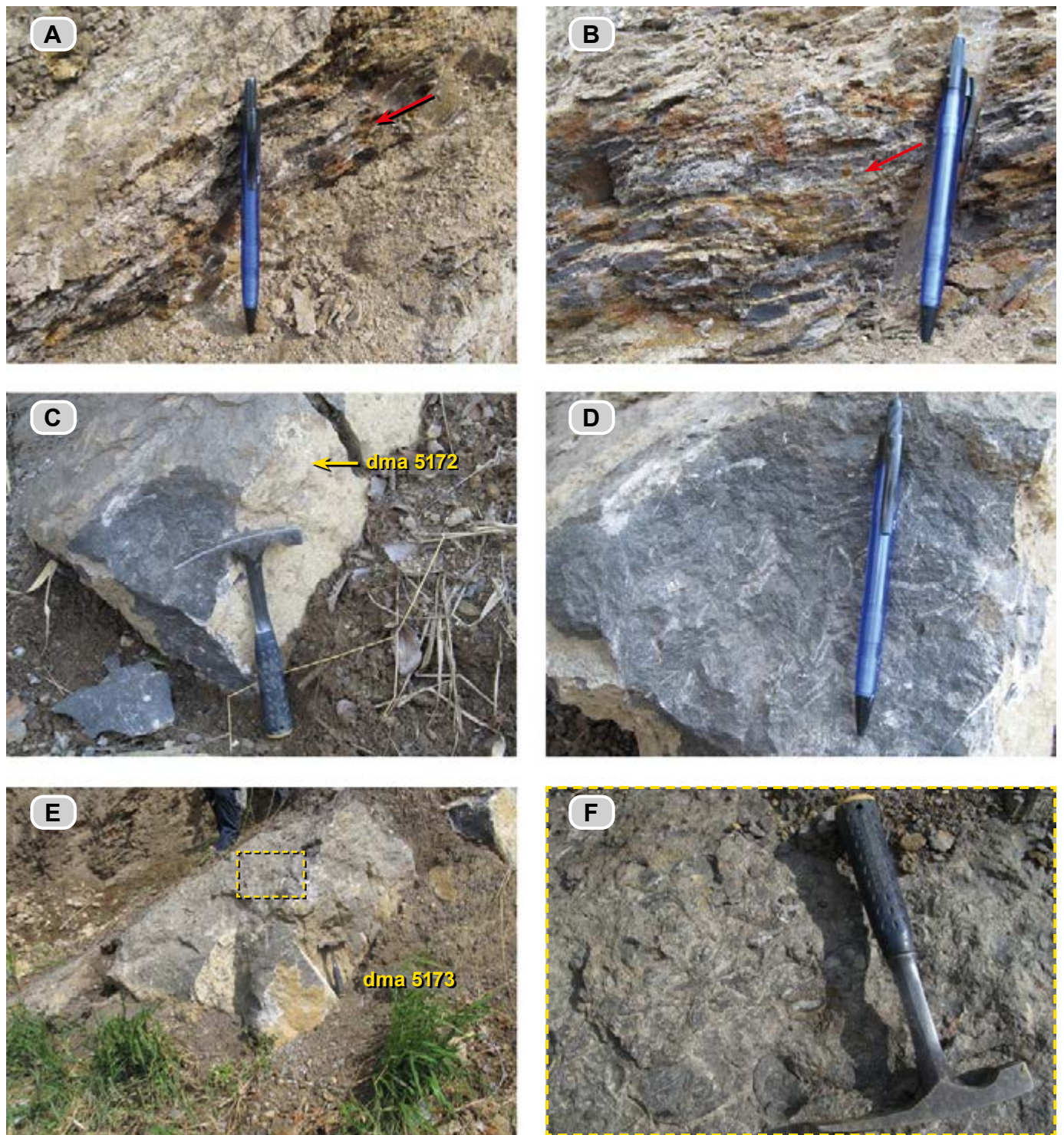


**Figura 105.** A) Se observa el último paquete del conjunto O4, de tono gris claro, en contacto (línea roja punteada) con la primera capa del segmento estratigráfico VI, de tono gris oscuro, representado por un *mudstone* arcilloso seguido por un *packstone* de bivalvos (metros 210 a 213). B) Recuadro amarillo ampliado hacia el contacto del conjunto O4 (líneas rojas discontinuas) con el segmento VI, que empieza en *mudstone* arcillosos fosilíferos con lentes de yeso, suprayaciendo, se observa caliza *packstone* con bivalvos.



**Figura 106.** *Packstone* con bivalvos (dma 5171). En la sección delgada se distinguen dos láminas. A y B) Lámina inferior. En A se observan las conchas de bivalvos con disposición preferencial paralela a  $S_0$ , reemplazadas por calcita espar; entre ellas se observan lentes y láminas discontinuas de cristales de calcita alargados con estructura como en cono, que alternan con lentes de arcilla (pardo oscuro). En B la misma muestra anterior vista con aumento: se observan las conchas de bivalvos alternando con lentes de arcilla; cada lámina clara se ensancha y engrosa y está constituida por cristales alargados de calcita recristalizada; se asemeja a las estructuras como en cono. C y D) Lámina superior. En C las conchas de bivalvos se disponen en dos direcciones y están presentes en menor proporción que en la lámina inferior; entre ellas hay desarrollo de cristales con forma de sable que crecen oblicuos al  $S_0$  o forman estructuras como en cono; también se observan arcilla de tono pardo oscuro y fragmentos de cuarzo. En D se resalta la formación de cristales de calcita con tamaño de 50  $\mu\text{m}$  en agregados (flechas amarillas).



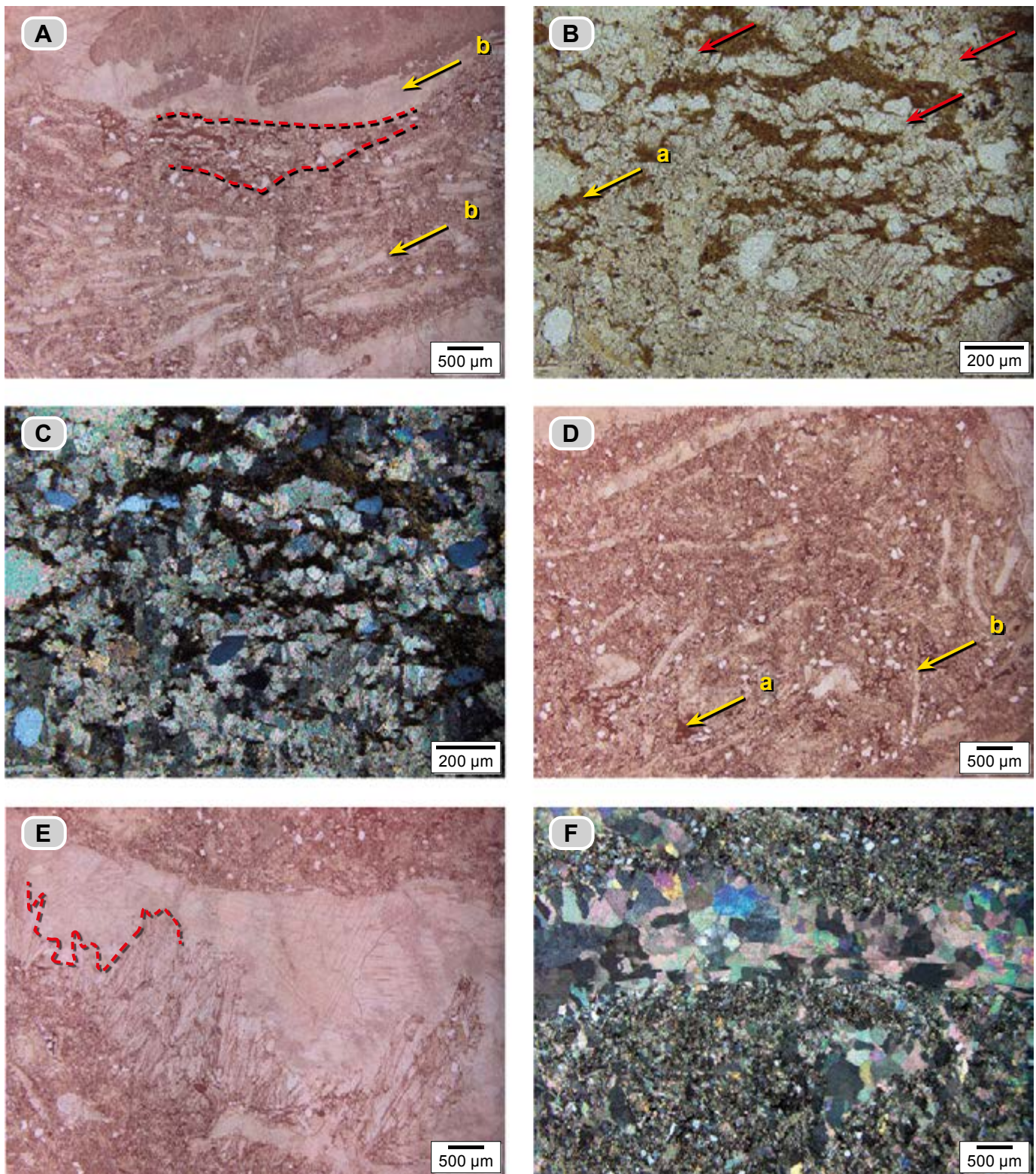


**Figura 107.** Segmento estratigráfico VI. *Mudstone* arcilloso. **A)** Los *mudstone* toman colores pardos naranjas y presentan láminas discontinuas de yeso (metro 217). **B)** Se muestran con detalle los *mudstone* arcillosos de colores grises (N6) en superficie fresca, y pardos amarillentos en superficies alteradas; nótese los abundantes lentes de yeso (metros 213 a 217). **C)** Caliza *wackestone* de bivalvos (**dma 5172**). **D)** Mayor detalle de **C**, en donde se observan conchas desarticuladas de bivalvos esparitizados. **E)** Tercera capa de caliza de color gris (N5) que conforma una capa gruesa (**dma 5173**); hacia la base es un *wackestone*, y hacia el techo, un *packstone*, con bivalvos *Aetostreon* sp. **F)** Ampliación del recuadro amarillo de la foto **E** para mostrar las conchas articuladas de los bivalvos *Aetostreon* sp, con tamaños de entre 2 y 7 cm (metro 218).

En las partes inferior y central hay presencia de arcillas. Esta zona está constituida por conchas de bivalvos en arreglo paralelo a  $S_0$ , y sus tamaños oscilan entre 250  $\mu\text{m}$  y 2 cm; dichos cuerpos están rodeados por: **a)** cristales de calcita a modo de *popcorn*, con tamaños entre 90 y 130  $\mu\text{m}$ ,

que forman agregados; **b)** lentes y láminas entre entrelazadas y yuxtapuestas, con cambio de espesor y onduladas, constituidas internamente por cristales de calcita espar de 20 a 30  $\mu\text{m}$ , que semejan estructuras como en cono; **c)** arcilla en parches, estrujada por las estructuras como en cono.





**Figura 108. Wackestone con bivalvos (dma 5172).** Se identifica como una biomicrita rala. **A)** Se observa un arreglo de conchas de bivalvos paralelos a  $S_0$ . Entre las líneas rojas punteadas se observan láminas discontinuas ondulosas de cristales de calcita alargados con estructura como en cono que estruja la arcilla. **B)** Con mayor aumento se observa la zona encerrada entre líneas rojas discontinuas; son láminas discontinuas ondulosas que dibujan arcos (flechas rojas); entre ellas hay arcilla (a); los lentes están constituidos por cristales de calcita alargados o equidimensionales que semejan rosetas. En la parte inferior de la fotografía se observan estructuras como en cono. **C)** Nicol cruzado de la fig. B, hecha con nicoles cruzados. **D)** Detalle de otro sector de la sección delgada con conchas de bivalvos (b) orientados en varias direcciones; entre ellos hay micrita recristalizada en agregados de cristales con textura de arena muy fina con bordes irregulares; nótese la presencia de arcilla (a) en tono pardo rojizo. **E)** Concha de bivalvo, que en su margen inferior presenta crecimiento de cristales de calcita alargados con forma de sable, con tamaño de hasta de 1.200  $\mu\text{m}$ , que forman estructura como en cono. **F)** Concha de bivalvo espartizada rodeada por micrita recristalizada; se forma un agregado de cristales espar.



La parte superior tiene los mismos constituyentes, pero las conchas de bivalvos tienen arreglo paralelo y oblicuo a  $S_0$ , con tamaños de 250  $\mu\text{m}$  a 2 cm. Asociado a algunas conchas de bivalvos se observa crecimiento de cristales alargados con forma de sable, de calcita de hasta 1.200  $\mu\text{m}$ , que en ocasiones forman una estructura semejante a estructuras como en cono.

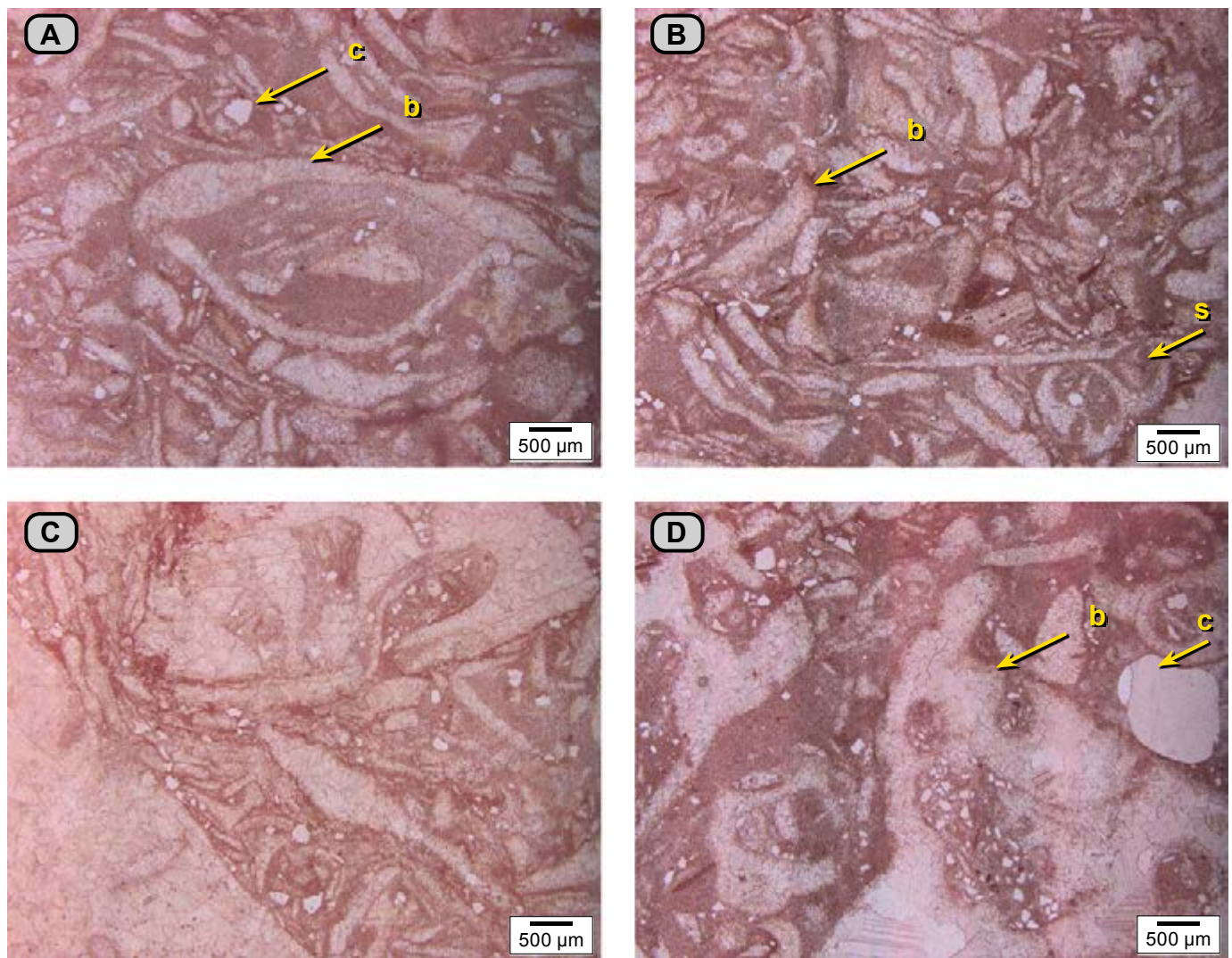
Estos son los porcentajes de los constituyentes: fósiles, (38%), representados por conchas desarticuladas de bivalvos con reemplazo por esparita; la arcilla representa el 5%; el cuarzo, el 4%; también hay trazas de pirita. Los agregados de cristales de calcita a modo de: **a)** formas *popcorn* (33%); **b)** forma de sable (12%), y **c)** cristales con tamaños de 20 a 30  $\mu\text{m}$  (8%).

Entre las conchas de bivalvos se presentan vestigios de foraminíferos biserials rellenos por sulfuros.

La caliza superior, de las mencionadas previamente, presenta gradación así: hacia la base es un *wackestone* y hacia el techo, es un *packstone* de bivalvos *Aetostreon sp.* (**dma 5173**);

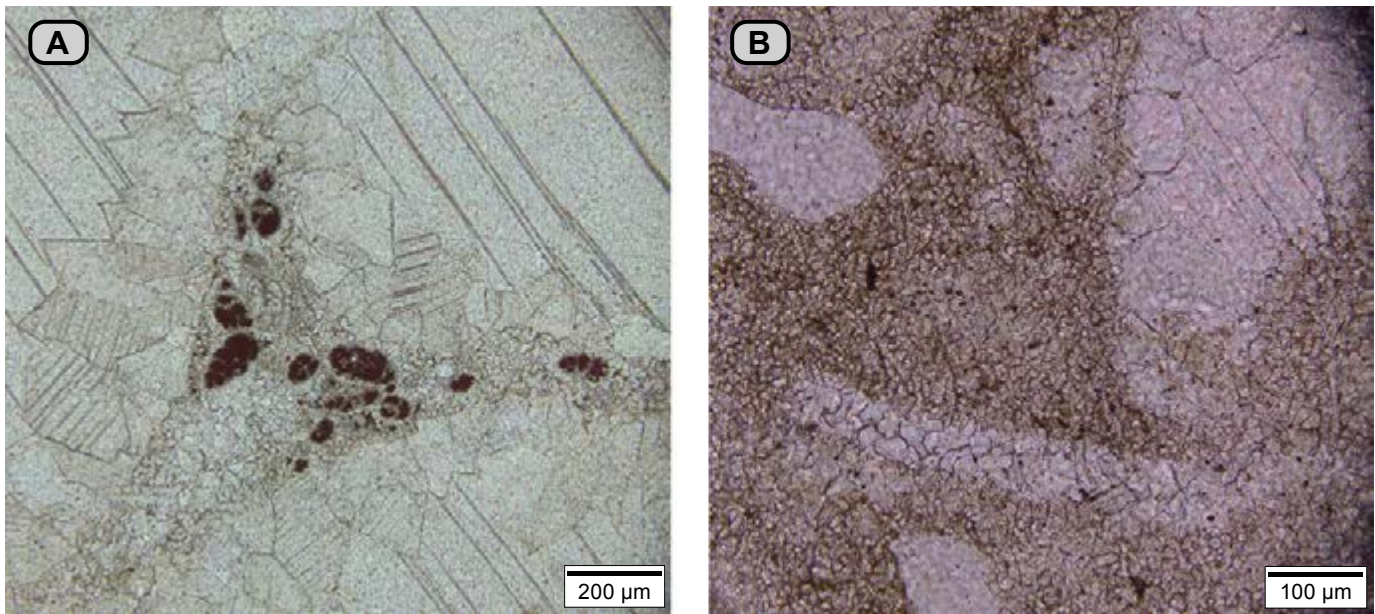
tiene color gris (N5), dispuesta en una capa gruesa con superficies planas paralelas (metro 218). Las conchas de bivalvos se observan tanto articuladas como desarticuladas, y en diferentes posiciones, en tonos blancos y negros, con diámetros up de 2 a 7 cm (**fig. 109**).

En el microscopio, la caliza *packstone* superior (**fig. 109A**) se identifica como biomicrita empaquetada (**microfacies D**). Los fósiles (51%) están representados por: **a)** restos de conchas de bivalvos con tamaños que varían entre micrométricos (600  $\mu\text{m}$ ) y centimétricos (3 cm), dispuestos paralelos u oblicuos a  $S_0$ ; las conchas se diferencian en dos grupos: esparitizadas y aquellas que conservan su estructura original; pueden estar perforadas por espongiarios; en algunas conchas se observa silicificación parcial; **b)** restos de gasterópodos, algunos micrométricos (147  $\mu\text{m}$ ), reemplazados por sulfuros (**fig. 109B**); **c)** restos de dientes de peces, y **d)** protoconchas de amonitas. La micrita (41%) muestra neomorfismo (mosaico de cristales de hasta 11  $\mu\text{m}$ ). También se presenta cuarzo (6%), fosfatos (1%) y pirita (1%).



**Figura 109A.** *Packstone* de bivalvos (**dma 5173**), identificada como biomicrita empaquetada. **A)** Se observa el armazón de fragmentos de conchas de bivalvos (**b**); hay escasa presencia de cuarzo (**c**); entre conchas hay micrita con neomorfismo. **B)** En este sector de la sección delgada se observa el apilamiento de fragmentos de conchas de bivalvos (**b**) y gasterópodos (**s**). **C y D)** Bivalvos con perforaciones de espongiarios rellenas de micrita y cuarzo.



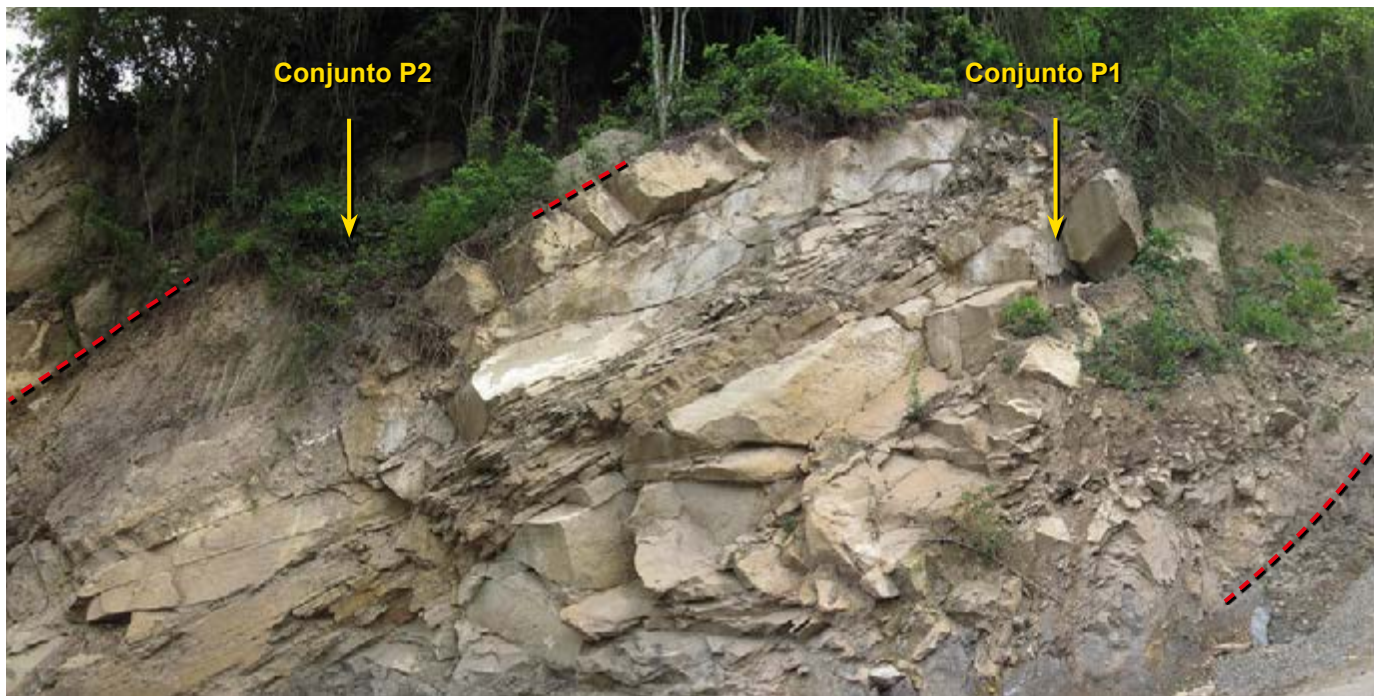


**Figura 109B.** **A)** Con mayor detalle se observa un cristal de espar de una concha de bivalvo esparitizada, con foraminíferos bentónicos y gasterópodos reemplazados por pirita. **B)** Ampliación de un sector de la figura 109C para mostrar el neomorfismo de la micrita, que forma un mosaico de cristales de hasta 11 μm.

### Segmento estratigráfico VII (221-270 m)

Este segmento genera la cornisa superior en la morfología de la Formación Tablazo (**fig. 8**). Está representado por 49 m de secuencia, subdivididos en dos intervalos estratigráficos: el inferior (P) es predominante arenoso, mientras que en el superior (Q) predomina la naturaleza calcárea de los estratos; en este intervalo hay varios horizontes de *hard-grounds* y paleosuelos.

**Intervalo estratigráfico P (221-238 m).** Está constituido por arenitas de cuarzo de textura muy fina, grises (N4), que por meteorización toman color crema (10YR 6/2); están dispuestas en capas, entre las que predominan las muy gruesas. Se diferencian dos conjuntos estratigráficos (**fig. 110**): el inferior (P1), de composición siliciclástica (limo-arenoso) y calcáreo, y el P2 consiste en *mudstone* arcillosos que gradan a arenitas de cuarzo con textura de arena muy fina.



**Figura 110.** Intervalo estratigráfico P. Entre líneas rojas se delimitan los dos conjuntos: el conjunto P1, con arenitas de cuarzo en capas medianas a gruesas; sobre ellas, y terminando el conjunto, se encuentran calizas con textura de *wackestone*. El conjunto P2 empieza en 60 cm de *mudstone* arcillosos, que pasan a arenitas de cuarzo en una capa gruesa con laminación plano-paralela (metros 220 a 245).

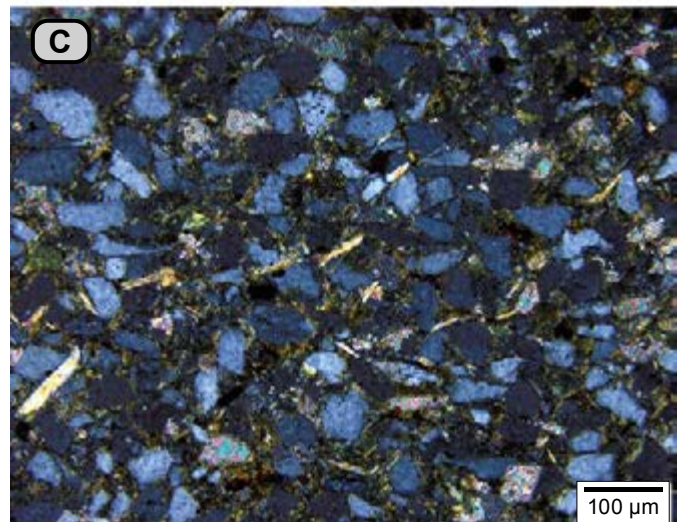
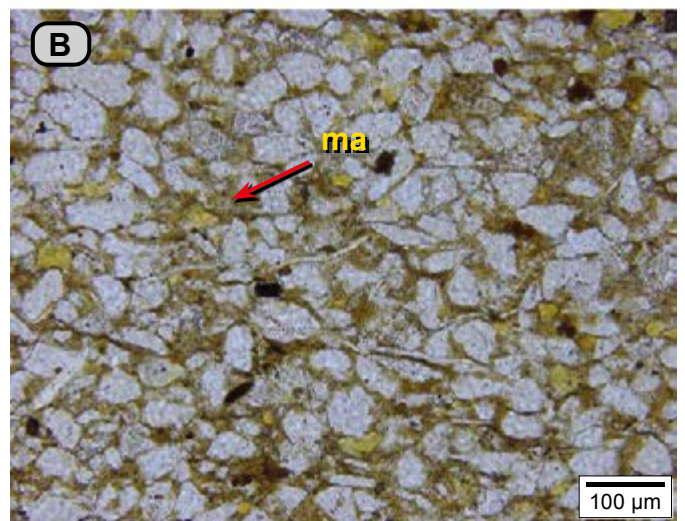
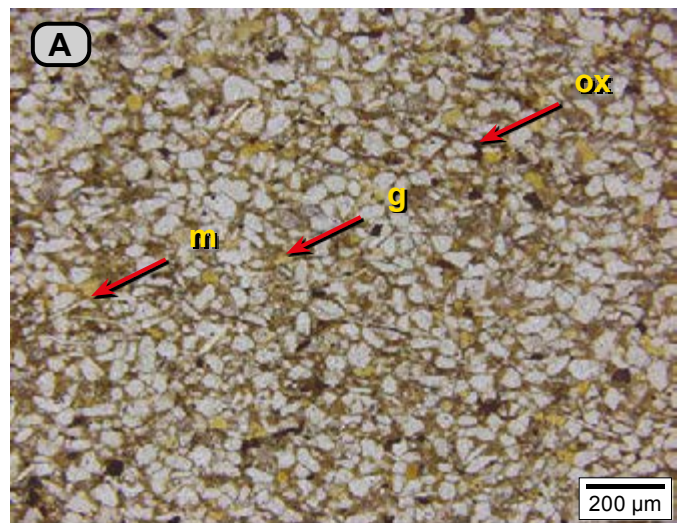


**Conjunto P1 (221-234 m).** Está constituido por arenitas de cuarzo de textura muy fina (**fig. 111**). Se diferencian cinco paquetes. El paquete 1 está conformado por limolitas de cuarzo (**dma 5175**). El paquete 2 está constituido por capas gruesas de arenitas de cuarzo con textura de arena fina (**dma 5176**). En el paquete 3, las arenitas de cuarzo de textura muy fina (**dma 5177**) se presentan en capas entre delgadas y medianas, y tienen bioturbación indistinta; en general las arenitas son grises (N4), con glauconita y moscovita, y tienen puntos ocres entre granos (dolomita). El cuarto paquete está formado por arenitas de cuarzo de grano fino (**dma 5178**). El quinto paquete suprayace de modo neto a la arenita anterior y está formado por dos capas de calizas; la más baja es una capa gruesa de caliza *wackestone* de bivalvos (**dma 5179**), y termina en una caliza *packstone* de bivalvos de conchas de bivalvos desarticulados de 1 cm, paralelos a  $S_0$ .

En el microscopio, las limolitas del paquete 1 (**dma 5175**) son de cuarzo, y algunos granos alcanzan la textura arena muy fina, con gran porcentaje de granos con textura de limo grueso; tiene laminación relictas y moteamiento distinto. El armazón es de cuarzo (55%), con granos angulares y equidimensionales; la matriz es de arcilla (35%), de color pardo y pardo amarillento, debido a la presencia de óxidos de hierro que la recubren; también se presenta cemento esparítico (3%). Otros constituyentes son la moscovita (3%), que se dispone paralela y oblicua a la estratificación, feldespatos (1%) y glauconita (1%); esta última se presenta en tonos amarillos (**fig. 112**). Hay presencia de óxidos de hierro (2%) y esporádicos granos de circones.



**Figura 111.** Afloramiento de arenitas y limolitas de cuarzo del conjunto P1. El primer paquete está formado por limolitas de cuarzo (**dma 5175**). El segundo paquete consiste en arenitas de cuarzo (**dma 5176**) dispuestas en capas gruesas; le siguen arenitas de cuarzo (**dma 5177**) en capas delgadas, y sobre ellas en capas gruesas aparecen arenitas de cuarzo (**dma 5178**) (metros 221 a 235).

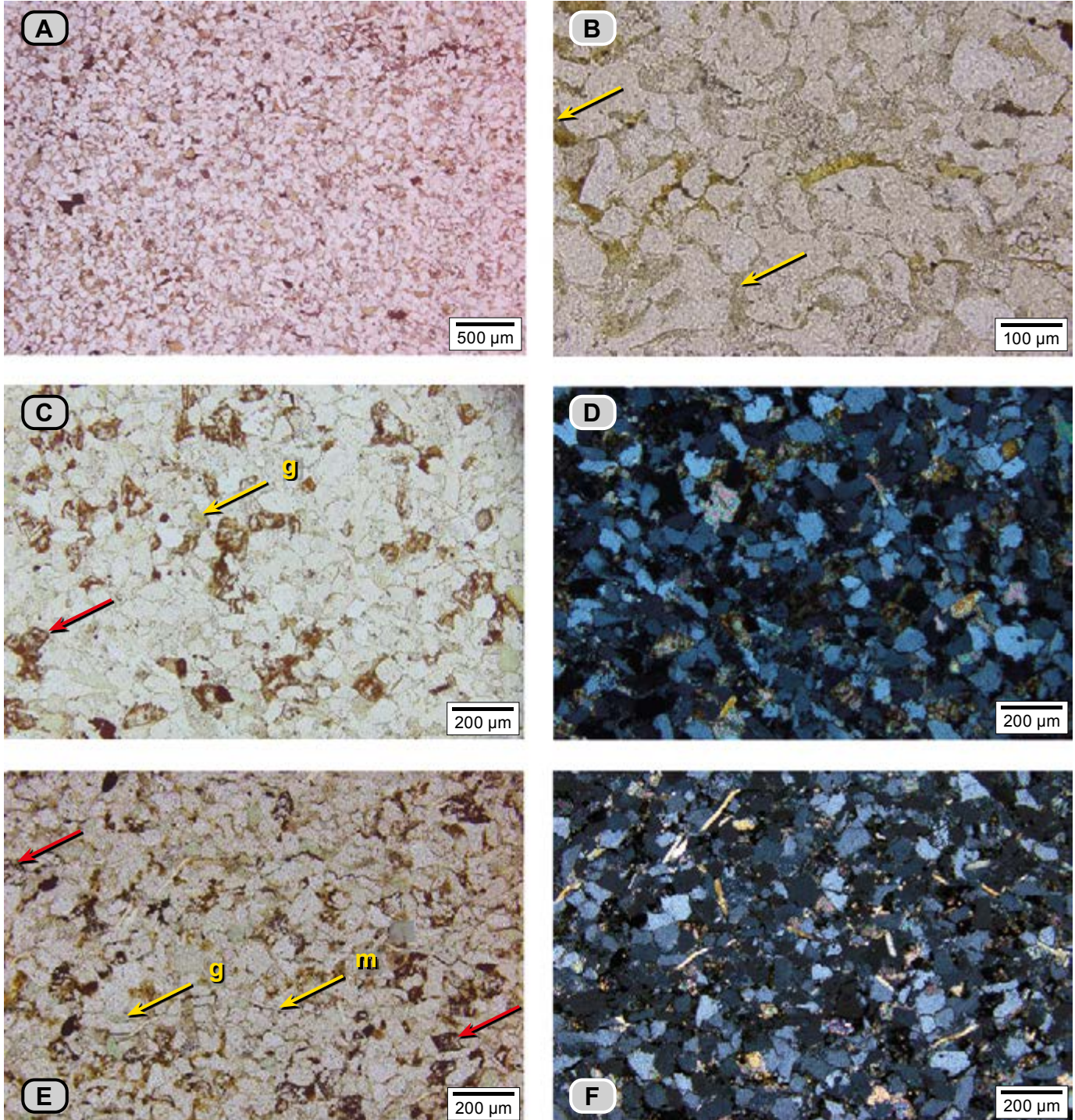


**Figura 112.** Limolitas de cuarzo (**dma 5175**). **A)** Aspecto general de la roca: se observa cuarzo, glauconita de tonos amarillentos (**g**), moscovita (**m**) y óxidos; la matriz de arcilla aparece en tonos pardos amarillentos. **B)** Vista con mayor aumento de la misma muestra para observar la matriz (**ma**) de tonos pardos amarillentos, los fragmentos de cuarzo, la glauconita y moscovita. **C)** La misma fotografía que en la figura **B**, hecha con nicoles cruzados; nótese que las hojuelas de moscovita están dispuestas en ángulo con respecto a  $S_0$ .



Las arenitas de los paquetes 2 y 3 (**dma 5176** y **dma 5177**) presentan bioturbación desde homogénea a indistinta (**microfacies  $\rho$** ). El armazón es de cuarzo con textura que varía de muy fina a fina (**fig. 113**), con granos subangulares, entre subelongados y equidimensionales (69-65%). En cada muestra, la moscovita, con textura arena fina y disposición paralela u oblicua a  $S_p$ , alcanza a representar el 3%; la glauconita, entre el 3% y el 4% en

cada roca; los feldespatos y minerales opacos están en cantidades de 2%. En la muestra **dma 5176**, el material que media entre granos es claro, arcilloso, y posiblemente se trata de caolinita (6%); también se observa cemento dolomítico (18%). En la muestra **dma 5177** hay mayor presencia de arcilla (20%) entre granos; esta es de color pardo amarillo, manchada por óxidos; también hay presencia cemento dolomítico (7%).



**Figura 113.** A y B) Arenita de cuarzo con textura de arena fina (**dma 5178**). B) Con mayor aumento se observa, en tonos claros, lo que parece corresponder a cemento arcilloso (caolinitico). C y D) Arenita de cuarzo con textura de arena muy fina (**dma 5176**); con glauconita (**g**), moscovita (**m**) y cristales de dolomita como cemento (flechas rojas). D) La misma fotografía que en C, pero hecha con nicoles cruzados. E y F) Arenita de cuarzo de textura muy fina (**dma 5177**); el armazón es de cuarzo (**c**), con glauconita (**g**) y moscovita (**m**); el cemento es de arcillas, en este caso caolinita; se observan cristales de dolomita, también haciendo las veces de cemento (flecha roja). F) Fotografía tomada con nicoles cruzados.



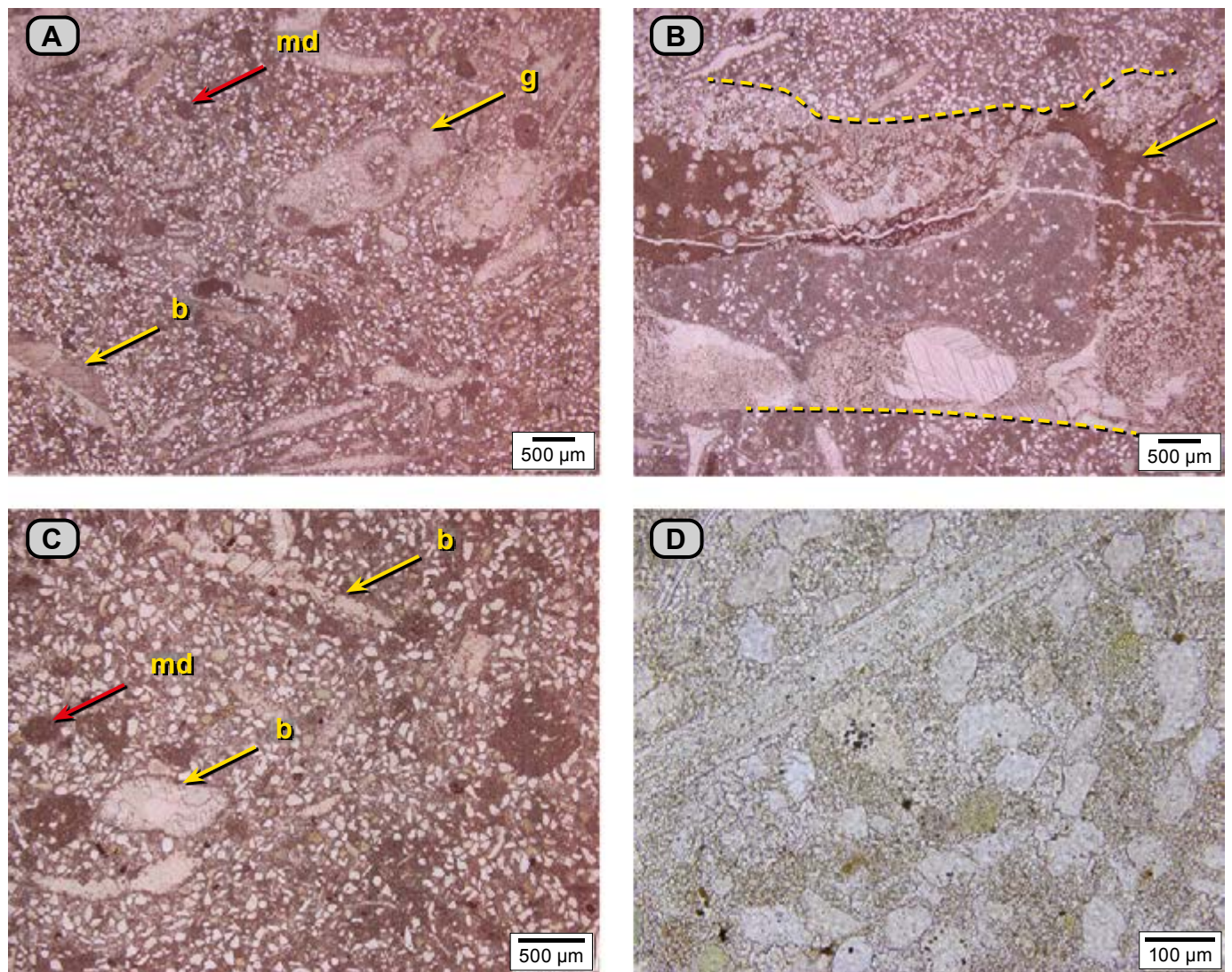
La arenita de cuarzo del cuarto paquete (**dma 5178**) es de textura muy fina, con matriz arcillosa caolinítica, y no presenta dolomita-ankerita; el cuarzo (69%) está rodeado por una matriz arcillosa de tonos blanco y verde claro (23%). Los feldspatos alcanzan el 5%, y las moscovitas, el 3%; tienen textura arena fina. Hay trazas de glauconita y opacos (**fig. 113**).

Este conjunto termina en una caliza *wackestone* de bivalvos con cuarzo (**dma 5179**), gris (N3), que hacia el techo es un *packstone* de fragmentos de bivalvos de 1 cm, y grada a un cuerpo de grosor mediano, deleznable, de color pardo (5YR 5/6). Sobre el techo del *packstone* se desarrolla una costra de cristales alargados de yeso, perpendiculares a  $S_0$ .

Bajo el microscopio, la caliza *wackestone* con cuarzo (**dma 5179**) se identifica como biomicrita rala con cuarzo (**micro-**

**facies 5**). En ella, la micrita (53%), tiene recristalización que desarrolla mosaicos de cristales de hasta 9  $\mu\text{m}$  y envuelve fósiles (15%) representados por conchas de bivalvos, fragmentos de gasterópodos, espinas de equinodermos y escasos restos de algas. Las conchas de bivalvos están esparitizadas y tienen disposición paralela u oblicua a  $S_0$  (**fig. 114**). Se observan conchas de bivalvos con perforaciones de espongiarios rellenas del mismo material que rodea a las conchas: micrita y granos de cuarzo. Hay presencia de cristales euhedrales de calcita con formas de rombo, algunas, macladas (**fig. 114**). También se presentan coprolitos de crustáceos.

Hay granos de cuarzo (24%) alargados, equidimensionales y angulares, con textura de arena muy fina, glauconita (2%), moscovita, fosfatos y opacos como minerales traza. El cemento calcáreo representa el 5%.



**Figura 114.** Caliza *wackestone* (**dma 5179**). Se identifica como biomicrita rala con cuarzo. **A)** Se observa el armazón mixto de restos de bivalvos (**b**), gasterópodos (**g**) y cuarzo, además de glauconita; los bioclastos están rodeados por micrita con neomorfismo. La bioturbación se manifiesta como redondeles rellenos de micrita (**md**). **B)** Las líneas amarillas punteadas trazan el contorno de un sector con mayor concentración de restos de conchas perforadas; a su alrededor se encuentra arcilla de tono pardo oscuro (flecha amarilla) y cristales rómbicos de calcita y cuarzo. **C)** Con mayor aumento se observan redondeles de bioturbación rellenos con micrita (**md**), cuarzo (**c**), bivalvos (**b**) y glauconita. **D)** El mayor aumento deja ver la recristalización de la micrita: mosaico de cristales de calcita espar; además se observan cuarzo, glauconita y el fragmento de una espina de equinodermo.

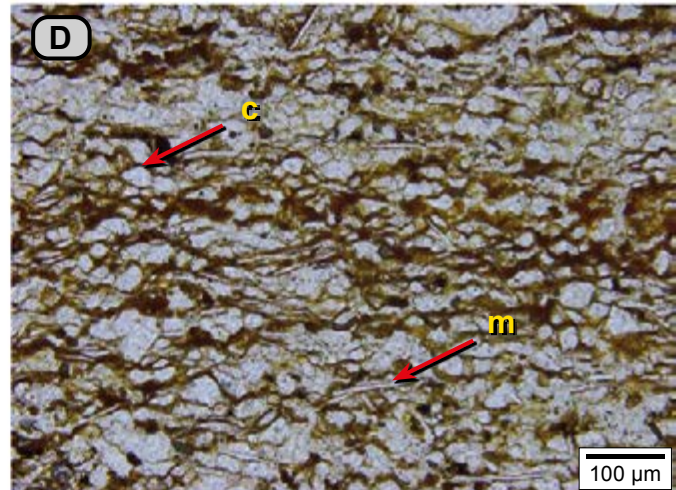
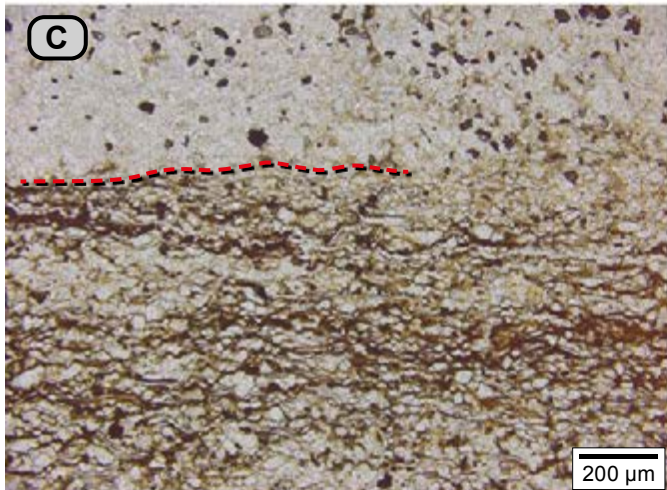
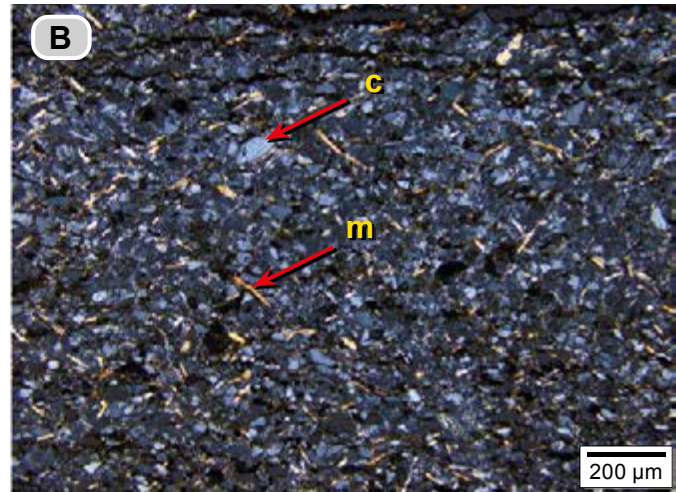
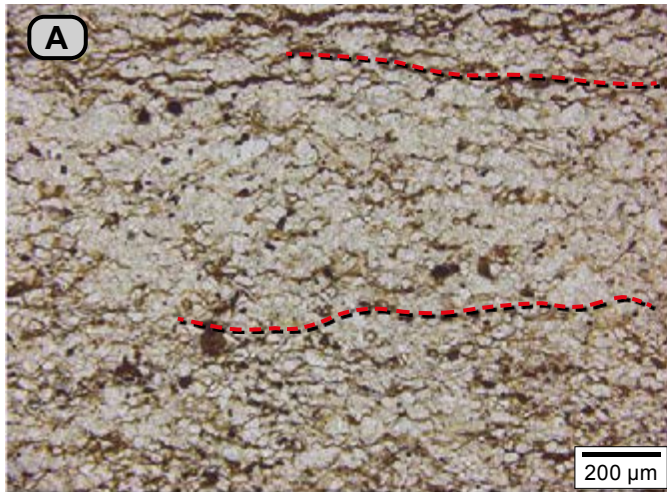


**Conjunto P2 (234-238 m).** Hacia la base se trata de *mudstone* arcillosos negros (N2), con impresiones de amonitas, cangrejos y bivalvos; gradan a un paquete de limolitas de cuarzo (**dma 5181**) grises (N4), que por meteorización toman colores crema (10YR 6/2). Están dispuestas en juegos de capas delgadas y muy delgadas con formas continuas levemente onduladas, que en ocasiones muestran laminación ondulada (**fig. 115**).

En el microscopio se observa que las limolitas tienen laminación plano-paralela (**microfacies  $\epsilon$** ), en general, las láminas presentan textura de limo, aunque algunas alcanzan textura de arena muy fina. Las láminas tienen entre los granos matriz arcillosa. El color de las láminas varía de pardo oscuro a tonos claros, los tonos pardos oscuros (13%) se deben a la arcilla está enmascarada por óxidos de hierro (**fig. 116**); los tonos blanquecinos son por la presencia de arcilla-caolinita (16%).



**Figura 115.** Conjunto P2, delimitado ente líneas rojas punteadas; hacia la base se trata de *mudstone* arcillosos grises que gradan a limolitas de cuarzo y se disponen en capas delgadas, con laminación plana paralela; en ocasiones, las capas están bioturbadas (metros 234 a 240).



**Figura 116.** Limolitas de cuarzo (**dma 5181**). **A)** Laminación señalada con líneas rojas punteadas; cada lámina presenta textura diferente a la lámina que la infrayace y a la lámina que la suprayace; la lámina intermedia tiene textura más gruesa que las láminas inferior y superior: de esta manera, una lámina con textura de limo fino pasa a textura limo grueso; además, las láminas inferior y superior tienen matriz arcillosa enmascarada por óxidos (tonos pardos), mientras que en la lámina central hay menos proporción de óxidos y hay cemento caolínítico. **B)** Misma fotografía que en la figura A, hecha con nicols cruzados: se observan las moscovitas (**m**) en colores amarillos-naranjas, como también su disposición oblicua a  $S_0$ . **C)** La línea roja punteada demarca el límite entre dos láminas, así: la superior es de textura limo grueso y tiene cemento caolínítico, mientras que en la lámina inferior el tamaño de grano es limo fino, y la matriz es arcillosa y está acompañada por óxidos de hierro; además, se observan las moscovitas paralelas a  $S_0$ . **D)** Con mayor aumento se observa una lámina oscura, en donde se aprecia el cuarzo (**c**), la moscovita (**m**) y la matriz arcillosa enmascarada por óxidos de hierro.

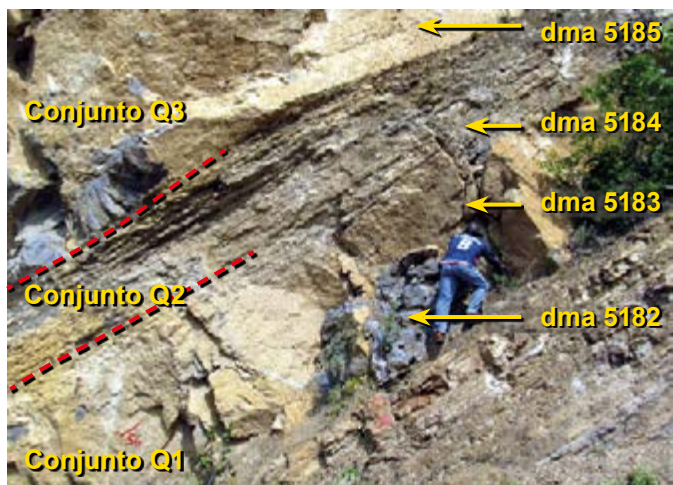


El cuarzo (52%) tiene varias formas, desde elongadas hasta equidimensionales, y desde angulares hasta subangulares. La moscovita (11%) se dispone de forma paralela y oblicua a  $S_0$ , y entre las moscovitas su disposición es perpendicular. La glauconita representa el 2%, y los óxidos de hierro, el 6%.

**Intervalo estratigráfico Q (238-270 m).** Está constituido por capas de calizas *wackestone* y *packstone* muy gruesas, bioturbadas, con interposiciones de paleosuelos (tonos anaranjados) y de horizontes de *Thalassinoides* que pueden presentar desarrollo de *hardground*.

**Conjunto Q1 (238-241 m).** Es una capa muy gruesa, de forma plana paralela, de caliza *packstone* (**dma 5182**), que hacia la parte superior grada a *wackestone* (**dma 5183**). Contiene bioclastos que presentan dos poblaciones de tamaños: restos raros de bivalvos con diámetro up de hasta 3 cm, en diferentes posiciones, algunos de ellos de concha gruesa, y fragmentos de bivalvos con textura de arena muy gruesa. Hacia el techo de la capa se observa mayor bioturbación (**dma 5183**); se destacan madrigueras aisladas de formas redondeadas (**fig. 117**).

En el microscopio, la muestra **dma 5182** se identifica como una biomicrita empaquetada (**microfacies G**). Los restos fósiles (52%) son variados, tienen los bordes micritizados y se disponen paralelos y oblicuos a  $S_0$ . Se notan varias poblaciones de tamaño y, en general, las conchas presentan redondeamiento. Los restos fósiles presentan diferente tamaño, desde centimétricos hasta textura arena (700 a 1.500  $\mu\text{m}$ ). Se reconocen: **a**) conchas desarticuladas de bivalvos esparitizadas, con bordes redondeados y de textura entre gruesa y muy gruesa; algunas muestran silicificación y escasas conchas articuladas esparitizadas y perforadas (**fig. 118**); **b**) espinas y fragmentos de placas de equinodermos (1.000  $\mu\text{m}$ ), en ocasiones fosfatizados; **c**) restos de briozoarios, y **d**) fragmentos de espongiarios silíceos hexactinélidos (Flügel, 2010, *plate 78*, fig. 4), y restos de *Scleroespogiae* (Flügel 2010, *plate 45*, fig. 3).



**Figura 117.** Conjunto Q1. *Wackestone* en capa muy gruesa plano-paralela (**dma 5182** y **dma 5183**). El Conjunto Q2 está integrado por *wackestone* y *packstone* de textura muy fina (**dma 5184**), en capas delgadas, con *Thalassinoides* apretados; grada a una capa gruesa con menor bioturbación (**dma 5185**), que es la base del conjunto Q3 (metros 236 a 243).

La micrita (40%) muestra recristalización y pasa a un agregado de cristales de calcita espar con tamaños que varían entre 12 y 33  $\mu\text{m}$ . También se presenta cuarzo (5%) con textura de arena fina y fosfatos (3%) como fragmentos que contienen granos de cuarzo o reemplazando fósiles.

En el microscopio, la muestra **dma 5183** es un *wackestone* con microfacies 11 (**fig. 119**). Se observa bioturbación: moteamiento distinto con sectores claros y oscuros; los sectores claros están caracterizados por la ausencia de materia orgánica que acompaña a la micrita; en los sectores oscuros, que representarían el sedimento original, entre los granos, la micrita de tono pardo tiene recristalización (agregados de cristales de calcita espar de 9 a 11  $\mu\text{m}$ ) y está acompañada de materia orgánica.

Los constituyentes del armazón de la roca son fósiles, cuarzo, glauconita y fosfatos (**fig. 119**). Los fósiles (24%) son: **a**) conchas de bivalvos desarticulados y en fragmentos, esparitizados y en dos grupos de tamaños: textura mediana (250 a 600  $\mu\text{m}$ ) y esporádicamente muy grueso (1.000 a 2.000  $\mu\text{m}$ ); **b**) espinas y fragmentos de equinodermos con textura arena mediana (400  $\mu\text{m}$ ); **c**) fragmentos de espongiarios; **d**) restos de briozoarios, y **e**) espículas de espongiarios: son cuerpos con formas alargadas que semejan agujas.

La micrita alcanza el 51%; el cuarzo (21%) se presenta como granos angulares, entre alargados y equidimensionales. Hay presencia de peloides de micrita (1%), fosfatos (1%), glauconita (1%) y óxidos (1%).

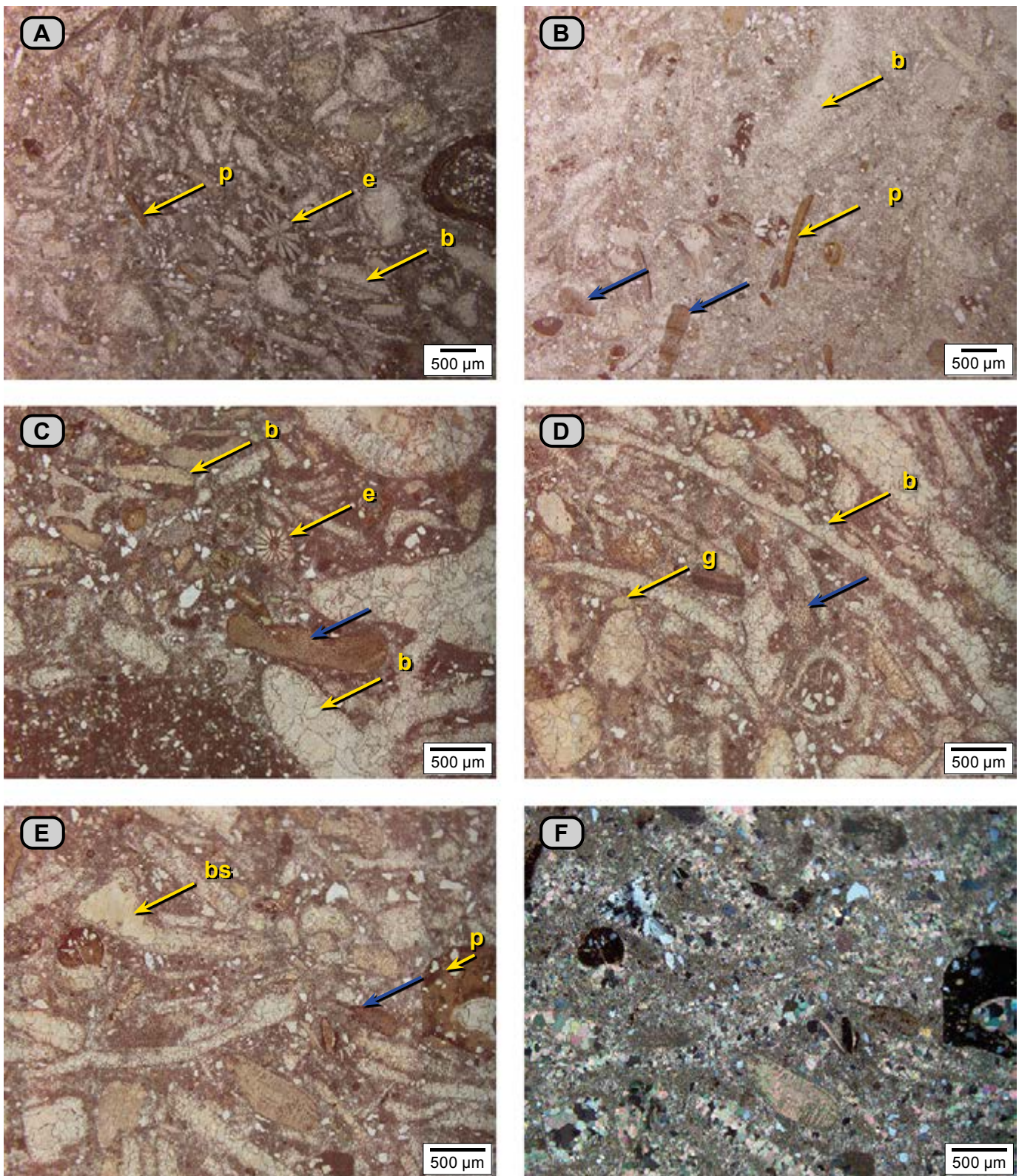
**Conjunto Q2 (241-243 m).** Son calizas *wackestone* de espongiarios (**dma 5184**) con textura de arena muy fina, en capas delgadas de *Thalassinoides* apretados (**fig. 120**). En corte perpendicular se observan formas redondeadas y ovaladas con tamaño promedio de 6 cm, que tienen una orientación preferencial paralela a  $S_0$ . Hacia el techo, las madrigueras disminuyen y se presentan rotadas y aisladas. En vista de planta, la superficie presenta cuerpos cilíndricos aislados y conectados formando una red (Fürsich 1973).

En el microscopio, es una biomicrita rala (**microfacies 9**). En ella la bioturbación es indistinta, lo que hace que resalten parches irregulares oscuros y claros (**fig. 121**), que corresponden a diferentes grados de recristalización de la micrita y a la presencia de cemento esparítico.

La micrita de tonos pardos oscuros (20%) presenta recristalización incipiente, mientras que en las zonas claras, la micrita (57%) tiene un grado mayor de neomorfismo, y se observan dos grados de recristalización: en una población el mosaico de cristales es de 9  $\mu\text{m}$ , y en la segunda población el tamaño es de 19  $\mu\text{m}$ .

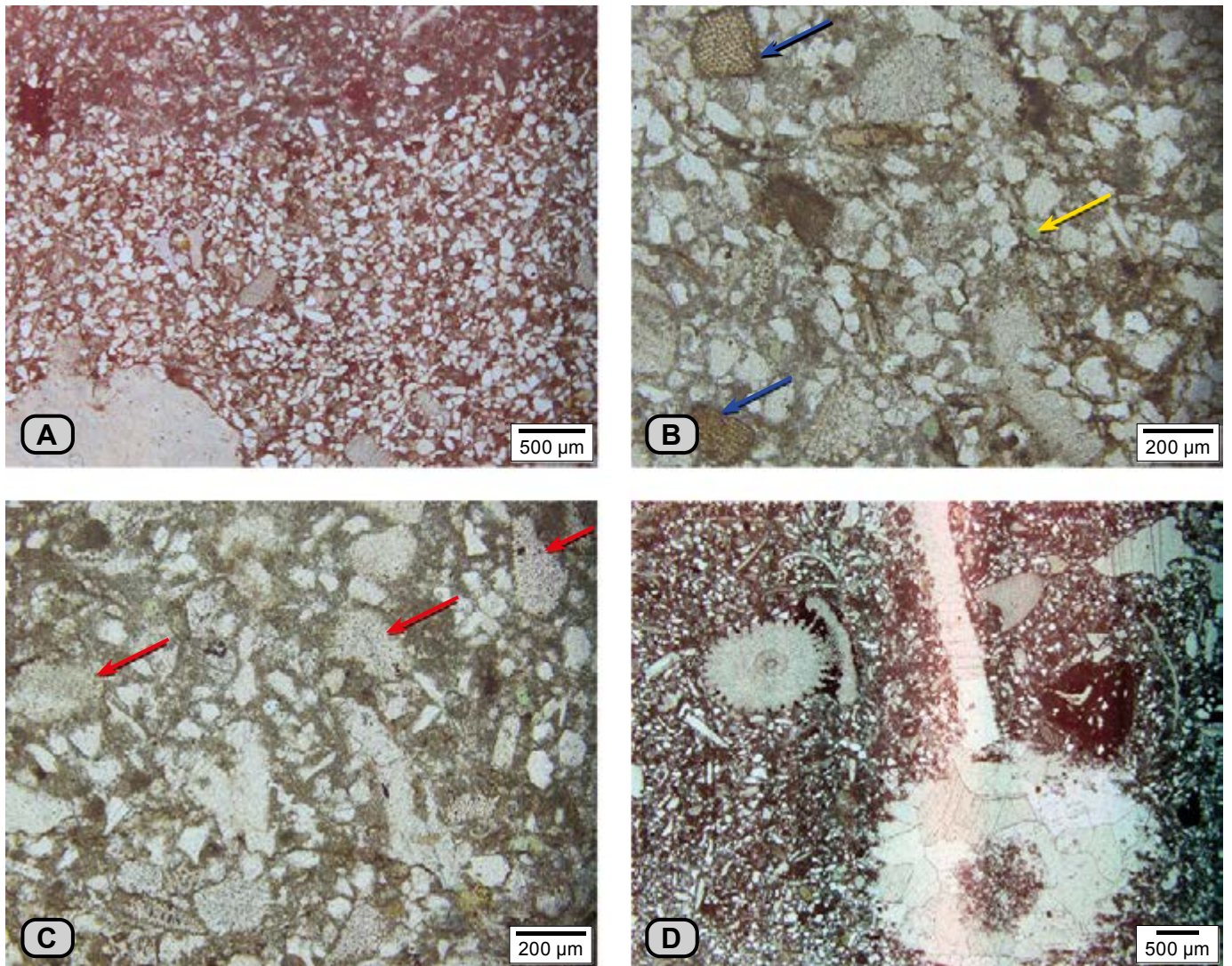
Los fósiles son: **a**) espículas de espongiarios (12%), con sus formas ovaladas, circulares, o forma de fríjol, de calcita o de sílice; **b**) fragmentos de equinodermos, y **c**) fragmentos de





**Figura 118.** Caliza wackestone (dma 5182), que bajo el microscopio es una biomicrita empaquetada. **A)** Entre los fósiles se destacan fragmentos de conchas de bivalvos esparitizados (**b**), hasta de 1.500  $\mu\text{m}$ , con contornos redondeados, espículas de equinodermos (**e**), cuarzo y algunos fragmentos fosfáticos (**p**). **B)** Otro sector de esta misma sección delgada, que corresponde a una región bioturbada; entre los mismos constituyentes se destaca la presencia de calcita espar, además de fragmentos de espongiarios (flecha azul). **C)** Con mayor detalle se observan fragmentos de bivalvos de hasta 1.200  $\mu\text{m}$ , espinas de equinodermos (**e**) y fragmentos de placas de equinoideos (flecha azul); entre ellos, micrita con recristalización incipiente. **D)** Se resalta en esta parte de la placa la presencia de fragmentos de equinoideos (flecha azul), glauconita (**g**) y conchas de bivalvos (**b**). **E)** Se muestran los fragmentos de bivalvos silicificados (**bs**), fragmentos de equinoideos (flecha azul) y fosfatos (**p**). **F)** La misma fotografía de **E**, fotografiada hecha con nicols cruzados; los restos fosfáticos son isotrópicos y se observa un bivalvo silicificado (**bs**).



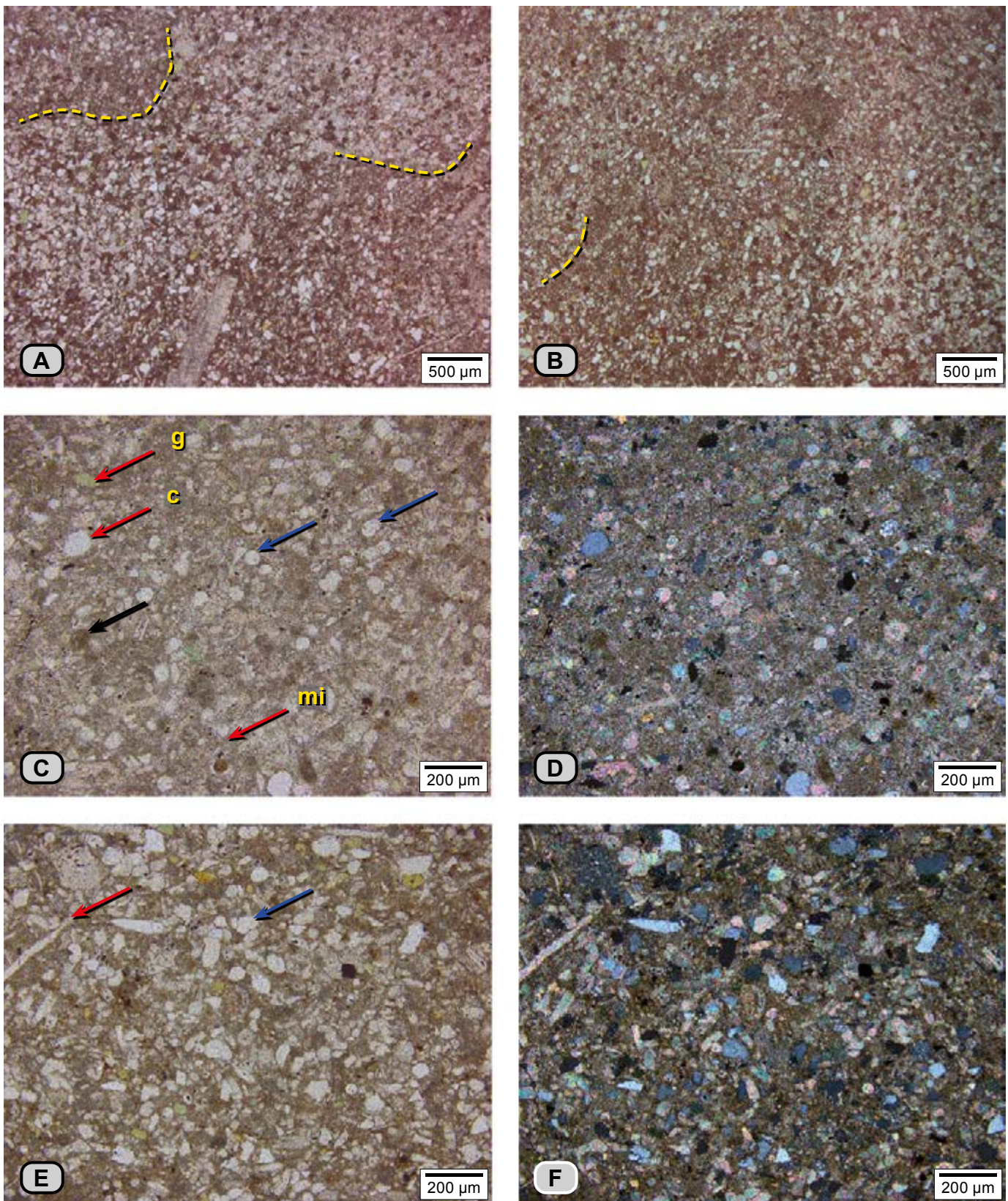


**Figura 119.** Caliza *wackestone* con cuarzo (**dma 5183**), en el microscopio se identifica como una biomicrita rala con cuarzo. **A)** La roca tiene bioturbación demarcada por el cambio de color; en el sector inferior el porcentaje de cuarzo es mayor que en el sector superior de la fotografía. **B)** Se resalta en la roca la presencia de fragmentos de espongiarios (flecha azul) y de glauconita (flecha amarilla). **C)** Las flechas rojas señalan la presencia de fragmentos de placas de equinodermos. **D)** Fotografía en la que se muestra una espícula de equinodermo, fosfatos y un fragmento de fósil no identificado.



**Figura 120. A)** *Wackestone* y *packstone* del conjunto Q1; sobre ella descansa el conjunto Q2: capas delgadas apretadas de *Thalassinoides* (**dma 5184**). El recuadro amarillo se muestra ampliado en **B.** **B)** Madrigueras apretadas de *Thalassinoides* paralelas a  $S_0$ . **C)** Parte superior del conjunto Q2: hay presencia de madrigueras de formas redondeadas y ovaladas desconectadas; entre ellas hay lodo calcáreo. Este conjunto es suprayacido por el conjunto Q3 (**dma 5158**), que presenta madrigueras aisladas.





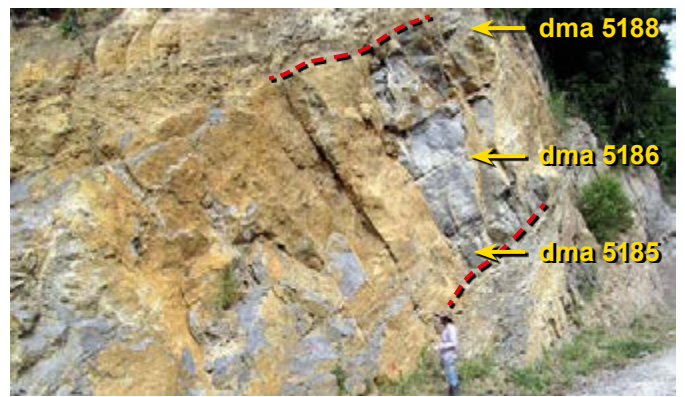
**Figura 121.** *Wackestone* de textura muy fina (*dma 5184*), en el microscopio se identifica como una biomicrita rala. **A y B)** La bioturbación queda registrada en sectores con diferentes tonos (oscuros y claros); se delimitan algunos con líneas punteadas amarillas. **C y D)** Mayor aumento para mostrar los sectores claros, y en **E y F**, los sectores oscuros. **C)** La micrita tiene recristalización (**mi**) y hay presencia de formas peloidales (flecha negra); se resalta la presencia de espículas de espongiarios vista en cortes (flechas azules), cuarzo (**c**) y glauconita (**g**). **D)** La misma fotografía de **C** hecha con nicoles cruzados. **E)** Se observa en tono pardo micrita; hay presencia de espículas de espongiarios en cortes transversales, formas redondeadas, ovaladas que semejan frijoles (flecha azul) y fragmentos alargados (flecha roja). **F)** La misma fotografía de **E** hecha con nicoles cruzados para resaltar la presencia de cuarzo.



algas incrustantes. Otros constituyentes son cuarzo (4%) en granos angulares y redondeados, fosfatos (menos del 1%) y glauconita (1%). Hay presencia de formas peletoides de tonos grises oscuros (4%).

**Conjunto Q3 (243-247 m).** Es una capa muy gruesa de caliza de color gris (N4-N6), que desarrolla pátina color naranja (10YR 6/6, 10YR 8/6). Presenta varias texturas: en la parte más baja es un *wackestone* de espongiarios con textura arena muy fina (**dma 5185**), similar al conjunto infrayacente, pero con menor bioturbación. Pasa a *wackestone* de bivalvos de concha delgada con tamaños de 3 a 8 cm y (**dma 5186**); termina en *packstone* de bivalvos de tamaños similares (3 a 10 cm), de concha gruesa (**dma 5188**) (**fig. 122**). En ambos casos las conchas aparecen esparitizadas y con menor frecuencia son de color oscuro (N1). Estas rocas se componen de dos grupos de tamaños de conchas: centimétricas y fragmentos milimétricos que se acomodan entre las conchas.

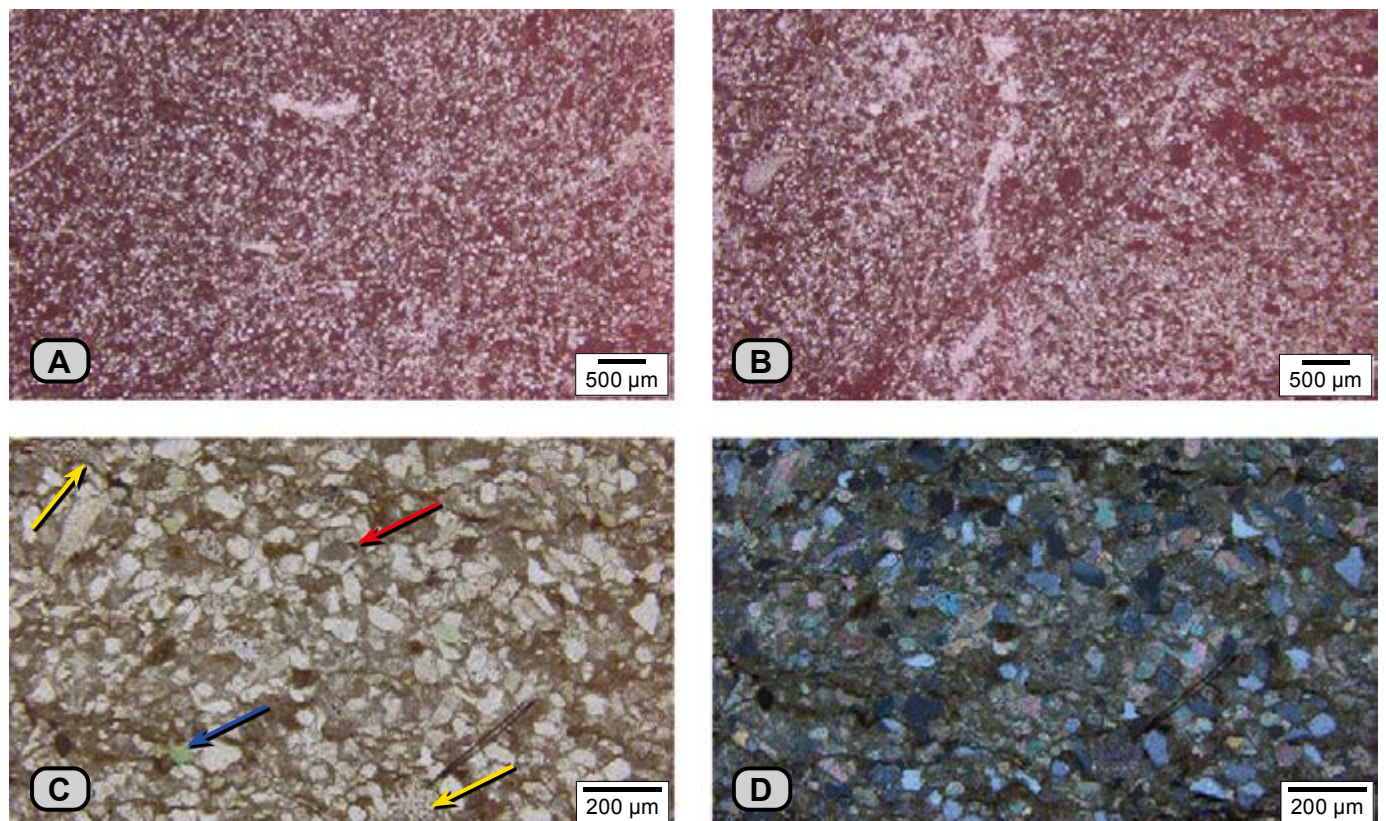
En el microscopio, la caliza *wackestone* (**dma 5185**) se identifica como biomicrita rala diversa (**microfacies 11**), bioperturbada. Se observan sectores oscuros y claros. Los últimos corresponden a madrigueras; en ellas se observa cemento en agregados de cristales de calcita de 6 a 45  $\mu\text{m}$  (**fig. 123**), que rodea los fósiles y peloides de micrita; asociados hay sectores circulares bioturbados rellenos de micrita.



**Figura 122.** Conjunto Q3. Capa muy gruesa de caliza con superficies planas paralelas (entre líneas rojas punteadas), de color gris (N4). En la base es un *wackestone* con textura de arena muy fina; pasa a *wackestone* con textura de guijo, y hacia el techo es *packstone* con textura de guijo (metros 247 a 255).

En los sectores oscuros, el cemento está ausente y la micrita está acompañada con materia orgánica.

Los fósiles (28%) son: **a)** espículas de espongiarios; **b)** restos de briozoarios y, menos frecuentemente; **c)** fragmentos de placas de equinodermos; **d)** fragmentos esparitizados de conchas de bivalvos, y **e)** fragmentos de espongiarios. Hay presencia de peloides de micrita (5%); como traza, fosfatos y glauconita; el cuarzo (12%) cuya textura varía de limo grueso a arena muy fina, es angular, de formas equidimensionales y alargadas. La micrita alcanza el 36%, y el cemento, el 19%.

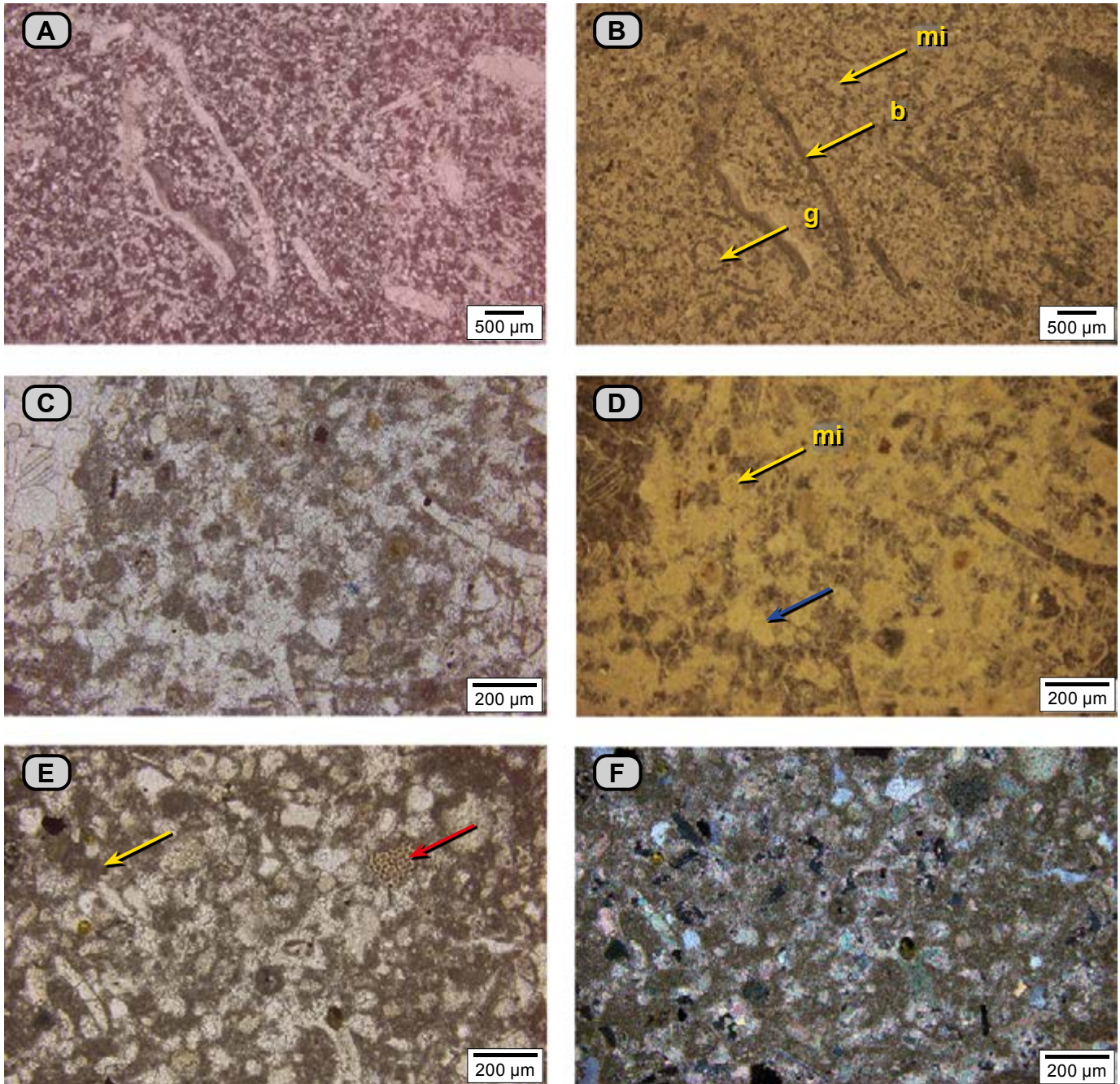


**Figura 123.** *Wackestone* de textura muy fina (**dma 5185**), en el I microscopio se identifica como una biomicrita rala. **A y B)** Aspecto general de la roca. En **B)** la bioturbación queda registrada en sectores con diferentes tonos oscuros y claros. **C)** Mayor aumento en los sectores claros, para resaltar los fragmentos de espongiarios (flecha amarilla); hay presencia de formas peloidales (flecha roja) y glauconita (flecha azul); nótese la presencia de cuarzo. **D)** La misma de **C)** hecha con nicoles cruzados para resaltar la presencia de cuarzo.



En el microscopio, la caliza con textura de *wackestone dma 5186* es una biopelmicrita (**microfacies 8**). Los fósiles (28%), por tamaño se catalogan en tres grupos: textura fina (120 a 200  $\mu\text{m}$ ); la segunda, que es la predominante, tiene textura gruesa (600 a 1.000  $\mu\text{m}$ ), y la tercera, la de menor presencia, textura de gránulo (2 a 3 cm). los fósiles están representados por: **a)** bivalvos con sus conchas enteras o desarticuladas, en general esparitizadas, dispuestas paralelas y

oblicuas a  $S_0$ ; los fragmentos de bivalvos son frecuentes y subredondeados; **b)** fragmentos de plaquetas de equinodermos, con tamaños de hasta 700  $\mu\text{m}$ ; **c)** conchas enteras de gasterópodos; **d)** fragmentos de espongiarios, y **e)** gasterópodos. También se observa cuarzo (4%) y fosfatos (1%). El material envolvente es micrita (17%); los agregados de calcita espar (30%) forman una malla y los peletoides de micrita alcanzan el 20% (**fig. 124**).

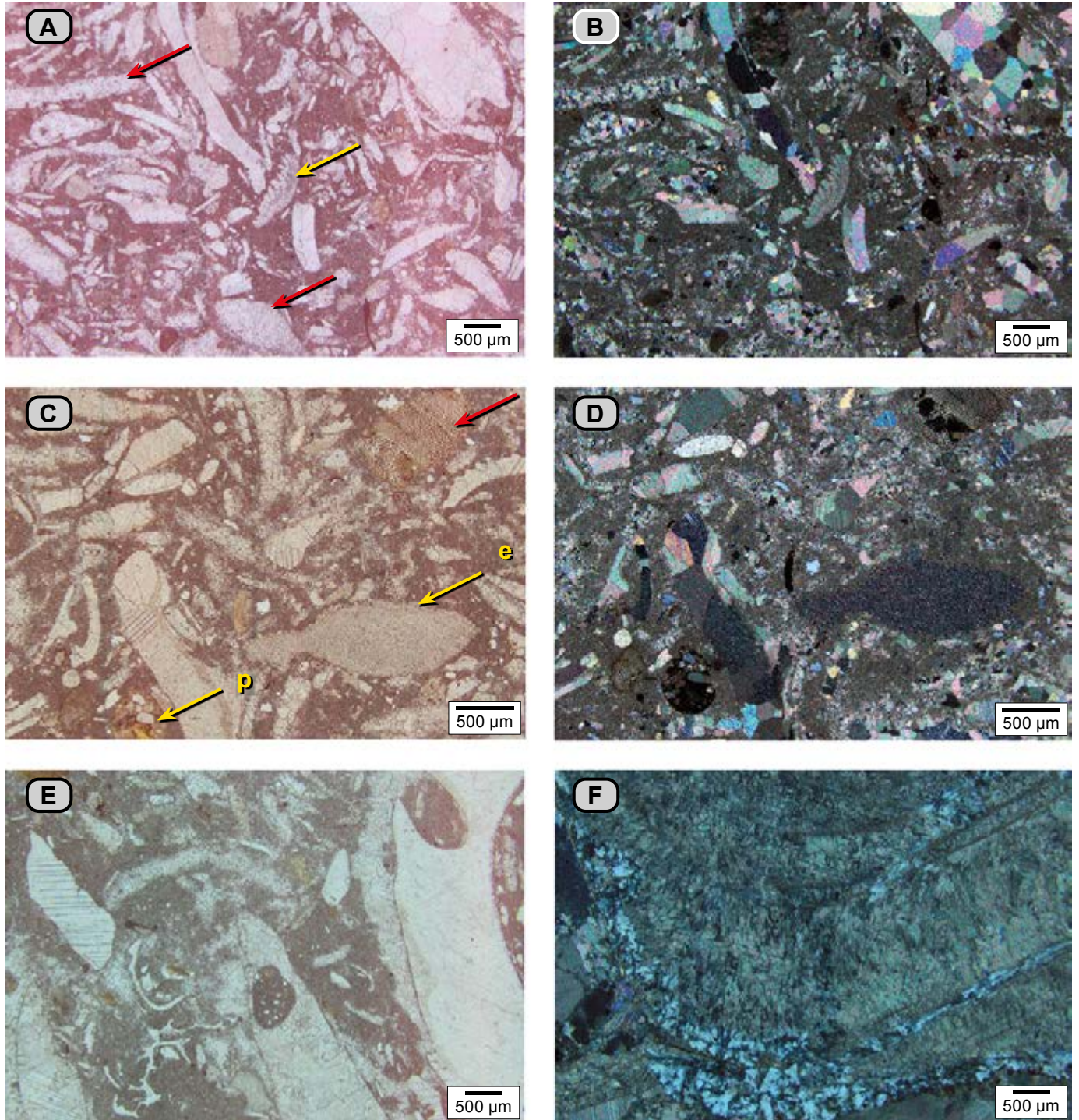


**Figura 124.** Caliza con textura *wackestone* (*dma 5186*), en el microscopio se identifica como biopelmicrita. **A)** Textura general de la roca: se observan restos de bivalvos (**b**) en conchas articuladas, desarticuladas y en fragmentos redondeados; corte de gasterópodo (**g**) y micrita (tono oscuro: gris púrpura 5RP 4/2). **B)** Se observa la misma fotografía que en **A**, hecha con luz reflejada: la micrita presenta color blanco, mientras que la calcita-espar presenta color oscuro. **C)** En otro sector de la placa, y con mayor aumento, se observan la micrita y los peletoides de micrita. **D)** La misma toma que en **C**, fotografiada con luz reflejada; en tono claro (crema) se observan micrita (**mi**) y los peloides de micrita (flecha azul); la esparita en tono oscuro; nótese los restos de bivalvos con cristales de calcita. **E)** Otro sector de la sección delgada con mayor aumento; se observan micrita y peletoides de micrita en tono oscuro (flecha amarilla); nótese resto de un espongiario calcáreo? (flecha roja). **F)** La misma toma que en **E**, pero fotografiada con nicols cruzados.



La caliza *packstone* (**dma 5187** y **dma 5188**) se identifica como biomicrita empaquetada diversa (**microfacies G**). Los fósiles (51%) están representados por: **a)** conchas centimétricas y fragmentos de bivalvos con dos grupos de tamaños: 800 a 1.500  $\mu\text{m}$  y 300 a 600  $\mu\text{m}$ ; las conchas están esparitizadas, silicificadas, y algunas tienen perforaciones; se dispo-

nen en varias posiciones; **b)** espinas y fragmentos de placas de equinodermos; **c)** fragmentos de espongiarios (Flügel 2010, fig. 9), y **d)** gasterópodos (**fig. 125**). Además del cuarzo (1%), hay fosfatos (2%), como extraclastos redondeados, que incluyen fragmentos de cuarzo y fósiles. La micrita representa el 44%.



**Figura 125.** Caliza *packstone* (**dma 5188**), en el microscopio se identifica como una biomicrita empaquetada. **A)** Se observan bivalvos en conchas desarticuladas y esparitizadas (flechas rojas), así como fragmentos de placas de equinodermos (flecha amarilla) envueltos por micrita. **B)** La misma fotografía que la figura A, pero con nicols cruzados. **C)** Se observan las conchas de bivalvos desarticuladas y esparitizadas, así como fragmentos de equinodermos (e), cuarzo, fosfatos (p) y fragmentos indeterminados (flecha roja). **D)** La misma fotografía que en C, pero hecha con nicols cruzados. **E)** Fotografía tomada con mayor detalle, en la que se observan conchas de bivalvos con perforaciones de espongiarios. **F)** Concha de bivalvo con silicificación.



**Conjunto Q4 (247-251 m).** Se trata de un cuerpo de roca meteorizado, de tonos amarillentos (10Y R6/6), poroso, con alineaciones discontinuas de motas blanquecinas (10YR 8/2) subparalelas a  $S_0$ . También se notan grumos dispersos. Presenta textura entre arcillosa y limosa. Al aplicar el HCl se produce reacción, y el ácido percola a través del material y deja un residuo arenoso, lo que permite interpretar el cuerpo como un paleosuelo generado a partir de rocas calizas. Es de destacar la presencia de granos con textura de arena fina de glauconita (1-3%) (fig. 126).

**Conjunto Q5 (251-257 m).** Es un banco muy grueso (6 m) de caliza, con forma plana paralela, que de base a techo presenta decrecimiento en el tamaño y la cantidad de los bioclastos. Se diferencian tres texturas (fig. 127):

i) *Wackestone* de bivalvos con cuarzo (dma 5189), hacia la parte baja de la capa. En ella se reconocen tres tamaños de bioclastos: **a)** conchas esparitizadas cuyo grosor varía de 2 a 3 cm, con diámetro up de hasta 12 cm, articuladas o desarticuladas, orientadas de modo paralelo, oblicuo o perpendicular a  $S_0$ ; **b)** conchas de valvas delgadas (5 mm), con diámetro up de hasta 5 cm, blancas (esparitizadas) y negras, articuladas o desarticuladas, y **c)** fragmentos de bivalvos con tamaños milimétricos (fig. 128). La roca tiene cuarzo con textura que varía de arena fina a limo.

ii) *Wackestone* de bivalvos (dma 5190), se observa hacia en la parte media del banco. Los bivalvos presentes tienen menor diámetro up (4 cm) y son más uniformes. Las conchas son de valvas delgadas (3 mm) y se presentan articuladas, así como desarticuladas. Los granos de cuarzo presentan textura de arena fina.

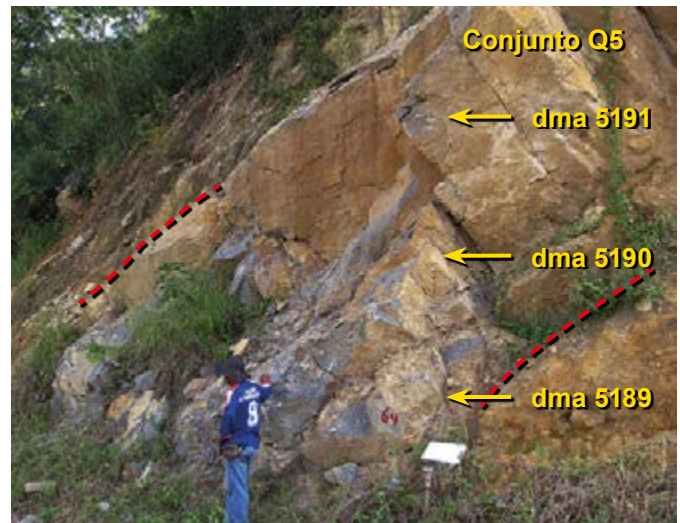
iii) *Wackestone* a *mudstone* (dma 5191), presente en la parte superior del banco. Allí los restos fósiles son más escasos, mientras que el porcentaje de cuarzo es mayor y su textura varía de arena fina a muy fina, y de manera dispersa, a arena muy gruesa.

En el microscopio, la caliza *wackestone* con cuarzo más inferior (dma 5189) es una biomicrita rala de bivalvos con cuarzo (microfacies 11) (fig. 129). Los fósiles (34%) son: **a)** bivalvos de dos tamaños: centimétricos (1 a 1,5 cm) y fragmentos de conchas micrométricos, cuyo mayor tamaño corresponde a la textura de arena gruesa (700  $\mu\text{m}$ ). En general, los bioclastos se disponen oblicuos a  $S_0$ , están esparitizados, con menor frecuencia, silicificados, y algunos muestran remanentes de la estructura original; algunas conchas muestran perforaciones de espongiarios; las conchas con textura de arena gruesa muestran bordes redondeados; **b)** fragmentos de placas de equinodermos; **c)** gasterópodos. Se observan restos fosfatizados (2%) y de glauconita (1%). El cuarzo (14%) tiene textura que varía de arena fina a muy fina y se presenta en fragmentos subelongados, equidimensionales, angulares y redondeados. La micrita representa el 49%.

En el microscopio, la caliza con textura *wackestone* de bivalvos de la parte media del banco (dma 5190) se identifica como biomicrita rala (microfacies 11) (fig. 130). Se destacan varios tamaños de bioclastos: centimétricos (1 a 2,5 cm)



**Figura 126.** Afloramiento del conjunto Q4; entre líneas rojas punteadas se delimita el paleosuelo calcáreo. Es una roca friable, porosa, de tono pardo amarillento, que se encuentra entre dos capas muy gruesas de caliza *packstone* (metros 247 a 252).

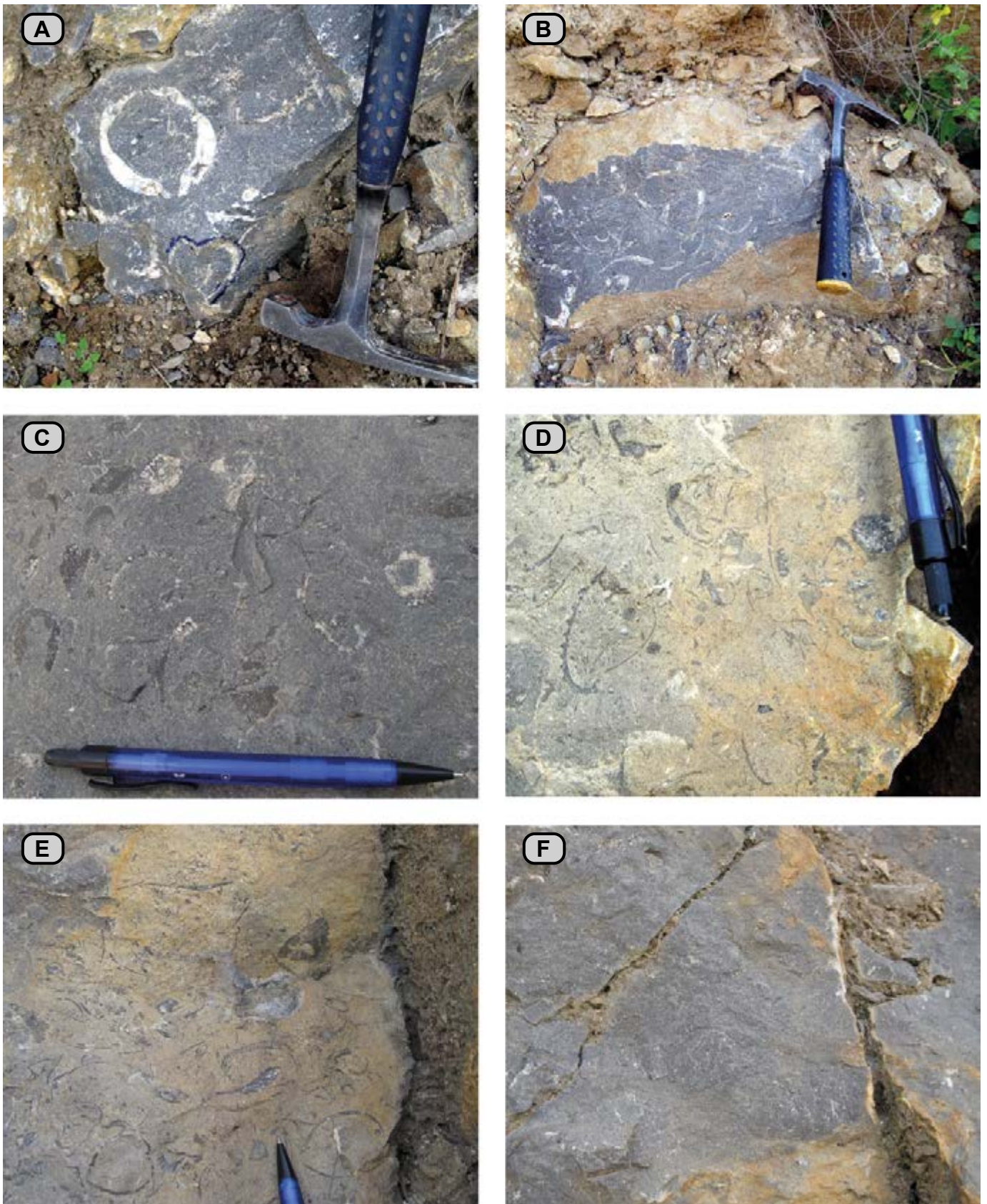


**Figura 127.** Conjunto Q5. Banco de caliza *wackestone* (líneas rojas punteadas) situado entre dos cuerpos interpretados como paleosuelos generados a partir de rocas calizas (metros 250 a 258).

hasta textura arena media (270  $\mu\text{m}$ ). Los fósiles (45%) están representados por: **a)** bivalvos, presentes como conchas enteras y en fragmentos redondeados, en general esparitizados; son menos frecuentes las conchas que conservan su estructura original; en algunas es evidente la silicificación; en ocasiones se observan conchas con perforaciones por espongiarios; las conchas están dispuestas de forma tanto oblicua como paralela a  $S_0$ ; **b)** fragmentos de placas de equinodermos; **c)** restos de gasterópodos, y **d)** restos de briozoarios.

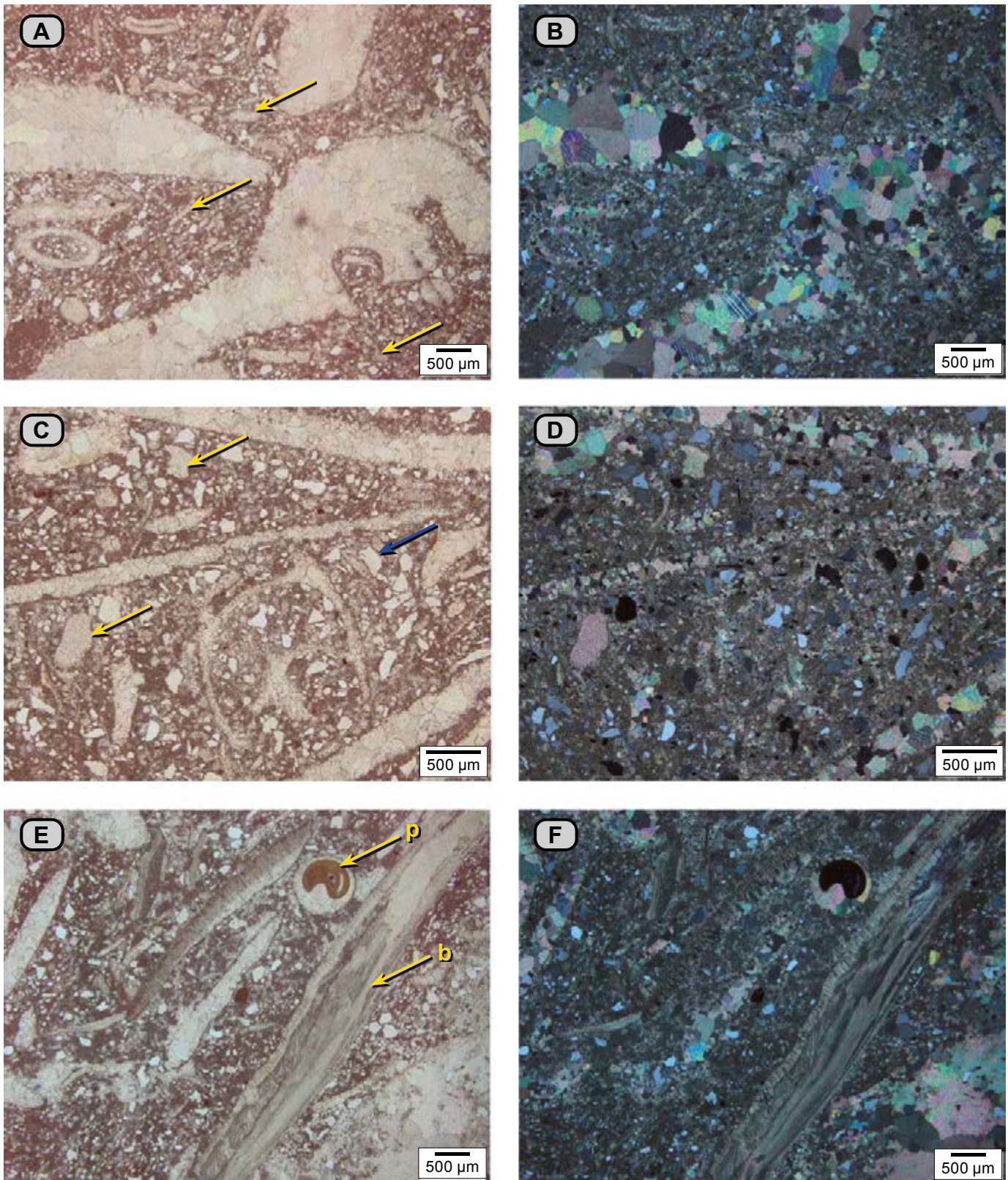
Otros constituyentes son fosfatos (4%) de formas irregulares con textura arena gruesa, algunos de los cuales engloban granos de cuarzo y calcita. La micrita alcanza el 43%. El cuarzo (8%) tiene textura arena fina. Se presentan algunos estilolitos, con los que aparece asociada materia orgánica y cuarzo con textura de arena fina. Se observan concentraciones de coprolitos, en ocasiones agrupados.





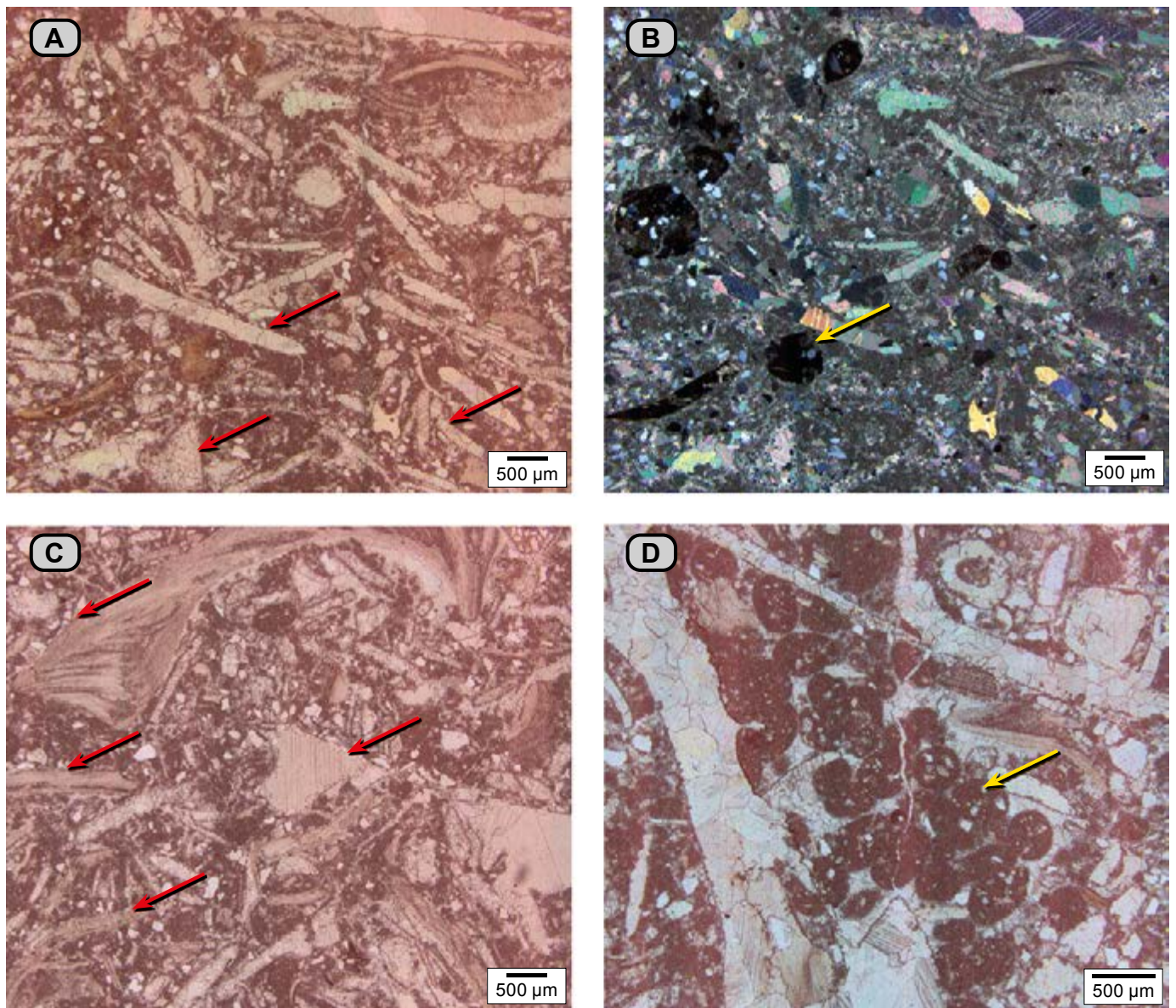
**Figura 128.** Variación textural de las calizas del conjunto Q5. **A y B)** Caliza con textura de *wackestone* (**dma 5189** y **dma 5190**) de la parte baja del banco; nótese la presencia de bivalvos con conchas espartizadas articuladas y desarticuladas, dispuestas en forma oblicua a  $S_0$ , con tamaño máximo de 9 cm. **C, D y E)** Caliza con textura *wackestone* (**dma 5190**) de la parte media del banco; hay bivalvos con conchas espartizadas, articuladas y desarticuladas; los tamaños de las conchas son más homogéneos y, en general, el grosor de las valvas es milimétrico. **F)** Caliza con textura *mudstone*, de tono gris (N6) (**dma 5191**); nótese las madrigueras desconectadas de tonos más oscuros (N5).





**Figura 129.** Caliza wackestone (dma 5189), que con el microscopio se identifica como una biomicrita rala. **A)** Las conchas de bivalvos muestran dos tamaños: los fragmentos con texturas que fluctúan entre arena media y gruesa, con bordes redondeados (flechas amarillas), y conchas de bivalvos centimétricos; la concha inferior tiene perforaciones de espongiarios. **B)** Misma fotografía de **(A)**, con nicoles cruzados; nótese las conchas y los fragmentos de bivalvos esparitizados. **C)** Otro sector de la misma placa, en donde se observan los dos tamaños de los fragmentos y conchas de bivalvos; nótese los fragmentos de placas de equinodermos (flechas amarillas) y un grano de cuarzo (flecha azul). **D)** Misma fotografía de **(C)** hecha con nicoles cruzados. **E)** Otro sector de la placa para ilustrar la presencia de fosfatos (**p**) que rellenan un corte de gasterópodo; nótese las conchas de bivalvos esparitizados y, algo menos frecuente, conchas con su estructura original (**b**); este bivalvo tiene, además, silicificación. **F)** Misma fotografía de **(E)** hecha con nicoles cruzados.





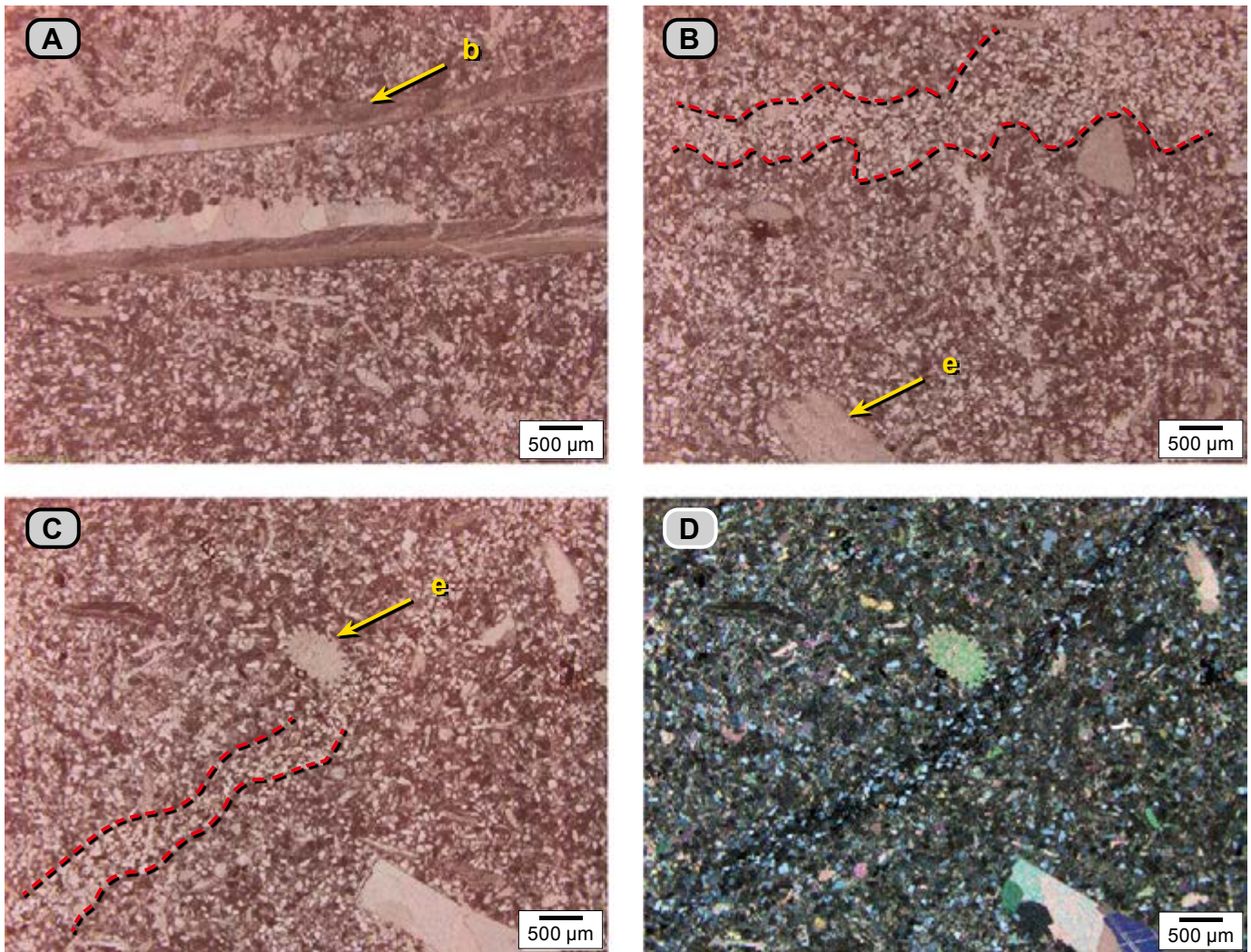
**Figura 130.** *Wackestone* de la parte media del banco del conjunto Q5 (**dma 5190**). Se identifica como biomicrita rala. **A)** Se observan fragmentos redondeados de bivalvos esparitizados con textura que varía entre arena de mediana y muy gruesa, que es la que predomina (algunos se resaltan con las flechas rojas). **B)** La misma fotografía que en **A**, fotografiada con nicoles cruzados; se resalta la presencia de fosfatos de color oscuro (flecha amarilla). **C)** Conchas de bivalvos esparitizadas y algunas con su estructura original; nótese la textura de arena mediana a gruesa de las conchas de bivalvos (flechas rojas). **D)** Se resalta la presencia de conchas de bivalvos y concentraciones de formas ovoides micríticas con granos de cuarzo con textura entre arena mediana y gruesa; coprolitos de crustáceos.

En el microscopio, la caliza *wackestone* con cuarzo de la parte superior del conjunto Q5 (**dma 5191** y **dma 5190**) se identifica como biopelmicrita con cuarzo, con microfacies tipo 6, bioturbada. Se presentan madrigueras paralelas y oblicuas a  $S_0$ , cuyos contornos o paredes están definidos por arcilla con materia orgánica y cuarzo. En las madrigueras se observa micrita (41%) que envuelve: **1)** fósiles (15%) con textura de gránulo (4.000 µm), representados por: **a)** conchas de bivalvos esparitizadas y conchas con relictos de su estructura original; también se observan silicificadas; **b)** espículas y placas de equinodermos. **2)** Pellets de micrita (6%). **3)** Cuarzo (22%). **4)** Fosfatos (1%); y **5)** coprolitos de crustáceos (4%) (**fig. 131**). Se observan agregados de calcita espar formando una especie de enrejado (10%).

El techo del conjunto Q5 (metro 257 de la sucesión estratigráfica) presenta una superficie irregular monticular, con protuberancias y depresiones interconectadas: *hardground* (**fig. 132**); muestra coloraciones pardas (10YR 6/6 y 10YR 8/6); hay incrustaciones de conchas de bivalvos con diámetro up de 10 cm de *Aetostreon sp.*, con ambas valvas o fragmentos.

Esta misma superficie (N:1.279.989, E:1.285.240, Z: 622) se observa por la carretera que desde Lebrija conduce a San Vicente de Chucurí, antes del cruce con la quebrada La Molinilla. En esta superficie se han encontrado amonitas y es notoria la presencia de pequeños núcleos con concentraciones de grifeidos, *Cyprina sp.*, *Panopaea sp.*, *Clementia sp.*, *Ptychomia sp.*, etc. (**fig. 133**).



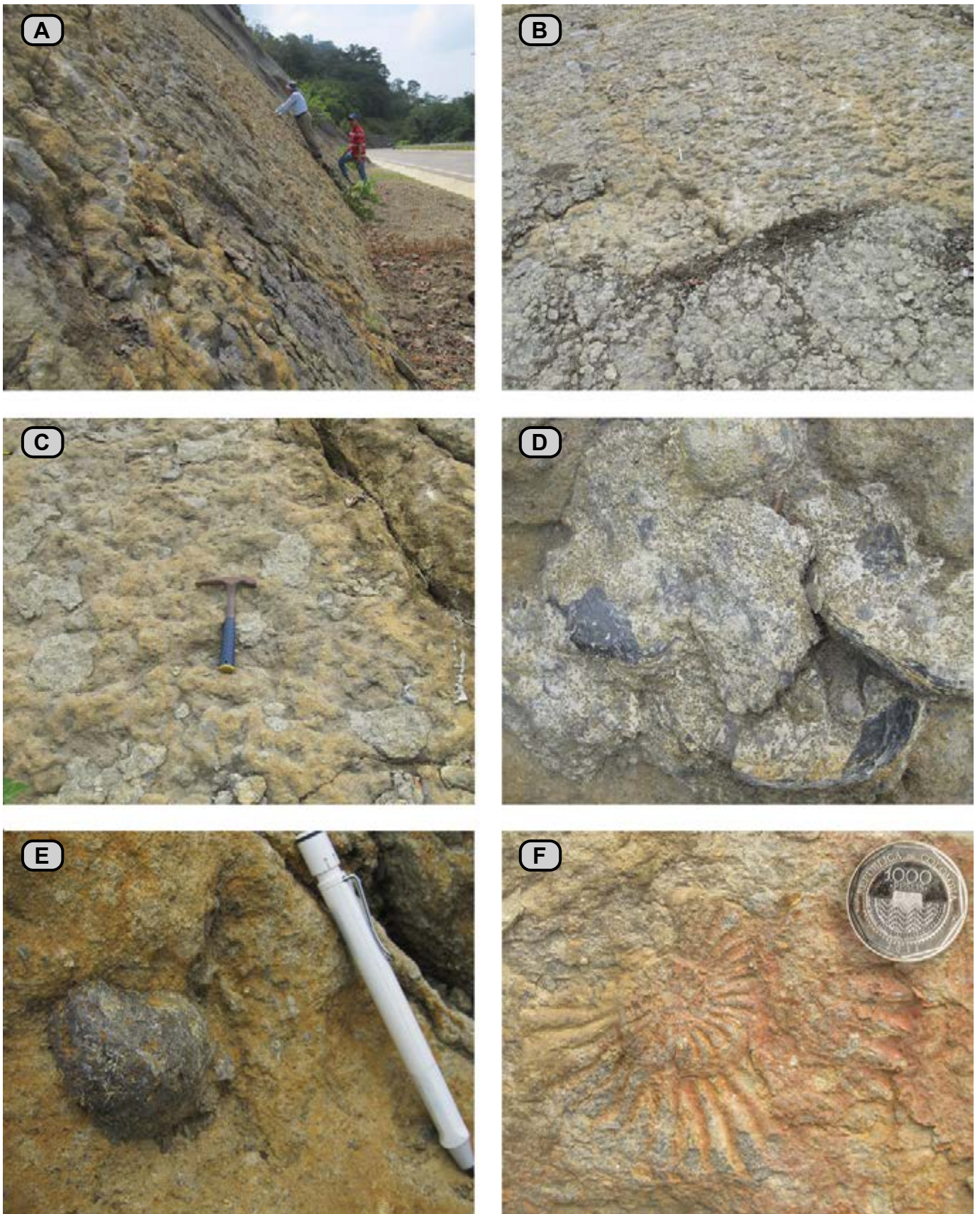


**Figura 131.** Wackestone con cuarzo de la parte superior del conjunto Q5 (dma 5191). En el microscopio se identifica como una biomicrita rala con cuarzo. **A)** Aspecto general de la roca: se observan micrita de tono pardo oscuro rojizo, fragmentos de bivalvos (**b**) y granos de cuarzo cuya textura varía de arena muy fina a limo. **B y C)** Se ilustra la bioturbación de la roca con líneas rojas punteadas, que corresponde a madrigueras rellenas con fragmentos de cuarzo, micrita y materia orgánica; nótese además la presencia de placas y espinas de equinodermos (**e**). **D)** La misma fotografía de **C** hecha con niculos cruzados.



**Figura 132.** Superficie en tonos pardos, irregular con depresiones y protuberancias: *hardground* (metro 257).

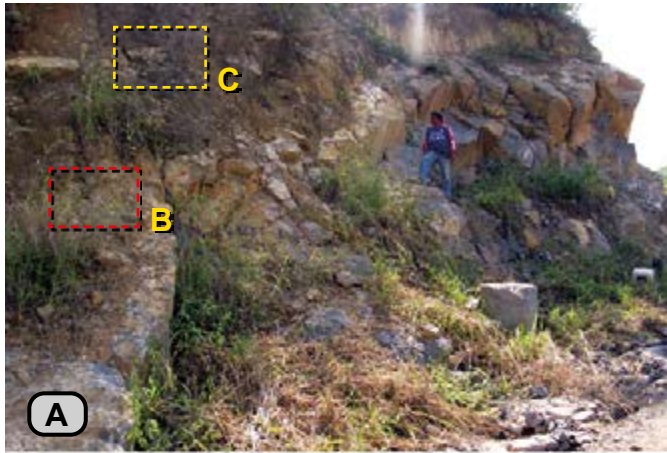




**Figura 133.** Superficie de *hardground* por la vía Lebrija-San Vicente de Chucurí, antes del cruce con la quebrada La Molinilla (metro 265, columna de la Formación Tablazo, N:1.280.045, E:1.085.246, Z:622). **A, B y C)** Plano rugoso con un enrejado de *Thalassinoides*. **D)** Conchas de bivalvos *Aetostreon* sp. con ambas valvas sobre la superficie de *hardground*, con perforaciones de espongiarios en las superficies de las conchas. **E)** Concha de *Cucullaea* sp. perforada por espongiarios. **F)** Molde interno de amonita (*Ralphimlayites apuloense*).



**Conjunto Q6 (257-259 m).** Alternancia de dos cuerpos de roca meteorizada de tono pardo amarillento (10YR 6/6 y 10YR 8/6) con una caliza *packstone* de color gris (N4). En general, los tres cuerpos litológicos son capas gruesas de formas planas paralelas (**fig. 134A**). Las capas meteorizadas, de naturaleza calcárea, son porosas, con moteado blan-



**Figura 134.** A) Sobre una superficie de *hardground* (primer plano a la izquierda) se observa el conjunto Q6, representado por dos cuerpos de paleosuelos residuales calcáreos separados por una caliza *packstone*. El recuadro rojo está ampliado en B, y el recuadro amarillo en C. B) Material friable de tonos cremas con motas blancas que representa el paleosuelo inferior. C) Concentraciones empaquetadas de bivalvos y madrigueras con tamaño máximo de 6 cm: *packstone* de bivalvos.

quecino, friables y parecen representar episodios de formación de paleosuelos (**fig. 134B**). Se alcanzan a diferenciar conchas articuladas de bivalvos con diámetro up de 4 a 6 cm, identificadas como *Cyprina (Venilicardia) sp.* (**dma 5193f**), que flotan en la masa porosa; también se pueden reconocer madrigueras entre irregulares y redondeadas y glauconita.

En la caliza *packstone* que se interpone entre las dos capas meteorizadas, se presentan bivalvos articulados con diámetro up de 3 a 7 cm, empaquetados. Se reconocen *Ptychomia sp.*, *Panopaea sp.*, *Clementia ricordeana* (ORBIGNY, 1845, *sensu* Dietrich, 1938) (**dma 5194f**), además de cuerpos irregulares y redondeados que representan remanentes de *Thalassinoides* (**fig. 134C**).

**Conjunto Q7 (259-261 m).** Es un *packstone* con bivalvos, gris (N4). Las conchas están desarticuladas y, en general, dispuestas de modo paralelo a  $S_0$ , con tamaños de 1 a 7 cm, espartitizadas (**dma 5195**); algunos ejemplares conservan la concha original del *Aetostreon sp.* La caliza forma una capa muy gruesa plano-paralela (**fig. 135**).

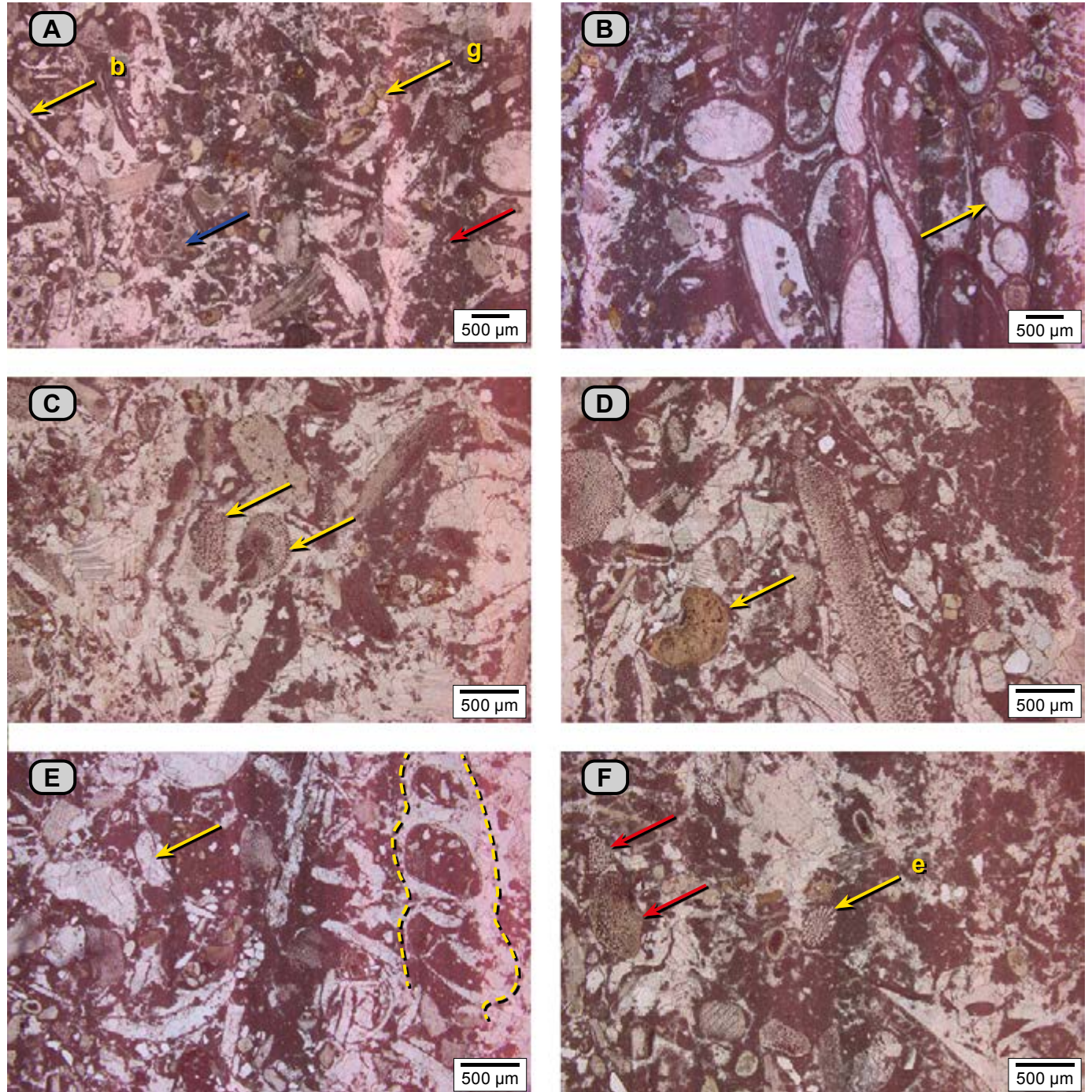


**Figura 135.** *Packstone* dispuesto en una capa muy gruesa, que descansa sobre un paleosuelo calcáreo; nótese las estructuras de disolución (metros 264 a 266).



En el microscopio se identifica como biomicrita empaquetada (**microfacies G**) (**dma 5195**). La micrita (27%) envuelve los fósiles (59%), que aparecen de varios tamaños (**fig. 136**): con textura arena gruesa (700  $\mu\text{m}$ ), milimétrica y centimétrica. Los fragmentos se disponen perpendiculares u oblicuos y, con menor frecuencia, paralelos a  $S_0$ . Se reconocen: **a**) fragmentos de bivalvos, esparitizados, perforados tanto en los bordes como en

el interior; también se presentan fragmentos de bivalvos de menor tamaño, esparitizados o que conservan algunas de sus estructuras originales; **b**) fragmentos de equinodermos; **c**) restos de colonias de serpulidos; **d**) fragmentos de briozoarios; **e**) fragmentos de gasterópodos; **f**) fragmentos de espongiarios calcáreos; **g**) restos orgánicos que podrían corresponder a algas (Flügel 2010, fig. 5, *plate 64*); **h**) algas incrustantes.



**Figura 136.** *Packstone* (**dma 5195**); se identifica como biomicrita empaquetada. **A**) Aspecto general de la sección delgada: se reconocen bivalvos (**b**), glauconita (**g**), fragmentos de algas? (flecha azul) (Flügel 2010, *plate 64*, fig. 5); en el cuarto inferior derecho de la figura se observan concentraciones de pellets fecales (flecha roja). **B**) Colonia de tubos de serpulidos (flecha amarilla), algunos llenos de calcita presente en cristales gruesos; nótese la presencia de peloides de glauconita de tonos verdes y de fosfatos de tonos pardos. **C**) Fragmentos de espongiarios y equinodermos (flecha amarilla). **D**) La misma fotografía que en **C**, hecha con nicols cruzados. **E**) Presencia de gasterópodos (entre líneas amarillas punteadas), bivalvos (flecha amarilla) y madrigueras rellenas por esparita. **F**) Otro sector de la misma sección delgada, con presencia de espinas de espongiarios (flechas rojas), cuarzo (**c**) y pellets micríticos.



En el interior de los bivalvos, fragmentos de serpúlidos y gasterópodos es común ver concentraciones de peloides micríticos (2%) y coprolitos.

La glauconita se destaca como peloides que contienen hilos de pirita (3%). Los fosfatos (6%) tienen formas irregulares, redondeadas, y se presentan como rellenos de cámaras de gasterópodos. Hay cuarzo con textura arena fina a media (3%).

**Conjunto Q8 (261-264 m).** Este conjunto se describe con referencia a los afloramientos observados en el costado sur del río Sogamoso, cuando este corta el cerro La India (Tablazo), en el punto con coordenadas N:1.269.874, E:1.081.156, Z:350.

La parte inferior (2 m) del conjunto está cubierta. Sobre ella siguen dos parejas de capas, cada una constituida por una caliza gruesa con textura de *wackestone*, con desarrollo de *Thalassinoides*, sobreimpuesta por un intervalo de capas delgadas de *Thalassinoides* apretados (Fürsich 1973) (**fig. 137**).

**Conjunto Q9 (264-270 m, techo).** Se intercalan calizas *wackestone* y *packstone* con cuarzo, las rocas son de tonos grises (N4), en general en capas muy gruesas de formas planas paralelas (**fig. 138**).

La base de este conjunto es una capa muy gruesa de caliza *wackestone* con cuarzo. Se destacan *Aetostreon sp.*, algunas conchas dispersas de bivalvos, esparitizadas, articuladas o desarticuladas, con diámetro up de hasta 5 cm, dispuestas paralelas y oblicuas a  $S_0$ . Predominan los fragmentos de bioclastos con texturas arena muy gruesa a gránulo. La roca presenta madrigueras aisladas con contornos difusos. El techo de esta capa muestra en su superficie una red de *Thalassinoides* (**fig. 138A**).

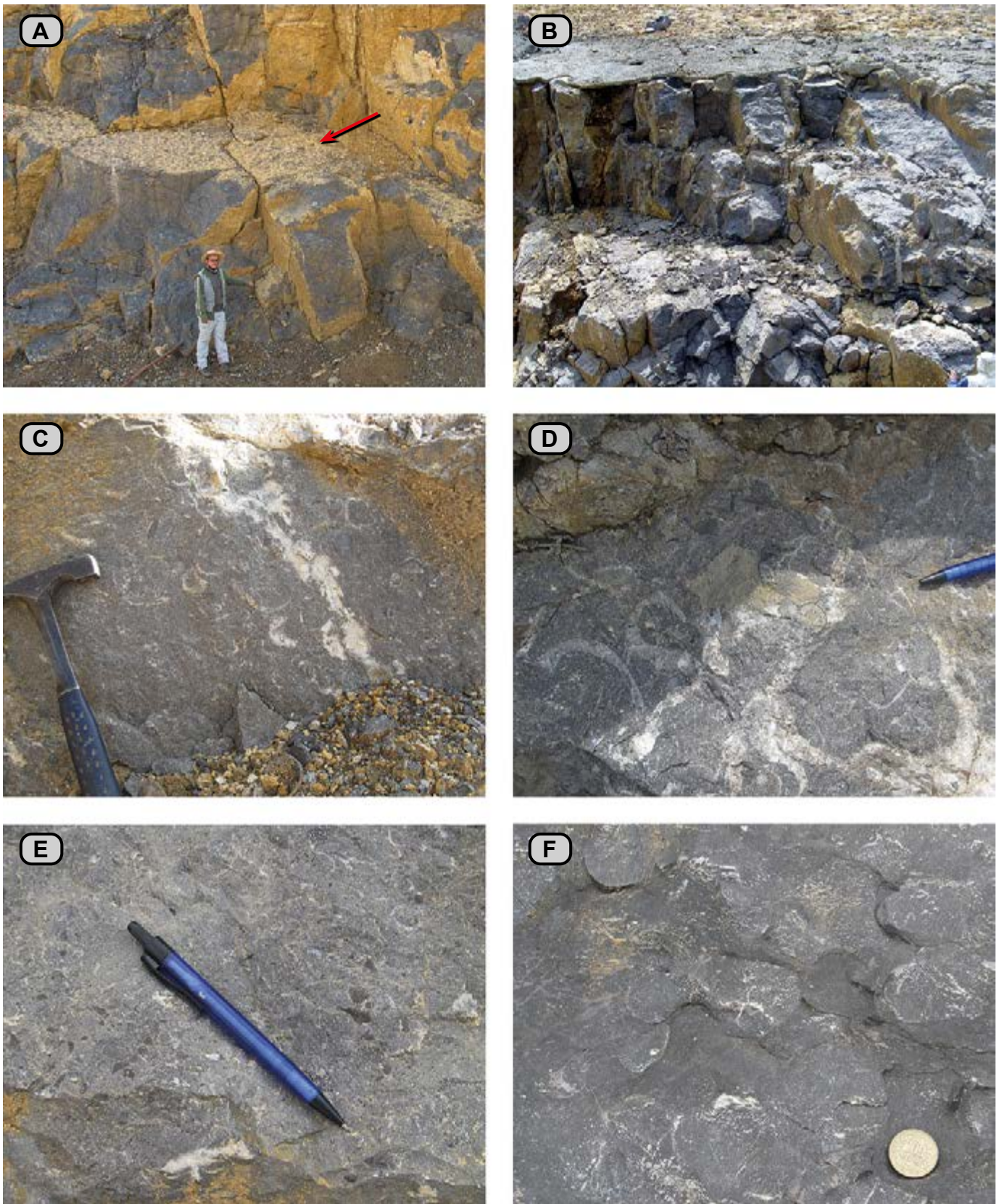
Los rasgos de estas capas son característicos, y se describirán con base en las secciones delgadas de muestras de la sección La Molinilla (**dma 5418**) (**dma 5419**).

La muestra **dma 5418** procede de la base de la capa, y la **dma 5419** fue tomada 90 cm arriba de la base de la misma capa, en un sector bioturbado. En el microscopio, la roca **dma 5418** se identifica como biomicrita rala diversa (**microfacies 11**); presenta bioturbación: se observan sectores más claros, con mayor porcentaje de cuarzo que el presente en los sectores oscuros (**fig. 139**). Los fósiles (38%) están representados por conchas de bivalvos en varias posiciones, paralelos u oblicuos a  $S_0$ , con tres poblaciones de tamaño: desde textura gruesa (600  $\mu\text{m}$ ) y muy gruesa (2.000  $\mu\text{m}$ ) hasta centimétrica. Las texturas gruesas y muy gruesas tienen como característica la forma subredondeada de los bioclastos. Las conchas de bivalvos se presentan esparitizadas, y unas pocas conservan su ornamentación. Entre los fósiles también se presentan fragmentos de equinodermos. El cuarzo (22%) tiene textura entre fina y muy fina, y sus granos son angulares, entre equidimensionales y subelongados. Hay presencia de fosfatos (2%) con formas irregulares y tamaño máximo de 600  $\mu\text{m}$ ; trazas de minerales opacos y plagioclasas están envueltos por micrita (38%), que presenta recristalización a cristales de 15  $\mu\text{m}$  en algunos sectores bioturbados.



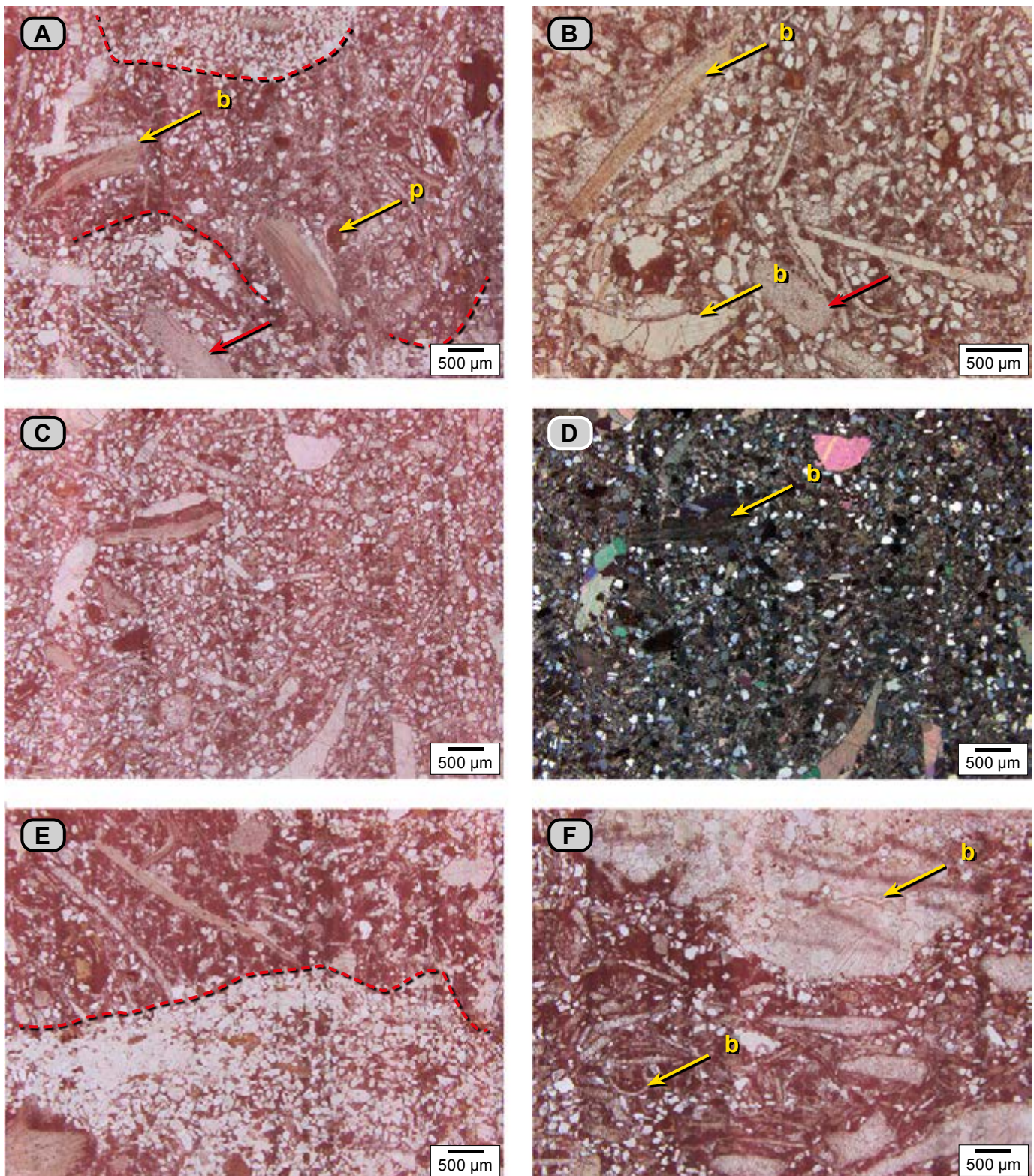
**Figura 137.** A) Conjuntos cuspidales de la Formación Tablazo. El Conjunto Q8 está conformado por capas gruesas de calizas *mudstone* con cuarzos y niveles apretados de *Thalassinoides*. B y C) Superficie formada por una red de *Thalassinoides* (en recuadro amarillo).





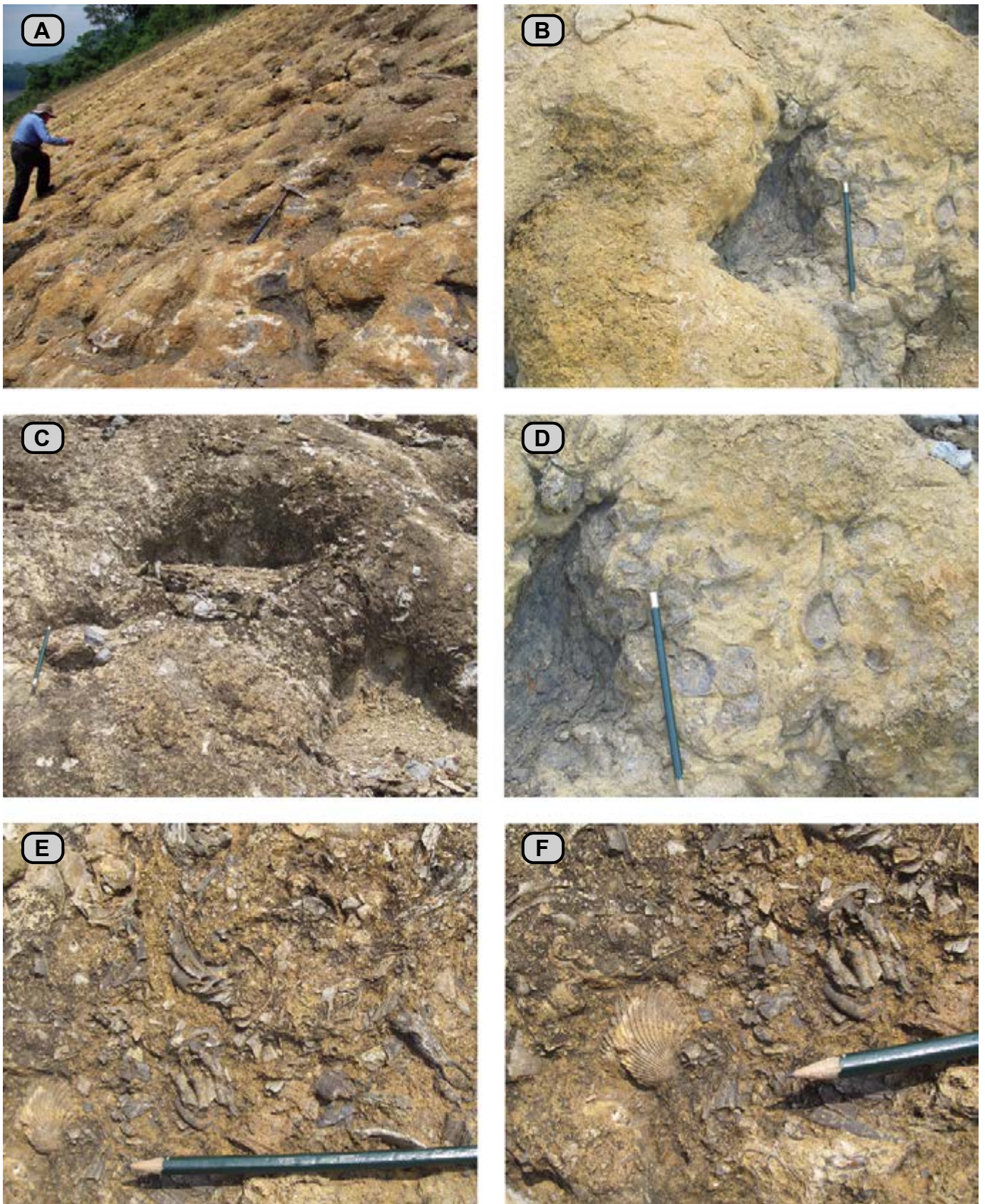
**Figura 138. A)** Calizas *wackestone* y *packstone* en capas muy gruesas, con formas planas paralelas continuas, de la parte cuspidal de la Formación Tablazo (persona de 1,80 m de estatura, metros 270 a 275); la flecha roja señala una superficie de madrigueras (*Thalassinoides*). **B)** Techo de la Formación Tablazo, representado por una caliza *packstone*. **C y D)** Caliza *packstone* del techo de la Formación Tablazo, en donde se observan bivalvos con conchas articuladas y desarticuladas, esparitizadas. **E)** Detalle de la caliza *packstone*; nótese los fragmentos de conchas de color negro. **F)** Detalle de la vista de la cara vertical de la caliza *wackestone*; obsérvese la distribución de las madrigueras de *Thalassinoides* desconectadas.





**Figura 139. A, B, C y D)** Caliza *wackestone* con cuarzo (*dma 5418*); bajo el microscopio se revela como una biomicrita rala con cuarzo de textura de arena fina. **A)** Bioturbación resaltada por líneas rojas punteadas; nótese la abundancia de cuarzo en las madrigueras; se observa la presencia de fragmentos de bivalvos (**b**), fosfatos (**p**), cuarzo y fragmentos de equinodermos (flecha roja). **B)** Otro sector de la sección delgada, con mayor detalle; se observan los constituyentes y su disposición; las conchas de los bivalvos (**b**) y los fragmentos fósiles están oblicuos y paralelos a  $S_0$ ; nótese la micritización en los bordes de los fragmentos de bivalvos. **C y D)** Se observa otro sector de la placa con presencia de fragmentos de bivalvos, fosfatos y cuarzo. **D)** fotografía de **C** hecha con nicoles cruzados; se resalta con flecha amarilla la presencia de un fragmento de un bivalvo con su estructura original y fósiles esparitizados. **E y F)** *Wackestone* con cuarzo (*dma 5419*), que en el microscopio se identifica como biomicrita rala con cuarzo. La línea roja punteada demarca dos sectores: el inferior muestra una concentración de cuarzo con textura arena fina (relleno de madriguera), mientras que el resto de la placa es una biomicrita rala. **F)** Con mayor detalle se observa la disposición de las conchas de los fragmentos de bivalvos (**b**) paralelos e inclinados respecto a  $S_0$  y sus diferentes tamaños.





**Figura 140.** Superficie de *hardground* que marca el tope de la Formación Tablazo, en la vía Lebrija-San Vicente de Chucurí, cerca del cruce con el río Sogamoso con el cerro La India o Tablazo (N:1.269645, E:1.081.053, Z:352). **A, B y C)** Superficie irregular con protuberancias de 40 cm y depresiones con formas redondeadas de hasta 50 cm de diámetro (enrejado de *Thalassinoides*). **D)** Mayor detalle para ilustrar la presencia de conchas de bivalvos con diámetro up 5 cm, perforados. **E y F)** Colonias de serpúlidos; nótese la presencia de una trigonia. En **F**, la fotografía presenta mayor detalle para destacar colonias de serpúlidos.



En la parte inferior de la placa de la muestra dma 5419, en el microscopio destacan cuerpos lenticulares compuestos por arena de cuarzo con textura de arena fina y lodo calcáreo, que se interpretan como rellenos de madrigueras. La parte superior de la sección delgada deja ver una biomicrota rala. Sus constituyentes son: **a)** fósiles (44%), entre los que se reconocen fragmentos de bivalvos con texturas que varían desde 400  $\mu\text{m}$  hasta centimétricas, gasterópodos, fragmentos de equinodermos y espongiarios; **b)** cuarzo (22%) con textura arena fina a muy fina; **c)** matriz de lodo calcáreo (21%), y **d)** fosfatos (3%) (**fig. 139**).

La Formación Tablazo culmina en una capa muy gruesa que hacia su base presenta textura de *wackestone*, y hacia el techo, textura *packstone*. Es de destacar en esta capa la presencia de conchas de bivalvos articulados y desarticulados con diámetro up de hasta 14 cm, de *Ceratostreon sp.*, cuyas conchas han sido reemplazadas por cristales de calcita de grano grueso, de color blanco o de color negro (**fig. 140**). También se observa un segundo grupo de bivalvos desarticulados de conchas delgadas y gruesas (**fig. 138**).

El techo de la capa cuspidal de la Formación Tablazo muestra una superficie irregular con protuberancias y depresiones con formas redondeadas de hasta 20 cm de diámetro (enrejado de *Thalassinoides*), con incrustaciones de fragmentos fósiles (**fig. 140**) tales como *Ceratostreon sp.*, trigonias y varios tipos de conchas de moluscos, agrupaciones y fragmentos de serpúlidos, colonias centimétricas de hexacorarios y colonias de fucoides. Estos rasgos son propios de superficies de *hardground* (Garrison Garrison, Kennedy y Palmer 1987; Flügel 2010).

Se pudieron identificar los siguientes restos de moluscos bivalvos: *Aetostreon latiisimum* (LEMARCK, 1801), *Maghrebella subparallela* (GERHARDT, 1897), *Amphidonte sp.*, *Clementia*

*ricordeana* (ORBIGNY, 1845), *Plicatula sp. hirsuta* (COQUAND, 1880), *Tellina (Linearia) andium* (GERHARDT, 1897), *Pinna gr robinaldina* (ORBIGNY, 1944).

## CONTACTOS

El contacto de la Formación Tablazo con la infrayacente Formación La Paja es transicional. Se observan rocas similares en ambas; la diferencia se centra en la alternancia apretada de capas en la Formación Tablazo, que genera el contraste morfológico entre esta y la Formación La Paja, marcado por el valle que genera la Formación La Paja y el filo de la Formación Tablazo.

Del contacto con la unidad suprayacente, Formación Simití, solo se tienen observaciones geomorfológicas en el terreno, y se observa neto. La Formación Tablazo pasa de capas gruesas de calizas *wackestone* y *packstone* de bivalvos con desarrollo de un *hardground* a una sucesión de rocas que generan una morfología de valle correspondiente a la Formación Simití (**fig. 141**).

## AMBIENTES DE DEPÓSITO

Diversos factores regulan la producción y acumulación de lodos de carbonato de calcio: el medio del depósito y los organismos con estructuras calcáreas, el contexto tectónico-climático, así como las oscilaciones del nivel del mar (Boquet, Boronat y Ramos-Cormenzana 1973; Bathurst 1975; Strasser 1988; Reid, Macintyre y Post 1992; Morse 2003; Flügel 2010).

Las rocas del **segmento inferior (I)** de la Formación Tablazo tienen características litológicas similares a las de las rocas de la Formación La Paja. En el **intervalo estratigráfico A**



**Figura 141.** Contacto entre las formaciones Tablazo y Simití, en la localidad tipo de la Formación Tablazo, donde el río Sogamoso corta el cerro La India-Tablazo, sitio del puente El Tablazo. Obsérvese la morfología abrupta que genera la Formación Tablazo y el valle que dibuja la Formación Simití en el perfil topográfico. La línea amarilla punteada señala el contacto (imagen tomada desde las coordenadas N:1.269.864, E:1.081.171, Z:358 y azimuth 26°).



de la Formación Tablazo, las capas son planas paralelas continuas; en esta sucesión alternan un elemento litológico blando representado por *bindstone* con materia orgánica (**microfacies  $\alpha$** ) y un elemento litológico duro de micritas y micritas fosilíferas con recristalización incipiente generalizada (**microfacies I**). Los fósiles son similares a los observados en la Formación La Paja: ostrácodos, quistes de dinoflagelados calcáreos, corpúsculos reproductores de algas y hongos. En esta microfacies se observa ausencia de arcilla.

Es repetitiva la alternancia de las dos microfacies, aquella en que las rocas oscuras blandas corresponden a tapices microbiales litificados bajo el nivel del agua (Burne y Moore 1987; Chafetz y Buczynski 1991), mientras que las rocas más claras (macizas) deben su dureza a la recristalización del carbonato de calcio de los tapetes microbiales.

Los rasgos descritos señalan la existencia de fondos llanos; la **microfacies  $\alpha$**  e **I** sugieren ambientes entre supramareales e intermareales, es decir, la parte circalitoral, ubicados en una rampa (*inner ramp*) (Ahr 1973) (**fig. 142**).

El **intervalo estratigráfico B** muestra la alternancia de un elemento blando de pelmicrita con cuarzo y materia orgánica (**microfacies  $\beta$** ) y uno duro representado por dos microfacies: la una de pelmicrita-biopelmicrita con recristalización (**microfacies II**), y la otra de *bindstone* con recristalización (**microfacies III**). Los fósiles son similares a los observados en el intervalo A; además, en la parte superior hay presencia de vértebras de peces.

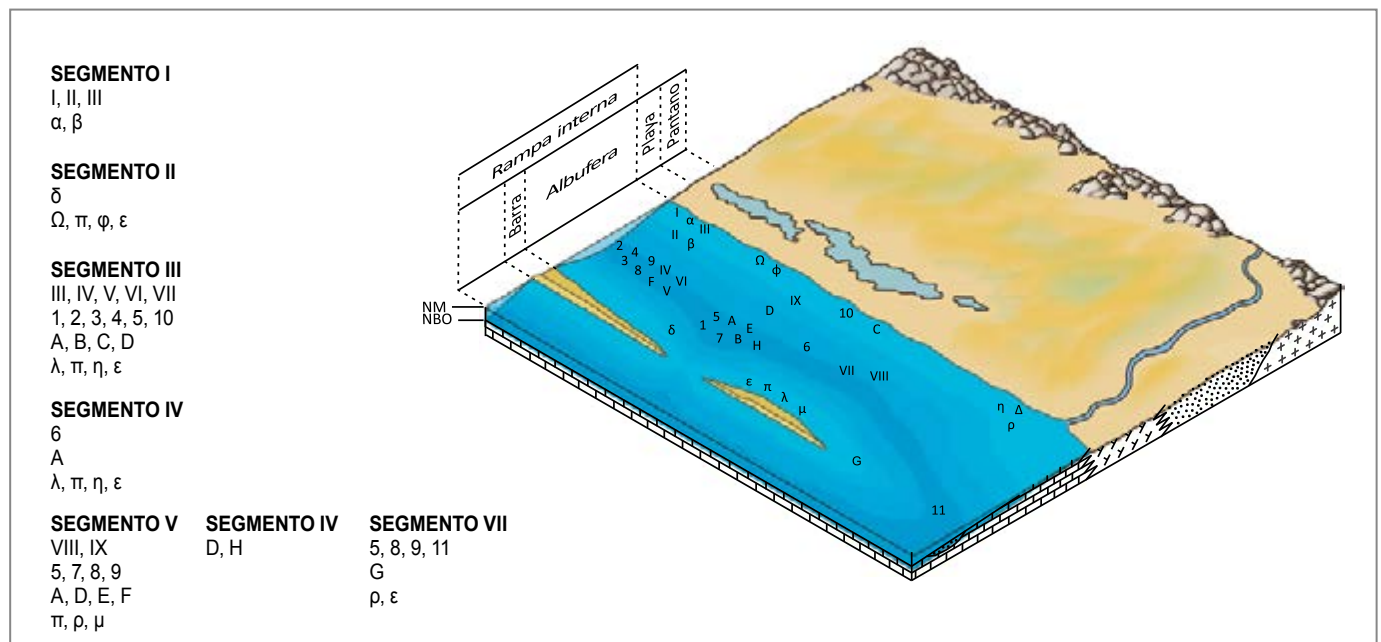
En estas rocas coexisten micrita, agregados de cristales de calcita espar y peletoides de micrita; la sumatoria de los rasgos faciales anteriores (**microfacies  $\beta$**  e **II**) indicaría

fondos cubiertos por aguas marinas tranquilas. En este intervalo es notoria la bioperturbación por acción de invertebrados, así como por la presencia de raicillas y *microcodium* (Košir 2004; Lucas y Montenat 1967), que indicarían exposición subaérea temporal del fondo: pantanos-*swamps* (Immenhauser, 2000).

Visto como un todo, el segmento I refleja oscilaciones en la posición relativa del fondo de depósito con respecto a la línea de costa. Estos son los rasgos más notorios observados en el segmento inferior I de La Formación Tablazo: **a)** ausencia de arcilla; **b)** decrecimiento de materia orgánica, y **c)** incremento del porcentaje de carbonato de calcio en forma de micrita, lo que sugiere variaciones en las condiciones climáticas con relación a las que existieron durante el depósito de los materiales de la Formación La Paja infrayacente.

En el **segmento estratigráfico II, intervalo estratigráfico C**, se registra por primera vez la presencia de arcilla en la Formación Tablazo: *bindstone* con arcilla y materia orgánica (**microfacies  $\Omega$** ) seguidos por *mudstone* calcáreos con materia orgánica, en ocasiones laminados, identificados como micritas fosilíferas (**microfacies  $\delta$** ). La presencia de equinodermos aplastados con sus espinas aún adheridas (**fig. 32A**) y abundantes gasterópodos pequeños (1 cm) del género *Turritella* indican acumulación y enterramiento rápido (Allmon y Knight 1993).

Los rasgos faciales del intervalo C sugieren fondo de acumulación llano: laguna litoral (albufera o *lagoon*) en comunicación con el mar abierto. La presencia de arcillas se atribuye a transporte y depósito por corrientes costaneras en medio marino con salinidad normal, como lo atestigua la presencia de las conchas de equinodermos (Nebelsick 1995).



**Figura 142.** Diagrama esquemático que ilustra el medio de depósito de la Formación Tablazo. Se trata de una rampa de carbonatos comprendida entre la rampa interna hasta el dominio supramareal. Nótese la localización de las microfacies.



El **intervalo estratigráfico D** está constituido en su parte inferior por limolitas de cuarzo con laminación plana paralela e inclinada (**microfacies ε**). En la parte superior la bioturbación vuelve homogéneos los sedimentos (**microfacies π**). Estas características faciales sugieren el desarrollo de una barra (*shoal sand*) que desde el oeste avanzó hacia la línea de costa situada en el este.

El **intervalo estratigráfico E** está constituido por estratos de *mudstone* arcillosos (**microfacies φ**) con laminación debida a la alternancia de limo y arcilla, bioturbados en grado A. Estas características sugieren la aparición de un agente transportador de las partículas de arcilla y limo en condiciones similares a las del intervalo estratigráfico C; es decir, se sitúa el depósito en una albufera (*lagoon*).

En resumen, las microfacies del segmento estratigráfico II sugieren el desarrollo de una laguna litoral en comunicación con el mar: albufera (intervalo C), circundada por una barra (intervalo D). La barra debió de migrar hacia el occidente hasta restablecerse la albufera (intervalo E). En relación con el segmento estratigráfico I, las facies migran paralelas a la línea de costa situada en el este.

En el **segmento estratigráfico III, intervalo F**, se diferencian varios conjuntos:

Conjunto F1, inferior, constituido por capas gruesas planas paralelas de calizas *wackestone* y *packstone* con bivalvos y fragmentos de bivalvos, cuya textura varía desde gránulo hasta 1 cm. Las valvas son delgadas, están esparitizadas y se disponen paralelas a  $S_0$  (**microfacies 1 y A**). En la parte superior, las rocas presentan nodularización (*rubble*) (Garrison, Kennedy y Palmer 1987). En este conjunto F1 la disposición de los bioclastos indica depósitos de tormentas (Kidwell, Fürsich y Aigner 1986; Banerjee y Kidwell 1991; Fürsich 1995). Los hilos de pirita entre los bivalvos sugieren que el depósito se produjo en el sector intermareal (Howarth 1979); además, la nodularización *rubble* sugiere exposición subaérea del fondo que habría favorecido la meteorización y nodularización.

El conjunto F2 está constituido por calizas *wackestone* con textura limo y materia orgánica. En el microscopio es una biomicrita rala con restos de espículas de espongiarios y materia orgánica (**microfacies 2**) que se presentan en capas de *Thalassinoidea*, paralelas continuas, delgadas y apretadas, características que indican una albufera rica en materia orgánica con abundancia de crustáceos.

El conjunto F3 está constituido por capas de arenitas de cuarzo de textura muy fina con matriz de lodo calcáreo, homogeneizadas por bioturbación (**microfacies Δ**); se generaron como consecuencia de la migración de la facies de barra (*shoal sand*) desde la albufera (*lagoon*).

El conjunto F4 está constituido por capas medianas planas paralelas continuas de los siguientes elementos: **i**) calizas *wackes-*

*tone* con textura de limo, con materia orgánica, identificadas como biomicritas ralas con restos de espículas de espongiarios y materia orgánica (**microfacies 2**), y **ii**) *wackestone* con textura de arena fina, con materia orgánica, identificadas como biomicritas ralas con foraminíferos bentónicos y bioturbadas (**microfacies 3**); estas microfacies representarían la migración hacia el occidente de la albufera sobre la barra.

El conjunto F5, por sus características litológicas, repite las condiciones del medio del depósito del conjunto F3, mientras que el conjunto F6, a su vez repite las condiciones de conjunto F4, lo que sugiere vaivén en la línea litoral.

El intervalo F culmina con el conjunto F7, constituido por dos capas: la inferior, que es una caliza *mudstone* con cuarzo, muy gruesa, plano paralela, con dos niveles de *nodular rubble*: se identifican como pelmicritas con cuarzo (**microfacies V**). La capa superior es un *wackestone* con textura de arena fina; se trata de biopelmicrita con foraminíferos bentónicos: *Praebulimina sp.*, y *Epistomina sp.* (**microfacies 4**). Estas microfacies documentan la migración de la albufera sobre la barra (conjunto F6). Finalmente, la presencia de calizas nodulares (*nodular rubble*) indica exposición subaérea y meteorización del fondo.

En el conjunto F1, la primeras microfacies (**1, A y H**) se generaron por depósitos de tormentas acumulados en la parte costanera de la albufera, con posterior somerización, meteorización y producción del *rubble*. Los bivalvos procederían del sector intermareal.

Sobre el conjunto F1 se desarrollaron microfacies que indican condiciones marinas con menor diversidad paleontológica: restos de espongiarios y fragmentos de bivalvos; con presencia de materia orgánica. La alternancia de las microfacies **2, 3 y IV** (albufera) con las **microfacies Δ** (barra) induce a pensar en fluctuaciones del agente que aportaba los clastos terrígenos con textura arena. Este intervalo culmina con depósitos de pelmicritas con foraminíferos (**microfacies V**), biopelmicrita con foraminíferos (**microfacies 4**) y micritas fosilíferas con cuarzo (**microfacies VII**), acumulados en una albufera de aguas tranquilas, en este caso con poca agitación de fondo, en concordancia con la presencia de peletoides. El conjunto F1 culmina en condiciones de somerización y meteorización con la generación de calizas de bloques *nodular rubble*.

Las microfacies del intervalo F suceden en la vertical a las microfacies del intervalo E; este cambio es neto. En el intervalo F se establecen condiciones favorables para la acumulación simultánea de carbonatos y materia orgánica.

El **intervalo estratigráfico G** comienza con *mudstone* arcillosos (conjunto G1) a los que se sobreponen arenitas de cuarzo en la base, y calizas de varias texturas hacia el techo (conjunto G2).



El conjunto G1 de *mudstone* arcillosos se distingue por la presencia de dos capas medianas de calizas *mudstone*, identificadas como micritas fosilíferas con peletoides. La micrita tiene recristalización en agregados de calcita espar de 9 a 23  $\mu\text{m}$  (**microfacies VI**). La presencia de *microcodium*, quistes de dinoflagelados calcáreos y elementos reproductores de algas indican ambientes con influencia de aguas del dominio meteórico vadoso, en pantanos supramareales (Immenhauser 2000; Košir 2004).

El conjunto G2 está constituido por arenitas que gradan a calizas: las arenitas son de cuarzo y textura muy fina, con matriz de lodo calcáreo. Hay presencia de moscovita y fragmentos de equinodermos. Las rocas están homogeneizadas por bioturbación (**microfacies  $\Delta$** ). Suprayaciendo a la microfacies de arenitas aparecen microfacies de carbonatos (**5, B y A**). De esto se interpreta desplazamiento de la albufera hacia la barra.

En los depósitos de carbonatos de la albufera se reconoce la **microfacies 5**, caliza *wackestone* de textura entre gruesa y muy gruesa, identificada como biomicrita rala con fragmentos de conchas de bivalvos y cuarzo; hay presencia de escasas espinas y fragmentos de equinodermos y briozoarios; suprayaciéndola aflora una caliza *packstone* de bivalvos con textura de guijarro con conchas gruesas esparitizadas, dispuestas en varias direcciones; se identifica como biomicrita empaquetada con bivalvos (**microfacies B**). Termina en un *packstone* con bivalvos de conchas delgadas con textura de guijarro, dispuestas paralelas a  $S_p$ , identificadas como biomicritas empaquetadas. Estos *packstone* muestran formación de bloques redondeados por meteorización subaérea (**microfacies A**).

Entre el conjunto G1 y G2, el desarrollo de la **microfacies 5** indica condiciones de albufera (*lagoon*) con salinidad normal. Las calizas de las **microfacies A y B** serían depósitos de tormentas, mientras que la nodularización indicaría exposición subaérea.

En el **intervalo estratigráfico H** alternan *mudstone* arcillosos (H1, H3) a los que se superponen conjuntos de arenitas de cuarzo, sucedidos por calizas con texturas variadas (H2, H4). Cada pareja de conjuntos (H1-H2, H3-H4) muestra variación ordenada y sucesiva de facies así: *mudstone* arcillosos, caliza *mudstone* con cuarzo, bioturbadas (**microfacies VII**), arenitas de cuarzo bioturbadas con cemento y matriz de arcillas (**microfacies  $\pi$** ).

Este intervalo se interpreta como resultado de la colmatación repetida de una albufera que incluso llegó a quedar emergida, como lo sugiere la microfacies de caliza *packstone* de bivalvos que presenta reemplazo por hematite (**microfacies C**), fenómeno que se produce cuando hay exposición del fondo en condiciones meteóricas áridas y cálidas (Teodorovich 1961).

El **intervalo estratigráfico I** empieza con *mudstone* arcillosos que pasan a calizas *mudstone* de capas delgadas planas

paralelas que sugieren fondos de acumulación llanos. Se trata de *bindstone* recristalizados (**microfacies III**). Esta microfacies indicaría condiciones intermareales.

El **intervalo estratigráfico J** está constituido así: **i**) arenitas de cuarzo de texturas entre muy fina y limo, en capas entre delgadas y medianas, con laminación plana paralela (**microfacies  $\epsilon$** ), a veces *hummocky*, así como con rizaduras; **ii**) capa muy gruesa de arenita de cuarzo de granos entre muy finos y limo, con *Thalassinoides* en la base, y **iii**) caliza *packstone* con conchas completas y fragmentadas de *Aetostreon sp.* (**microfacies D**). Sugieren depósitos en el ámbito costero de anteplaya (Scott 1974, fig. 11).

El segmento estratigráfico III registra oscilaciones del nivel mar con fundamento en la migración y alternancia de las microfacies observadas: depósitos acumulados en una albufera (**microfacies 1, 2, 3, 4, 5, V, VI, VII, A, B**); depósitos intermareales (**microfacies III**), colmatación de la albufera por arcillas e instalación de una barra de arenas (**microfacies  $\epsilon$ ,  $\pi$ ,  $\Delta$** ). En la parte inferior del segmento, conjuntos F1, F7 y G2, suceden episodios de exposición subaérea con formación de calizas nodulares *rubble nodular* (**microfacies VI**).

**Segmento estratigráfico IV, intervalo K.** Está cubierto en la sección tipo; sin embargo, genera en el perfil topográfico una entrante. En la vía a Betulia que se desprende de la carretera a San Vicente de Chucurí, en el cruce con la quebrada El Ramo, se observan *mudstone* arcillosos de color pardo rojizo (10R 5/4).

**Intervalo estratigráfico L**, conjunto L1. Se inicia con arenitas de cuarzo textura muy fina (**microfacies  $\eta$** ), sobre las que yacen calizas con textura *wackestone* bioperturbadas, con relictos de madrigueras tubulares. Se identifica como biomicrita rala bioturbada (**microfacies 6**), con tipos diversos de fósiles marinos fragmentados: grifeidos, serpúlidos, pequeños gasterópodos, algunas placas de equinodermos y foraminíferos bentónicos. Este conjunto termina con una arenita de cuarzo de textura muy fina y laminación relicta y presencia de bivalvos de diámetro up de hasta 10 cm: *Cucullaea (Noramya) gabrielis*.

Entre el conjunto descrito (L1) y uno arenoso superior (L3) se interponen *mudstone* arcillosos con dos horizontes, en los que abundan valvas articuladas del pelecípodo *Cucullaea (Noramya) gabrielis*, de hasta 10 cm de diámetro up (conjunto L2).

El conjunto superior (L3) es de arenitas de cuarzo de textura muy fina (**microfacies  $\Delta$** ), que remata en un depósito de tormenta con conchas desarticuladas del grifeido *Aetostreon sp.* (**microfacies A**) en lodos arcillosos. Los elementos paleontológicos descritos sugieren ambientes costaneros lagunares (Bassi, Posenato y Nebelsick 2015).



**Intervalo estratigráfico M.** El conjunto M1 está constituido por *mudstone* arcillosos que aumentan en contenido de arena de cuarzo hasta culminar en el conjunto M2: arenitas de cuarzo laminadas planas- paralelas (**microfacies ε**), que a su vez gradan a arenitas de cuarzo de textura muy fina, en las cuales abundan los fragmentos de conchas de bivalvos (**microfacies μ**). Estos sedimentos representan depósitos de barra costeras; su techo muestra rasgos de exposición subaérea (Hillgärtner 1998).

**El segmento estratigráfico V, intervalo estratigráfico N,** se inicia con calizas varias del conjunto N1, cuya base fosiliza una superficie de erosión generada en el techo del segmento estratigráfico IV. Está integrado por capas calcáreas muy gruesas, métricas, continuas, planas-paralelas, que en orden ascendente están constituidas así:

i) Calizas *packstone* con fragmentos de conchas de bivalvos con textura arena muy gruesa a centimétrica, mal calibradas, entre delgadas y gruesas. En el microscopio, la roca se identifica como biomicrita empaquetada con bivalvos (**microfacies E**).

ii) Calizas *packstone* con conchas delgadas de bivalvos enteras o fragmentadas, de tamaños de 2 a 3 cm, y con textura gránulo, que están dispuestas de forma paralela a  $S_0$ . Se identifican en el microscopio como biomicritas empaquetadas con bivalvos. El lodo calcáreo no presenta neomorfismo (**microfacies A**).

iii) Calizas *wackestone* con conchas de bivalvos y sus fragmentos, cuya textura varía entre arena muy gruesa y gránulo, de valvas delgadas, dispuestas de manera paralelas y oblicuas a  $S_0$ . En el microscopio se identifican como biomicritas ralas con bivalvos (**microfacies 7**).

iv) Calizas *wackestone* con textura de arena muy fina; también se observan fragmentos de bivalvos con escasos individuos centimétricos. Con el microscopio se identifican como biopelmicritas con bivalvos y cuarzo. Se destacan escasos restos de espículas de espongiarios y restos de serpúlidos, así como coprolitos de crustáceos (**microfacies 8**).

v) Separando algunas de las capas gruesas de calizas se presentan otras delgadas de *packstone* con textura limo a arena muy fina, identificadas como biomicritas empaquetadas de espongiarios (**microfacies F**), bioperturbadas.

vi) Caliza *wackestone* de textura muy fina a limo, con cuarzo. Se identifica como biomicrita rala con cuarzo, espongiarios y otros fósiles (**microfacies 9**), con huellas de bioperturbación semilunares de desplazamiento ascendente (*Diplocraterion?*).

En general, el depósito del conjunto N1 se dio en el dominio de una albufera (*lagoon*). Las microfacies de carbonatos con bivalvos indicarían que se reestablecieron las condiciones para el depósito de partículas de carbonatos de calcio en

una albufera con vida bentónica variada; las conchas fueron concentradas durante los momentos de mayor agitación del fondo marino por episodios de tormentas. La presencia de las microfacies de peloides indican intervalos de sedimentación en condiciones calmas (Kornicker y Purdy 1957); esta circunstancia se ve reforzada por la presencia de los restos de espongiarios. Terminando el conjunto se destaca la aparición súbita de cuarzo, que indica descargas de sedimentos con textura arena: irrupción de agente transportador de clásticos silíceos.

En el conjunto N2, las calizas se disponen en capas continuas paralelas con contactos ondulosos e irregulares, a veces estilitizados. Presentan menor espesor que las del conjunto N1 y están separadas por interposiciones centimétricas de *mudstone* arcillosos.

Cada capa de caliza muestra variaciones texturales, así:

i) Caliza *packstone* con bivalvos centimétricos, de conchas gruesas esparitizadas, dispuestas en varias direcciones. Se identifican como biomicritas empaquetadas de bivalvos mal calibrados; el lodo calcáreo deja ver recristalización (8 μm), mientras que las conchas presentan estadio de recristalización avanzado (**microfacies D**), lo que sugiere el redepósito de estas conchas.

ii) Caliza *wackestone* con fragmentos de conchas delgadas de bivalvos, con textura gránulo, dispuestas paralela y oblicuamente a  $S_0$ , identificada como biomicrita rala (**microfacies 7**).

iii) Caliza *packstone* de bivalvos con dos poblaciones de tamaños: centimétricos de conchas delgadas y fragmentos con textura de guijarro, dispuestos en dos direcciones, identificadas como biomicritas empaquetadas (**microfacies B**). La micrita tiene recristalización a cristales de calcita espar con tamaños de 7 a 10 μm.

iv) Caliza *mudstone* identificada como micrita fosilífera bioperturbada, con límites de madrigueras definidos (**microfacies VIII**), con láminas de caliza *wackestone* de bivalvos de valva delgada y con textura de gránulo.

El depósito de este conjunto ocurrió en el mismo ámbito de fondo que el del conjunto N1: albufera con variedad de fauna de bivalvos (**microfacies D, 7**), en donde se produjo el depósito de bioclastos por acción de tormentas (**microfacies B**) (Bassi, Posenato y Nebelsick 2015).

El techo del conjunto N2 estuvo expuesto a condiciones subaéreas, como lo demuestra la superficie de meteorización irregular, enrojecida, que por sectores presenta huellas de erosión (Hillgärtner 1998).

**Intervalo estratigráfico O,** integrado en orden ascendente por cuatro conjuntos, dos de ellos siliciclásticos: a los que se les superpone conjuntos de carbonatos.



El conjunto O1 está constituido por capas medianas en las que alternan láminas de arenitas de cuarzo con textura de arena muy fina, con cemento calcáreo y láminas de limolitas de cuarzo. Todas ellas presentan bioturbación moderada (**microfacies  $\pi$** ), y se les interponen capas delgadas de calizas *mudstone*, características que son generadas en ambientes intermareal a submareal (Longhitano et al. 2012, 7).

El conjunto O2 está constituido por una capa muy gruesa de arenita de cuarzo de textura muy fina, maciza. Hacia la base de la capa la matriz es de lodo calcáreo (**microfacies  $\Delta$** ), mientras que hacia el techo aparece cemento de ankerita (**microfacies  $\rho$** ). Todo lo anterior sugiere desarrollo de una barra costanera afectada por agua de la zona meteórica vadosa (Flügel 2010, fig. 7.3).

El conjunto O3 está constituido por capas gruesas de calizas *wackestone* con restos de bivalvos con textura arena gruesa a muy gruesa (**microfacies 5**), en alternancia con arenitas de cuarzo fosilíferas con textura de arena muy fina (**microfacies  $\mu$** ); ambas presentan interposiciones de capas muy delgadas de *mudstone* arcillosos. Esta situación sugiere un ambiente de depósito de fondo submareal producido por ascenso relativo del nivel del mar.

El conjunto O4 consiste, en su parte inferior, en una alternancia de *mudstone* arcillosos con capas de calizas *mudstone*, la primera de las cuales muestra recristalización con cristales de calcita espar con forma de sable y tamaños de hasta 100  $\mu\text{m}$ , que crecen de manera radial a los fósiles o a laminillas de arcilla paralelas a  $S_0$  (**microfacies IX**). Estos cristales fueron generados por diagénesis en el dominio freático marino (Flügel 2010).

Apoyándose en las capas anteriores siguen otras gruesas, con formas paralelas continuas ondulosas, de caliza *packstone* a *wackestone*, con texturas que varían de limo a arena muy fina, identificadas como biomicritas empaquetadas o ralas, con restos de espículas de espongiarios (**microfacies F y 9**). De los aspectos mencionados se colige la culminación del proceso de inundación marina que favoreció el desarrollo de colonias de espongiarios (*Sclerospongiae*) en un mar de aguas claras.

En el tope del conjunto O4 se reconocen manifestaciones de *paleokarst*, como consecuencia del retiro del mar y la exposición subaérea del fondo (Hillgärtner 1998; Multer y Hoffmeister 1968).

**Segmento estratigráfico VI.** Está constituido por *mudstone* arcillosos en los que se destacan tres capas de calizas con restos de bivalvos. Los *mudstone* arcillosos presentan tonos rojizos por meteorización y contienen lentes de yeso, propiedades que recuerdan las de los depósitos de marismas salinas en climas semiáridos con alta evaporación (Miller 1975).

La capa inferior de caliza *wackestone-packstone* contiene restos de conchas delgadas de bivalvos dispuestas de forma paralela a  $S_0$ . Localmente tiene textura *wackestone*, presenta cristales de calcita con forma de sable y de *popcorn*, así como estructuras como en cono (**microfacies 10**).

La segunda capa interpuesta es una es caliza *wackestone*, en la que también se observan cristales de calcita con forma de sable, de *popcorn* y estructuras calcáreas como en cono (**microfacies 10**).

La tercera capa de caliza es *wackestone* con conchas gruesas de *Cucullaea?*, que grada hacia el techo a *packstone* de *Aetostreon sp.*, en el que los restos de los bivalvos alcanzan hasta 7 cm de diámetro up y están dispuestos en varias orientaciones (**fig. 107**). Se identifica como biomicrita empaquetada con bivalvos (**microfacies D**). El lodo calcáreo presenta neomorfismo.

El segmento culmina en *mudstone* arcillosos con materia orgánica.

En este segmento, las capas de calizas presentan neomorfismo diagenético, del que se produce en el dominio freático marino (**figs. 106C, D, E, F, y fig. 108E**) (Flügel 2010). Registra el depósito generado por el avance marino sobre el ámbito geomorfológico entre intermareal y supramareal. Las concentraciones de bivalvos se atribuyen a tormentas o marejadas (Aigner 1982).

**Segmento estratigráfico VII.** Sobre el depósito supramareal cuspidal del segmento estratigráfico VI infrayacente se apoya el intervalo estratigráfico P, conjunto P1, que se inicia en una capa muy gruesa, de laminación plana paralela, situada entre limolitas de cuarzo con matriz arcillosa teñida por óxidos de hierro, y arenitas de cuarzo con textura arena muy fina, con fósiles y cemento esparítico (**microfacies  $\pi$** ). Hacia la parte superior se convierte en arenita de cuarzo con textura que varía de muy fina a fina, y cemento ankerítico (**microfacies  $\rho$** ). Este conjunto culmina en una caliza *wackestone* con cuarzo, identificada como biomicrita rala con cuarzo, fragmentos de bivalvos, algunas espículas de espongiarios y escasos restos de algas rojas (**microfacies 5**).

El conjunto P2, superior, corresponde a un depósito de *mudstone* arcillosos con lentes de yeso, que meteorizan en tonos rojizos (Thompson 1975).

Todo el intervalo estratigráfico P puede interpretarse como un episodio de oscilación marina de avance sobre el dominio supramareal, instalación temporal de la albufera y retorno a la posición geomorfológica supramareal, en condiciones de clima árido y cálido.

**Intervalo estratigráfico Q.** Está constituido por capas muy gruesas. La inferior, Q1, corresponde a una caliza que de base a techo varía de *packstone* a *wackestone*. El *packstone*,



con textura de gránulo, se identifica como biomicrita empaquetada diversa (**microfacies G**), mientras que el *wackestone*, con textura de arena gruesa con cuarzo, corresponde a biomicrita rala diversa con cuarzo (**microfacies 11**). Entre los fósiles hay bivalvos, fragmentos de esponjas calcáreas, espículas silíceas de *Sclerospongiae* y restos de equinodermos, algas incrustantes e intraclastos de fosfatos.

El conjunto Q2 está constituido por un paquete de 1,5 m de capas muy delgadas y apretadas de *Thalassinoides*, que corresponden a *wackestone* con textura de arena muy fina, identificada como biomicrita rala diversa con fragmentos de espículas de espongiarios, escasas placas de equinodermos y restos de algas incrustantes (**microfacies 9**). Este conjunto constituye una concentración de nódulos que corresponden a madrigueras disociadas de sus túneles tubulares debido a exposición submarina *nodular rubble*.

El conjunto Q3 está constituido por una capa muy gruesa de caliza *wackestone* con variación textural: **i**) en la base tiene una textura que varía de limo a arena muy fina, y corresponde a biomicrita rala con fragmentos de algas incrustantes, espículas de espongiarios, esponjas calcáreas y cuarzo (**microfacies 9**); **ii**) hacia la parte media aparecen pellets de micrita, conchas gruesas enteras de bivalvos y fragmentos de bivalvos esparitizados, elementos dispuestos en varias direcciones. Con el microscopio se identifican como pelmicritas (**microfacies 8**); **iii**) *packstone* de conchas gruesas de bivalvos esparitizadas, de hasta 10 cm de diámetro up, dispuestas en varias direcciones (Meldahl 1987), identificada como biomicrita empaquetada diversa (**microfacies G**). La superficie cuspidal de este conjunto muestra rasgos propios de fenómenos kársticos (Rahimpour-Bonab et al. 2012; Grădinaru et al. 2016) en condiciones de clima tropical húmedo.

El conjunto Q4 está constituido por un banco de rocas calcáreo-silíceas cuya textura varía de arena fina a gruesa, que muestra rasgos de alteración en condiciones climáticas durante las cuales alternaron periodos cálidos lluviosos e intensa evaporación que actuaron sobre calizas con cuarzo hasta generar un paleosuelo (James 1972; Wright 1994; Friedman 1994).

El conjunto Q5 consiste en una capa muy gruesa de caliza con decrecimiento de los bioclastos de base a techo: **i**) la parte inferior es un *wackestone* con conchas gruesas de bivalvos articulados de diámetro up de hasta 12 cm; también contiene placas de equinodermos, restos de serpulidos y gasterópodos fosfatizados; se trata de una biomicrita rala diversa (**microfacies 11**); **ii**) en la parte media, la caliza presenta textura de *wackestone* de bivalvos de conchas delgadas, de hasta 4 cm de longitud; se trata de una biomicrita rala diversa (**microfacies 11**); y **iii**) hacia la parte superior es un *wackestone* con textura de arena muy gruesa, identificada como biomicrita rala con cuarzo (**microfacies 5**). El techo de esta capa está formado por un *hardground*.

Las condiciones del depósito de los conjuntos Q1, Q3 y Q5 reflejan el reingreso del mar e instalación del dominio lagunar (albufera) con salinidad normal. La acumulación de bioclastos ocurrió por aportes esporádicos atribuibles a tormentas. La existencia de los *Thalassinoides* (Q2) y del paleosuelo de la región supramareal en el conjunto (Q4) permite inferir el ascenso y descenso relativo episódico del nivel del mar, con exposición subaérea.

El conjunto Q6 está constituido por tres elementos: el inferior corresponde a un cuerpo calcáreo-arenoso meteorizado de tono rojizo que conserva restos de bivalvos articulados. Sobre este cuerpo se apoya una capa de caliza *packstone* con bivalvos articulados de hasta 4 cm de diámetro up. El conjunto termina en un cuerpo rocoso similar al de la parte inferior, que se interpreta como un paleosuelo.

El conjunto Q6 sugiere exposición subaérea intermitente en la región supramareal marginal a una albufera (Hardie, Bossellini y Goldhammer 1986).

El conjunto Q7 está constituido por una caliza *packstone* de bivalvos (grifeidos y trigónidos) con conchas gruesas, esparitizadas, de hasta 7 cm de diámetro up; restos de algas, de espongiarios calcáreos, serpulidos, placas de equinodermos, gasterópodos —algunos de ellos fosfatizados—. Varios tipos de fósiles exhiben micritización en los bordes. Hay glauconita en peloides y coprolitos de crustáceos. En el microscopio se identifica como una biomicrita empaquetada diversa (**microfacies G**). El conjunto Q7 registra el restablecimiento de las condiciones marinas de albufera con salinidad normal, debido al renovado avance marino sobre la costa.

El conjunto Q8 está constituido por dos paquetes de redes de madrigueras, desconectadas o aisladas, de *Thalassinoides*. Entre ellos se interpone una capa de caliza *wackestone*. Lo anterior sugiere episodios de disminución en el aporte y la acumulación de sedimentos en el fondo de la albufera.

El conjunto Q9 está constituido por dos capas continuas muy gruesas, de las cuales la inferior, que contiene cuarzo, de abajo arriba varía de *wackestone* a *packstone*: las conchas de bivalvos están entre articuladas y desarticuladas, su diámetro up promedio es de 5 cm, están dispuestas en varios sentidos y rodeadas por fragmentos de bioclastos con textura arena muy gruesa a gránulo. Su techo está conformado por una red de *Thalassinoides*.

La capa superior y última de la Formación Tablazo en su localidad tipo es una caliza *wackestone* que hacia el techo grada a *packstone*, se reconocen conchas dispersas de grifeidos y otros bivalvos con diámetros up de hasta 14 cm; y conchas que aparecen articuladas y desarticuladas, y sus valvas varían de gruesas a delgadas.

El techo de la capa cuspidal de la Formación Tablazo es un *hardground* que genera una superficie con protuberancias y



depresiones de formas redondeadas, con un diámetro máximo de 50 cm. Sobre esta superficie hay incrustaciones de fragmentos fósiles de bivalvos, colonias de serpúlidos y pequeñas colonias de corales (Christ et al. 2012).

Las calizas del conjunto Q8 muestran los mismos bioclastos observados en las otras rocas del intervalo Q, en el microscopio, lo cual sugiere que las condiciones marinas permanecieron constantes. El techo del conjunto Q9 deja ver el desarrollo de un *hardground* submarino que con posterioridad estuvo expuesto a las condiciones meteóricas, antes de ser cubierto por los sedimentos arcillosos de la Formación Simití suprayacente.

## POSICIÓN CRONOESTRATIGRÁFICA Y BIOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN TABLAZO

Por: Fernando Etayo-Serna

En el segmento estratigráfico I, intervalo A, coordenadas N:1.267.945, E:1.081.655, se encontraron representantes de las siguientes amonitas; muestra **GMS 2298-B**: *Douvilleiceras* sp. y *Neodeshayesites stutzeri* (RIEDEL, 1938) (**fig. 143B**).

En el segmento estratigráfico II, intervalo C, muestra **dma 5367**, sección La Molinilla (véase la columna **anexo 3.2**), se recuperaron representantes de *Pseudhelicoceras catenatum* (ORBIGNY, 1842) (**figs. 144A y C**).

En los segmentos estratigráficos III y IV no se recuperaron amonitas.

En el segmento estratigráfico V, intervalo N, conjunto N2, muestra T1 (sección tipo, cerro El Tablazo), se encontraron ejemplares de *Parengonoceras pernodosum* (SOMMERMEIR, 1910) (**fig. 144G**).

En el segmento estratigráfico VII, intervalo P, conjunto P2, se coleccionaron las siguientes amonitas en dos muestras.

Muestra **dma 5180** (sección tipo, cerro El Tablazo), se encontraron ejemplares de *Parengonoceras pernodosum* (SOMMERMEIR, 1910) (**figs. 144D y F**). *Beudanticeras* sp. (**fig. 144E**).

Muestra **dma 5412** (sección La Molinilla) *Parengonoceras diana* n. sp. (descripción y holotipo en Etayo-Serna 1979, 75, sub *Engonoceras* sp., pl. 11, fig. 3) (**fig. 144B**).

En el intervalo estratigráfico superior de la Formación Tablazo, segmento estratigráfico VII, intervalo Q, se encontraron las siguientes amonitas:

Conjunto Q5, muestra **dma 5946** (sección La Molinilla): *Prolyelliceras lobatum* (RIEDEL, 1938) (**fig. 143C**). Muestra **dma 5947**, *Tegoceras benavidescaceresi*? (ETAYO-SERNA, 1979) (**fig. 143E**).

Conjunto Q5, techo, muestra **dma 5928A** (sección La Molinilla): *Prolyelliceras lobatum* (RIEDEL, 1938) (**fig. 143D**). Muestra **dma 5928B** (sección La Molinilla) *Douvilleiceras tarapacaense* (ETAYO-SERNA, 1979) (**fig. 143F**).

Conjunto Q8, muestra **dma 4585** de la Formación Tablazo, afloramiento en la carretera a San Vicente, cerca del cruce con la quebrada El Ramo (N:1.265.512, E:1.078.448), *Tegoceras benavidescaceresi*? (ETAYO-SERNA, 1979) (**fig. 143A**).

La presencia de estas amonitas permite asignar la Formación Tablazo en su localidad tipo al intervalo cronoestratigráfico Albiano temprano alto.

## Amonitas de la Formación Tablazo

*Douvilleiceras* sp. *Neodeshayesites stutzeri* (RIEDEL, 1938). Riedel, 1938, lám. 7, fig. 7.

Muestra **GMS 2298B**. Segmento I, intervalo A. Fotografía de campo: **fig. 143B**.

*Pseudhelicoceras catenatum* (ORBIGNY, 1842). Kennedy y Juignet, 2006, pl. 43, fig. 10, 11, 12. Matrimon, 2010. Fig. 133D.

Muestra **dma 5367**. Segmento II, intervalo C (**figs. 144A y C**).

*Parengonoceras pernodosum* (SOMMERMEIR, 1910).

Benavides-Cáceres, 1956, pl. 44, fig. 3, 4; pl. 45, fig. 1-5.

Muestra T1. Segmento V, intervalo N, conjunto N2, (**fig. 144G**).

*Parengonoceras pernodosum* (SOMMERMEIR, 1910).

Benavides-Cáceres, 1956, pl. 45, figs. 1, 3.

Robert y Bulot, 2004, pl. 2, fig. 2.

Muestra **dma 5180A**. Segmento VII, intervalo P, conjunto P2 (**figs. 144D y F**).

*Beudanticeras* sp.? (RENZ, 1982), pl. 4, fig. 13.

Muestra **dma 5180B** (**fig. 144E**).

*Parengonoceras diana* n. sp.

Etayo-Serna, 1979: 75, pl. 11, fig. 3, holotipo.

Latil, 2011, pl. IV, fig. 28.

Muestra **dma 5412**. Segmento VII, intervalo P, conjunto P2 (**fig. 144B**).

*Prolyelliceras lobatum* (RIEDEL, 1938).

Riedel, 1938, lám. 9, fig. 9.

Muestra **dma 5928A**. Segmento VII, intervalo Q (**fig. 143D**).

*Douvilleiceras tarapacaense* (ETAYO-SERNA, 1979).

Etayo-Serna, 1979, pl. 8, fig. 2.

Muestra **dma 5928B**. Segmento VII, intervalo Q (**fig. 143F**).

*Tegoceras benavidescaceresi*? (ETAYO-SERNA, 1979).

Robert et al., 2009.

Muestra **dma 4585**. Segmento VII, intervalo Q (**fig. 143A**).

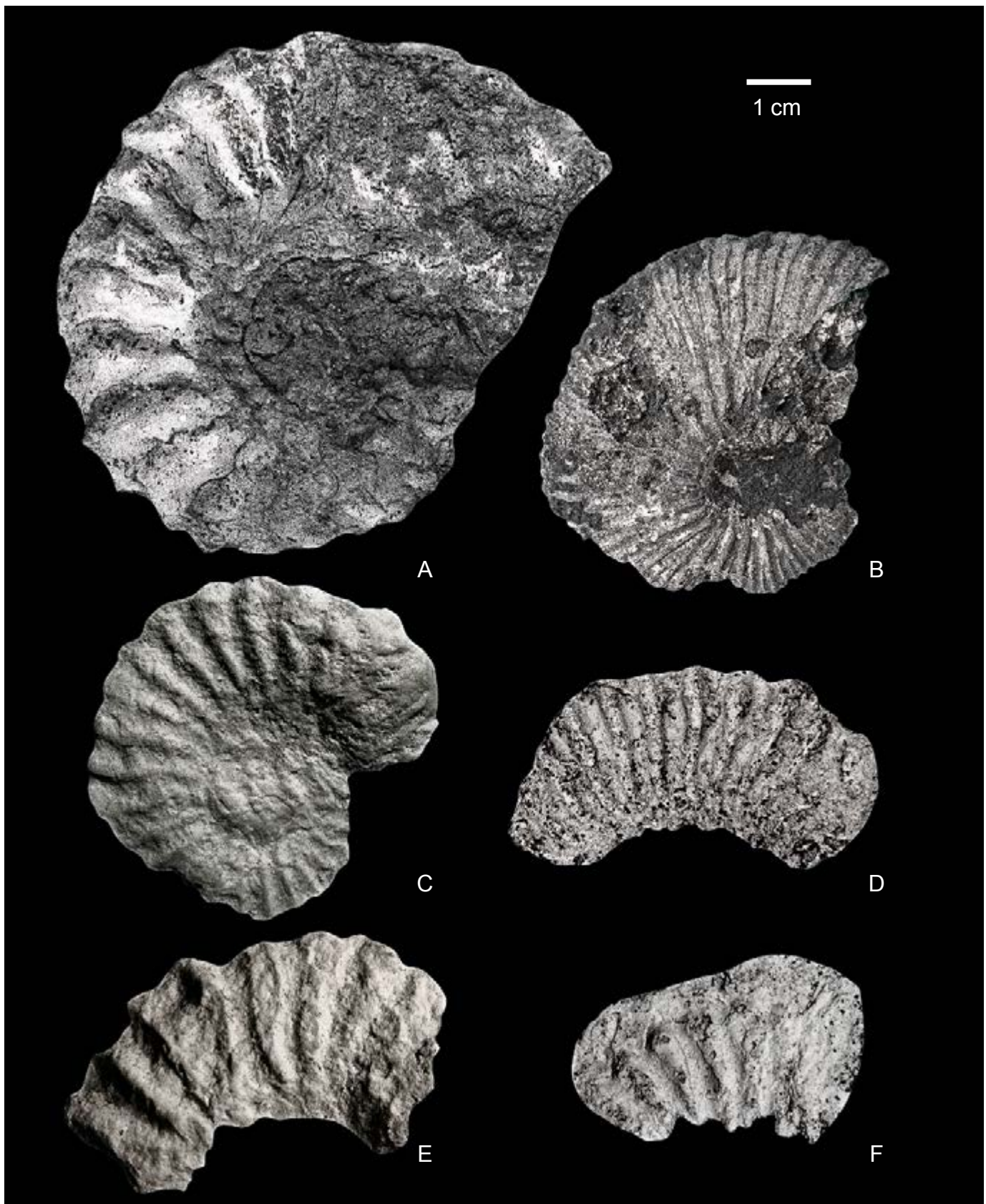
Muestra **dma 5947**. Segmento VII, intervalo Q (**fig. 143E**).

*Prolyelliceras lobatum* (RIEDEL, 1938).

Latil, 2009.

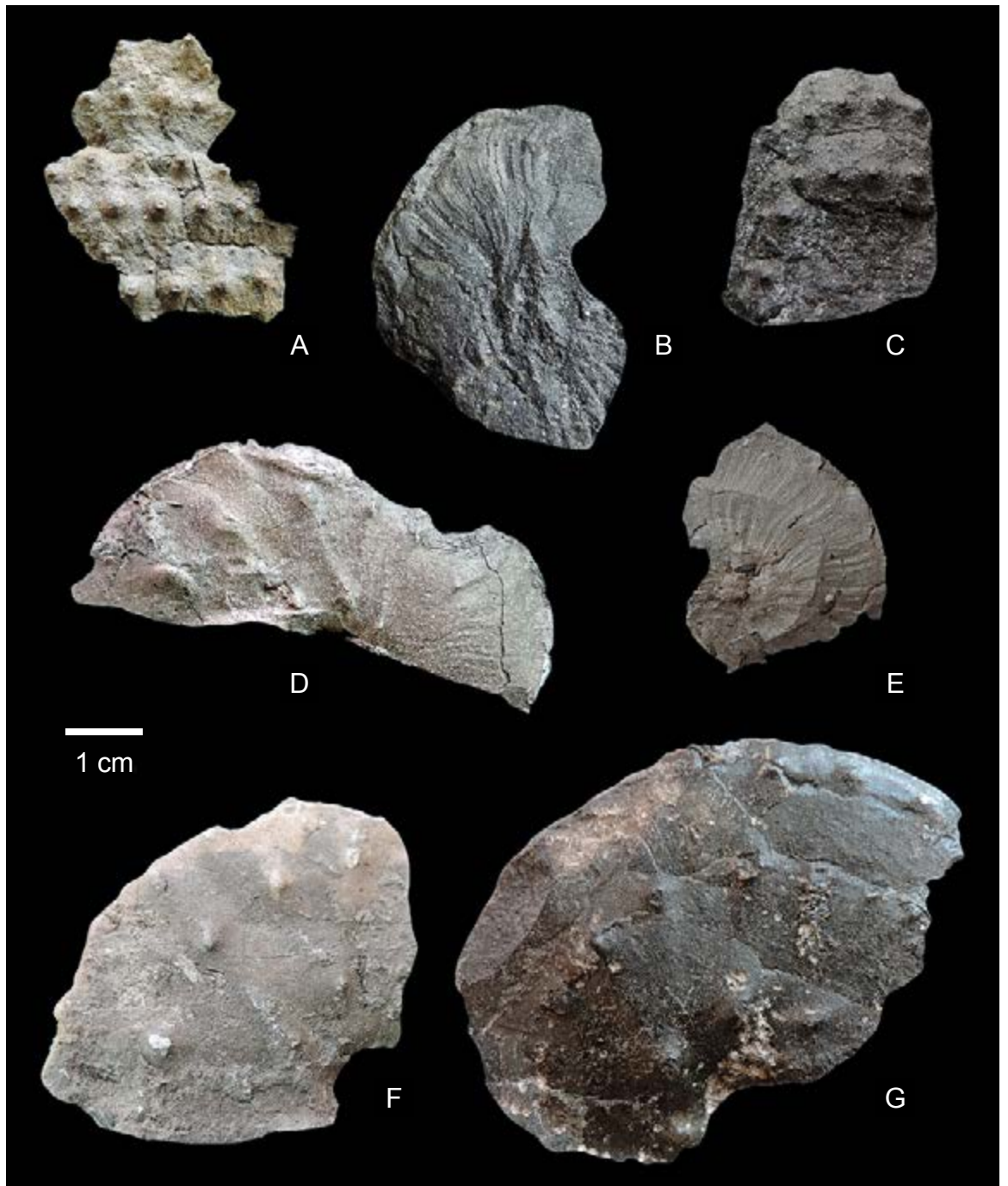
Muestra **dma 5946**. Segmento VII, intervalo Q (**fig. 143C**).





**Figura 143.** **A)** *Tegoceras benavidescaceresi?* (ETAYO-SERNA, 1979), dma 4585, segmento VII, intervalo Q. **B)** *Neodeshayesites stutzeri* (RIEDEL, 1938), GMS 2298B, segmento I, intervalo A. **A y B)** Fotografías de afloramientos. **C)** *Proyelliceras lobatum* (RIEDEL, 1938), dma 5946, segmento VII, intervalo Q. **D)** *Proyelliceras lobatum* (RIEDEL, 1938), dma 5928A, segmento VII, intervalo Q. **E)** *Tegoceras benavidescaceresi?* (ETAYO-SERNA, 1979), segmento VII, intervalo Q. **F)** *Douvilleiceras tarapacaense* (ETAYO-SERNA, 1979), segmento VII, intervalo Q, amonitas del Albiano inferior alto. (C, D, E y F, moldes de campo en pasta dental).





**Figura 144.** A y C) *Pseudelicoceras catenatum* (ORBIGNY, 1842), **dma 5367**, segmento II, intervalo C. B) *Parengonoceras diana* n. sp., **dma 5412**, segmento VII, intervalo P, conjunto P2. E) *Beudanticeras?* sp., **dma 5180**, segmento VII, intervalo P, conjunto P2. D y F) *Parengonoceras pernodosum* (SOMMERMEIR, 1910). E) **dma 5180**, segmento VII, intervalo P, conjunto P2. G) *Parengonoceras pernodosum* (SOMMERMEIR, 1910), T1, segmento V, intervalo N, conjunto N2. Amonitas del Albiano temprano alto.

## AGRADECIMIENTOS

La autora presenta sus agradecimientos al Servicio Geológico Colombiano, al señor director Oscar Eladio Paredes Zapata por el apoyo irrestricto al proyecto; a mis compañeros geólogos Giovanni Moreno-Sánchez, Roberto Terraza Melo, Adrián Pérez Ávila y José Enrique Arenas como integrantes de este equipo de trabajo, en el que la discusión crítica de la geología de la región estudiada era una de nuestras principales con-

signas; a los geólogos Alejandro Numpaque y Victoria Elena Corredor por la realización de las figuras, y al geólogo magíster Juan Fernando Díaz por la identificación de algunos foraminíferos. Especialmente al Dr. Fernando Etayo-Serna por las determinaciones bioestratigráficas para este capítulo, por su constante apoyo, por la revisión del texto, su asesoría permanente, discusión y profundización de conceptos.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahr, Wayne M. 1973. "The carbonate ramp: An alternative to the shelf model". *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions* 23: 221-225.
- Aigner, Thomas. 1982. "Calcareous tempestites: Storm-dominated stratification in Upper Muschelkalk limestones (Middle Triassic, SW-Germany)". En *Cyclic and event stratification*, editado por Gerhard Einsele y Adolf Seilacher, 180-198. Berlin: Springer-Verlag. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-75829-4\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-642-75829-4_13).
- Allmon, Warren D. y James L. Knight. 1993. "Paleoecological significance of a turrilline gastropod-dominated assemblage in the Cretaceous of South Carolina". *Journal of Paleontology* 67 (3): 355-360. <https://doi.org/10.1017/S0022336000036830>
- Banerjee, Indranil y Susan M. Kidwell. 1991. "Significance of molluscan shell beds in sequence stratigraphy: An example from the Lower Cretaceous Mannville Group of Canada". *Sedimentology* 38 (5): 913-934. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1991.tb01879.x>
- Bassi Davide, Renato Posenato y James Nebelsick. 2015. "Paleoecological dynamics of shallow-water bivalves carpets from a Lower Jurassic lagoonal setting, northeast Italy". *Palaaios* 30 (10): 758-770. <https://doi.org/10.2110/palo.2015.020>.
- Bathurst, Robin G. C. 1975. *Carbonate sediments and their diagenesis*. Developments in Sedimentology vol. 12. Amsterdam: Elsevier.
- Beltrán, Wilman Ferney. 2008. "Caracterización estratigráfica y petrográfica de la Formación Tablazo en su localidad tipo". Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.
- Benavides-Cáceres, Victor E. 1956. "Cretaceous System in northern Peru". *Bulletin of the American Museum of Natural History* 108: 353-493. <http://hdl.handle.net/2246/1023>.
- Boquet, Emilie, Alberto Boronat y Alberto Ramos-Cormenzana. 1973. "Production of calcite (calcium carbonate) crystals by soil bacteria is a general phenomenon". *Nature* 246: 527-528. <https://doi.org/10.1038/246527a0>.
- Burne, Robert V. y Linda S. Moore. 1987. "Microbialites: Organosedimentary deposits of Benthic microbial communities". *Palaaios* 2 (3): 241-254. <https://doi.org/10.2307/3514674>.
- Campbell, Charles. V. 1967. "Lamina, laminaset, bed and bedset". *Sedimentology* 8 (1): 7-26. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1967.tb01301.x>.
- Chafetz, Henry S. y Chirs Buczynski. 1991. "Bacterially induced lithification of microbial mats". *Palaaios* 7 (3): 227-293. <https://doi.org/10.2307/3514973>.
- Christ, Nicolas, Adrian Immenhauser, Frédéric Amour, Maria Mutti, Saa Tomás, Susan M. Agar, Robert Always y Lahcen Kabiri. 2012. "Characterization and interpretation of discontinuity surfaces in a Jurassic ramp setting (High Atlas, Morocco)". *Sedimentology* 59 (1): 249-290. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2011.01251.x>.
- Cobbold, Peter R. y Nuno Rodrigues. 2007. "Seepage forces, important factors in the formation of horizontal hydraulic fractures and bedding-parallel fibrous veins ('beef' and 'cone-in-cone')". *Geofluids* 7 (3): 313-322. <https://doi.org/10.1111/j.1468-8123.2007.00183.x>.
- Dunham, Robert J. 1962. "Classification of carbonate rocks according to depositional texture". En *Classification of Carbonate Rocks, a Symposium*, editado por William E. Ham, 108-121. American Association of Petroleum Geologists. <https://doi.org/10.1306/M1357>.
- Embry, Ashton F. y Jhon Edward Klován. 1971. "A Late Devonian reef tract on Northeastern Banks Island". *Bulletin of Canadian Petroleum Geology* 19 (4): 730-781.
- Etayo-Serna, Fernando. 1979. *Zonation of the Cretaceous of Central Colombia by ammonites*. Publicaciones Geológicas Especiales 2. Bogotá: Ingeominas.
- Flügel, Erik. 2010. *Microfacies of carbonate rocks. Analysis, interpretation and application*. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-03796-2>.
- Folk, Robert L. 1959. "Practical petrographic classification of limestones". *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists* 43 (1): 1-38.
- Folk, Robert L. 1954. "The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature". *The Journal of Geology* 62 (4): 344-359. <https://doi.org/10.1086/626171>.
- Folk, Robert L. 1962. "Spectral subdivision of limestone types". En *Classification of Carbonate Rocks, a Symposium*, editado por William E. Ham, 62-84. American Association of Petroleum Geologists. <https://doi.org/10.1306/M1357>.
- Folk, Robert. 1974. *Petrology of sedimentary rocks*. Austin: Hemphill Publishing Co.
- Folk, Robert. 1987. "Detection of organic matter in thin-sections of carbonate rocks using a white card". *Sedimentary Geology* 54 (3): 193-200. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(87\)90022-4](https://doi.org/10.1016/0037-0738(87)90022-4).
- Friedman, Gerald. 1994. "Paleosols in shallow marine carbonate sequences-discussion". *Earth Science Reviews* 37 (1-2): 135-137. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90027-2](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90027-2).
- Fürsich, Franz Theodor. 1973. "Thalassinoides and the origin of nodular limestones in the Corallian Beds (Upper Jurassic) of southern England". *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Monatshefte* 3: 136-156.
- Fürsich, Franz Theodor. 1995. "Shell concentrations". *Eclogae Geologicae Helvetiae* 88 (3): 643-655. <http://doi.org/10.5169/seals-167692>.
- Garrison, Robert, William J. Kennedy y John Palmer. 1987. "Early lithification and hardgrounds in Upper Albian and Cenomanian calcarenites, Southwest England". *Cretaceous Research* 8 (2): 103-146. [https://doi.org/10.1016/0195-6671\(87\)90017-6](https://doi.org/10.1016/0195-6671(87)90017-6).
- Goldstein, Robert H. 1988. "Paleosols of late Pennsylvanian cyclic strata, New Mexico". *Sedimentology* 35 (5): 777-803. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1988.tb01251.x>.
- Grădinaru, Mihaela, Iuliana Lazar, Ioan I. Bucur, Eugen Grădinaru, Emanoil Săsăran, Mihail N. Ducea y Alexandru Andrașanu. 2016. "The Valanginian history of the eastern part of the Getic carbonate platform (Southern Carpathians, Romania): Evidence for emergence and drowning of the platform". *Cretaceous Research* 66 (1): 11-42. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2016.04.012>.
- Hardie, Lawrence A., Alfonso Bosellini y Robert K. Goldhammer. 1986. "Repeated subaerial exposure of subtidal carbonate platforms, Triassic, Northern Italy: Evidence for high frequency sea level oscillations on a 104 year scale". *Paleoceanography and Paleoclimatology* 1 (4): 447-457. <https://doi.org/10.1029/PA001i004p00447>.
- Hillgärtner, Heiko. 1998. "Discontinuity surfaces on a shallow-marine carbonate platform (Berriasian-Valanginian, France and Switzerland)". *Journal of Sedimentary Research* 68 (6): 1093-1108. <https://doi.org/10.2110/jsr.68.1093>.
- Howarth, Robert W. 1979. "Pyrite: Its rapid formation in a salt marsh and its importance in ecosystem metabolism". *Science* 203 (4375): 49-50. <https://doi.org/10.1126/science.203.4375.49>.
- Immenhauser, Adrian. 2009. "Estimating palaeo-water depth from the physical rock record". *Earth-Science Reviews* 96 (1): 107-139. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.06.003>.
- Ingram, Roy. L. 1954. "Terminology for the thickness of stratification and parting units in sedimentary rocks". *Geological Society of American Bulletin*, 65 (9): 937-938. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1954\)65\[937:TFT-TOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1954)65[937:TFT-TOS]2.0.CO;2).
- James, Noel P. 1972. "Holocene and Pleistocene calcareous crust (caliche) profiles: Criteria for subaerial exposure". *Journal of Sedimentary Research* 42 (4): 817-836. <https://doi.org/10.1306/74D7263F-2B21-11D7-8648000102C1865D>.
- Kennedy, William J. y Pierre Juignet. 2006. "Pseudelicoceras catenatum (d'ORBIGNY, 1842)". En *Révision critique de la paléontologie française d'Alcide d'Orbigny*, editado por Jean-Claude Fischer. Volume IV : Céphalopodes Crétacés, Leiden: Backhuys Publishers.
- Kidwell, Susan, Franz T. Fürsich y Thomas Aigner. 1986. "Conceptual framework for the analysis and classification of fossil concentrations". *Palaaios* 1 (3): 228-238. <https://doi.org/10.2307/3514687>.
- Konhauser, Kurt. 1998. "Diversity of bacterial iron mineralization". *Earth-Science Reviews* 43 (3): 91-121. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(97\)00036-6](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(97)00036-6).
- Kornicker, Louis S. y Edward G. Purdy. 1957. "A Bahamian fecalpellet sediment". *Journal of Sedimentary Research* 27 (2): 126-128. <https://doi.org/10.1306/74D70673-2B21-11D7-8648000102C1865D>.



- Košir, Adrijan. 2004. "Microcodium revisited: Root calcification products of terrestrial plants on carbonates-rich substrates". *Journal of Sedimentary Research* 74 (6): 845-857. <https://doi.org/10.1306/040404740845>.
- Krumbein, William. C. y Laurence L. Sloss. 1969. *Estratigrafía y sedimentación*. México: Ed. Uteha.
- Latil, Jean-Louis, Emmanuel Robert y Luc-Georges Bulot. 2009. "New insights on the genus *Prollycleras* Spath, 1930 and the identity of *Acanthoceras gevreyi* Jacob, 1907 (Cephalopoda, Ammonitina)". *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie* 254 (3): 337-347. <https://doi.org/10.1127/0077-7749/2009/0021>.
- Latil, Jean-Louis. 2011. "Early Albian ammonites from Central Tunisia and adjacent areas". *Revue de Paléobiologie Genève* 30 (1): 3241-429.
- Lazar Remus, Kevin Bohacs, Joe Macquaker, Juergen Schieber y Timothy Demko. 2015. Capturing key attributes of fine-grained sedimentary rocks in out outcrops, cores, and thin section ns: Nomenclature and description guidelines. *Journal of Sedimentary Research* 85 (3): 230-246. <https://doi.org/10.2110/jsr.2015.11>.
- Longhitano, Sergio G., Donatella Mellere, Ronald J. Steel y Bruce Ainsworth. 2012. "Tidal depositional systems in the rock record: A review and new insights". *Sedimentary Geology* 279: 2-22. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2012.03.024>.
- Lucas, Gabriel y Christian Montenat. 1967. Observations sur les structures internes et le développement des *Microcodium*. *Bulletin de la Société Géologique de France* S7-IX (6): 909-918. <https://doi.org/10.2113/gssgfbull.S7-IX.6.909>.
- Matrion, Bernard. 2010. "Ammonites". En *Stratotype Albi*, coordinado por Claude Colleté. Publication scientifique du Muséum national d'Histoire naturelle. Paris: Biotope Editions.
- Matysik, Michal. 2016. "Facies types and depositional environments of a morphologically diverse carbonate platform: A case study from the Muschelkalk (Middle Triassic) of Upper Silesia, Southern Poland". *Annales Societatis Geologorum Poloniae* 86 (2): 119-164.
- Meldahl, Keith H. 1987. "Sedimentologic and taphonomic implications of biogenic stratification". *Palaios* 2 (4): 350-358. <https://doi.org/10.2307/3514760>.
- Mertie, John B. Jr. 1922. "Graphic and mechanical computation of thickness of strata and distance to a stratum". U.S. Geological Survey. Professional Paper 129: 39-52.
- Miller, James A. 1975. "Facies Characteristics of Laguna Madre Wind-Tidal Flats". En *Tidal Deposits: A Casebook of Recent Examples and Fossil Counterparts*, editado por Robert Ginsbur, 67-73. New York: Springer, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-88494-8>.
- Moore, David G. y Scrutton Philip. C. 1957. "Minor internal structures of recent unconsolidated sediments". *American Association of Petroleum Geologists* 41 (12): 2723-2751.
- Morales, Luis G. y The Colombian Petroleum Industry. 1958. "General geology and oil occurrences of Middle Magdalena Valley, Colombia". En *Habitat of oil. A symposium; conducted by the American Association of Petroleum Geologists*, edited by Lewis G. Weeks, 641-695. Special Publication 18. Tulsa: The American Association of Petroleum Geologists.
- Moreno-Sánchez, Giovanni. 2019. "Mapa geológico del Valle Medio del Magdalena en los alrededores del puente El Tablazo, departamento de Santander". En *Estudios geológicos y paleontológicos sobre el Cretácico en la región del embalse del río Sogamoso, Valle Medio del Magdalena*, dirección científica y edición de Fernando Etayo-Serna. Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia vol. XXIII. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- Moreno-Sánchez, Giovanni y Pérez, Andrei. 2001. "Caracterización del grupo San Gil y las formaciones Tablazo y Simití". Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.
- Morse, John W. 2003. "Formation and diagenesis of carbonate sediments". En *Treatise on Geochemistry*, editado por Heinrich D. Holland y Karl K. Turekian, 67-85, vol. 7. San Diego: Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/07093-6>.
- Multer, H. Gray y J. Edward Hoffmeister. 1968. "Subaerial laminated crusts of the Florida Keys". *Geological Society of America Bulletin* 79 (2): 183-192. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1968\)79\[183:SLCOTF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1968)79[183:SLCOTF]2.0.CO;2).
- Nebelsick, James. 1995. "Uses and limitations of actual paleontological investigations on echinoids". *Geobios* 28 (Supl. 1): 329-336. [https://doi.org/10.1016/S0016-6995\(95\)80178-2](https://doi.org/10.1016/S0016-6995(95)80178-2).
- Pettijohn, Francis J., Paul E. Potter y Raymond Siever. 1973. *Sand and sandstones*. New York: Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1066-5>.
- Porada, Hubertus, Julia Ghergut y El Hafid Bouougri. 2008. "Kinneyia — tipe wrinkle structures— critical review and model of formation". *Palaios* 23 (2): 65-77. <https://doi.org/10.2110/palo.2006.p06-095r>.
- Rahimpour-Bonab, Hossain, Hamzeh Mehrabi, Amirhosein Enayati-Bidgoli y Mahboobeh Omidvar. 2012. "Coupled imprints of tropical climate and recurring emergence on reservoir evolution of a mid-Cretaceous carbonate ramp, Zagros Basin, southwest Iran". *Cretaceous Research* 37: 15-34. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2012.02.012>.
- Reháková, Daniela. 2000. "Evolution and distribution of the Late Jurassic and Early Cretaceous calcareous dinoflagellates recorded in the Western Carpathian pelagic carbonate facies". *Mineralia Slovaca* 32: 79-88. <https://da.geology.sk/navigator/download.jsp?magazineId=A1001001A18D12B11541H47617>.
- Reid, Pamela R., Ian G. Macintyre y Jeffrey E. Post. 1992. "Micritized skeletal grains in northern Belize Lagoon: A major source of Mg-calcite mud". *Journal of Sedimentary Research* 62 (1): 145-156. <https://doi.org/10.1306/D42678B1-2B26-11D7-8648000102C1865D>.
- Renz, Otto. 1982. *The Cretaceous ammonites of Venezuela*. Boston: Birkhauser.
- Retellack, Gregory J. 2001. *Soils of the Past: An Introduction to Paleopedology*. Second Edition. Oxford: Blackwell Science. <https://doi.org/10.1002/9780470698716>.
- Riedel, Leonhard. 1938. *Amonitas del cretácico inferior de la cordillera Oriental. Estudios geológicos y paleontológicos sobre la cordillera Oriental de Colombia*, parte 2: 7-78, pl. 3-14. Bogotá: Departamento de Minas y Petróleo.
- Robert, Emmanuel y Luc Georges Bulot. 2004. "Origin, phylogeny, faunal composition, and stratigraphical significance of the Albian engonoceratidae (*pulchelliaceae*, ammonitina) of Peru". *Journal of South American Earth Sciences* 17 (1): 11-23. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2004.05.004>.
- Robert, Emmanuel, Jean Louis Latil y Luc Georges Bulot. 2009. "Albian ammonite faunas from South America: The genus *Tegoceras* Hyatt, 1903". *Revue de Paléobiologie* 28 (1): 43-51.
- Scholle, Peter y Dana Ulmer-Scholle. 2003. *A color guide to the petrography of carbonate rocks: Grains, textures, porosity, diagenesis*. AAPG Memoir vol. 77. Tulsa: The American Association of Petroleum Geologists. <https://doi.org/10.1306/M77973>.
- Scott, Robert W. 1974. "Bay and shoreface benthic communities in the Lower Cretaceous". *Lethaia* 7 (4): 315-330. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.1974.tb00907.x>.
- Strasser, André. 1988. "Shallowing-upward sequences in Purbeckian peritidal carbonates (lowermost Cretaceous, Swiss and French Jura Mountains)". *Sedimentology* 35 (3): 369-383. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1988.tb00992.x>.
- Teodorovich, Georgii Ivanovich. 1961. *Authigenic minerals in sedimentary rocks*. New York: Consultants Bureau. 10.1007/978-1-4684-0652-8.
- Thompson, Robert W. 1975. "Tidal-flat sediments of the Colorado River Delta, northwestern Gulf of California". En *Tidal Deposits. A casebook of recent examples and fossil counterparts*, editado por Robert N. Ginsburg, 57-65. New York: Springer-Verlag. 10.1007/978-3-642-88494-8.
- Wheeler, Orby Clinton. 1929. "Report on the Palmira Series with notes on stratigraphy of the Umir, Lisama y La Paz Formations near the eastern part of De Mares Concession". Informe Geológico 37. Ecopetrol.
- Wright, Paul V. 1994. "Paleosols in shallow marine carbonate sequences". *Earth Science Reviews* 35 (4): 367-395. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90002-7](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90002-7).