

ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y PALEONTOLÓGICOS SOBRE EL CRETÁCICO EN LA REGIÓN DEL EMBALSE DEL RÍO SOGAMOSO, VALLE MEDIO DEL MAGDALENA

En conmemoración de la publicación: "Estudios geológicos y paleontológicos sobre la cordillera Oriental de Colombia", 1938

Dirección científica:
Fernando Etayo-Serna

Fernando Etayo-Serna / Diana Montoya Arenas
Giovanni Moreno Sánchez / Roberto Terraza Melo
Georgina Guzmán Ospitia



Estudios geológicos y paleontológicos sobre el Cretácico en la región del embalse del río Sogamoso, Valle Medio del Magdalena

Con la dirección científica y edición de Fernando Etayo-Serna

y la participación de:

Fernando Etayo-Serna
Diana M. Montoya Arenas
Giovanni Moreno Sánchez
Roberto Terraza Melo
Georgina Guzmán Ospitia

Ministerio de Minas y Energía

María Fernanda Suárez Londoño

Ministra de Minas y Energía

Carolina Rojas Hayes

Viceministra de Minas

Diego Mesa Puyo

Viceministro de Energía

Servicio Geológico Colombiano

Oscar Eladio Paredes Zapata

Director general

Mario Andrés Cuéllar

Director de Geociencias Básicas

Gloria Prieto Rincón

Directora de Recursos Minerales

Directora (e) de Laboratorios

Marta Calvache Velasco

Directora de Geoamenazas

Hernán Olaya Dávila

Director de Asuntos Nucleares

Humberto Andrés Fuenzalida

Director de Hidrocarburos

Margarita Bravo Guerrero

Directora de Gestión de Información

Dirección científica y edición:

Fernando Etayo-Serna

Autores de capítulos

Fernando Etayo-Serna

Diana Montoya Arenas

Giovanni Moreno Sánchez

Roberto Terraza Melo

Georgina Guzmán Ospitia

© Servicio Geológico Colombiano

ISBN impreso: 978-958-52317-7-1

ISBN digital: 978-958-52317-8-8

Bogotá, D. C., Colombia

Noviembre de 2019

Comité Editorial

Servicio Geológico Colombiano

Presidente

Virgilio Amaris Ibáñez

Integrantes

Mario Andrés Cuéllar

Gloria Prieto Rincón

Marta Calvache Velasco

Hernán Olaya Dávila

Humberto Andrés Fuenzalida

Margarita Bravo Guerrero

Viviana Dionicio

Teresa Duque

Julián Escallón

Armando Espinosa

Juan Guillermo Ramírez

Manuel Hernando Romero

Diagonal 53 n.º 34-53

Bogotá D. C., Colombia

Teléfono: 220 0200, ext.: 3048

ceditorial@sgc.gov.co

Édgar Ordóñez

Corrección de estilo

Diana Paola Abadía

Diseño de carátula

Jaime Pardo Ávila

Diseño y diagramación

Carolina Hernández

Edición general

Impresión

Imprenta Nacional de Colombia

Carrera 66 n.º 24-09

pbx: 457 8000

www.imprenta.gov.co

Fotografía de carátula:

Foto aérea tomada antes de la construcción del proyecto hidroeléctrico del río Sogamoso, localizado al norte del departamento de Santander, Colombia. Muestra en primer plano al río Chucurí que fluye sinuosamente al NNE y desemboca en el río Sogamoso que drena al NW; la zona llana de confluencia de los dos ríos corresponde al área principal, actualmente inundada, del proyecto hidroeléctrico del río Sogamoso. El tramo rectilíneo del río Sogamoso mide aproximadamente 5 km de longitud. Fotografía por Armando Santamaría Rojas, fotógrafo de profesión y habitante del municipio de San Vicente de Chucurí.

Citación: Etayo-Serna, Fernando, dir. cient. y ed. 2019. *Estudios geológicos y paleontológicos sobre el Cretácico en la región del embalse del río Sogamoso, Valle Medio del Magdalena*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Estudios geológicos y paleontológicos sobre el Cretácico en la región del embalse del río Sogamoso, Valle Medio del Magdalena

C o n t e n i d o

Prólogo	María Fernanda Suárez Londoño	VIII
Presentación	Oscar Eladio Paredes Zapata	X
Introducción	Fernando Etayo-Serna	XI
Capítulo 1	Formación Rosa Blanca: subdivisión de la Formación y propuesta de Neoestratotipo. Sección laguna El Sapo, vereda El Carrizal, municipio de Zapatoca, departamento de Santander	1
Capítulo 2	Formación La Paja: descripción de la sección tipo. Influencia de los tapices microbiales en su génesis	55
Capítulo 3	Formación Tablazo: descripción de la sección tipo. Depósitos de carbonatos en una rampa afectada por exposiciones subaéreas iterativas	157
Capítulo 4	“Formación” Simití: unidad ambigua en la estratigrafía del Valle Medio del Magdalena	293
Capítulo 5	“Formación La Luna”: expresión espuria en la geología colombiana	303
Capítulo 6	Mapa geológico del Valle Medio del Magdalena en los alrededores del puente El Tablazo, departamento de Santander	363
Capítulo 7	Mapa geológico del cañón del río Sogamoso, en el sector Villanueva, Zapatoca, Betulia, departamento de Santander	391
Capítulo 8	Basin development and tectonic history of the Middle Magdalena Valley	413

Prólogo

Estudios geológicos y paleontológicos sobre el Cretácico en la región del embalse del río Sogamoso, Valle Medio de Magdalena es una contribución de la mayor importancia que hoy entrega el Servicio Geológico Colombiano para la consulta de todos los ciudadanos. Esta obra, producto de más de cinco años de investigación, avanza de manera sobresaliente en el conocimiento geológico de la región del Valle Medio del Magdalena (VMM), que hoy, después de cien años de actividad petrolera, sigue siendo estratégica para nuestra autosuficiencia energética.

Entre los años 2013 y 2014 geólogos especializados del SGC desarrollaron trabajo de campo en la región del embalse del río Sogamoso, en el marco de la construcción y puesta en marcha de la Hidroeléctrica Sogamoso. Entre el 2015 y el 2018 se consolidó la información y se adelantaron los estudios técnicos y de laboratorio. La investigación resultante revisa la estratigrafía del Cretácico en el Valle Medio del Magdalena y precisa el conocimiento existente sobre las Formaciones Rosa Blanca, La Paja, Tablazo, Simití y La Luna, con la particularidad y la novedad de que la cartografía geológica se hace a escala de 1:50.000.

Para cada una de estas Formaciones el estudio nos presenta su caracterización litológica, petrográfica, bioestratigráfica y cartográfica. Se evidencia “la alternancia de ambientes sedimentarios marinos someros con influencia calcárea- evaporítica y horizontes ricos en materia orgánica”, lo cual, en conjunto, representa un comprobado ambiente generador de hidrocarburos, de yacimientos minerales energéticos y de fosfatos, entre otros.

Para la industria de los hidrocarburos el aporte es fundamental: esta moderna descripción y definición de las unidades litoestratigráficas cretáceas del VMM permitirá mejorar el significado cuantitativo de los análisis de los diferentes tipos de registros de pozos utilizados; facilitará mejores calibraciones e interpretaciones de los resultados de prospección sísmica y otros estudios geofísicos y, no menos importante, contribuirá a la identificación de nuevos caminos de migración de hidrocarburos o de sellos estratigráficos hoy en día desconocidos.

Así mismo, al permitir comparar las unidades cretácicas de superficie y las rocas generadoras y almacenadoras del subsuelo, se le ofrece a la industria una herramienta muy importante para establecer correspondencias precisas entre los distintos lugares de la cuenca del Magdalena Medio, mejorando así los trabajos de prospección.

Esta información, que antes era reservada o de difícil acceso, estará ahora disponible para todos los interesados en la academia como en la industria, facilitando y motivando futuras exploraciones minero-energéticas.

El ejercicio se adelantó siguiendo las huellas de las investigaciones pioneras que, desde principios del siglo XX, abrieron el camino al conocimiento geológico de esta región. La actividad científica siempre es una carrera de relevos y en el campo geológico el esfuerzo ha sido sostenido, con las transformaciones naturales en métodos y tecnologías de investigación.

En 1929 O.C. Wheeler publicó el informe ya clásico *Report on the Palmira series with notes on stratigraphy of the Umir, Lisama and La Paz Formations near the eastern part of De Mares Concession*, un año en el que también Enrique Hubach y Benjamín Alvarado adelantaron el estudio *Geología petrolífera del departamento de Norte de Santander*, publicado en 1931. Más adelante, en 1933, apareció el primer tomo de la *Compilación de estudios geológicos oficiales en Colombia*, de Scheibe y Lleras Codazzi, y en 1938 los *Estudios geológicos y paleontológicos sobre la cordillera Oriental de Colombia*, dirigidos por Robert Scheibe. En el año 1958 se publicaría la *Standard nomenclature for Middle Magdalena Valley-Colombia*, coordinada por L.G. Morales.

En la primera mitad del siglo XX también adelantaría su actividad la Comisión Científica Nacional, entidad precursora del hoy Servicio Geológico Colombiano que contó con los profesores Robert Scheibe y Enrique Hubach como sus directores. Este último, así como el ingeniero Benjamín Alvarado, fueron a su vez directores del Servicio Geológico Nacional. El país se abría a la industria petrolera y requería el apoyo del conocimiento científico.

La investigación geológica durante estos años fue en gran parte labor de científicos extranjeros, quienes contaron con el apoyo de jóvenes ingenieros, topógrafos y geólogos colombianos, graduados en su mayoría de la Escuela de Minas de Medellín. Hoy, como lo demuestra el libro que tenemos en nuestras manos, la labor científica en este campo es adelantada por profesionales colombianos como Fernando Etayo Serna, director de este proyecto. En el Servicio Geológico Colombiano el Estado cuenta con un centro de investigación de primer nivel.

De manera adicional, esta investigación es una demostración de la coexistencia armónica entre los proyectos de desarrollo, como la Hidroeléctrica Sogamoso, y la exploración científica de la naturaleza. Es un buen ejemplo que nos orienta para enfrentar el reto que tendremos como país respecto a la exploración de los yacimientos no convencionales, sobre los que precisamente arroja luz este estudio en materia geológica.

En el marco de la conmemoración del bicentenario de nuestra Independencia viene bien reconocernos en los trabajos de ciencia que nos permiten una apropiación mayor de nuestro territorio y nuestros recursos, una tarea que avanza de generación en generación.

María Fernanda Suárez Londoño
Ministra de Minas y Energía

El director general

Caminar por los espacios abiertos del tiempo podría ser una manera alegórica de describir las labores del Servicio Geológico Colombiano. Su trabajo consiste en entender la formación y configuración natural del territorio de la nación a lo largo de los eones, lo que se denomina su evolución geológica.

El estudio que presentamos a la comunidad científica y al sector minero energético abarca una región natural, el Valle Medio del Magdalena, que ha sido fuente de riqueza mineral y motor para el desarrollo del país; esta región puede además ser considerada como un museo al aire libre de la geohistoria, para regocijo de las generaciones por venir.

Con esta investigación generamos nuevo conocimiento, a la vez que lo divulgamos para beneficio de la sociedad colombiana, conmemoramos, agradecemos el legado del pasado, y mostramos el talento de nuestros científicos para contribuir al avance del conocimiento geológico de nuestro territorio.

¡Bienvenidos a nuestras raíces del Cretácico!

Oscar Eladio Paredes Zapata
Director general
Servicio Geológico Colombiano

El director científico del proyecto

Don Oscar Eladio Paredes Zapata, director del Servicio Geológico Colombiano, confió, en quien esto escribe, la tarea de dirigir el estudio geológico del área de influencia del Proyecto Hidroeléctrico del río Sogamoso (Hidrosogamoso), firmado como Convenio Especial de Cooperación 10 del 2013 entre el Servicio Geológico Colombiano, el *Smithsonian Tropical Research Institute*, representado por el Sr. geólogo Carlos Jaramillo, e Isagén S.A. S.E.P. El personal que participaría en el proyecto por parte del Servicio Geológico Colombiano, sería el que yo escogiera y fueron ellos: Diana María Montoya Arenas, Roberto Terraza Melo, Giovanni Moreno Sánchez y, de manera temporal, Adrián Pérez Ávila y José Enrique Arenas.

La idea de revisar la estratigrafía del Cretácico del Valle Medio del Magdalena rondaba mi mente desde cuando, entre 1979 y 1986, como profesor de los cursos de Geología de Campo de la carrera de geología de la Universidad Nacional de Colombia, visité, junto con mis alumnos, las regiones del Valle Medio del Magdalena y del río Sogamoso.


Varios colegas geólogos, cuyo recuerdo perdura, me acompañaron en las primeras andanzas por esas comarcas: Giancarlo Renzoni, Alberto Forero, Rodrigo Vargas, Noel Téllez, Rubén Llinás, Georgina Guzmán, Fabio Laverde, Jairo Clavijo y Carlos Arturo Alfonso.

Todo trabajo de esta índole es participativo; por ello, especial reconocimiento merecen Rubén Llinás, por su orientación en la petrografía de varias rocas estudiadas; Diana María Montoya Arenas, por sus microfotografías de las secciones delgadas; la ingeniera Marie Jöelle Giraud, por su esfuerzo en producir pulcras ilustraciones; la ingeniera Yaneth Montaña Barrera, por su cuidadoso dibujo de los mapas; el biólogo Daniel Pomar, por su diligencia en obtener la documentación bibliográfica requerida. Por ventura, una llamada telefónica me conectó con Jaime Pardo Ávila, arquitecto del libro.

Las gentes de la región, en especial las de Zapatoca y su hotel Casa de Ejercicios, con su gerente Rodrigo Espíndola, los auxiliares de campo Gabriel, César y José (San Vicente de Chucurí) y Robinson Sarmiento (Zapatoca), son merecedores de especial recordación.

Dejo constancia de que nuestro trabajo se guio por una idea similar a la del señor Nicolás Gómez Dávila: “Para renovar no es necesario contradecir, basta profundizar” (*Escolios a un texto implícito*).

Fernando Etayo-Serna



Formación Rosa Blanca: subdivisión de la Formación y propuesta de Neoestratotipo. Sección laguna El Sapo, vereda El Carrizal, municipio de Zapatoca, departamento de Santander

Mientras otros sostienen que hay cosas ciertas y cosas inciertas, nosotros, disintiendo de ellos, decimos que algunas cosas son probables y otras improbables

Cicerón (Sobre los deberes)

Portadilla: Afloramiento de los Miembros de la Formación Rosa Blanca, en la vertiente W de la quebrada El Platanalito, antes de su desembocadura en el río Sogamoso. De arriba abajo el bosquecillo de arbustos crece sobre capas de la Formación La Paja. El primer resalto representa el Miembro Zapatoca; el cambio a una pendiente levemente cóncava corresponde al Miembro El Sapo, mientras que el perfil convexo que culmina en un banco bien definido representa el Miembro Zo. El intervalo de color claro que desciende hasta el fondo de la quebrada y cuyas capas delgadas forman ángulo con las capas gruesas del Miembro Zo, representa el Miembro Carrizal.

Citación: Etayo-Serna, Fernando y Georgina Guzmán-Ospitia. 2019. "Formación Rosa Blanca: subdivisión de la Formación y propuesta de Neoestratotipo. Sección laguna El Sapo, vereda El Carrizal, municipio de Zapatoca, 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.

In memoriam Giancarlo Renzoni

A b s t r a c t

The earliest Cretaceous lithostratigraphic unit recorded in the Hidrosogamoso region is represented by the siliciclastic Los Santos Formation (1). Immediately overlying this unit is the transitional Cumbre Formation (2).

Above the Cumbre Formation, the Rosa Blanca Formation (3) begins with the Lagunetas Member (newly defined), which shows an E to W change from sabkha deposits (supratidal) to stromatolitic limestone (subtidal) and is 80 m thick. The Los Santos - Cumbre Formations and Lagunetas Member, based on Walther's principle of contiguity of facies, are considered Berriasian.

Sealing an erosional scar follows the oolitic calcareous basal bed of the newly defined Carrizal Member made of conspicuous *Thalassinoides* beds and decimetric wackestone beds alternating with calcareous mudstone; 110 m. This member is dated to the Lower Valanginian-Upper Valanginian. Above the Carrizal Member and with disconformable contact is the Zo Member, newly defined, made of multidecimeteric cross-bedded packstone and wackestone that alternate with terrigenous mudstone. The occurrence of benthonic foraminifera is notable, and the unit is 40 m thick.

In a rapid transition follows the newly defined El Sapo Member, which is made of conspicuous *Thalassinoides* beds and decimetric wackestone alternating with terrigenous calcareous mudstone and is 80 m thick.

The upper part of the Rosa Blanca is represented by the newly defined Zapatoca Member, which is made of ferruginous metric sandstones in the lower part (35 m thick) and wackestone and bivalve packstone at the top (25 m thick).

The Zo, El Sapo and Zapatoca members are dated as Lower Hauterivian.

Formación Rosa Blanca: subdivisión de la Formación y propuesta de Neostratotipo. Sección laguna El Sapo, vereda El Carrizal, municipio de Zapatoca, departamento de Santander

1

Fernando Etayo-Serna y Georgina Guzmán-Ospitia

RESUMEN

La unidad litoestratigráfica cretácica más antigua registrada en la región de Hidrosogamoso es la Formación siliciclástica Los Santos, de origen continental (1). Inmediatamente sobre ella sigue la Formación Cumbre, de naturaleza transicional (2), y sobre esta se presenta la Formación Rosa Blanca (3), que inicia con el Miembro Lagunetas, nuevo, acumulado en el dominio *sabkha*-submareal (80 m). Con base en el principio de contigüidad de las facies de Walther, estos tres cuerpos litológicos se asignan al Berriasiano.

Sellando una superficie de erosión sigue la capa oolítica calcárea que dibuja la base del Miembro Carrizal, nuevo, constituido por capas de *Thalassinoides* y capas decimétricas de *wackestone* en alternancia con *mudstone* calcáreos (110 m). Este miembro representa el Valanginiano inferior y parte del Valanginiano superior.

Sobre el miembro anterior sigue en contacto disconforme el Miembro Zo, nuevo, constituido por *packstone* y *wackestone* pluridecimétricos y con laminación inclinada, que alternan con *mudstone* terrígenos; es notoria la presencia de foraminíferos bentónicos (40 m).

En rápida transición sigue el Miembro El Sapo, nuevo, compuesto por capas de *Thalassinoides* y *wackestone* decimétricos en alternancia con *mudstone* calcáreos (80 m).

La parte superior de la Formación Rosa Blanca está representada por el Miembro Zapatoca, nuevo, constituido por areniscas ferruginosas de espesores métricos en su parte inferior (35 m), y por *wackestone* y *packstone* de bivalvos en su parte superior (25 m).

Los Miembros Zo, El Sapo y Zapatoca están asignados al Hauteriviano.

Las características de las unidades litoestratigráficas descritas permiten vislumbrar que a finales del Jurásico e inicios del Cretácico se estableció un amplio dominio fluvio-lacustre próximo a un dominio marino paleo-Pacífico, cuya influencia se hizo cada vez más evidente en las facies de las sucesivas unidades estratigráficas. Mientras que la icnofacies *Scoyenia* refleja condiciones continentales en el tramo

cuspidal de la Formación Los Santos, la facies que sigue en superposición es arcillolítica-arenosa, con presencia local de cuarzo, albita, dolomita y yesos autigénicos, además de dientes de tiburón y diferentes tipos de bivalvos, que permiten interpretar condiciones marinas transicionales de acumulación para la Formación Cumbre. Sobre el depósito anterior se generó un ámbito de acumulación cuya geomorfología abarca desde la llanura supramareal *sabkha*, al oriente, en los márgenes del Macizo de Santander, hasta el dominio intermareal, con desarrollo de cuerpos estromatolíticos al oeste; el cuerpo estratigráfico resultante es el Miembro Lagunetas, generado en condiciones de clima árido y cálido.

El avance continuado del mar hacia el NE se expresa en la barra oolítica nombrada capa α de la base del Miembro Carrizal, que se instaló en el dominio antes ocupado por la albufera del Miembro Lagunetas, al tiempo que generó una superficie de abarrancamiento. El nuevo dominio de depósito resultó poco profundo (~10 m) y sufrió ocasionales exposiciones subaéreas a causa de movimientos tectónicos verticales; en este ámbito abundó vida marina variada: crustáceos constructores de estructuras *Thalassinoides*, equinodermos, braquiópodos (*Sellithyris*) y vertebrados marinos, entre ellos tortugas, cocodrilos e ictiosauros.

El Miembro Carrizal sufrió erosión como lo demuestra el contacto disconforme con la base de Miembro el Zo (capa P) y los fósiles redepositados (*Sellithyris*) en el Miembro Zo, cuyos caracteres reflejan condiciones de depósito bajo la influencia de corrientes de mareas.

El depósito del Miembro El Sapo se produjo por repetición de condiciones geomorfológicas y sedimentológicas similares a las existentes durante el depósito del Miembro Carrizal; destacan los desarrollos de *Thalassinoides*, bivalvos, equinodermos y amonitas.

El Miembro Zapatoca es el superior de la Formación Rosa Blanca: la presencia de areniscas ferruginosas revela la influencia de un sistema fluvial que drenaba desde el NE hacia el SE e interdigitada con bancos de moluscos de ostreidos costaneros. Un tiempo de no depósito transcurrió antes del inicio de la incursión marina a comienzos del Barremiano (Formación La Paja).

INTRODUCCIÓN

Palabras liminares

A consecuencia de la construcción del embalse de Hidrosogamoso, quedó inundada la sección tipo tradicional de la Formación Rosa Blanca. Esta situación hizo necesario que el Servicio Geológico Colombiano estableciera un neoestratotipo, y para ello hemos escogido afloramientos unos 25 km al sur, en el municipio de Zapatoca, región desde hace años relevante en los estudios geológicos del Cretácico inferior de Colombia (Karsten 1858; Hettner 1892; Scheibe 1938; Ward et al. 1969, 1973, 1977; Guzmán-Ospitia 1985; Etayo-Serna 2011).

La cabecera municipal de Zapatoca fue fundada el 13 de octubre de 1743; una visión geográfica sucinta de la región puede encontrarse en Barrera, Gómez y Gómez (1985).

Metodología de trabajo

El espesor de la Formación Rosa Blanca se midió a través de la sucesión aflorante por el camino a la laguna El Sapo, con el apoyo de una poligonal trazada con teodolito, desde la margen oriental de la carretera Zapatoca-Bucaramanga (Llano de Gallos) hasta el inicio del bosquecillo que conecta con el antiguo sendero denominado *camino de Lengherke* (**fig. 1, anexo 1.1**). La verificación de los espesores se hizo mediante la combinación de la técnica del bastón de Jacob y cálculos matemáticos (Kottlowski 1955).

La descripción de las capas que integran cada segmento medido de la columna se hace de base a techo, y la terminología que se utiliza para describir las rocas calcáreas va en cursiva y es la siguiente: se inicia con la de Dunham (1962) y se finaliza con la de Folk (1959, 1962), que va entre paréntesis y en letra itálica; se asigna a cada capa una letra en orden alfabético y se adicionan algunos números romanos y las letras α (alpha) y Ω (omega), tomadas del alfabeto griego; se consigna el número de cada muestra analizada; el color se describe de acuerdo con la *Rock-Color Chart* (*The Geological Society of America*), tal como se observa la roca en superficie, salvo en los casos en que al romperla se pudo ver el color sin alteración; los espesores se aproximan a décimas de metro. Toda mención del término *hardground* hace referencia a superficies cementadas (Kendall y Warren 1987, 1008) y significa que se han producido sobre la superficie del icnofósil *Thalassinoides*, que estuvo expuesta en la interfase de depósito (Bromley 1975, 1990, 19) y constituyen así superficies de discontinuidad intraformacionales (Bromley 1967; Pember-ton et al. 2004, 30). En las descripciones petrográficas utilizamos la palabra fractura para significar que ha ocurrido desplazamiento relativo entre dos puntos de un objeto de referencia: mineral o fósil. Con la expresión grietas de contracción queremos significar la simple separación de dos partes de un mismo cuerpo sedimentario; estas grietas se

produjeron tanto en los ámbitos submareales como en los supramareales (Kendall y Warren 1987). Se describe la petrografía de los intervalos que resaltan; las propiedades de los intervalos que forman entrantes se indican en las convenciones de las figuras, y en caso de especial interés, con base en los residuos de disolución de la roca se estudió la textura de las partículas terrígenas. Las fotografías de las secciones delgadas fueron tomadas con un microscopio Olympus BX53M, por Diana Montoya Arenas.

Al analizar la sucesión de capas de la Formación Rosa Blanca destacan las repeticiones de parejas litológicas que podrían ser reunidas en ritmos (Fischer 1986), ciclos (Bürgl 1959, 1961, 1963; Schwarzacher 2000), o de acuerdo con los puntos de vista de la Estratigrafía de Secuencias (Rolón 2004, 6). Hemos decidido limitar nuestras interpretaciones (Zeller 1964; Friedman y Sanders 2000; Tsujita 2001; Embry 2002; Dickinson 2003; Burgess 2016; Munafò et al. 2017) a sugerir algunas oscilaciones mayores del nivel del mar (Kendall y Schlager 1981) y dejar a futuros investigadores los estudios específicos, pues todavía queda mucha roca para que sea observada y descrita con detalle.

RESUMEN HISTÓRICO DE LA NOMENCLATURA LITOESTRATIGRÁFICA Y PROPUESTA DE NEOESTRATOTIPO

La Formación Rosa Blanca debe su nombre a O. C. Wheeler (1929):

Rosa Blanca Formation

The lowermost formation of the Palmira, series (*sic*) referred to as the "Rosa Blanca" formation, is 412 meters (1351') thick and consists predominantly of massive bedded dark gray limestones and marls grading into black thin bedded bituminous limestones and limy shales in the upper 100' and into black thin bedded bituminous limestone in the bottom 50'. The formation is typically exposed near the top of Cerro Rosa Blanca, a few hundred meters west of the Rosa Blanca, and also in the Sogamoso river about 1-1/2-2 kilometers upstream from Tablazo (*sic*) between the mouth of Quebrada La Paja and the Giron contact. The Sogamoro (*sic*) river exposures are preferable for study although (*sic*) those at Rosa Blanca are quite good.

The limestones predominate slightly (*sic*) over the marls. They are mainly massive, hard, dark bluish, gray, coarse textured, and are fossiliferous (*sic*). Some of the beds contain a small amount of fine grained sand, but it might be misleading to call them sandy limestones. The calcite crystals interlock so that is practically no more space in the rocks. The thickness of the individual (*sic*) beds usually ranges from 2 or 3 feet to 10 feet, and there is a general absence of fine laminations, although (*sic*) the highest and lowest beds are, as stated, thin, usually less than a foot thick.

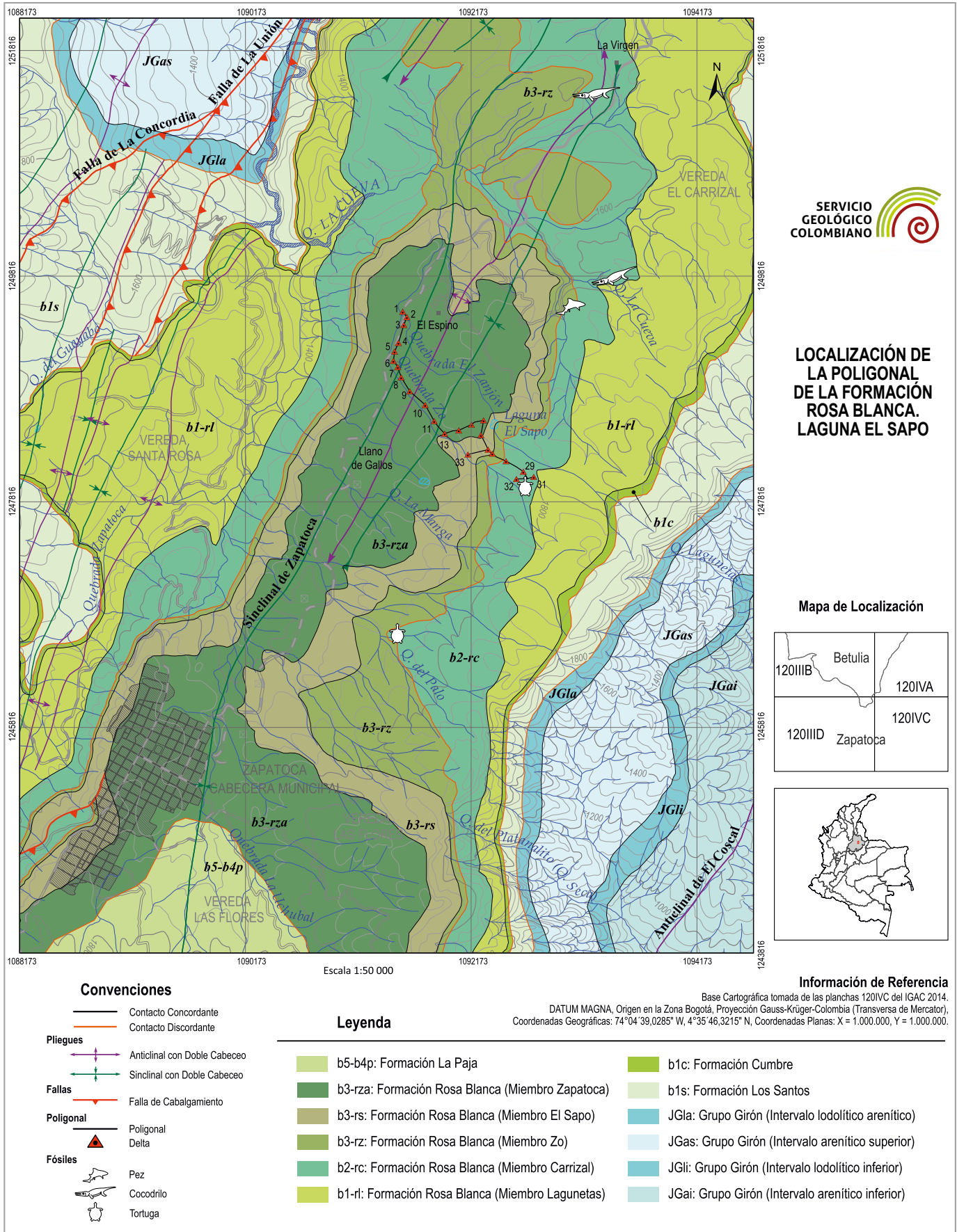


Figura 1. Localización y poligonal de la Formación Rosa Blanca, mapa tomado de Moreno-Sánchez (2019), sector de Zapatoaca.

The marls are gray and massive and in places contain so much calcite that it about predominates over the shale. They are devoid of laminations and are usually around 4 to 10 feet thick. The marls are very fossil-iferous where they crop out on the Sogamoso River.

The formation is almost devoid of black chert. A small amount was noted in a few of the limestone (sic) beds on Cerro Rosa Blanca. Some of the lower limestones appear cherty on account of their very fine texture and conchoidal (sic) fracture, but on actual test few were found to be cherty.

The entire formation is (sic) rich in fossils. The lower few hundred feet of limestones contain long calcified (sic) gastropods about 3" long, shaped like Turritella. These appear (sic) to be absent in other parts of the section. The marls and some of the limestones (sic) in the lower half of the formation contain many (sic) large, heavy gastropods, various genera of echinoids, ostracods and many pelecypods. The large gastropods, echinoids and ostracods seem to be confined to this part of the Palmira section. The upper black, thinbedded (sic) shaly limestones are characterized by many small ammonites (sic) that are smaller and more numerous than those found in the higher formations.

The topographic expression of the Rosa Blanca (sic) formation is the most dominant of all other formations of the Palmira. Mountains of this limestone are higher than those of other Palmira formations. This is due to the fact that there is a greater (sic) thickness of resistant rock in this formation than in the overlying ones. The Sogamoso Canyon (sic) is also narrower and more steeply (sic) walled where it cuts through this part of the section than in the higher parts of the section.

The only other locality known where the Rosa Blanca formation, or its equivalent, is exposed is in Quebrada Bejelano, a tributary of the Rio Cascajales. Unfortunately, these outcrops were not accessible on account of high water when the writer

studying the section in the Bejalno (sic). There are two samples of limestone from that area, however, that were collected by Link in 1925. Both of these are dark gray coarse textured limestones, containing ostracoda. The Rosa Blanca was the only ostracod (sic) bearing formation of the Palmira in the Sogamoso Area.

El cerro Rosa Blanca (**fig. 2**) destaca aproximadamente a unos 25 km al norte de la población de Zapatoca y se localiza en la cuadrícula I10 NW1/4, plancha 120-I-B del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). En el simposio *Habitat of Oil* (Morales y The Colombian Petroleum Industry 1958, 648) se admite que el Cerro Rosa Blanca [...] *is the type locality. Although no definite type section was designated by Wheeler, the one generally accepted is that in the Rio Sogamoso, about 1-1.5 kilometers upstream from the town of Tablazo.* A partir de este trabajo queda establecida de manera formal la nomenclatura estándar de la litoestratigrafía del Cretácico en el Valle Medio del Magdalena, y con él se hace obsoleta la expresión *Palmira series* de Wheeler.

En su sentido litoestratigráfico, debe conservarse la expresión Rosa Blanca en dos palabras, a pesar del uso común en una sola palabra.

Puesto que con la construcción de la presa del Proyecto Hidroeléctrico del río Sogamoso se causó la inundación de todo el espacio ocupado por el caserío El Tablazo, y la parte del río Sogamoso por donde afloraba la sección tipo, es necesario disponer de un neoestratotipo (Salvador: International Stratigraphic Guide 1994, 28), es decir, de una sección en la que se reconozca de manera cabal la unidad; estas condiciones se cumplen en la sección por la quebrada Lagunetas (La Honduras), que además de su cercanía a la antigua localidad tipo hace parte de una reserva ecológica (Fundación Proaves), y ha sido descrita de manera exhaustiva por Zama-



Figura 2. Cerro Rosa Blanca, señalado por la flecha, visto desde el carretable que parte del puente El Tablazo, se dirige a la vereda San Mateo y corre paralelo al costado S del embalse Hidrosogamoso. Coordenadas N:1.269.679, E:1.081.571, elevación: 366 m. Fotografía: Adrián Pérez.

rreño de Julivert (1963), (**anexo 1.2**). Antes de la inundación, esta misma sección fue propuesta como lectoestratotipo por Etayo-Serna (1989, 6). En el presente estudio proponemos de manera formal reconocer esta sección como Neoestratotipo de la Formación Rosa Blanca.

La quebrada Lagunetas se encuentra localizada en el cuarto noroccidental de la plancha topográfica 120-IV-C del IGAC, en la cual aparece denominada como quebrada La Hondura. La base de la Formación Rosa Blanca se observa cerca de la confluencia de la quebrada Lagunetas (La Hondura) con el río Sogamoso, en el punto con coordenadas geográficas 6°48'33.3" N, 73°12'9.1" W, elevación: 595 m; el techo de la formación se aprecia aguas arriba por la quebrada en el sitio denominado salto El Chorro, con coordenadas geográficas 6°49'1.4" N, 73°12'41.7" W, elevación: 730 m (**fig. 3B**).

De manera tradicional, en la geología de Colombia se ha tratado la Formación Rosa Blanca como un potente cuerpo de calizas (Hubach 1957, 143; Zamarreño de Julivert 1963; Julivert 1968, 486; ANH 2007; Barrero et al. 2007, 79, fig. 35; Sarmiento Rojas 2011); sin embargo, en el presente estudio, como en el de Zamarreño, se pone de manifiesto que el componente de carbonato de calcio propiamente dicho es mucho menor de lo que a primera vista parece expresarse morfológicamente en el terreno; en otras palabras, la Formación Rosa Blanca está constituida no por una, sino

por varias facies, tanto en sentido horizontal como vertical, que expresan variaciones definidas en el componente de carbonato de calcio, así como en sus características texturales y paleontológicas. Por ello se justifica la subdivisión de esta Formación en Miembros que evidencien dichas peculiaridades (Mapa geológico del cañón del río Sogamoso, Moreno-Sánchez 2019).

Límites. La base de la Formación Rosa Blanca se sitúa en la base del primer banco de caliza *wackestone*, que yace sobre arenitas cuarzosas con textura de arena muy fina a limo, de color gris verdoso, que en la columna estratigráfica de Zamarreño (1963) se nombra como Transito Tambor-Rosa-blanca (*sic*); este contacto puede observarse de manera neta en las cercanías de la población de Zapatoca por la quebrada de Las Lajitas, aguas arriba del puente que la cruza, en estas coordenadas: N:1.250.173, E:1.089.965, elevación: 1348 m (**fig. 3A**); también se ve por el carreteable a la mina de yeso El Platanalito, coordenadas N:1.243.014, E:1.092.304, elevación: 1563 m. En el presente estudio dicho tránsito se denomina Formación Cumbre (Etayo-Serna y Rodríguez 1985). El techo de la Formación Rosa Blanca se sitúa inmediatamente debajo de los primeros *mudstone* calcáreos ricos en materia orgánica y *bindstone* de la base de la Formación La Paja: este contacto representa una paraconformidad que registra un hiato de gran duración (**figs. 3B y 28; lám. 10, figs. C, D y E**).

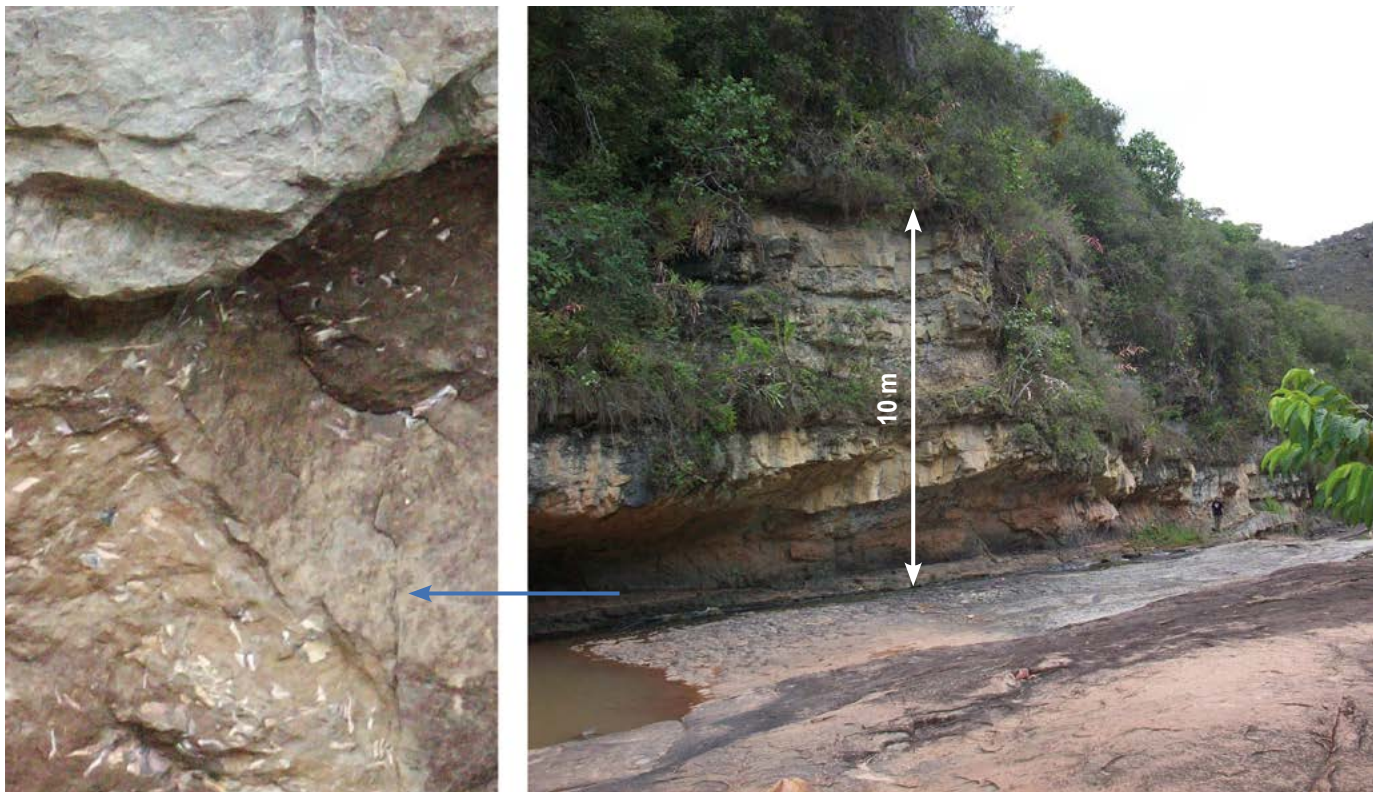


Figura 3A. Contacto entre el techo de la Formación Los Santos y la base de la Formación Cumbre, quebrada de Las Lajitas. Coordenadas: N:1.250.040, E:1.089.803, elevación: 1320 m. Nótese que la punta inferior de la flecha blanca señala el techo de la Formación Los Santos (N20E/10SE) con huellas de la icnofacies *Scoyenia* (Buatois y Mángano 2004, 313). En las capas canaliformes basales de la Formación Cumbre (N10E/5SE) —inserto a la izquierda— hay restos de peces *Actinopterygios*, en especial escamas, del género *Lepidotes*. El extremo superior de la flecha blanca apunta hacia la base de la Formación Rosa Blanca. Fotografías: Mauricio Pardo.



Figura 3B. Contacto entre el techo de la Formación Rosa Blanca y la base de la Formación La Paja, salto El Chorro, en la quebrada Lagunetas (La Hondura). Coordenadas: 6°49'3,6"N, 73°12'39,7"W, elevación: 740 m. Nótese que la forma ondulada del techo de la Formación Rosa Blanca —cuarto inferior derecho de la fotografía— se asemeja a superficies suavemente onduladas paleocársticas (Walkden 1974, 1235, fig. 3; Wright y Smart 1994, fig. 13-23A). Fotografía: Fernando Etayo-Serna.

PROPUESTA FORMAL DE SUBDIVISIÓN EN MIEMBROS DE LA FORMACIÓN ROSA BLANCA, CON BASE EN LAS SECCIONES AFLORANTES POR LAS QUEBRADAS LAGUNETAS Y Zo, CAMINO A LAGUNA EL SAPO

En el presente estudio proponemos de manera formal la subdivisión de la Formación Rosa Blanca en cinco nuevos Miembros, cuyas características faciales nos han permitido diferenciarlos cartográficamente hasta el municipio de El Socorro, al sur (Moreno-Sánchez 2019, Mapa geológico.). Los cinco nuevos miembros, de base a techo, son: Miembro Lagunetas, Miembro Carrizal, Miembro Zo, Miembro El Sapo y Miembro Zapatoca.

Establecemos las equivalencias de los nuevos miembros con las divisiones litológicas de campo y las divisiones petrográficas utilizadas por Zamarreño de Julivert en su estudio de la Formación Rosa Blanca, aflorante por la quebrada Lagunetas (1963, 8, fig. 2, columna estratigráfica; en anexo 1.2). En su trabajo, Zamarreño utiliza de manera exclusiva la terminología petrográfica de Folk (1959, 1962; tabla 1). Incluimos también las equivalencias con los segmentos empleados por Guzmán-Ospitia en la sección laguna El Sapo (1984, 1985).

Miembro Lagunetas

Nuevo nombre aquí propuesto para el intervalo inferior de la Formación Rosa Blanca, que tiene por localidad tipo la quebrada homónima (Zamarreño de Julivert 1963, fig. 2; en anexo 1.2). Corresponde en parte al nivel inferior de calizas y dolomías grises (divisiones litológicas de campo), e incluye desde el nivel con dolomías o calizas dolomíticas hasta la base de la capa oolítica del nivel de micritas fosilíferas, de las divisiones petrográficas de la fig. 2 de Zamarreño de Julivert (1963, tabla 1).

Como techo del Miembro Lagunetas se elige la base de la capa oolítica ya mencionada, porque esta capa genera una cornisa de fácil reconocimiento en el paisaje (Zamarreño de Julivert 1963, fig. 2, muestra 624: oomicrita). La base del Miembro Lagunetas se fija en su localidad tipo sobre el techo del intervalo denominado tránsito Tambor-Rosablanca por Zamarreño de Julivert (1963, fig. 2) y Nivel de transición por Alfonso (1984, 1985, fig. 5), que corresponde a la Formación Cumbre, en la terminología del presente estudio. Con respecto al Miembro Lagunetas se adopta la descripción petrográfica publicada por Zamarreño de Julivert (1963). El color predominante del Miembro Lagunetas es *medium dark grey* N4; su espesor es de 83 m en la sección tipo.

El intervalo inferior del Miembro Lagunetas cambia lateralmente de facies hacia la margen occidental de La Mesa de Los Santos así: **1)** Por la quebrada Lagunetas la sucesión se inicia con dolomías, mientras que al oriente esta se inicia con *wackestone* de bioclastos dolomitizados. **2)** Por la quebrada Lagunetas sobre la facies de dolomías sigue un tramo de biolitos de algas, mientras que al oriente, sobre la facies de *wackestone* dolomitizados sigue una facies con estructuras criptoalgáceas. **3)** Por la quebrada Lagunetas, sobre la facies de biolitos de algas, sigue una facies de lócolitas calcáreas dolomíticas con desarrollos locales de lentes de chert, yeso y cuarzo autigénico, mientras que al oriente se desarrolla una facies evaporítica de yesos explotables tipo *sabkha* (Zamarreño de Julivert 1963, fig. 2; Cruz y Vargas 1972; Alfonso 1984, tabla 1; 1985, fig. 1; Julivert, Barrero y Navas 1964).

El Miembro Lagunetas aflora en los alrededores de Zapatoca, en donde las calizas dolomíticas, los estromatolitos microbianos, las grietas de contracción y los estromatolitos con yesos se muestran en la cantera El Cinco; también destacan por el carretable al pozo del Ahogado y en la mina de yeso El Platanalito, respectivamente (**figs. 4, 5 y 6**).

		Este trabajo		Guzmán-O	Zamarreño	
Piso	Unidades litoestratigráficas	Capas	Segmentos	Divisiones litológicas de campo		Divisiones petrográficas
BAR.	Formación La Paja					
H A U I N F E R R I V I O A R N O	Miembro Zapatoca A. <i>Wackestone a packstone</i> de bivalvos en capas pluridecimétricas Lumaquelas de <i>C. boussingaultii</i> 25m B. Areniscas Lodosas Ferruginosas con espesores métricos 35m	Ω	III	NIVEL LUMAQUÉLICO (47m) 44m	NIVEL DE BIOMICRITAS <u>Zona de Intraclastos</u> <u>Capa Oolítica</u>	
		I				
		II				
		III				
		III'				
	III''	NIVEL ARENOSO (20m) 19m		NIVEL DE ORTOCUARCITAS		
	III'''					
	IV					
	V					
	A					
	Miembro El Sapo <i>Wackestone</i> con espesores pluridecimétricos en alternancia con lodolitas terrígeno-calcáreas (Intervalo Superior de Thalassinoides) 80m	B		NIVEL MARGOSO SUPERIOR (56m) 52m	NIVEL DE MICRITAS FOSILÍFERAS Y BIOMICRITAS <u>Zona de Intraclastos</u>	
		C				
		D				
		E				
		F				
Miembro Zo <i>Packstone y wackestone</i> con espesores pluridecimétricos en alternancia con lodolitas terrígenas 42m	G	II	Intercalación Caliza (5m) 8a9m <u>Zona de Pellets</u>			
	H					
	I					
	J					
	K					
S V A L A N G E R I N I O A R N O	Miembro Carrizal <i>Wackestone</i> con espesores decimétricos en alternancia con <i>mudstone</i> terrígenos-calcáreos (Intervalo Inferior de Thalassinoides) 108m	L	I	NIVEL DE SHALES CON INTERCALACIÓN DE CALIZAS (57m) 57m	NIVEL DE BIOMICRITAS A MICRITAS FOSILÍFERAS	
		M				
		N				
		O				
		P				
		Q		NIVEL MARGOSO INFERIOR (36m) 34m	NIVEL DE INTRAMICRITAS	
		R				
		S				
		T				
		U				
B E R R I A S I A N O	Miembro Lagunetas Calizas dolomíticas-Micritas fosilíferas 83m	V	II	NIVEL INFERIOR DE CALIZAS Y DOLOMÍAS GRISES (96m) 92m	NIVEL DE MICRITAS FOSILÍFERAS <u>Capa Oolítica</u> NIVEL DE MICRITA <u>Zona de Pelmicrita</u> NIVEL CON DOLOMÍAS O CALIZAS DOLOMÍTICAS <u>Zona Biolítico</u> <u>Zona Esparita</u>	
		X				
		Y				
		Z				
		α				
	Formación Cumbre			TRÁNSITO TAMBOR - ROSABLANCA		
	Formación Los Santos			Formación Tambor		

El valor entre paréntesis es el obtenido de medir sobre el dibujo de la columna de Zamarreño de Julivert 1963; total 326m.

El valor sin paréntesis es el indicado por Zamarreño de Julivert en la p.8 del mismo trabajo; espesor 316m.

Las líneas rojas indican las discontinuidades estratigráficas.

Tabla 1. Comparación entre las subdivisiones litológicas de la Formación Rosa Blanca en las secciones estudiadas por las quebradas Lagunetas (Neoestratipo) y Zo (laguna El Sapo).



Figura 4. Grietas de contracción en capas de caliza de la base del Miembro Lagunetas, vía Zapatoaca-San Vicente, cantera El Cinco. El bolígrafo utilizado como escala mide 16 cm. Coordenadas: N:1.246.262, E:1.088.361 (Aitken 1967, fig. 10; Bernier et al. 1991, fig. 9; Warren y Kendall 1985, fig. 2). Fotografía: Mauricio Pardo.



Figura 5A. Microbialitas estromatolíticas en la base del Miembro Lagunetas, vía al pozo del Ahogado. Coordenadas: N:1.246.177, E:1.088.387, elevación: 1538 m. Vista en corte. Nota: el costado izquierdo de la escala está en cm. Muestra FES 166-2016. Fotografía: Marie Joëlle Giraud.



Figura 5B. Vista en planta de la misma muestra que en 5A: nótese los rebordes de las grietas poligonales desarrollados por el crecimiento fototrópico de los tapices microbianos; compárense con las formas poligonales sin rebordes en las grietas de desecación de la **fig. 4** (Kendall y Skipwith 1968, fig. 7A; Hoffman 1975, fig. 30-5, 30-12; Shinn 1983, figs. 8 y 9; Grey 1989, fig.1: *non columnar stromatolites*; Reineck et al. 1990, figs. 8a, 8b; Cornée, Dickman y Busson 1992, fig. 12; Alsharhan y Kendall 2003; Gerdes 2007, figs. 2-1-6: D, E; figs. 2-4-3: A, B; Gerdes 2010, fig. 4). Muestra FES 166-2016. Fotografía: Marie Jöelle Giraud.



Figura 6A. Tapices microbianos de la base del Miembro Lagunetas reemplazados por yeso: entrada al túnel n.º 3 de la mina de yeso El Platanalito al E de Zapotoca; coordenadas: N:1.241.161, E:1.096.788, elevación: 461 m. Nótese la alteración por meteorización del yeso generado en los tapices microbianos. Fotografía: Marie Jöelle Giraud.



Figura 6B. La misma muestra que en la fig. 6A en corte pulido que deja ver el desarrollo repollado de los tapices microbianos (Grey 1989, fig. 1, *biostromes tabular & domed*; Rouchy y Monty 2000, fig. 1A-E). Fotografía: Marie Jöelle Giraud.

Miembro Carrizal

Nuevo nombre aquí propuesto para el intervalo estratigráfico comprendido entre la base de la capa α (alpha) y la base de la capa P del miembro suprayacente. La capa α es un *grainstone* de ooides, en la terminología del presente estudio, o capa oolítica-oomicrita, en la división petrográfica de Zamarreño de Julivert (**tabla 1; figs. 7, 8A y 8B**). El nombre deriva de la vereda homónima en la sección laguna El Sapo (**fig. 1A; anexo 1.3**). Las coordenadas de la capa basal α de este miembro en la poligonal El Sapo son: N:1.248.095, E:1.092.745, elevación: 1756 m.

El Miembro Carrizal consiste en una sucesión de capas de caliza *wackestone* con presencia de *Thalassinoides* y abundantes restos fósiles —bivalvos, equinodermos, amonoideos, foraminíferos, gasterópodos, braquiópodos y vertebrados—, de color *light olive gray* 5Y 5/2 predominante, que destacan en el terreno como salientes (cornisas), con espesores decimétricos, separadas por *mudstone* limolíticos de terrígenos, algunos de ellos un poco calcáreos, que en el terreno forman depresiones o lomos bajos redondeados, con espesores decimétricos a métricos, con manchado irregular y sin estructura interna observable debido a la bioperturbación; tienden a romper en lajas centimétricas a decimétricas; el color de los *mudstone* limosos varía desde *olive grey* 5Y 4/1 hasta *moderate yellow* 5Y 7/6. Espesor del Miembro Carrizal: 108 m.

En la terminología de las divisiones litológicas de campo de Zamarreño de Julivert (1963, fig. 2; anexo 1.2), este intervalo

abarca el tramo superior del nivel inferior de calizas y dolomías grises e incluye la intercalación de calizas marrón más el nivel margoso inferior, así como los dos tercios inferiores del nivel de *shales* con intercalación de calizas. En las divisiones petrográficas de Zamarreño de Julivert, el nuevo miembro abarca desde la base de la capa oolítica, e incluye en orden ascendente el nivel de esparita, el nivel de intramicritas, y todo el nivel de biomicritas a micritas fosilíferas (*op. cit.* 1963, fig. 2). También equivale, en parte, al segmento I de Guzmán-Ospitia (1985).

Descripción de las capas del Miembro Carrizal que forman cornisas en el terreno

Capa α (IGM36389). *Grainstone* de ooides con textura arena mediana que predomina sobre arena muy gruesa (79%); con fragmentos de equinodermos con textura de limo a arena muy fina (2%), peloides de micrita (1%), cuarzo con textura de arena fina (1%); cemento de esparita en cristales hasta de textura arena mediana (17%); calibrado regular; se encuentran fragmentos de algas (*Halimeda?*). En los ooides se observan los bordes micritizados y posteriormente cementados por esparita con textura de fina a mediana; los núcleos de los ooides están constituidos en orden de abundancia por placas y espículas de equinodermos, bivalvos, briozoos, algas, gasterópodos y ostrácodos, cuarzos e intraclastos de micrita (*oosparita-calcarenita*). En la terminología de Zamarreño de Julivert (1963, fig. 2) se describe como capa oolítica. Color *medium gray* N5 (**figs. 8A y 8B**). La base de esta capa marca una cicatriz de erosión. Espesor: 1,2 m.

SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN ROSA BLANCA MIEMBRO CARRIZAL

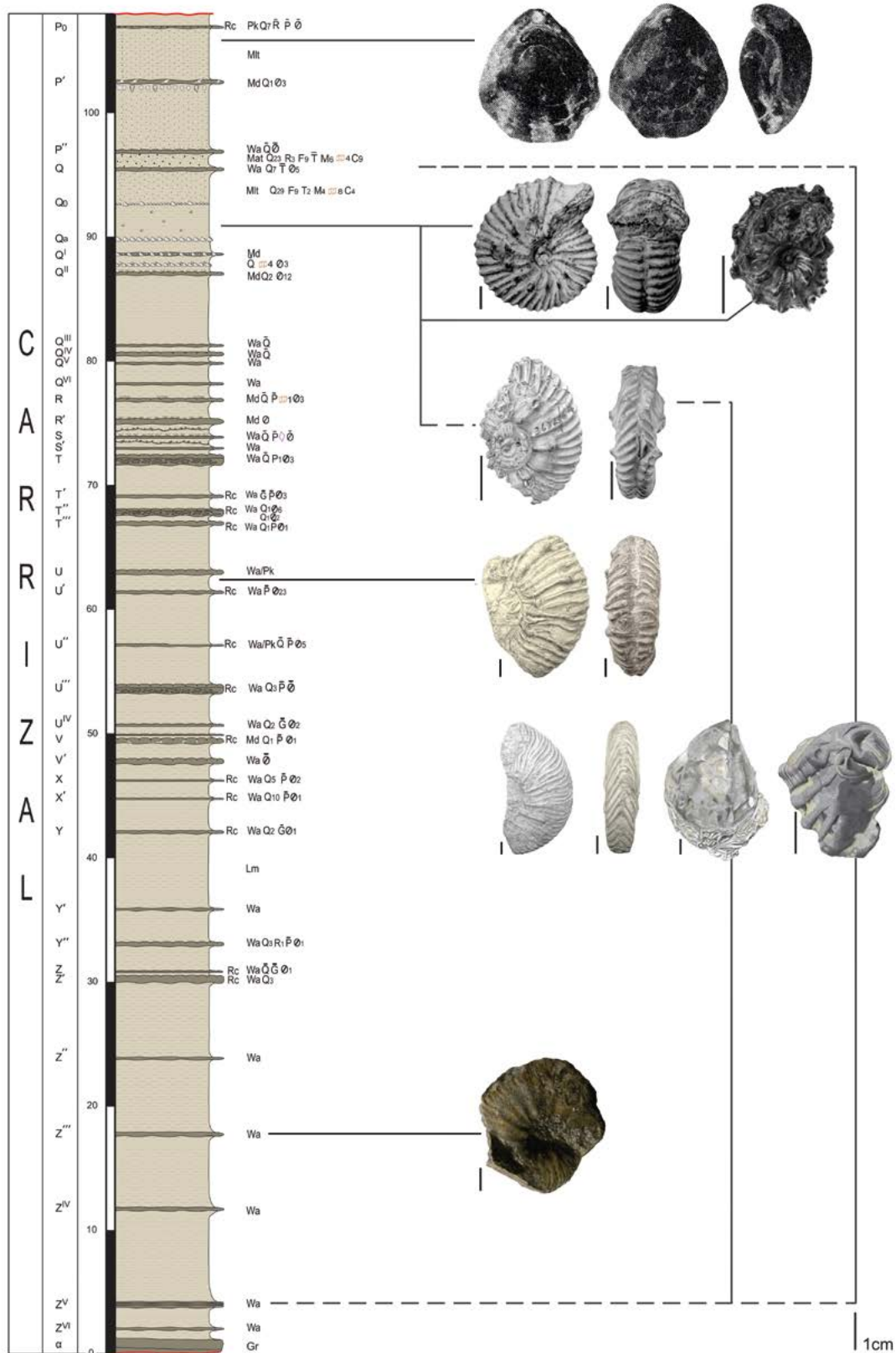


Figura 7. Miembro Carrizal (anexos 1.1 y 1.3). Véase la explicación de las convenciones en la figura 24 y en la lámina 11. Ilustración: Marie Jöelle Giraud.



Figura 8A. Capa α (IGM36389). Bloque suelto de la capa α cerca de la terminación de la poligonal laguna El Sapo; obsérvense los juegos medianos de láminas inclinadas de modo bidireccional. Bloque invertido. Fotografía: Fernando Etayo-Serna.

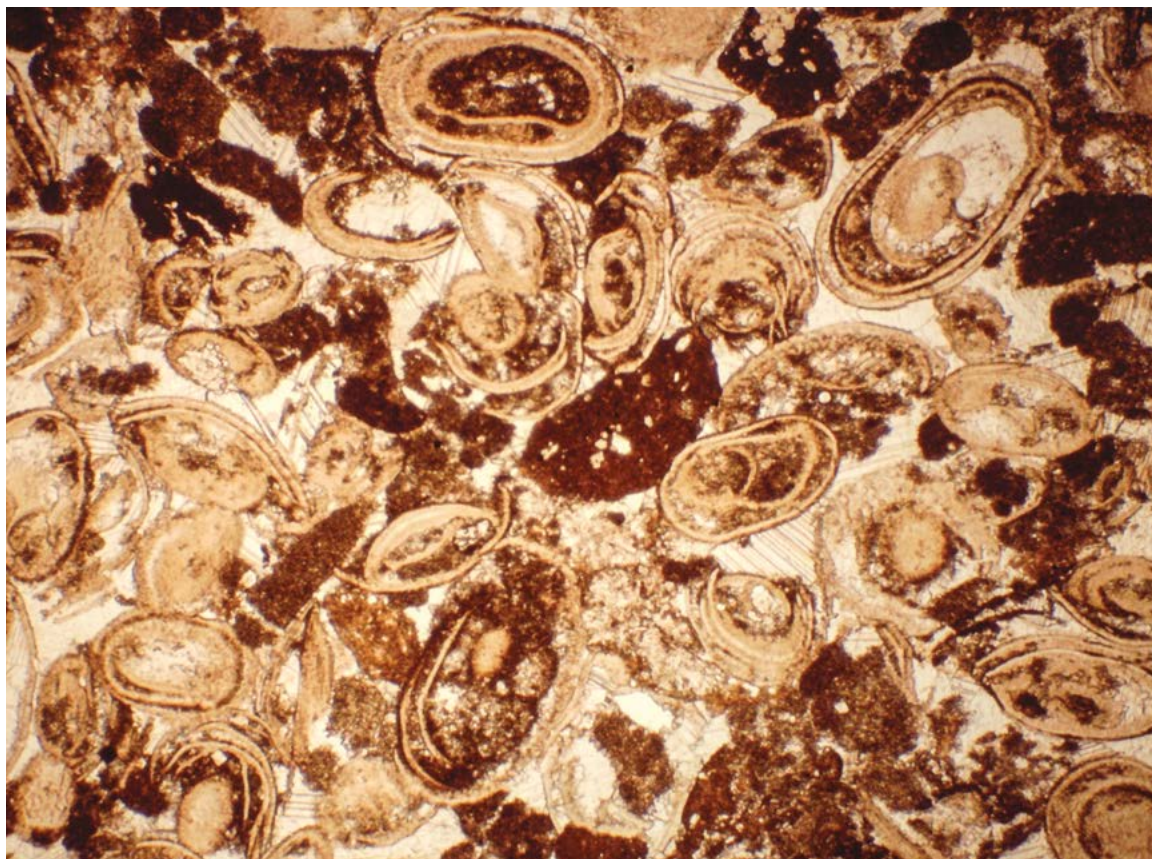


Figura 8B. Capa α (IGM36389 nicoles II). Sección delgada de muestra del bloque de la **figura 8A**. *Grainstone* de ooides. Aumento: 10x.

El intervalo entre las capas α y Z' está pobremente expuesto en este tramo de la poligonal: mide 28 m de espesor y consiste en cinco capas de *Thalassinoides* nombradas Z''-Z^{VI} e interpuestos entre lodolitas terrígenas.

Capa Z^{VI}. *Wackestone* con bivalvos, equinodermos y foraminíferos aglutinantes (*Choffatella*), con textura de arena gruesa. Partículas de cuarzo con textura de arena mediana. Matriz de micrita. Color *yellowish gray* 5Y 7/2. Espesor: 0,2 m.

Capa Z^V. *Wackestone* con bivalvos (*Aetostreon*); equinodermos —*T. colombianus*— de talla mediana y algunos grandes que se encuentran aplastados. Restos del bivalvo *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) *sensu* Dietrich, 1938. Partículas de cuarzo con textura de arena fina. Matriz de micrita. *Hardground* desarrollado sobre una superficie de *Thalassinoides*, que es la superior de tres niveles superpuestos. Color *light olive gray* 5Y 5/2. Espesor: 0,5 m.

Capa Z^{IV}. *Wackestone* con bivalvos. *Thalassinoides* dentro de los cuales se reconocen fragmentos de *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) *sensu* Dietrich, 1938, equinodermos grandes y gasterópodos. Matriz de micrita. Color *yellowish gray* 5Y 7/2. Espesor: 0,25 m.

Capa Z^{III}. *Wackestone* con bivalvos. *Thalassinoides*, entre los cuales se reconocen equinodermos grandes y medianos, algunos aplastados y otros rotos; primer registro de amonitas en la sucesión: *Thurmanniceras pertransiens* (SAYN, 1907) —FES 2016186— e *Idonearca*. Partículas de cuarzo con textura de arena fina. Matriz de micrita. Color *light olive gray* 5Y 7/2. Espesor: 0,3 m.

Capa Z^{II}. *Wackestone* con bivalvos, equinodermos, gasterópodos de talla grande y foraminíferos aglutinantes con textura de arena gruesa (*Choffatella*). Partículas de cuarzo con textura de arena fina. Matriz de micrita. Color *yellowish gray* 5Y 7/2. Espesor: 0,2 m.

Capa Z' (IGM36388). *Wackestone* con bivalvos, equinodermos y foraminíferos aglutinantes textura arena muy gruesa (13%) e intraclastos textura arena (1%). Partículas de cuarzo textura arena fina (3%); trazas de clorita. Matriz de micrita (81%), con baja a moderada recristalización (*Biomicrocrita-Calculutita*). Calcita microcristalina como relleno de fracturas. '*Hardground*'. Color *yellowish gray* 5Y 7/2. Lám. 1/A. Espesor 0.6 m.

Capa Z (IGM36387). *Wackestone* con bivalvos, equinodermos y foraminíferos aglutinantes con textura de arena muy gruesa (19%) e intraclastos con textura de limo (6%); trazas de cuarzo con textura de limo y de glauconita alterada, óxidos de hierro (3%); matriz de micrita (67%) con baja a moderada recristalización (*Biomicrocrita-calculutita*). Placas de equinodermos rodeadas por óxidos de hierro. Calcita secundaria como relleno de fracturas y estilolitos. Color *grayish yellow* 5Y 8/4 y *yellowish gray* 5Y 7/2. Lám. 1/B. Espesor: 0,1 m.

Capa Y'' (IGM36386a). *Wackestone* con bivalvos, equinodermos y foraminíferos aglutinantes con textura de arena fina (21%) e intraclastos con textura de arena fina (1%); cuarzo con textura de limo a arena fina (3%); trazas de fosfatos y óxidos de hierro (1%); matriz de micrita (72%) con baja recristalización; cemento de esparita (2%) (*Biomicrocrita-calculutita arenosa*). Bioclastos rodeados por óxidos de hierro; fragmentos redondeados de fosfatos con fractura interna. Calcita como relleno de fracturas y grietas de contracción. Color dominante *light olive gray* 5Y 6/1; pátina anaranjada *light brown* 5YR 5/6. Lám. 1/C. Espesor: 0,4 m.

Capa Y' (IGM36417). *Wackestone* con bivalvos, equinodermos, corales aislados y foraminíferos aglutinantes. Color *medium gray* N5, *light olive gray*: 5Y 5/2 y 5Y 6/1. Espesor: 0,2 m.

Capa Y (IGM36384). *Wackestone* con bivalvos en el que predominan las placas de equinodermos y los foraminíferos aglutinantes (*Choffatella*), con textura de limo a arena fina (22%); trazas de glauconita; fragmentos de fosfatos; cuarzo con textura de limo (2%); óxidos de hierro (1%); matriz de micrita (75%), con recristalización baja a moderada (*Biomicrocrita-calculutita*). Grietas de contracción y estilolitos. Color *dark yellowish orange* 10YR 6/6. Lám. 1/D. Nótese los tonos del color azul en los granos de cuarzo de la pared del foraminífero aglutinante (nicoles cruzados). Espesor: 0,3 m.

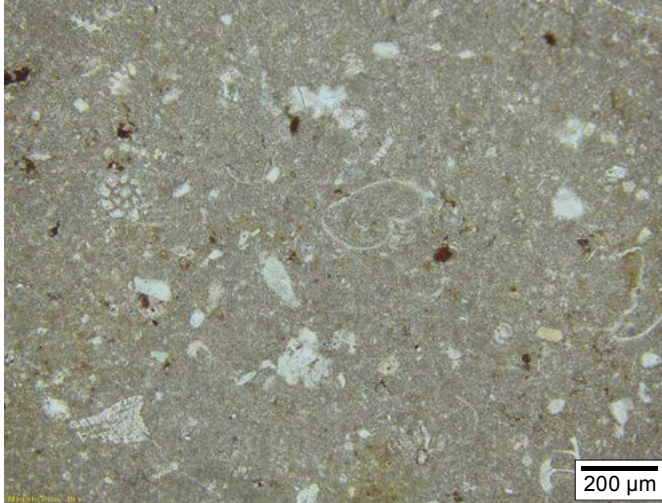
Capa X' (IGM36383). *Wackestone* con bivalvos, equinodermos, foraminíferos aglutinantes y porcelanáceos con textura desde limo hasta arena fina (13%); peloides con textura de arena (5%); cuarzo con textura de limo (10%) —algunos parecen de origen volcánico—, fragmentos de fosfatos y óxidos de hierro (1%); matriz de micrita (71%) con recristalización moderada (*Biomicrocrita terrígena-calculutita arenosa*). Color *light olive gray* 5Y 5/2, *yellowish gray* 5Y 7/2. Lám. 1/E. Espesor: 0,1 m.

Capa X (IGM36382). *Wackestone* con bivalvos, equinodermos, foraminíferos aglutinantes y porcelanáceos, fragmentos de briozoarios con textura desde limo hasta arena fina (32%); cuarzo con textura de limo (5%); trazas de fosfatos y óxidos de hierro (2%); matriz de micrita (61%) con recristalización baja (*Biomicrocrita terrígena-calculutita arenosa*). Grietas de contracción. Color *light olive gray* 5Y 5/2, *yellowish gray* 5Y 7/2. Lám. 1/F. Espesor: 0,1 m.

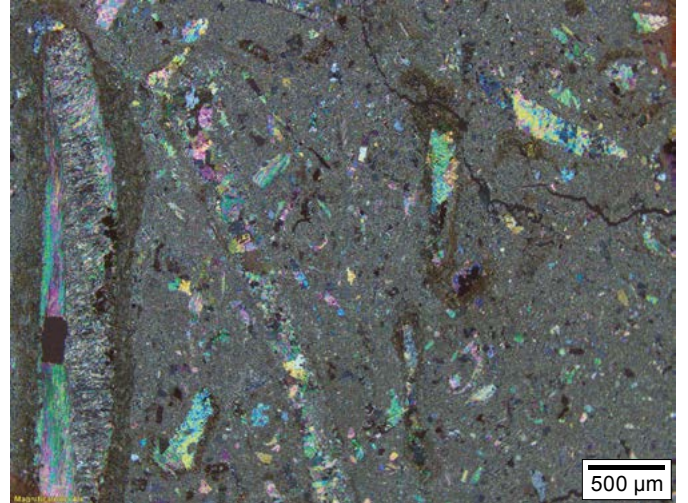
Capa V'. *Hardground*, color menos alterado *dusky yellow* 5Y 6/4, con pátina acentuada en el tope de la capa de color *moderate yellow* 5Y 7/6; intercalación *dark yellowish orange* 10YR 6/6. Espesor: 0,4 m.

Capa V (IGM36381). *Mudstone* con bivalvos, equinodermos y foraminíferos aglutinantes con textura desde limo hasta arena fina (4%); trazas de filamentos de algas?; cuarzo con textura de limo (1%); grietas de contracción y calcita en relleno de fracturas (2%); óxidos de hierro (1%). Micrita (80%) con moderada a

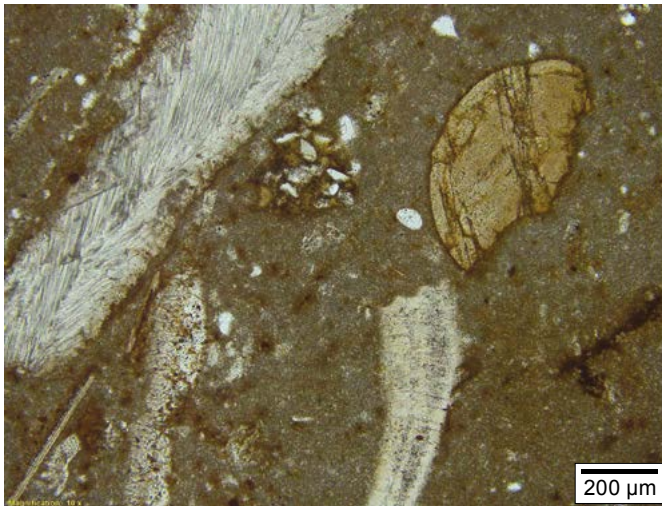
Lámina 1. Miembro Carrizal. Capas Z', Z, Y'', Y, X', X



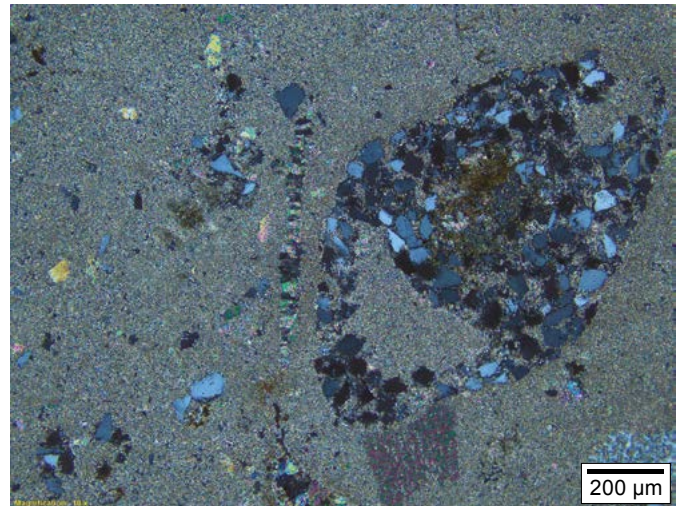
A. Capa Z' (||) IGM36388
Wackestone (*Biomicrota terrígena-Calculutita*). Esc. 200 μm



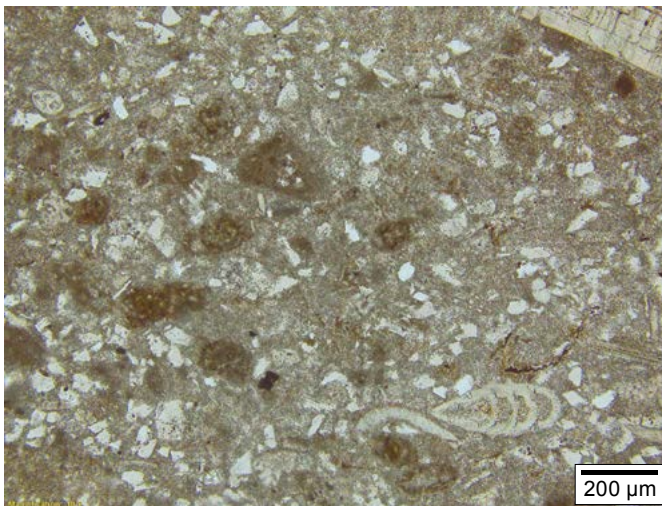
B. Capa Z (X) IGM36387
Wackestone (*Biomicrota-Calculutita arenosa*). Esc. 500 μm



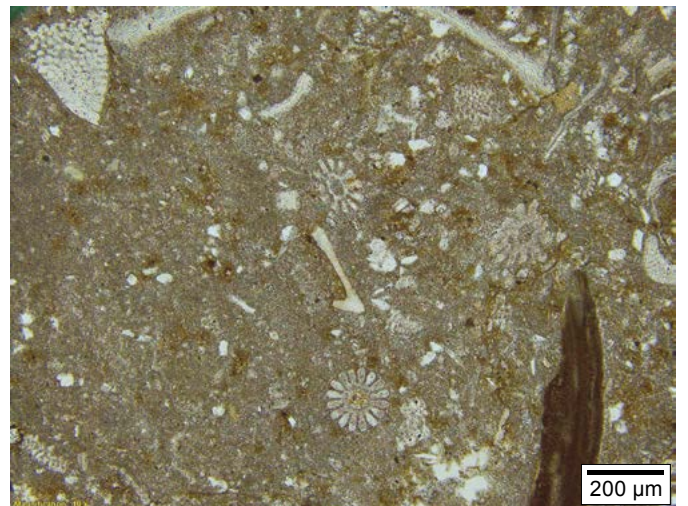
C. Capa Y'' (||) IGM36386a
Wackestone (*Biomicrota-Calculutita arenosa*). Esc. 200 μm



D. Capa Y (X) IGM36384
Wackestone (*Biomicrota-Calculutita arenosa*). Esc. 200 μm



E. Capa X' (||) IGM36383
Wackestone (*Biomicrota terrígena-Calculutita arenosa*). Esc. 200 μm



F. Capa X (||) IGM36382
Wackestone (*Biomicrota-Calculutita arenosa*). Esc. 200 μm

baja recristalización (*Micrita-calcilituta*). *Hardground* con paleoespeleotema subparalelo y cortante a la estratificación. Color *moderate olive brown* 5Y 4/4 y una pátina de color *pale yellowish orange* 10YR 8/6 y en menor proporción *light olive gray* 5Y 5/2 (figs. 9A, 9B, 9C, 9D, 9E y 9F). Lám. 2/A. Espesor: 0,4 m.

Capa U^{IV} (IGM36380). *Wackestone* con bivalvos, equinodermos, foraminíferos aglutinantes y porcelanáceos con textura desde limo hasta arena fina (32%); cuarzo con textura de limo (2%); trazas de glauconita oxidada y óxidos de hierro (2%); matriz de micrita (64%), con moderada a baja recris-



Figura 9A. Capa V (léase *uve*). *Hardground* con paleoespeleotema de color blanco. (Kendall y Warren 1987, 1018, fig. 12). *Subsurface karst* (Flügel 2010, 13, pl. 129). Coordenadas: N:1.248.109, E:1.092.636, elevación: 1745 m. Véase poligonal, en anexo 1.1. Fotografía: Diana Montoya.

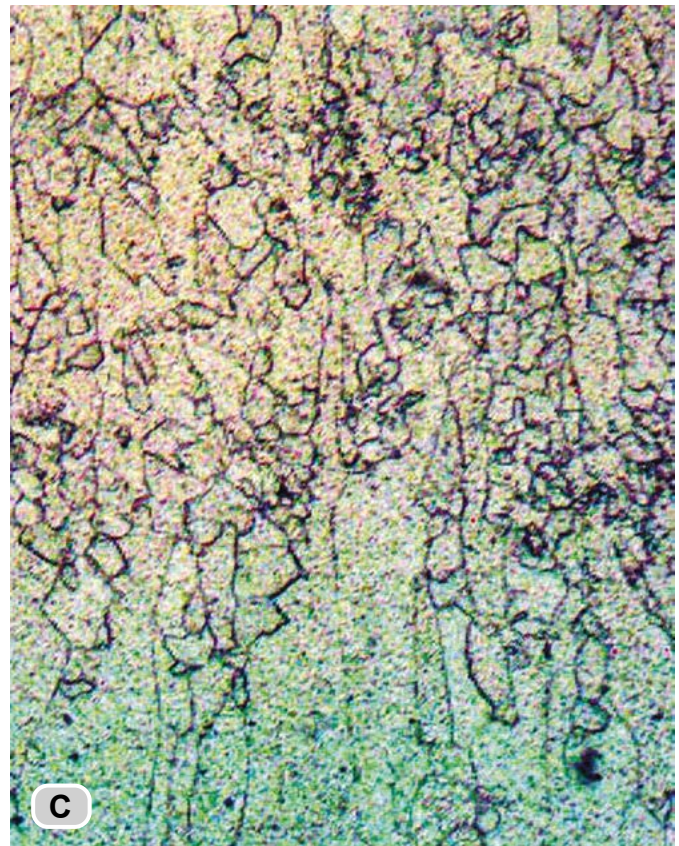
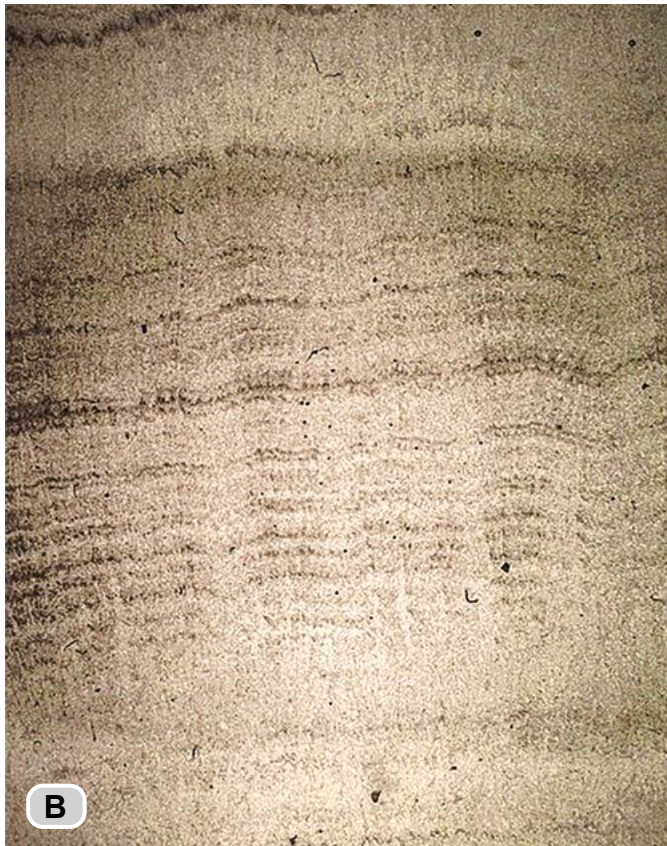
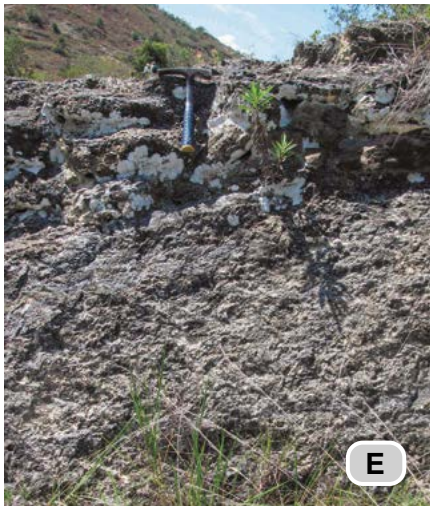


Figura 9B. (RT5584-Sapo 05) capa V. Imagen escáner de la superficie pulida de una muestra del paleoespeleotema de la fig. 9A. Esc. 1:2. Nótese la laminación festoneada (*scalloped lamination*). **Figura 9C.** Sección delgada del paleoespeleotema de la fig. 9A. Esc. 1.000 μm (Folk y Assereto 1976, figs. 1, 6; Assereto y Folk 1980, figs. 15a y 15b; Chafetz y Guidry 1999, fig. 3.8).



Figura 9D. Panorámica del intervalo inferior del Miembro Carrizal, que forma pendiente estructural N80W/25SW. Nótense las costras calcáreas (paleocaliches). Fotografía: Diana Montoya.



Figuras 9E y 9F. Detalle de los paleocaliches (Kornicker 1958, fig. 1; James 1972; Strasser y Davaud 1982). Fotografías: Diana Montoya.

talización. Esparita como relleno de fracturas delgadas (*Biomicrita-calculutita arenosa*). *Hardground* con grietas de contracción. Color *grayish orange* 10YR 7/4 con vetas color *moderate reddish brown* 10R 4/6. **Lám. 2/B.** Espesor: 0,1 m.

Capa U''' (IGM36379). *Wackestone* con bivalvos, serpúlidos y foraminíferos aglutinantes y porcelanáceos con textura desde limo hasta arena fina (18%); cuarzo con textura de limo (3%); trazas de fosfatos y óxidos de hierro; matriz de micrita (79%) con moderada a baja recristalización; trazas de esparita fina como relleno de fracturas (*Biomicrita-calculutita*). *Hardground* con grietas de contracción; restos de vertebrados (ictiosaurios), *Prohinnites*, amonitas grandes y colonias

de serpúlidos; restos de cangrejos en la capa lodolítica infrayacente. Color *yellowish gray* 5Y 7/2 con manchas *light brown* 5YR 5/6 (**figs. 10A, 10B**). **Lám. 2/C.** Espesor: 0,8 m.

Capa U'' (IGM36378). *Wackestone*, localmente *boundstone* de serpúlidos; calibrado regular, con textura desde limo hasta arena fina (65%); fragmentos de equinodermos y bivalvos — *Ceratostreon*— con textura de arena fina (2%); trazas de cuarzo tamaño limo; trazas de fosfatos y óxidos de hierro (5%); matriz de micrita (28%), con moderada a baja recristalización (*Biomicrita de serpúlidos-calcirrudita fina*). *Hardground* con grietas de contracción. Color *yellowish gray* 5Y 7/2, con manchas *light brown* 5YR 5/6 (**fig. 10C**). **Lám. 2/D.** Espesor: 0,2 m.

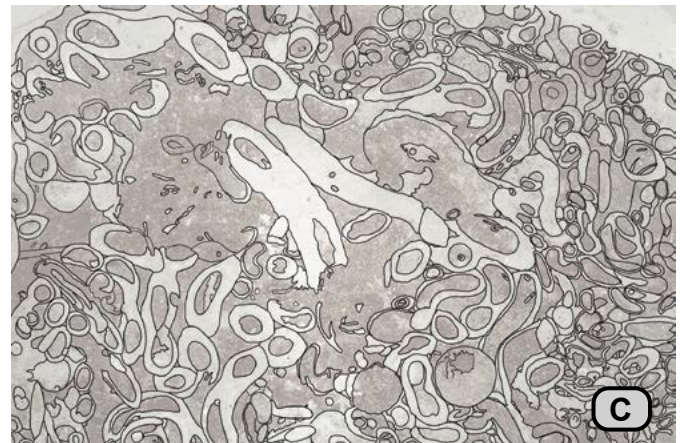
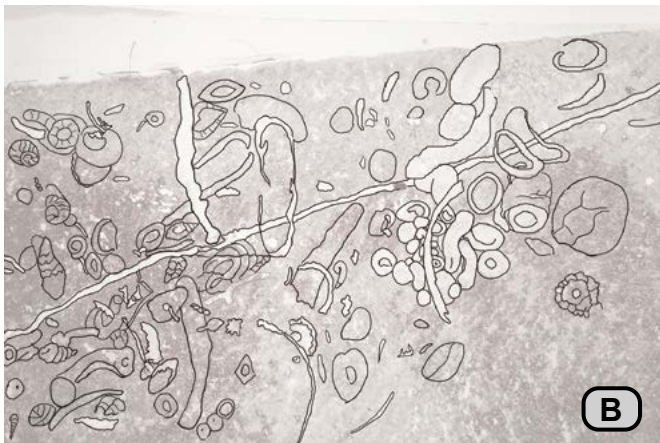
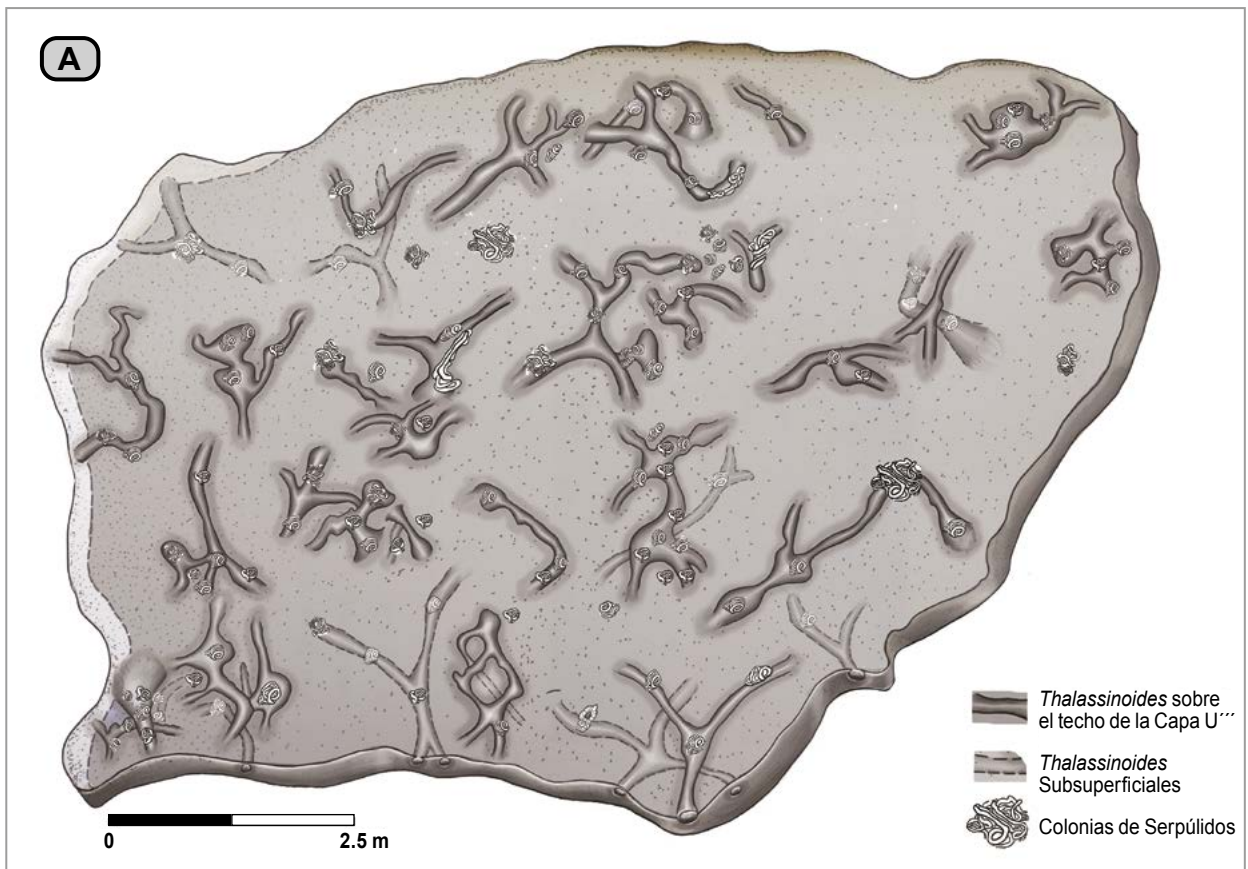


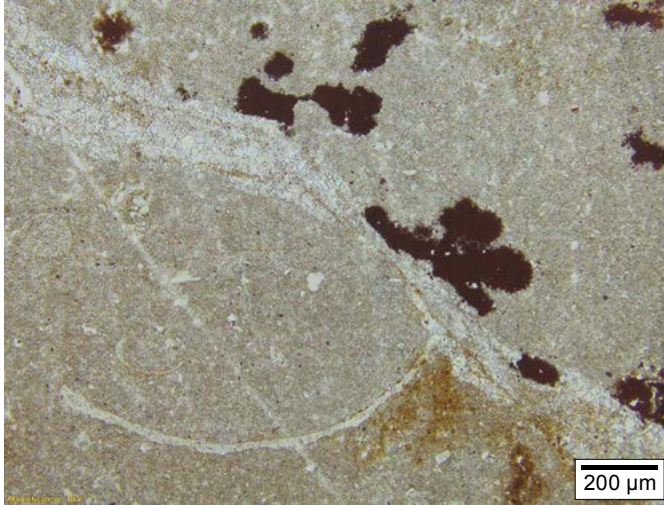
Figura 10A. (IGM36379). *Hardground* con *Thalassinoides* y serpúlidos, capa U''' (dibujo de terreno por GGO). Las figuras B y C ilustran los *boundstone* de serpúlidos en secciones verticales de las capas U''' y U'' (Ten Hove y Van den Hurk, 1993). Pellejos de acetato, escala 1 a 2 (B:IGM36379; C:IGM36378). Véase poligonal, en anexo 1.1. Dibujos: Marie Joëlle Giraud.

Capa U' (IGM36376). *Wackestone*, localmente *boundstone* de serpúlidos, con fragmentos de moluscos, con textura de limo hasta arena fina (6%); intraclastos con textura de arena fina (5%); tubos de sérpulas con textura de arena fina (12%); trazas de fosfatos y óxidos de hierro (23%). Matriz de micrita, con moderada a baja recristalización (53%) (*Intramicrita ferruginosa-calcilita rudácea*); porosidad por fracturas (1%); aplastamiento de granos. Fragmentos de *Cerastreon*, restos de equinodermos deformados y huesos de ictiosaurios. *Hardground* de *Thalassinoides* con grietas de contracción. Color *yellowish gray* 5Y 7/2, con manchas *light brown* 5YR 5/6. **Lám. 2/E**. Espesor: 0,2 m.

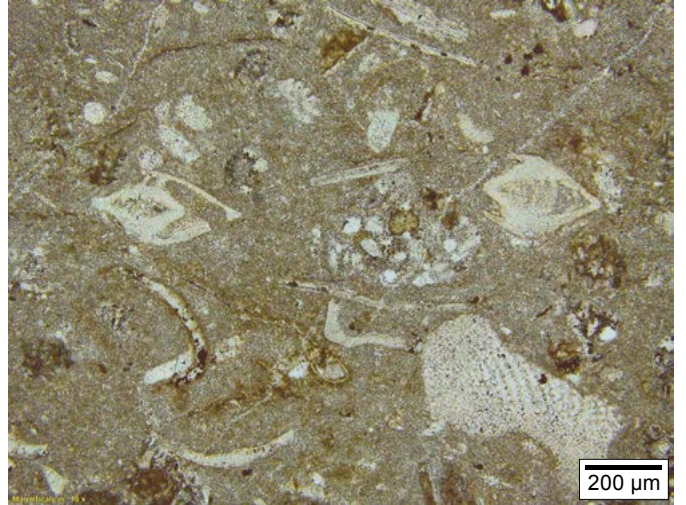
Capa U (IGM182270-IGM36375). *Wackestone*, localmente *boundstone* de colonias de serpúlidos (*Biomirudita empaquetada*). *Hardground* de *Thalassinoides* que forman redes en mosaico poligonal. Color *pale yellowish orange* 10YR 8/5 y en mayor proporción *duky yellow* 5Y 6/4. Espesor: 0,3 m.

Capa T''' (IGM36374). *Wackestone* con bivalvos, equinodermos, foraminíferos aglutinantes y porcelanáceos, con textura de arena fina a gránulo (16%); intraclastos de biomicrita con textura de arena mediana (6%); cuarzo con textura de limo (1%); trazas de fosfatos y óxidos de hierro (1%); matriz de

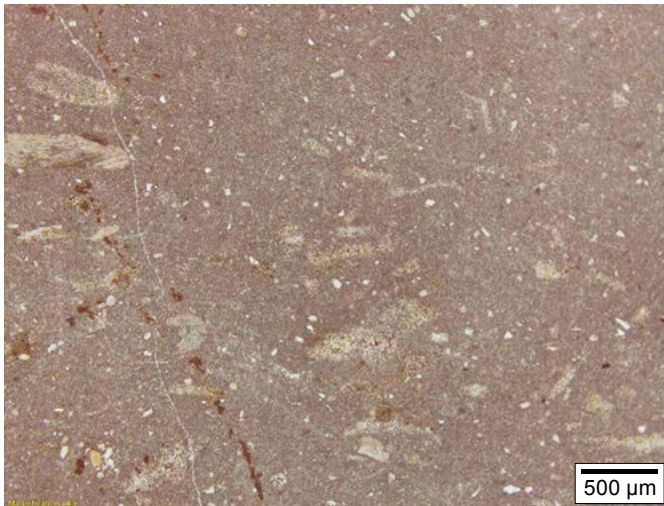
Lámina 2. Miembro Carrizal. Capas V, U^{IV}, U^{III}, U^{II}, U^I, T^{III}



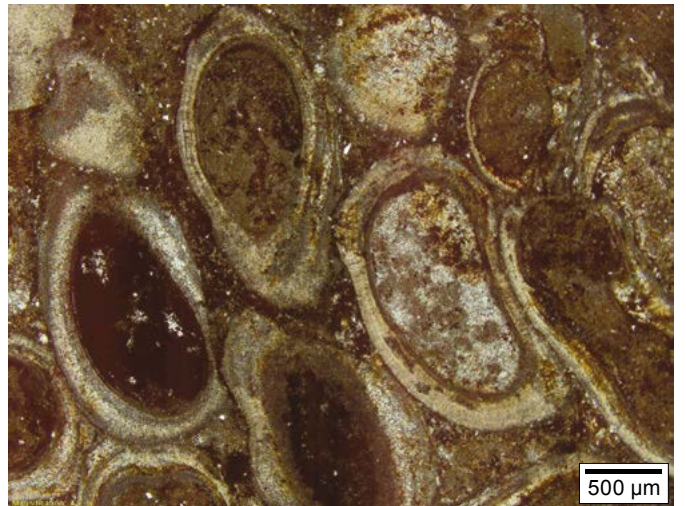
A. Capa V (uve) (||) IGM36381
Mudstone (*Micrita-Calculutita*). Esc. 200 μm



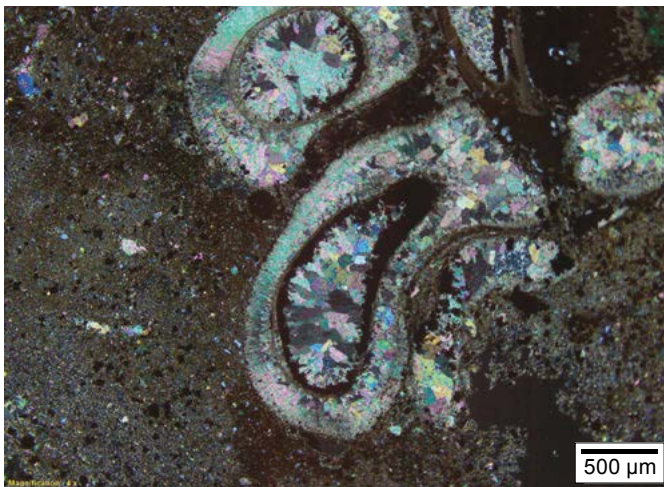
B. Capa U^{IV} (||) IGM36380
Wackestone (*Biomicrota-Calculutita arenosa*). Esc. 200 μm



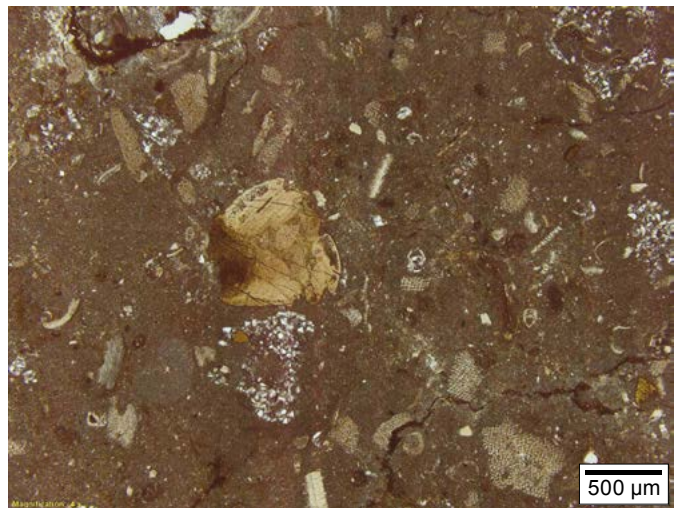
C. Capa U^{III} (||) IGM36379
Wackestone (*Biomicrota-Calculutita arenosa*). Esc. 500 μm



D. Capa U^{II} (||) IGM36378
Packstone (*Calcirrudita fina con tubos de serpúlidos*). Esc. 500 μm



E. Capa U^I (X) IGM36376
Wackestone (*Calculutita rudácea ferruginosa con tubos de serpúlidos*) Esc. 500 μm



F. Capa T^{III} (||) IGM36374
Wackestone (*Biomicrota-Calculutita arenosa*). Esc. 500 μm

micrita con escasa recristalización (75%); trazas de esparita (*Biomicrocrita-calcilitita*). Porosidad por fracturas (1%). *Hardground* de *Thalassinoides* en enrejado; grietas de contracción rellenas con óxidos de hierro. Color *grayish orange* 10YR 6/6, manchas *light brown* 5YR 5/6. **Lám. 2/F**. Espesor: 0,3 m.

Tramo T'''-T'' (IGM36373). *Mudstone* con pellets o peloides, con textura de arena mediana (2%); cuarzo con textura de limo (1%); óxidos de hierro (2%); matriz de micrita recristalizada (95%) (*Micrita-calcilitita*). Fracturas finas rellenas con esparita. Peloides con núcleo microesparítico rodeado por micrita. El color varía entre *moderate olive brown* 5Y 4/4 y *light olive gray* 5Y 5/2. **Lám. 3/A**. Espesor: 0,2 m.

Capa T'' (IGM36372). *Wackestone* con bivalvos, equinodermos y foraminíferos porcelanáceos con textura de arena mediana (11%); trazas de pellets o peloides esparíticos; cuarzo con textura de limo en trazas; óxidos de hierro (6%); vestigios de porosidad por fracturas; matriz de micrita con baja recristalización (83%) (*Biomicrocrita-calcilitita*). *Hardground* de *Thalassinoides* en enrejado con grietas de contracción; presencia de *Ceratostreon* y *Cucullaea*. Color de menor alteración *light olive gray* 5Y 6/1 y de mayor alteración *yellowish gray* 5Y 7/2 (**fig. 11**). **Lám. 3/B**. Espesor: 0,6 m.

Capa T' (IGM36371). *Wackestone* con bivalvos, equinodermos, serpúlidos, foraminíferos porcelanáceos y aglutinantes, con textura desde arena fina hasta gruesa (25%); pellets o peloides esparitizados con textura de arena gruesa (1%); trazas de fosfatos y glauconita; óxidos de hierro (3%); matriz de micrita con escasa recristalización (71%) (*Biomicrocrita-calcilitita rudácea*). *Hardground* de *Thalassinoides* en enrejado con grietas de contracción rellenas con óxidos de hierro. *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842), *Cucullaea* y abundantes gasterópodos de espira corta. Color en muestra fresca *medium gray* N5; color predominante *light olive gray* 5Y 5/2 hasta *dark yellowish gray* 5Y 6/4. **Lám. 3/C**. Espesor: 0,2 m.



Figura 11. Capa T'' con presencia de amonita dispuesta paralela a S_0 . Ver poligonal, Fig. 1B en Anexo 1.1. Longitud del portaminas 14 cm. Fotografía: Diana Montoya.

Capa T (IGM36370). *Wackestone* con bivalvos, gasterópodos, foraminíferos aglutinantes y porcelanáceos, serpúlidos con textura de limo hasta arena gruesa (14%); microbioperturbación; intraclastos de micrita o esparita con textura de limo hasta arena fina (3%); cuarzo con textura de limo en trazas; fosfatos con textura de limo (1%) y óxidos de hierro (3%); matriz de micrita (79%) (*Biomicrocrita-calcilitita*). *Hardground* oxidado, *Thalassinoides* superficiales en enrejado, con grietas de contracción; fragmentos de *Ceratostreon* en concentraciones locales, *Cucullaea*, serpúlidos; restos de crustáceos (cangrejos y langostas) en la capa lodolítica infrayacente. Color en muestra fresca *light olive gray* 5Y 5/2 y en roca alterada *dark yellowish gray* 5Y 6/4. **Lám. 3/D**. Espesor: 0,9 m.

Capa S' (IGM36369). *Wackestone* con bivalvos: *Aetostreon couloni*, *Cucullaea* y *Ceratostreon*. *Hardground* con grietas de contracción. Color *dark yellowish gray* 5Y 6/4 predominante sobre *light olive gray* 5Y 5/2 con manchas de color *dark yellowish orange* 10YR 6/6. Espesor: 0,1 m.

Entre las capas S y S' se presenta interposición de láminas centimétricas de tapices microbianos calcitizados (**fig. 7**).

Capa S (RT5590). *Wackestone* con bivalvos, gasterópodos, foraminíferos aglutinantes y serpúlidos con textura limo hasta arena gruesa; fragmentos de filamentos de tapices microbianos; cuarzo con textura de limo en trazas; localmente se desarrolla dolomita microcristalina con textura de arena muy fina; fosfatos y óxidos de hierro; matriz de micrita (*Biomicrocrita-calcilitita*). *Hardground* con grietas de contracción y biostroma de *Aetostreon couloni*, *Cucullaea*, restos de vertebrados y crustáceos. Color en muestra alterada *dark yellowish gray* 5Y 6/4 mayor que *light olive gray* 5Y 5/2. **Lám. 3/E**. Espesor: 0,1 m.

Entre las capas S y R' se presenta interposición de láminas centimétricas de tapices microbianos calcitizados (**fig. 7**).

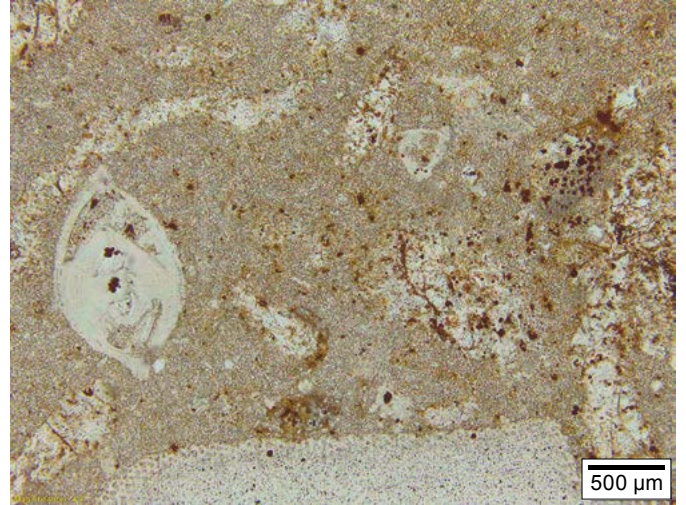
Capa R' (IGM183134). *Mudstone* con terrígenos con textura de arena fina; óxidos de hierro (*Micrita-calcilitita*). Un difractograma de arcillas en la muestra IGM 182284, de esta misma capa, dio el siguiente resultado: 5-15% de cuarzo; 15-30% calcita; 5-15% muscovita-illita; 50% amorfos. Biostroma de *Aetostreon couloni* con colonias de serpúlidos; presencia de *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) y de *Thalassinoides*. Color predominante *pale yellowish brown* 10YR 6/2 que varía entre *moderate yellow* 5Y 7/6 y *grayish orange* 10YR 7/4. Espesor: 0,4 m.

Capa R (IGM183133/14). *Mudstone* con restos de bivalvos, parcialmente fosfatizados, con textura de arena fina (1%), cuarzo con textura de limo en trazas; fosfatos y piritita (1%), óxidos de hierro (3%), micrita (95%) (*Micrita-calcilitita*). *Hardground* sobre *Thalassinoides* grandes, con biostromas locales de *Aetostreon couloni* y presencia de *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842); impresiones de amonitas *Lissonia riveroi* y restos de bivalvos pequeños. Color *pale yellowish brown* 10YR 6/2 que varía entre *moderate yellow* 5Y 7/6 y *grayish orange* 10YR 7/4 (**figs. 12 y 13**). **Lám. 3/F**. Espesor: 0,2 m.

Lámina 3. Miembro Carrizal. Capas T'''-T'', T'', T', T, S, R



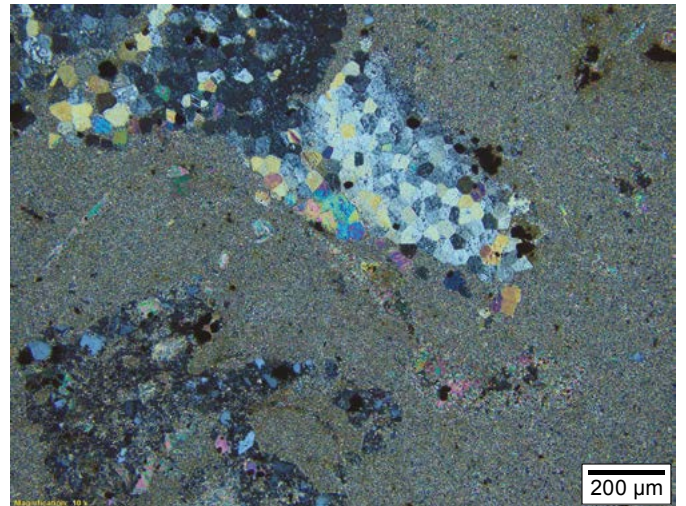
A. Tramo entre T'''- T'' (||) IGM36373
Mudstone (*Micrita-Calculutita*). Esc. 500 μm



B. Capa T'' (||) IGM36372
Wackestone (*Biomicrota-Calculutita arenosa*). Esc. 500 μm



C. Capa T' (||) IGM36371
Wackestone (*Biomicrota-Calculutita rudácea*). Esc. 500 μm



D. Capa T (X) IGM36370
Wackestone (*Biomicrota-Calculutita arenosa*). Esc. 200 μm



E. Capa S (X) IGM(36368/9)
Wackestone (*Biomicrota-Calculutita*). Esc. 200 μm



F. Capa R (||) IGM183133/14
Mudstone (*Micrita-Calculutita*). Esc. 200 μm



Figura 12. Capa R en vista de planta. Nótese la distribución del *Aetostreon couloni*. Véase poligonal, en **anexo 1.1**. Longitud del portaminas: 14 cm. Fotografía: Diana Montoya.



Figura 13. Capa R con *Lissonia riveroi* dispuesta de modo paralelo a S_0 . Véase poligonal, en **anexo 1.1**. Longitud del portaminas: 14 cm. Nótese la nodularización de la capa R (Mojon y Strasser 1987, 46, fig. 6; Retalack 1988, fig. 8). Fotografía: Diana Montoya.

Capa Q^{VI}. *Wackestone* con presencia de *Cucullaea* y distribución rala de *Ceratostreon* en tamaños pequeño y grande, abundantes bivalvos pequeños con ambas valvas unidas; amonitas ralas. *Hardground* desarrollado sobre una capa de *Thalassinoides* en enrejado de 10x12 cm en vista de planta. Color *light olive gray* 5Y 5/2. Espesor: 0,1 m.

Capa Q^V (IGM182288). *Wackestone* con bivalvos, gasterópodos, serpúlidos y amonitas, con textura desde arena gruesa hasta grava; microbioperturbación (*Biomicrudita*). *Hardground* con *Cucullaea* y distribución rala de *Ceratostreon* en tamaños pe-

queño y grande; abundan otros bivalvos pequeños con sus valvas unidas. Color *medium gray* N5 que varía entre *light olive gray* 5Y 5/2 a *moderate yellow* 5Y 7/6. Espesor: 0,2 m.

Capa Q^{IV} (IGM36228). *Wackestone* con bivalvos, gasterópodos, serpúlidos y amonitas con textura desde arena gruesa a grava; trazas de cuarzo con textura de limo (*Biomicrudita*). *Hardground* sobre *Thalassinoides*, con *Cucullaea*, *Epiciprina*, y otros bivalvos de tamaño pequeño con sus valvas unidas. Color *medium gray* N5 que varía entre *light olive gray* 5Y 5/2 y *moderate yellow* 5Y 7/6. Espesor: 0,3 m.

Capa Q''' (IGM182290). *Wackestone* con bivalvos, gasterópodos, amonitas, con textura desde arena gruesa a grava; trazas de cuarzo con textura de limo (*Biomicrodita*). *Hardground* sobre *Thalassinoides*, serpúlidos, *Epiciprina*, amonitas, bivalvos pequeños con sus dos valvas unidas y restos de *Aetostreon couloni* y *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842); fragmentos de *Aetostreon* en posición horizontal y vertical respecto a S₀. Color entre *light olive gray* 5Y 5/2 y *moderate yellow* 5Y 7/6. Espesor: 0,1 m.

Capa Q'' (IGM36364). *Mudstone* con fragmentos de bivalvos y equinodermos con textura de arena fina; cuarzo con textura de limo (2%); óxidos de hierro (12%); porosidad por disolución (2%); micrita con incipiente recristalización (84%) (*Micrita ferruginosa-calcilitita*). *Hardground* sobre *Thalassinoides*, con grietas de contracción; biostroma local de *Ceratostreon couloni* sobre una acumulación de *Cucullaea (Noramya) gabrielis* grandes; abundantes *Cucullaea* pequeñas con sus dos valvas unidas (depósitos de tormentas de mareas: mar de leva); presencia de serpúlidos. Color entre *light olive gray* 5Y 5/2, *dusky yellow* 5Y 6/4 y *moderate yellow* 5Y 7/6. **Lám. 4/A.** Espesor: 0,2 m.

Tramo entre Q''-Q' (IGM183132). *Mudstone* con fragmentos de bivalvos con textura de arena mediana (2%); trazas de cuarzo con textura de limo; pirita oxidada (4%); óxidos e hidróxidos de hierro (hematites y limonita 3%); micrita recristalizada (91%) (*Micrita-calcilitita*). El carbonato micrítico presenta recristalización por neomorfismo coalescivo; está dolomitizado y es rico en hierro (ankerita). Abundantes *Cucullaea (Noramya) gabrielis* grandes, una al lado de la otra, y abundantes bivalvos pequeños: tanto los individuos grandes como los pequeños aparecen con las dos valvas unidas (depósitos de tormenta de marea: mar de leva). Color entre *light olive gray* 5Y 5/2, *dusky yellow* 5Y 6/4 y *moderate yellow* 5Y 7/6 (**fig. 14**). Espesor: 0,1 m.

Capa Q'. *Mudstone*, por meteorización se separa en fillos que destacan por la presencia de *Cucullaea (Noramya) gabrielis* grandes en disposición rala y abundantes *Cucullaea* pequeñas; frecuentes amonitas: *Santafecites santafecinus*, *Acantholissonia sp.* (depósito de tormentas de mareas: mar de leva). Color entre *light olive gray* 5Y 5/2, *dusky yellow* 5Y 6/4 y *moderate yellow* 5Y 7/6. Espesor: 0,4 m.

Capa Q_a. *Mudstone* con numerosas *Cucullaea (Noramya) gabrielis* de gran tamaño, alineadas una al lado de la otra; presencia de *Cucullaea* pequeñas y amonitas: *Saynoceras verrucosum* (depósito de tormenta de mareas: mar de leva). Dibuja una saliente bien definida en el terreno. Espesor: 0,1 m.

Capa Q₀. *Mudstone* con predominio de *Cucullaea* de tamaños pequeños alineadas una al lado de la otra; algunas *Cucullaea (Noramya) gabrielis* (LEYMERIE, 1842) grandes y amonitas pequeñas (depósito de tormentas de marea: mar de leva). Forma una saliente fina. Espesor: 0,1 m.

Tramo entre Q₀-Q (IGM183129). *Mudstone* limoso con terrígenos; predominan las *Cucullaea* pequeñas sobre las grandes; cuarzo con textura de limo (29%), plagioclasas macladas con textura de limo (9%); mica muscovita (4%), turmalina con textura de limo (2%), pirita (8%), carbón (4%); matriz de arcilla (43%); fracturas finas rellenas con arcilla y unas pocas con calcita (1%); una muy delgada fractura rellena con sílice. Color *light olive gray* 5Y 5/2. **Lám. 4/B.** Espesor: 2,5 m.

Capa Q (IGM36362). *Wackestone* con bivalvos, foraminíferos aglutinantes (*Choffatella*) y serpúlidos con textura desde arena fina hasta guijarros (4%); intraclastos esparitizados (3%); cuarzo con textura de limo (7%); trazas de turmalina, calcita como relleno de fracturas (3%); óxidos de hierro (5%) y micrita (78%) (*Micrita-calcilitita arenosa*). *Hardground* con amonitas: *Karakaschiceras sp.*, *Lissonia riveroi*; bivalvos: *Prohinnites* grandes y escasos, *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842); gasterópodos. Color *light olive gray* 5Y 5/2, *dusky yellow* 5Y 6/4 y *moderate yellow* 5Y 7/6. Dibuja una saliente bien definida en el terreno (**fig. 15**). **Lám. 4/C.** Espesor: 0,3 m.

Tramo Q-P'' (IGM183128). *Mudstone* arenoso con terrígenos; cuarzo con textura de arena fina, algunos de origen volcánico (23%); plagioclasas macladas de tamaño arena fina (9%); fragmentos de roca (3%); mica muscovita (6%); trazas de turmalina; pirita (4%) y carbón en láminas discontinuas onduladas (9%). Arcilla (28%) y cemento de esparita (16%). Alternancia de láminas de areniscas arcillosas de grano muy fino cementadas por calcita, y arcillolitas limosas. Color *light olive brown* 5Y 5/6. **Lám. 4/D.** Espesor: 1 m.

Capa P'' (IGM183126). *Wackestone* con foraminíferos aglutinantes, gasterópodos, equinodermos y serpúlidos, con textura desde arena fina hasta guijarros; amonitas: *Santafecites santafecinus*; bivalvos: *Prohinnites*, *Aetostreon couloni* de talla grande, *Cucullaea (Noramya) gabrielis*; pequeñas colonias de hexacorales; cuarzo con textura de arena muy fina; óxidos de hierro (*Micrita-calcilitita arenosa*). *Hardground*. Color *dusky yellow* 5Y 6/4 y *light olive gray* 5Y 5/2. Espesor: 0,2 m.

Entre las capas P'' y P' se presenta un tramo estratigráfico de *mudstone (micrita-calcilitita)* con braquiópodos: *Selliithyrus sp.* (Karsten 1858, 113, lám. 6, fig. 1; Karsten 1886; Dietrich 1938, 106, lám. 22, fig. 8; Sandy 1991b, 420, fig. 5: 3 a-d). Color *dusky yellow* 5Y 6/4 y *light olive gray* 5Y 5/2. Espesor: 5,3 m.

Capa P' (IGM36360 y RT5585). *Mudstone* con fragmentos de bivalvos, equinodermos y foraminíferos aglutinantes, con textura de arena mediana (1%); intraclastos con textura de arena gruesa (1%); cuarzo con textura de limo (1%); óxidos de hierro (3%); fracturas rellenas con esparita; micrita (94%); trazas de filamentos de algas (*Micrita-calcilitita*). Nivel de *Thalassinoides*. Color *dusky yellow* 5Y 6/4 y *light olive gray* 5Y 5/2 (**fig. 16**). **Lám. 4/E.** Espesor: 0,3 m.

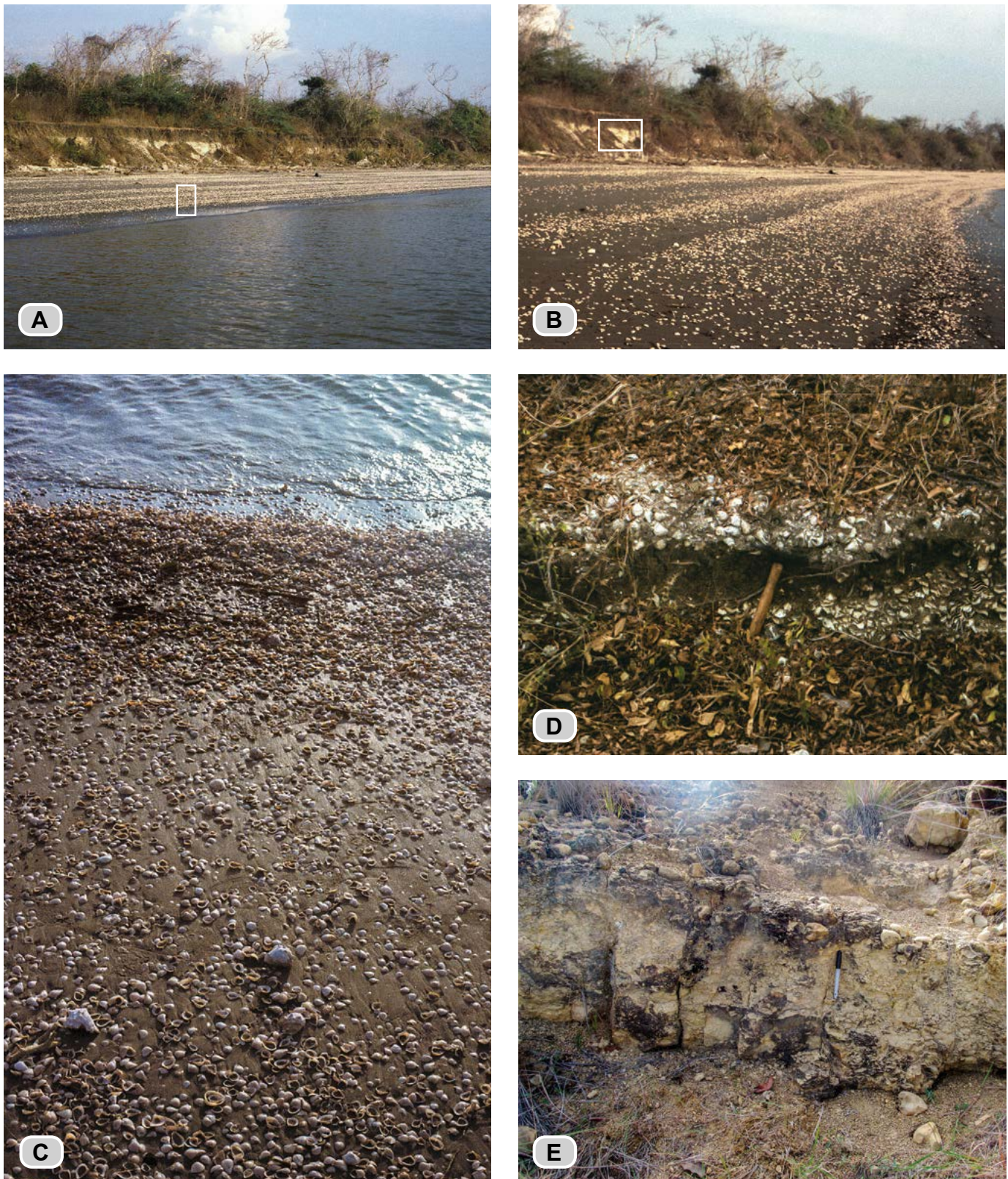


Figura 14. Fotografías de los concheros producidos por el mar de leva del 5 de marzo de 1986 en una playa al noreste de Cartagena. **A)** Nivel del mar en calma: en dirección al continente se observan los distintos niveles alcanzados por las olas de tormenta (recuadro vertical). **B)** Detalle de las diversas posiciones del oleaje que acompañó al mar de leva; el recuadro horizontal señala un depósito de tormenta anterior, levantado con relación al nivel actual del mar. **C)** Detalle de la distribución de los restos de conchas de moluscos arrojados a la playa por el mar de leva de marzo de 1986: resaltan algunos ejemplares del gasterópodo *Melongena* sp. **D)** Depósitos de tormenta levantados con relación al nivel actual del mar: recuadro de la **fig. B.** **E)** Concentración de conchas de bivalvos *Cucullaea* (*Noramyia*) *gabrielis* y algunos gasterópodos en el intervalo Q''-Q', del Miembro Carrizal: afloramiento en el Alto de la Virgen (**fig. 1A**), interpretados como depósitos de mar de leva por comparación con la situación de la **fig. D.** Fotografías A, B, C y D: Fernando Etayo-Serna; fotografía E: Diana Montoya.

Lámina 4 Miembro Carrizal. Capas Q'', Q₀-Q, Q, Q-P'', P', P⁰



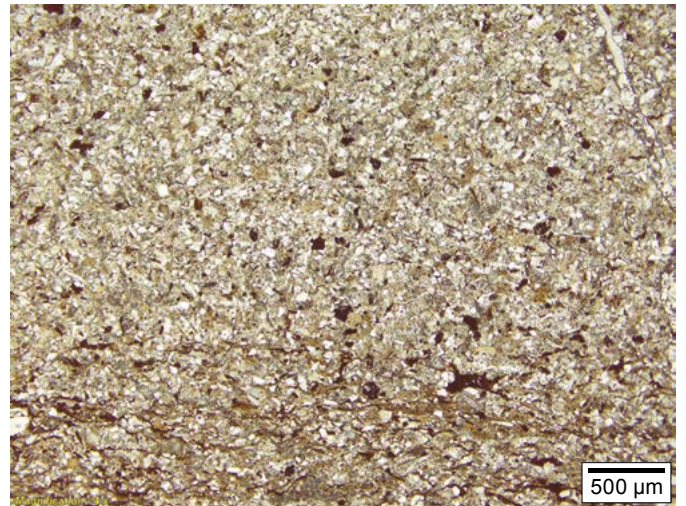
A. Capa Q'' (||) IGM36364
Mudstone (*Micrita ferruginosa-Calculutita*). Esc. 200 μm



B. Tramo entre Q₀-Q (||) IGM183129
Mudstone de terrígenos. Esc. 500 μm



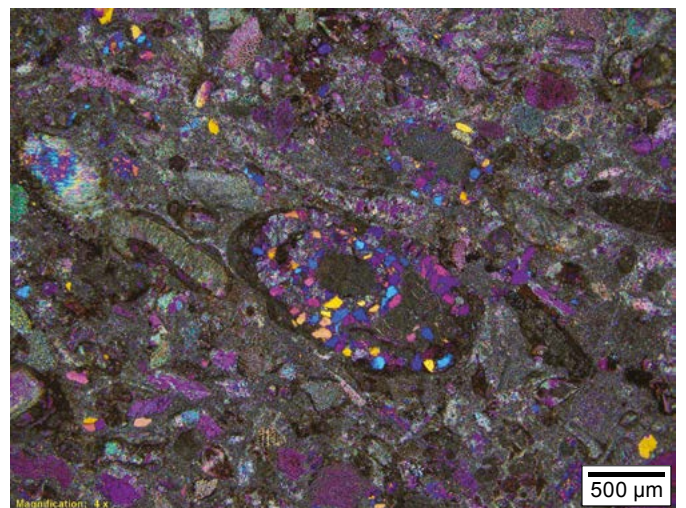
C. Capa Q techo (||) IGM36362
Wackestone (*Micrita-Calculutita arenosa*). Esc. 200 μm



D. Tramo entre Q-P'' (||) IGM183128
Mudstone de terrígenos. Esc. 500 μm



E. Capa P' (X 1λ) RT5585
Mudstone (*Micrita-Calculutita*). Esc. 200 μm



F. Capa P⁰ (X 1λ) RT5586
Packstone (*Biomicrita con terrígenos*). Esc. 500 μm



Figura 15. Afloramiento de la capa Q del Miembro Carrizal. Camino a la laguna El Sapo. Ver poligonal **anexo 1.1**. Fotografía: Adrián Pérez.

Capa P⁰ (RT5586). *Packstone* con fragmentos de equinodermos, bivalvos y foraminíferos aglutinantes con textura de arena mediana (55%); terrígenos de cuarzo (7%), algunos de origen volcánico; trazas de cuarcitas con textura de limo; trazas de fosfatos y óxidos de hierro; matriz de micrita con moderada a baja recristalización (*Biomicrita con terrígenos*). Color *dusky yellow* 5Y 6/4 y *light olive gray* 5Y 5/2 (**fig. 16**). **Lám. 4/F:** con nicols X y compensador 1λ; los granos de cuarzo aparecen coloreados, delineando un foraminífero aglutinante. Espesor: 0,2 m.

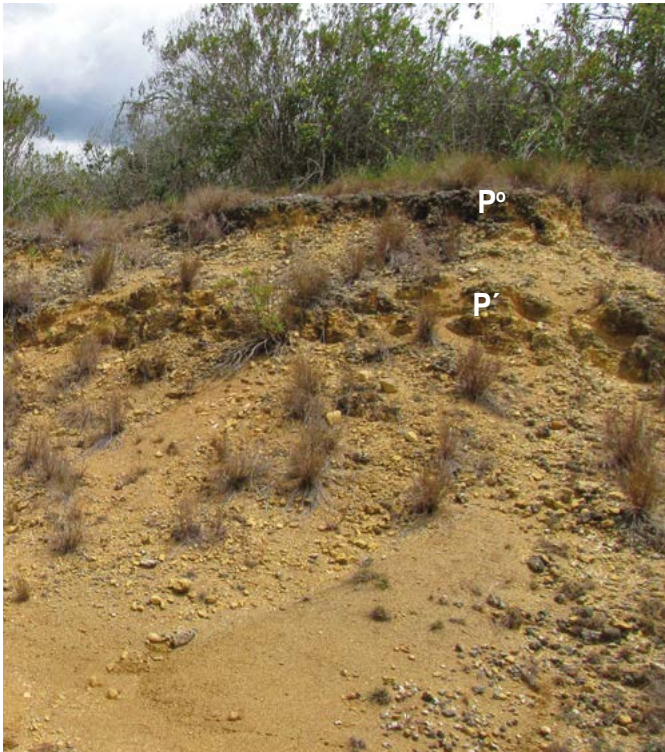


Figura 16. Vista de las capas P¹ y P⁰ del techo del Miembro Carrizal. Camino a laguna El Sapo. Ver poligonal, **anexo 1.1 y 1.3**. Fotografía: Diana Montoya.

Miembro Zo

Nuevo nombre aquí propuesto para el intervalo estratigráfico comprendido entre la base de la capa P y el techo de la capa L (**tabla 1 y fig. 17**). El nombre deriva de la quebrada Zo, situada en el cuadrante NW de la plancha 120-IV-C-1 a escala de 1 a 10.000, según los originales del Instituto Geográfico Militar y Catastral, hoy día IGAC, números 424-425. Esta quebrada corta toda la sucesión estratigráfica de la Formación Rosa Blanca (**fig. 1, anexos 1.1 y 1.3**). Las coordenadas de la capa basal P de este miembro sobre la poligonal El Sapo son: N:1.248.197, E:1.092.449, elevación: 1725 m. La capa P reposa de manera disconforme sobre las capas superiores del Miembro Carrizal (**figs. 18A y 18B**).

El Miembro Zo se compone de capas decimétricas a métricas de calizas *wackestone*, y en menor proporción calizas *packstone*, con fragmentos de bivalvos, equinodermos, serpúlidos, foraminíferos aglutinantes y porcelanáceos, así como cuarzo con textura de arena en cantidades variables, en alternancia con *mudstone* limolíticos con terrígenos. Este Miembro se reconoce en el terreno porque los intervalos duros sobresalen como filos irregulares, que por meteorización exponen láminas arenosas de variada inclinación (**fig. 20**), y que además, por disolución, presentan numerosas acanaladuras (**fig. 19**). El color varía entre *brownish gray* 5YR 4/1 y *dark yellowish orange* 10YR 6/6. Espesor: 38 m.

En la terminología de las divisiones litológicas de campo de Zamarreño de Julivert (1963, fig. 2, columna estratigráfica, **anexo 1.2**), este intervalo abarca el tercio superior del “nivel de *shales* con intercalación de calizas” más la “intercalación caliza”, y además corresponde de manera exacta al nivel de intramicritas de las divisiones petrográficas de la misma autora. También equivale aproximadamente a la mitad inferior del segmento II de Guzmán-Ospitia (1985).

SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN ROSA BLANCA
MIEMBRO Zo

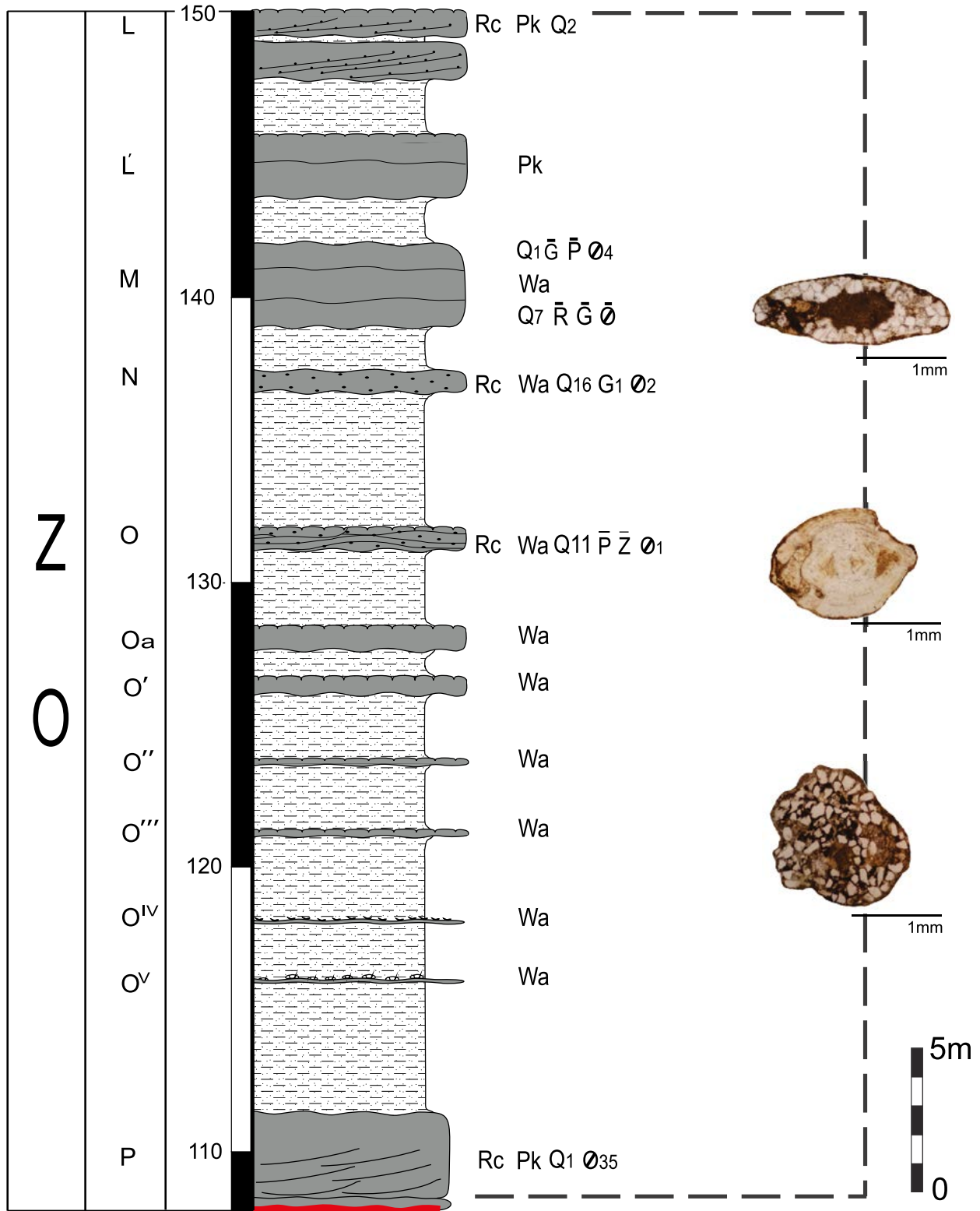


Figura 17. Miembro Zo (véanse los anexos 1.1 y 1.3). Ilustración: Marie Jöelle Giraud.

Descripción de las capas del Miembro Zo que forman cornisas

Capa P (IGM36358). *Packstone* con fragmentos de equinodermos, bivalvos, briozoarios, foraminíferos porcelanáceos y aglutinantes, serpúlidos con textura de arena gruesa a muy gruesa (12%); filamentos de algas; intraclastos de micrita internamente oxidados, bien redondeados, con coraza de óxidos de hierro, con textura de arena gruesa (35%; lám. 5/B); cuarzo con textura de arena fina, algunos con bahías (1%) y óxidos de hierro (2%); micrita recristalizada (48%); fracturas irregulares finas oxidadas (1%). Grietas de contracción rellenas con óxidos de hierro (*Intrabiomicrita de textura gruesa*). Banco constituido por capas cuneiformes; hacia su base se observan huellas de *Rhizocorallium* paralelas a S_0 . Color *medium gray* N5 que varía a *moderate yellowish brown* 10YR 5/4 y a *dark yellowish orange* 10YR 6/6. La base de esta capa fosiliza una superficie de erosión, produciéndose así una disconformidad (figs. 18A y 18B). Lám. 5/A, B. Espesor: 3,50 m.

Capa O^v. *Wackestone*, presenta un enrejado de *Thalassinoides* de diámetro centimétrico predominante, donde abundan los equinodermos irregulares en tamaños menores de 1 cm; restos de amonitas y braquiópodos resedimentados. Espesor: 0,1 m.



Figura 18A. Capa P, coordenadas: N:1.248.197, E:1.092.449, elevación: 1725 m. Véase poligonal, anexo 1.1. Fotografía: Diana Montoya.



Figura 18B. Vista panorámica del contacto disconforme entre la capa P (base del Miembro Zo: banco superior en la fotografía) y las capas en forma de batea de la parte superior del Miembro Carrizal. Fotografía tomada desde un punto con coordenadas: N:1.242.018, E:1.095.174, elevación: 598 m, sobre el carretable a la mina de yeso El Platanalito. Afloramiento en la vertiente W de la quebrada El Platanalito, aproximadamente 500 m antes de su desembocadura en el río Sogamoso. Fotografía: Diana Montoya.

Capa O^{iv}. *Wackestone*, presenta un enrejado de *Thalassinoides* de diámetro centimétrico predominante, en donde hay restos ralos o en concentraciones de *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) *sensu* Dietrich, 1938, con diámetro umbopaleal (DUP) de menos de 1 cm de longitud; sobre algunas conchas hay restos de tubos de serpúlidos. Espesor: 0,1 m.

Capa Oⁱⁱⁱ. *Wackestone*, presenta *hardground* sobre *Thalassinoides* en enrejado grueso de redes amplias; presencia de *Cucullaea*, equinodermos deformados y *Ophiomorpha* con *Choffatella* en sus paredes. Color *medium gray* N5 a *light olive gray* 5Y 5/2. Espesor: 0,3 m.

Capa Oⁱⁱ. *Wackestone*, presenta *hardground* muy compacto sobre *Thalassinoides* en enrejado mediano. Color *medium gray* N5 a *light olive gray* 5Y 5/2. Espesor: 0,2 m.

Capa Oⁱ. *Wackestone*, presenta *hardground* sobre *Thalassinoides* en enrejado mediano con *Prohinnites* (DUP 10 cm) y *Ceratostreon* aislados; presencia de *Choffatella*. Color *medium gray* N5 a *light olive gray* 5Y 5/2. Espesor: 0,7 m.

Capa O_a (IGM182308). *Wackestone*, presenta *Thalassinoides* con gasterópodos, *Prohinnites* y otros bivalvos de tallas grandes. Color *medium gray* N5 a *light olive gray* 5Y 5/2. Espesor: 0,9 m.

Capa O (IGM36357 y IGM182310). *Wackestone* con bivalvos, equinodermos y foraminíferos aglutinantes, con textura de arena mediana a guijos (24%); intraclastos de micrita con textura de arena mediana (2%); cuarzos con textura de arena fina (11%); fosfatos y circón como trazas; óxidos de hierro (1%); micrita recristalizada (59%); cemento de espar (3%) (*Biomicrocrita terrigena-calculutita arenosa*). Capa con grietas de contracción rellenas de óxidos de hierro; estructura interna ondulosa discontinua; foraminíferos aglutinantes abundantes visibles a ojo (*Choffatella*); gasterópodos. Color *medium gray* N5 que varía a *light olive gray* 5Y 5/2 y *yellowish gray* 5Y 7/2. Lám. 5/C. Espesor: 0,8 m.

Capa N (IGM36356). *Wackestone* con bivalvos, equinodermos y serpulidos con textura de arena fina a mediana (16%); intraclastos de micrita con textura de arena fina a mediana (6%); trazas de peloides; cuarzo con textura de arena fina (16%); glauconita con textura de arena fina (1%); trazas de fragmentos de cuarzoarenitas de grano muy fino; óxidos de hierro (2%); micrita recristalizada (55%); esparita (4%) (*Biomicrita terrígena-calcilutita arenosa*). Desarrollo de *Thalassinoides* en la base de la capa; presencia de algunas *Choffatella*; grietas de contracción irregulares con óxidos de hierro. Color *medium gray* N5 (fresca) a *light olive gray* 5Y 5/2 y *brownish gray* 5YR 4/1. **Lám. 5/D**. Espesor: 0,8 m.



Figura 19. Capa M con disolución superficial irregular que permite observar la bioperturbación. Camino a laguna El Sapo. Véase poligonal, **anexo 1.1**. Fotografía: Adrián Pérez.

Capa M (IGM36355 base). *Wackestone* con bivalvos, equinodermos y foraminíferos con textura de arena fina a gránulo (15%); trazas de serpulidos; intraclastos de micrita con textura de arena gruesa (8%); cuarzo con textura de arena fina a gruesa de posible origen volcánico (7%); trazas de cuarzos policristalinos; trazas de óxidos y de glauconita; vestigios de porosidad por disolución; micrita en avanzada recristalización (64%) y esparita (6%) (*Biomicrita terrígena-calcilutita arenosa*). Color en muestra fresca N5. **Lám. 5/E**.

Capa L' (IGM182315). *Packstone*. *Hardground* muy compacto de *Thalassinoides* en enrejado amplio, casi imperceptibles hacia la base de la capa; placas y espinas de equinodermos y granos de cuarzo con textura de arena mediana. Color *medium gray* N5, *light brownish gray* 5YR 6/1. Espesor: 2,30 m.

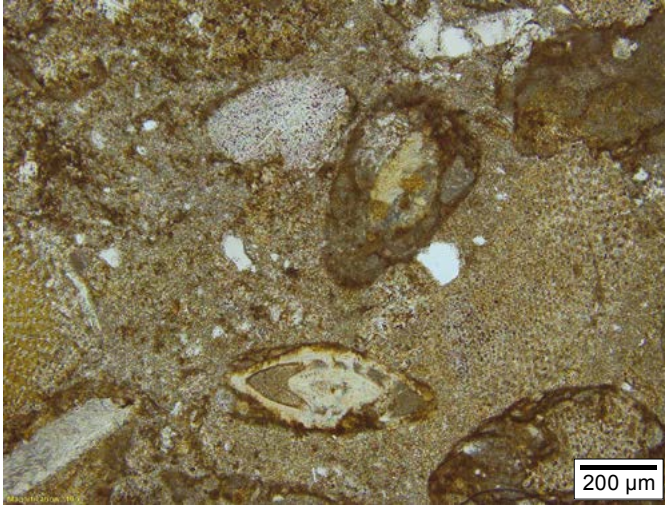
Capa M (IGM36354 techo). *Wackestone* con bivalvos, equinodermos, serpulidos, foraminíferos aglutinantes ralos (*Choffatella*) y filamentos de algas con textura de arena fina a guijarro (18%); cuarzo con textura de arena fina a gruesa —algunos de origen volcánico— (1%); intraclastos de micrita con textura de arena fina a mediana (10%); trazas de fosfatos y glauconita con textura de arena fina a mediana; óxidos de hierro (4%); micrita recristalizada (59%); esparita (7%) (*Biointramicrita-calcilutita rudácea*). Porosidad por disolución (1%); grietas de contracción rellenas con óxidos de hierro. Se trata de un banco separado en capas por superficies subplanoparalelas; pistas de icnofósiles tubiformes. Color *medium gray* N5 en muestra fresca, *olive gray* 5Y 4/1 y *light olive gray* 5Y 6/1 (**fig. 19**). Espesor total de la capa: 3 m.

Capa L (IGM36353 y IGM182317). *Packstone* con bivalvos, equinodermos y briozoarios, presencia de *Choffatella* perceptible a ojo; trazas de serpulidos y fragmentos de algas con textura de arena fina a mediana (26%); intraclastos de micrita con textura de arena gruesa (16%); cuarzo con textura de arena fina hasta mediana (2%); minerales opacos (1%); microesparita por neomorfismo de micrita (42%); esparita con óxidos de hierro (11%) (*Biointramicrita de textura gruesa*). Vestigios de porosidad por disolución. Se trata de un banco compuesto por dos capas separadas por un intervalo de 0,2 m de limolita calcárea; estas capas presentan láminas inclinadas con un ángulo mayor que 15° (**fig. 20**). Color *medium gray* N5, *dusky yellow* 5Y 6/4, *dark yellowish orange* 10YR 6/6. **Lám. 5/F**. Espesor: la capa inferior mide 1,30 m, y la superior, 1,10 m.



Figura 20. Afloramiento de caliza *packstone* perteneciente al Miembro Zo, con láminas inclinadas (Jansa 1975, fig.18B, 18C). Costado N carretera Zapatoa-Bucaramanga, quebrada del Palo. Coordenadas: N:1.247.287, E:1.090.806, elevación: 1586 m. Fotografía: Diana Montoya.

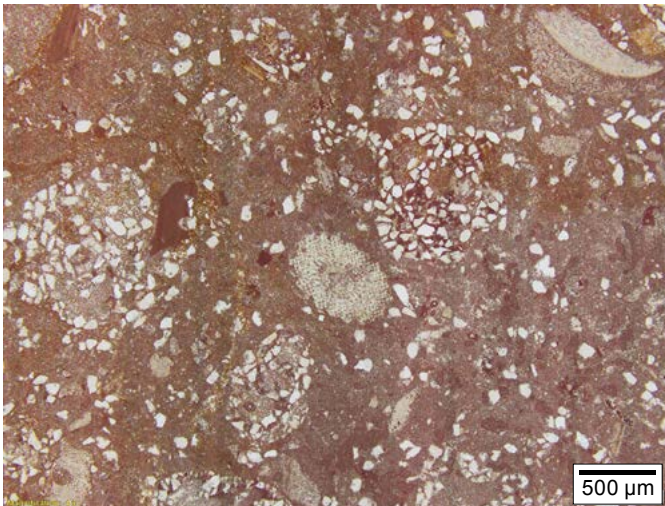
Lámina 5. Miembro Zo. Capas P, O, N, M, L



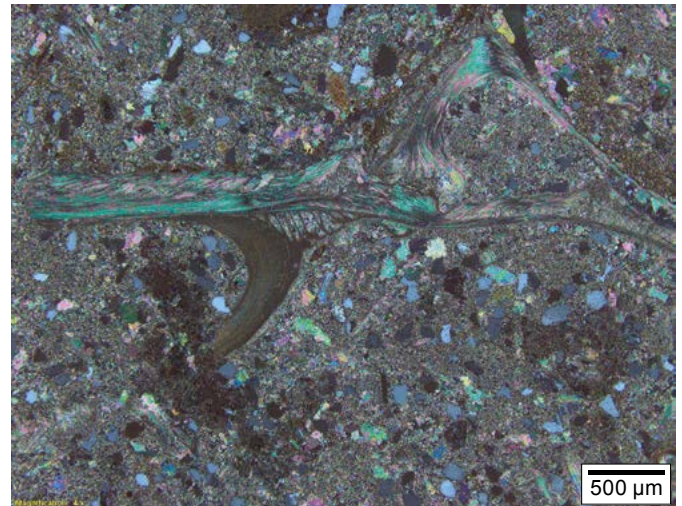
A. Capa P (||) IGM36358
Packstone (*Intrabiomicrocitra-Calcarenita gruesa*). Esc. 200 µm



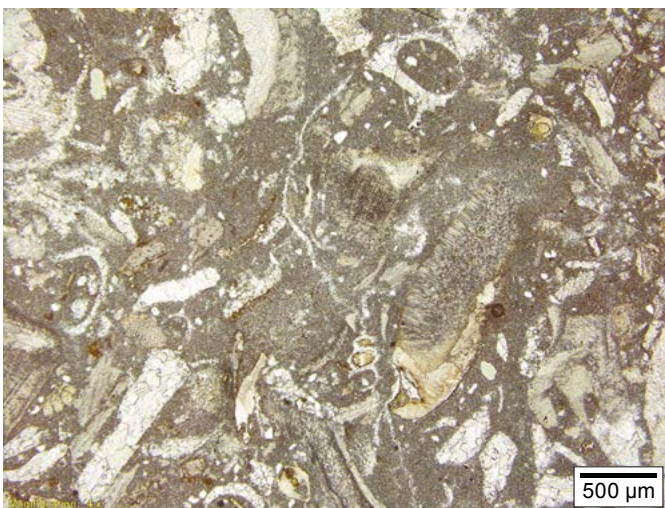
B. Capa P (||) IGM36358
Packstone (*Intrabiomicrocitra-Calcarenita gruesa*). Esc. 500 µm



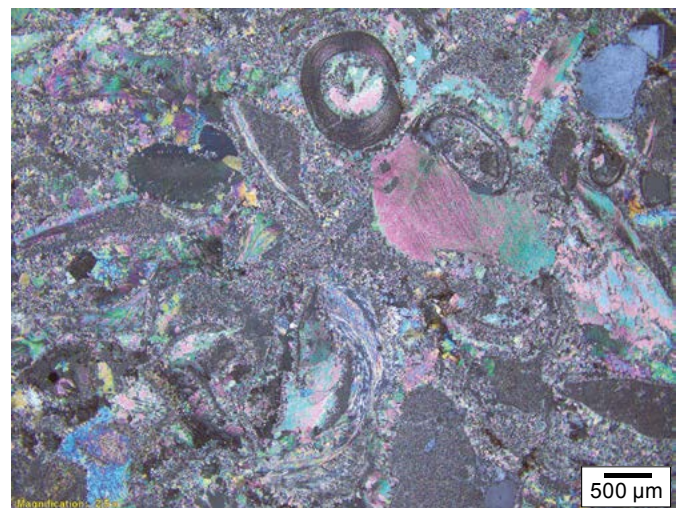
C. Capa O (||) IGM36357
Wackestone (*Biomicrita terrigena-Calcilituta arenosa*). Esc. 500 µm



D. Capa N (X) IGM36356
Wackestone (*Biomicrita terrigena-Calcilituta arenosa*). Esc. 500 µm



E. Capa M(base) (||) IGM36355
Wackestone (*Biomicrita -Calcilituta arenosa*). Esc. 500 µm



F. Capa L (X) IGM36353
Packstone (*Biomicrita -Calcarenita gruesa*). Esc. 500 µm

Miembro El Sapo

Nuevo nombre aquí propuesto para el intervalo estratigráfico comprendido entre la base de las limolitas que reposan sobre el techo de la capa L, hasta el techo de la capa IV, en la terminología del presente estudio (**tabla 1 y fig. 21**). El nombre deriva de la laguna El Sapo, situada en el cuadrante NW de la plancha 120-IV-C-1 a escala de 1 a 10.000, según los originales del Instituto Geográfico Militar y Catastral, hoy día IGAC, números 424-425 (**anexos 1.1 y 1.3**). La primera capa de este intervalo que da resalte topográfico es la capa K, cuyas coordenadas sobre la poligonal laguna El Sapo son: N:1.251.840, E:1.092.470, elevación: 1556 m.

El Miembro El Sapo consiste en una sucesión de capas de caliza *wackestone* con espesores de orden decimétrico, que alternan con tramos métricos de *mudstone* carbonáti-

cos limolíticos, terrígenos, sin estructura interna observable debido a la bioperturbación. Sobre el terreno, las capas de caliza *wackestone* destacan como cornisas romas color *dusky yellow* 5Y 6/4 y *light olive gray* 5Y 5/2; los más conspicuos bioclastos son individuos completos o fragmentos de *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) *sensu* Dietrich, 1938; también son comunes los equinodermos irregulares, varios tipos de gasterópodos, foraminíferos aglutinantes y los últimos restos representativos de crustáceos. Espesor: 80 m.

En la terminología de las divisiones litológicas de campo de Zamarreño de Julivert (1963, fig. 2; anexo 1.2), este miembro corresponde al “nivel margoso superior” y al “nivel de micritas fosilíferas y biomicritas” (*op. cit.* 1963, fig. 2). También equivale, en parte, al segmento III de Guzmán-Ospitia (1985).

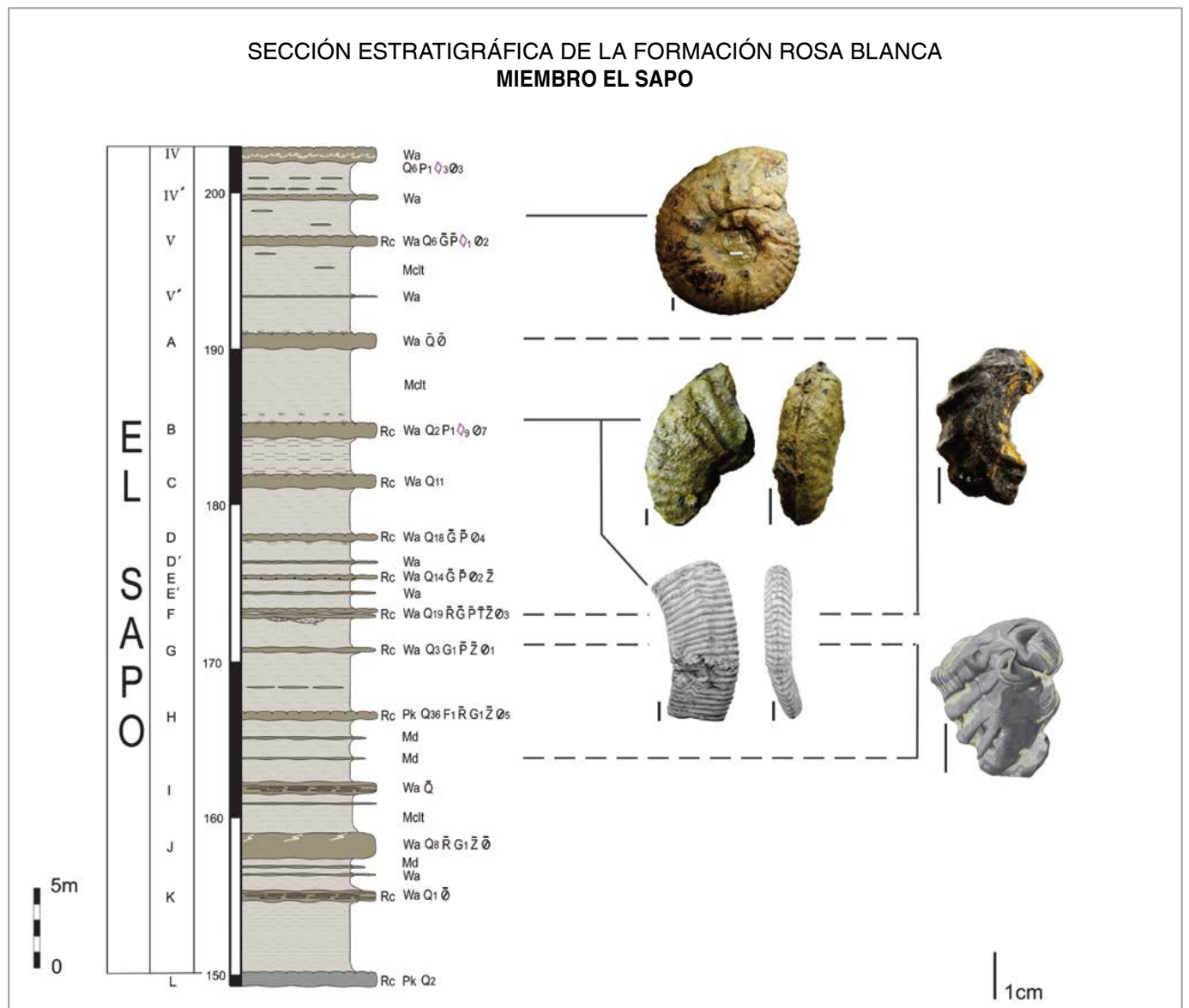


Figura 21. Miembro El Sapo (**anexos 1.1 y 1.3**). La amonita heteromorfa corresponde a *Shastrioceras? anglicum* (Doyle 1963). Para la identificación de los fósiles restantes ilustrados, ver lám. 11. Dibujo: Marie Jöelle Giraud.

Descripción de las capas del Miembro El Sapo que forman cornisas

Capa K (IGM36352). *Wackestone* con fragmentos de bivalvos, equinodermos, serpúlidos y briozoarios con textura de arena fina hasta guijarro (31%); intraclastos de micrita con textura de arena gruesa (4%); cuarzo con textura de arena mediana (1%); trazas de óxidos de hierro; presencia de estilolitos; micrita recristalizada (62%); esparita (2%) (*Biomicrita-calcilitita arenosa*). La descripción precedente corresponde a los 0,3 m superiores de la capa; los 0,4 m inferiores consisten en una masa de *Thalassinoides* superpuestos. Color *medium gray* N5, *light olive gray* 5Y 5/2 y *dusky yellow* 5Y 6/4. **Lám. 6/A.** Espesor total: 0,7 m.

Capa J (IGM36351). *Wackestone* con bivalvos, equinodermos, presencia de *Choffatella* perceptible a ojo y serpúlidos, con textura desde arena fina hasta guijarro (11%); intraclastos de micrita con textura de arena mediana a gruesa (3%); trazas de ooides con textura de arena fina; cuarzo con textura de arena fina (8%); trazas de fragmentos de cuarcitas con textura de arena fina; glauconita alterada con textura de arena fina (1%); trazas de zircón, trazas de porosidad por fractura y dos sistemas de estilolitos perpendiculares entre sí. Micrita recristalizada (71%); esparita con textura de arena mediana (6%) (*Biomicrita-calcilitita arenosa*). Destacan vestigios oxidados de *Thalassinoides*, de color *dark yellowish orange* 10YR 6/6. Color *medium gray* N5, *light olive gray* 5Y 5/2; pátina *dusky yellow* 5Y 6/4. **Lám. 6/B.** Espesor: 1,6 m.

Capa I. *Wackestone* con granos de cuarzo con textura de mediana a gruesa, fragmentos de bivalvos y equinodermos; su parte inferior es maciza y su parte superior un *hardground* desarrollado sobre *Thalassinoides*. Color *light olive gray* 5Y 5/2 y *dusky yellow* 5Y 6/4. Espesor: 0,7 m.

Capa H (IGM36349). *Packstone* con fragmentos de bivalvos, equinodermos, gasterópodos y foraminíferos aglutinantes con textura de arena fina (5%); algunos gasterópodos pequeños están reemplazados por fosfatos; intraclastos de micrita con textura de arena fina (3%); peloides con textura desde limo hasta arena fina (5%); cuarzo con textura de arena fina (36%); feldspatos con textura de arena fina (1%); trazas de fragmentos de cuarcitas con textura de arena fina; glauconita alterada con textura de arena fina (1%); trazas de minerales opacos y zircón; micrita con recristalización avanzada (42%); esparita (6%) (*Micrita terrígena*). *Hardground* desarrollado sobre *Thalassinoides*; grietas de contracción. Color *Light olive gray* 5Y 5/2, *Dusky yellow* 5Y 6/4 a *grayish orange* 10YR 7/4. **Lám. 6/C.** Espesor: 0,4 m.

Capa G (IGM36348). *Wackestone* con fragmentos de bivalvos, equinodermos, gasterópodos y tubos de serpúlidos con textura de arena fina a mediana (5%); intraclastos de micrita con textura de arena fina a mediana (2%); cuarzo con textura de arena fina (3%); glauconita alterada con textura de

arena fina, que rellena cámaras de gasterópodos pequeños (1%); trazas de fosfatos y zircón; óxidos de hierro (1%), micrita recristalizada (88%); destacan óxidos de hierro alrededor de los bioclastos; algunas grietas rellenas con calcita (*Micrita-calcilitita arenosa*). *Hardground* desarrollado sobre *Thalassinoides*, con restos de gasterópodos pequeños incrustados en ellos. Color *dusky yellowish gray* 5Y 6/4 en mayor proporción que *pale yellowish orange* 10YR 8/6. **Lám. 6/D.** Espesor: 0,3 m.

Capa F (IGM36347). *Wackestone* con fragmentos de bivalvos, equinodermos, gasterópodos, foraminíferos aglutinantes y serpúlidos, con textura de arena fina a mediana (22%); intraclastos de micrita con textura desde arena mediana hasta gránulo (3%); cuarzo de aspecto volcánico y cuarzo policristalino, con textura de arena fina (19%); trazas de turmalina, zircón, glauconita y fosfatos; glauconita como relleno de cámaras de moluscos; óxidos de hierro (3%); micrita recristalizada (53%) (*Biomicrita terrígena-calcilitita arenosa*). Se trata de un banco calcáreo formado por dos capas separadas por un tramo de 0,1 m de arcillolita: la capa superior mide 0,3 m, y en total el banco mide 0,6 m; la capa superior es un *hardground* desarrollado sobre *Thalassinoides* que forman enrejado en red mediana; grietas de contracción; algunos bivalvos y equinodermos sobresalen de la roca; en la base de la capa inferior hay rellenos de canales compuestos por fragmentos de *Ceratostreon*. Color *moderate yellow gray* 5Y 7/6 y *grayish orange* 10YR 7/4. **Lám. 6/E.** Espesor: 0,6 m.

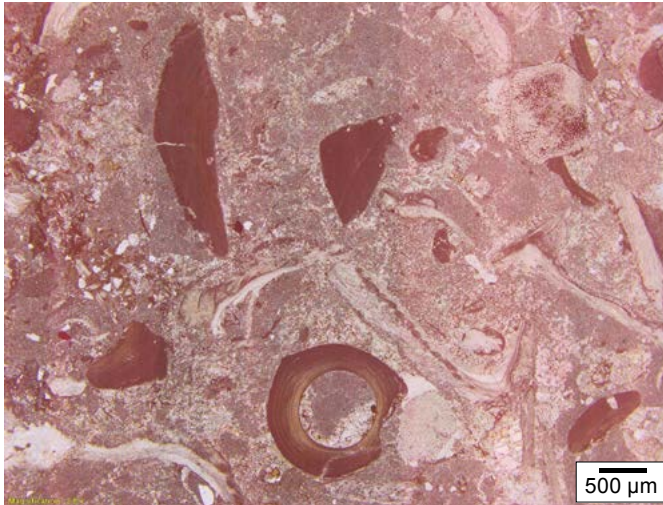
Capa E' (IGM183119). *Hardground* desarrollado sobre *Thalassinoides*; biostromas de *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) *sensu* Dietrich, 1938, con predominio de individuos de talla pequeña. Espesor: 0,1 m.

Capa E (IGM36346). *Wackestone* con fragmentos de bivalvos, equinodermos, foraminíferos aglutinantes, serpúlidos y fragmentos ralos de algas, con textura de mediana a gránulo (13%); intraclastos de micrita con textura de arena mediana (2%); cuarzo con textura de arena fina a muy fina —algunos de origen volcánico— (14%); trazas de zircón, glauconita y fosfato como relleno de conchas; óxidos de hierro (2%); trazas de porosidad por disolución; micrita recristalizada (69%) (*Biomicrita terrígena-calcilitita arenosa*). *Hardground* desarrollado sobre *Thalassinoides*; grietas de contracción rellenas con óxidos de hierro, fragmentos grandes de *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) *sensu* Dietrich, 1938. Color *dusky yellow gray* 5Y 6/4, *yellowish gray* 5Y 7/2. **Lám. 6/F.** Espesor: 0,2 m.

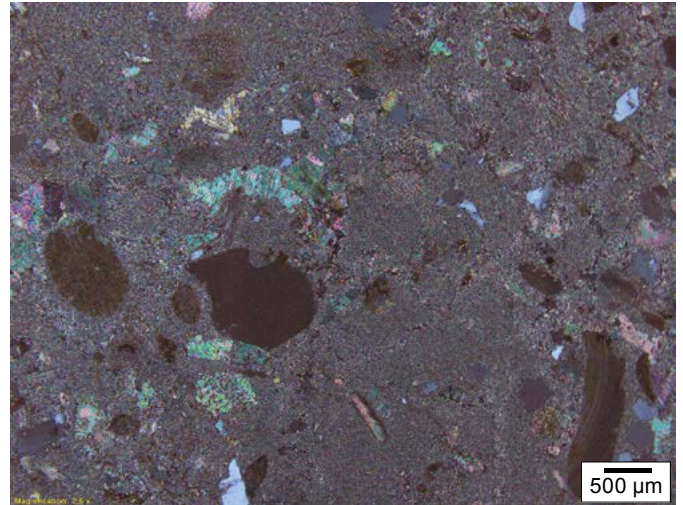
Capa D' (IGM182233). *Hardground* desarrollado sobre *Thalassinoides*. Espesor: 0,1 m.

Capa D (IGM36345). *Wackestone* con fragmentos de bivalvos, equinodermos, gasterópodos, foraminíferos aglutinantes y serpúlidos, con textura de arena mediana a gránulo (19%); intraclastos de micrita con textura de arena mediana (4%); cuarzo con textura de limo (18%); trazas de glauconi-

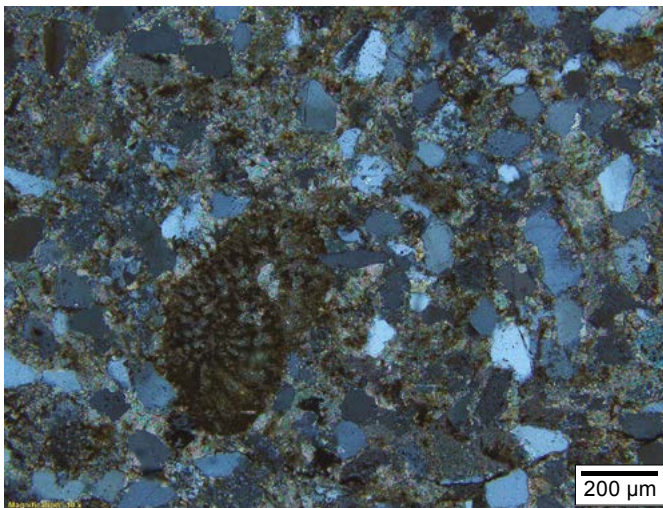
Lámina 6. Miembro El Sapo. Capas K, J, H, G, F, E



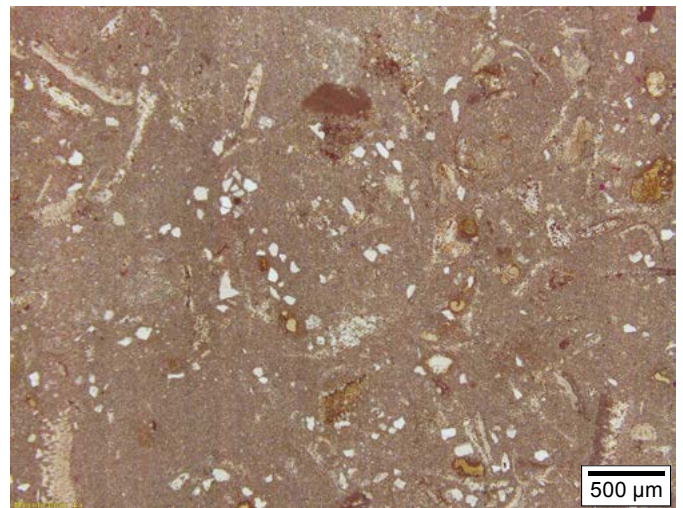
A. Capa K (||) IGM36352
Wackestone (*Biomicrota-Calculutita arenosa*) Esc. 500 µm



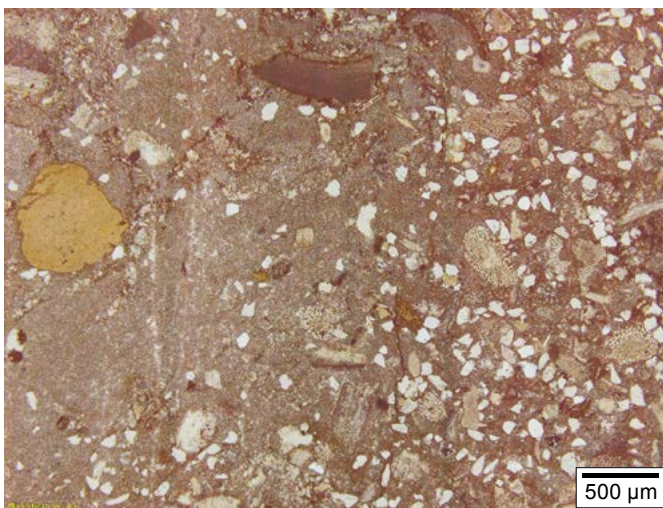
B. Capa J (X) IGM36351
Wackestone (*Biomicrota-Calculutita arenosa*) Esc. 500 µm



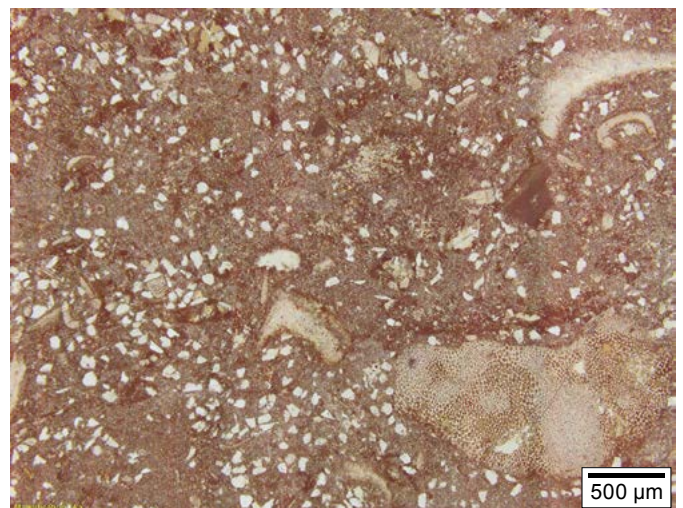
C. Capa H (X) IGM36349
Packstone (*Micrita terrígena-Calcarenita fina*) Esc. 200 µm



D. Capa G (||) IGM36348
Wackestone (*Micrita-Calculutita arenosa*) Esc. 500 µm



E. Capa F (||) IGM36347
Wackestone (*Biomicrota terrígena-Calculutita arenosa*) Esc. 500 µm



F. Capa E (||) IGM36346
Wackestone (*Biomicrota terrígena-Calculutita arenosa*) Esc. 500 µm

ta y fosfatos con textura de limo; óxidos de hierro (4%); porosidad por disolución (1%); micrita recristalizada (54%) (*Biomicrota terrigena-calcilutita arenosa*). *Hardground* desarrollado sobre *Thalassinoides*; grietas de contracción rellenas con óxidos de hierro; manchas limoníticas de color *Dark yellowish orange* 10YR 6/6; concentraciones de especímenes pequeños de *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) *sensu* Dietrich, 1938. Color *dusky yellow* 5Y 6/4, *moderate yellow* 5Y 7/6. **Lám. 7/A**. Espesor: 0,4 m.

Entre la base de la capa D y el techo de la capa H los tramos de *mudstone* carbonáticos limolítico-terrigenos, que separan las capas E, F, G, presentan color *yellowish gray* 5Y 7/2 cuando no están alteradas, y color *light olive gray* 5Y 5/2 cuando están alteradas.

Capa C (IGM36344). *Wackestone* con fragmentos de bivalvos, equinodermos, gasterópodos y foraminíferos aglutinantes, con textura de arena fina a gránulo (19%); algunos de estos fragmentos están rodeados con pátinas de óxidos de hierro; cuarzo con textura de limo a arena fina —alguno de origen volcánico— (11%); minerales pesados con textura de arena fina (5%); micrita con incipiente recristalización (61%) y esparita (1%) (*Biomicrota terrigena-calcirrudita*). *Hardground* desarrollado sobre *Thalassinoides*; gasterópodos grandes de espira alta y pequeños individuos de *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) *sensu* Dietrich, 1938, dispersos sobre la superficie, así como vértebras y dientes de peces. Color *light olive gray* 5Y 5/2, *yellowish gray* 5Y 7/2 y *grayish yellow* 5Y 8/4. **Lám. 7/B**. Espesor: 0,9 m.

El tramo entre la capa B y la C está constituido por *mudstone* carbonáticos limolítico-terrigenos, color *yellowish gray* 5Y 7/2 con moteado color *light gray* N7. Espesor: 2,4 m.

Capa B (IGM36343). *Wackestone* con fragmentos de bivalvos, equinodermos y foraminíferos aglutinantes, con textura de arena fina a guijarro (19%); conchas bordeadas por fosfatos; fosfatos con textura de limo (1%); peloides (1%); cuarzo con textura de limo (2%); óxidos de hierro (7%); micrita con moderada recristalización (61%); dolomita (9%) (*Dolobiomicrota-calcilutita arenosa*). *Hardground* desarrollado sobre un enrejado de *Thalassinoides* encima del cual aparece un delgado biostroma de *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) *sensu* Dietrich, 1938, de talla pequeña; fragmentos de huesos de extremidades de ictiosaurios. Color *moderate yellowish brown* 10YR 5/4. **Lám. 7/C**. El espesor varía de 0,6 m a 1,1 m.

Capa A (IGM182340p). *Wackestone* con bivalvos, gasterópodos y serpúlidos con textura de guijarro; cuarzo con textura de arena mediana; óxidos de hierro; micrita; descripción basada en un pellejo de acetato (p) (*Biomicroduta terrigena*). *Hardground* con grietas de contracción poligonales rellenas con óxidos de hierro, sobre *Thalassinoides* que están cada vez más separados hacia la base de la capa (**fig. 22**). Concentraciones locales de pequeños *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) *sensu* Dietrich, 1938 (**fig. 23**). Color *dusky yellow* 5Y 6/4 y *moderate yellowish brown* 10YR 5/4. Espesor: 0,9 m.

Capa V'. *Thalassinoides* compactos que forman un filo visible en el terreno; restos de *Ceratostreon* y amonitas: *Acanthodiscus* sp. Espesor: 0,1 m.

Capa V (IGM36340). *Wackestone* con bivalvos, equinodermos y serpúlidos con textura de desde limo hasta guijarro (6%); cuarzo con textura de limo a arena gruesa, algunos de origen



Figura 22. Capa A. *Hardground* sobre *Thalassinoides* con grietas de contracción poligonales, rellenas con óxidos de hierro, coordenadas: N:1.248.534, E:1.092.257, elevación: 1680 m. Longitud del portaminas: 15 cm (Gerdes 2007, figs. 2-4-4: F, G). Véase poligonal, **fig. 1B** en **anexo 1.1**. Fotografía: Diana Montoya.



Figura 23. Capa A. Concentración local —biostroma— de *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) sensu Dietrich, 1938 (Klein 1977, figs. 46 y 47). Coordenadas: N:1.248.534, E:1.092.257, elevación: 1680 m. Longitud del portaminas: 15 cm. Véase poligonal, fig. 1B en anexos 1.1 y 1.3. Fotografía: Diana Montoya.

volcánico (6%); trazas de glauconita y fosfatos; óxidos de hierro (2%); micrita con baja recristalización (83%); esparita dolomitizada (1%) (*Micrita fosilífera-calculutita*). *Hardground* con grietas de contracción rellenas con óxidos de hierro; conchas de *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) sensu Dietrich, 1938, que destacan por su color *medium dark gray* N4; presencia de amonitas de diámetro mayor que 0,1 m. Color *yellowish gray* 5Y 7/2 y *dusky yellow* 5Y 6/4. **Lám. 7/D.** Espesor: 0,6 m.

Capa IV' (IGM36244). Esta capa genera una superficie estructural inclinada al E en dirección a la quebrada Zo. *Hardground* sobre *Thalassinoides* gruesos; fragmentos de equinodermos, amonitas, dientes de rayas y otros restos de vertebrados. Color *yellowish gray* 5Y 7/2 y *dusky yellow* 5Y 6/4. Espesor: 0,4 m.

Entre el techo de la capa V y la base de la capa IV hay niveles menores que 0,1 m de *Thalassinoides* con concentraciones de *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) sensu Dietrich, 1938, intercalados en lodolitas terrígenas abigarradas.

Capa IV. Consiste en dos intervalos de *Thalassinoides* separados por un biostroma de *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) sensu Dietrich, 1938.

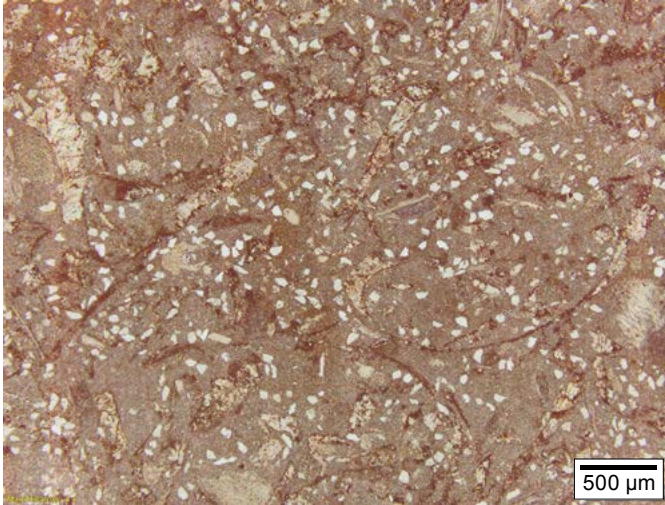
Capa IV (IGM36341 base). *Wackestone* con fragmentos de bivalvos, equinodermos, foraminíferos porcelanáceos y serpúli-

dos, con textura de arena fina hasta guijarro (26%); cuarzo detrítico con textura de limo (6%); cuarzo autógeno (3%) y otros terrígenos (3%); fosfatos (1%); óxidos de hierro (3%); micrita con moderada recristalización (61%); esparita dolomitizada (3%). *Turritella* de espira alta con orientación bidireccional, en ángulo recto; todos los fósiles están manchados por hematites; grietas de contracción rellenas con óxidos de hierro (*Biomicrita-calculutita arenosa*). Color *yellowish gray* 5Y 7/2 y *dusky yellow* 5Y 6/4. **Lám. 7/E.** Espesor: 0,4 m.

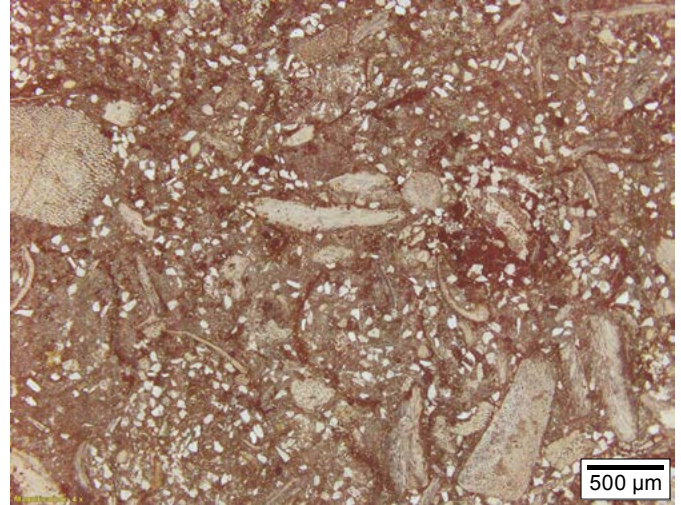
Capa IV, parte media. Biostroma de *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) sensu Dietrich, 1938, pequeños. Color *medium dark gray* N4 a *medium gray* N5 con manchas de color *yellowish gray* 5Y 7/2. Espesor: 0,7 m.

Capa IV (IGM36339 techo). *Wackestone* con bivalvos, equinodermos, foraminíferos porcelanáceos y aglutinantes, ostrácodos, con textura de arena fina a gránulo (10%); cuarzo con textura de limo, alguno de posible origen volcánico (6%); fosfatos (1%); micrita con baja a moderada recristalización (83%) (*Biomicrita-calculutita arenosa*). *Hardground* sobre *Thalassinoides* gruesos con grietas de contracción; presencia de *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) sensu Dietrich, 1938, pequeños; restos de vertebrados marinos. Color *yellowish gray* 5Y 7/2 y *dusky yellow* 5Y 6/4. **Lám. 7/F.** Espesor: 0,3 m. Espesor total de la capa IV: 1,4 m.

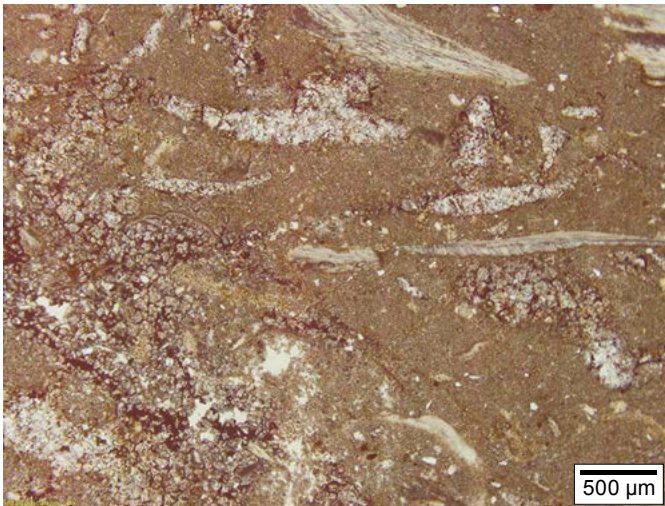
Lámina 7. Miembro El Sapo. Capas D, C, B, V, IV



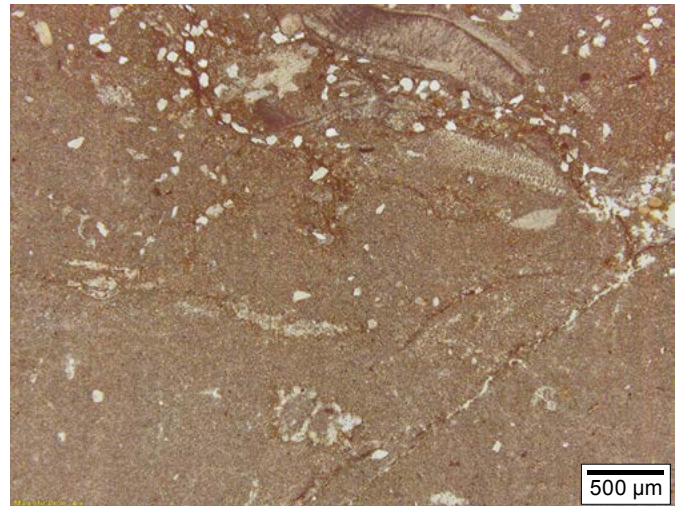
A. Capa D (||) IGM36345
Wackestone (*Biomicrota terrígena*-*Calcilutita arenosa*). Esc. 500 μm



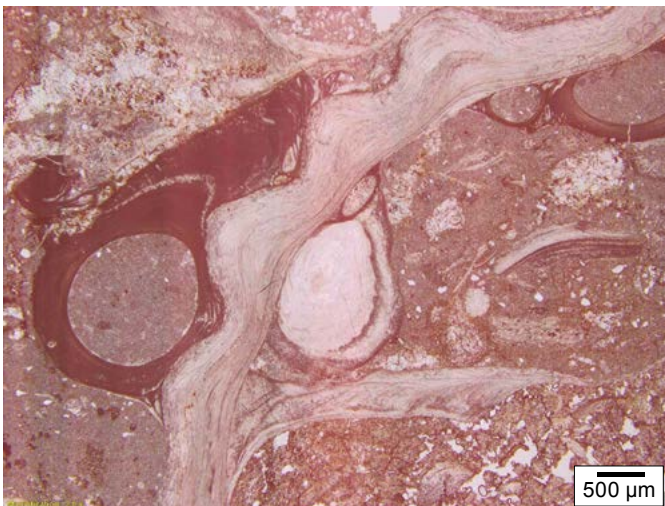
B. Capa C (||) IGM36344
Wackestone (*Biomicrota terrígena*-*Calcirrudita*). Esc. 500 μm



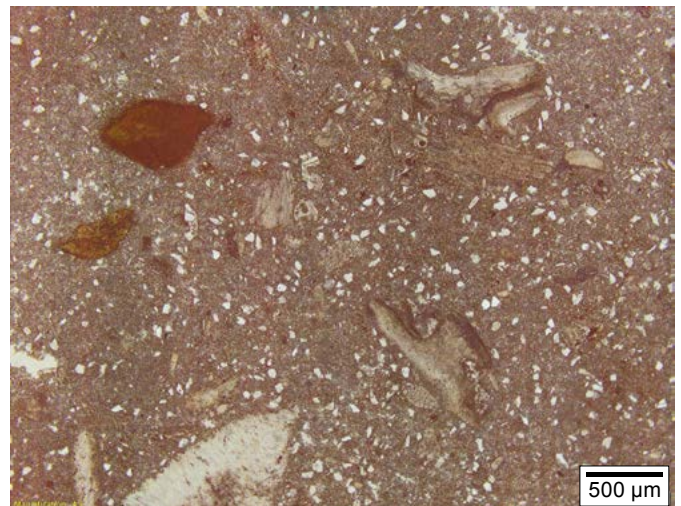
C. Capa B (||) IGM36343
Wackestone (*Dolobiomicrota*-*Calcilutita arenosa*). Esc. 500 μm



D. Capa V (||) IGM36340
Wackestone (*Micrita fosilífera*-*Calcilutita*). Esc. 500 μm



E. Capa IV (base) (||) IGM36341
Wackestone (*Biomicrota*-*Calcilutita arenosa*). Esc. 500 μm



F. Capa IV (techo) (||) IGM36339
Wackestone (*Biomicrota*-*Calcilutita arenosa*). Esc. 500 μm

Miembro Zapatoca

Nuevo nombre aquí propuesto para el intervalo estratigráfico que comienza con lodolitas terrígenas de tintes rojizos, superpuestas al último banco de *Thalassinoides* del techo del miembro infrayacente El Sapo (figs. 24 y 25). El nombre deriva de la población de Zapatoca, que se asienta sobre esta unidad; estas son las coordenadas de la base del miembro Zapatoca: N:1.251.482, E:1.092.406, elevación: 1525 m (figs. 1A y 1B en anexos 1.1 y 1.3).

Este Miembro consiste en dos cuerpos litológicos que interdigitan. El intervalo inferior comprende arcillolitas rojizas y bancos de arenisca lodosa ferruginosa (facies arenoso-arcillosa: capas III'''-III; fig. 26). El intervalo superior comprende *packstone* y *wackestone* del bivalvo *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) *sensu* Dietrich, 1938 (facies calcárea con *Ceratostreon*). Los intervalos superior e inferior se relacionan entre sí por la interdigitación de las areniscas lodosas ferruginosas con los *packstone-wackestone* del bivalvo *Ceratostreon* (capas I y II); por tanto, el límite entre estos intervalos varía lateralmente. El Miembro Zapatoca termina en el último banco de caliza con el bivalvo *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) *sensu* Dietrich, 1938, capa Ω (fig. 27). En dirección sur, es decir, hacia la cabecera municipal de Zapatoca, los cuerpos de caliza alcanzan mayor potencia, como en el caso de la cueva del Nitro.

Sobre el techo del intervalo superior calcáreo reposan *mudstone* calcáreos con materia orgánica, laminados de la Formación La Paja; el contacto disconforme con la Formación La Paja se puede observar en el sitio con coordenadas N:1.244.388, E:1.090.188, elevación: 1747 m. También en el descenso a la mina de yeso El Carrancho: N:1.243.523, E:1.099.110, elevación: 892 m (fig. 28), vertiente E del valle del río Sogamoso. Espesor del miembro Zapatoca: 60 m.

El Miembro Zapatoca corresponde al nivel arenoso más el nivel lumaquético de las divisiones litológicas de campo, así como al nivel de ortocuarzitas y al nivel de biomicritas de las divisiones petrográficas, en la terminología de Zamarreño de Julivert (1963, fig. 2; anexos 1.1, 1.2 y 1.3).

Descripción de las capas de la facies arenoso-arcillosa

Capa III''' (IGM183150), parte media. **Arenisca lodosa ferruginosa** de textura de fina predominante a mediana, ligeramente conglomerática; cuarzo con textura de arena fina a gránulo, subangular a subredondeado (61%); trazas de madera silicificada, lodolitas, cuarcitas y mica muscovita; matriz de arcilla (11%) y cemento de hematites (25%). Color *moderate brown* 5YR 4/4, con manchas *dark reddish brown* 10R 3/4. **Lám. 8/A**. Espesor total de la capa: 7,7 m.

Capa III''' (IGM183149/5), parte superior. **Arenisca lodosa ferruginosa** de textura fina; cuarzos con textura de arena fina subredondeados y equidimensionales (75%); zircón y

turmalina con textura de arena muy fina (1%), mica muscovita (1%); matriz de arcilla (9%) y cemento de hematites (10%). Porosidad por disolución (4%). Color *moderate brown* 5YR 4/4, con manchas *dark reddish brown* 10R 3/4. **Lám. 8/B**.

Capa III''' (IGM183149/4), parte superior. **Arenisca ferruginosa** de textura fina; cuarzo subangular a subredondeado con textura de arena fina (77%), algunos cuarzos de aparente origen volcánico; trazas de turmalina y zircón; mica muscovita (1%); matriz de arcilla (4%) y cemento de hematites (16%). Porosidad por disolución (2%). Color *moderate brown* 5YR 4/4, con manchas *dark reddish brown* 10R 3/4. **Lám. 8/C**.

Capa III'' (IGM183149/1), techo. **Arenisca lodosa ferruginosa** de textura fina; cuarzo subredondeado a redondeado con textura de arena fina (63%), algunos con posible origen volcánico; trazas de limolitas y zircón; mica muscovita dispersa (1%); matriz de arcilla (17%), cemento de hematites (10%) y de esparita (1%). Poros por disolución (8%). Bioperturbación intensa: localmente en las superficies de estratificación destaca el icnofósil *Lockeia* (Hasiotis 2002, 102-103; Seilacher 2007, 23). Color *moderate brown* 5YR 4/4, con manchas *dark reddish brown* 10R 3/4. Esta capa presenta estratificación ondulosa de gran magnitud $\lambda \frac{1}{2}$ 10 m. **Lám. 8/D**. Espesor: 5,2 m.

Capa III' (IGM183148/1), base. **Arenisca lodosa ferruginosa** de textura fina a gruesa, con predominio de textura mediana; cuarzo subangular a subredondeado con textura de limo a arena fina (45%); algunos granos policristalinos y otros con posible origen volcánico; trazas de turmalina y muscovita; matriz de arcilla (25%) y cemento de hematites (18%). Color *grayish orange* 10YR 7/4. **Lám. 8/E**. Espesor total de la capa: 2,1 m.

Capa III' (IGM183147/1), techo. **Arenisca lodosa ferruginosa** de textura fina; cuarzo subangular a subredondeado con textura de arena fina (66%), algunos granos de origen volcánico; trazas de fragmentos arcillosos y turmalina; mica muscovita (1%); matriz de arcilla (12%), cemento de hematites (13%). Altamente bioperturbada (pellets fecales de *Rhizocorallium*, Seilacher 2007, 60) y restos grandes del bivalvo *Trigonia*. Porosidad por disolución (8%). Color *grayish orange* 10YR 7/4. **Lám. 8/F**.

Capa III (IGM183146/4), base. **Arenisca lodosa ferruginosa** de textura fina con trazas de bioclastos; cuarzo con textura de arena fina a gruesa, con predominio de fina; cuarzos subangulares a subredondeados (47%), algunos de origen volcánico y unos pocos policristalinos; trazas de arenisca lodosa de grano muy fino; mica muscovita (1%); matriz de arcilla (12%) y cemento de hematites (31%). Porosidad por disolución (9%). Color *moderate brown* 5YR 4/4, con moteado *dark reddish brown* 10R 3/4. **Lám. 9/A**. Espesor: 4 m.

Capa III (IGM183146/3), un poco arriba de la base. **Arenisca lodosa ferruginosa** de textura fina con restos de equinodermos reemplazados en óxidos de hierro; cuarzo con textu-

SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN ROSA BLANCA MIEMBRO ZAPATOCA

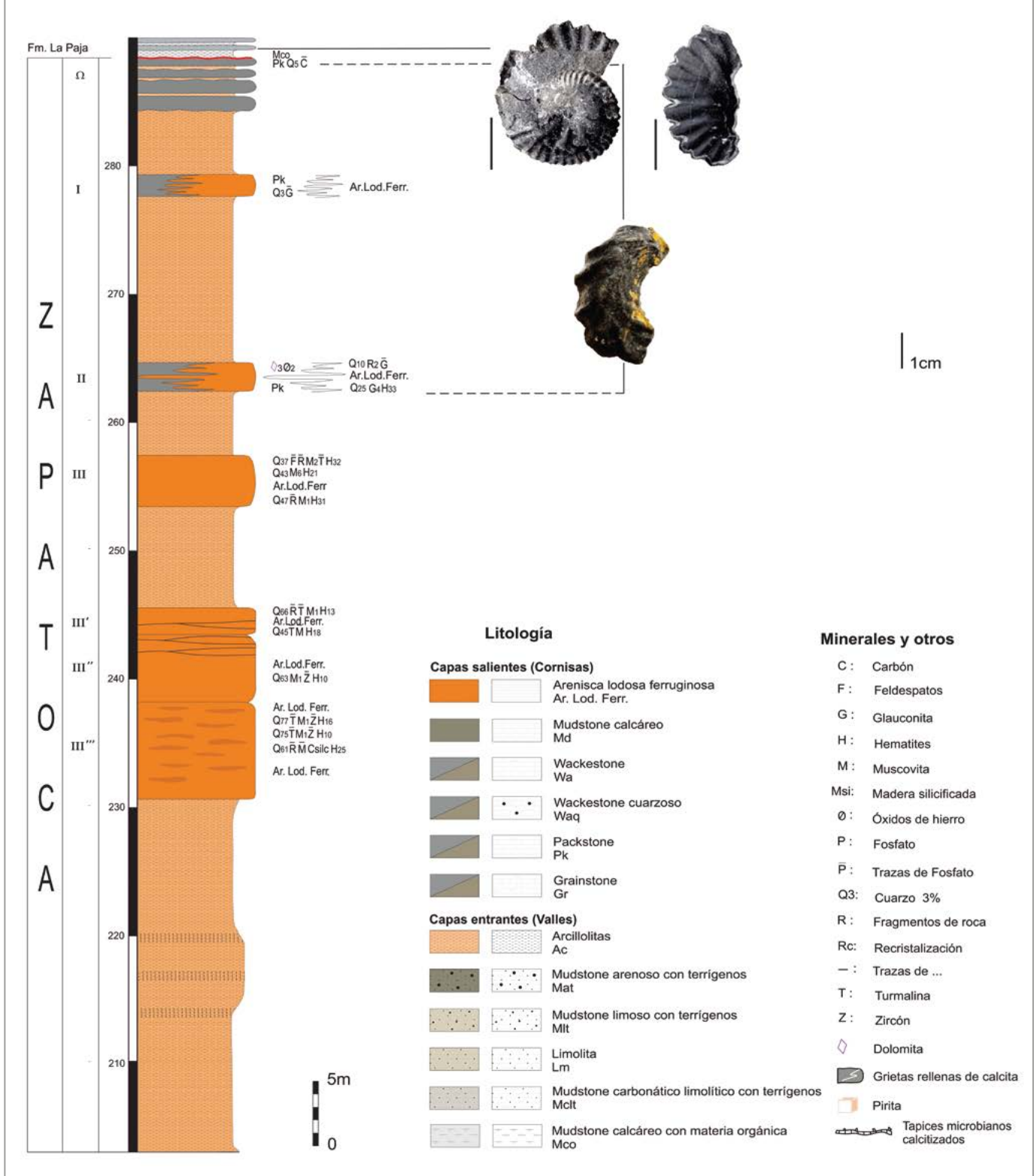
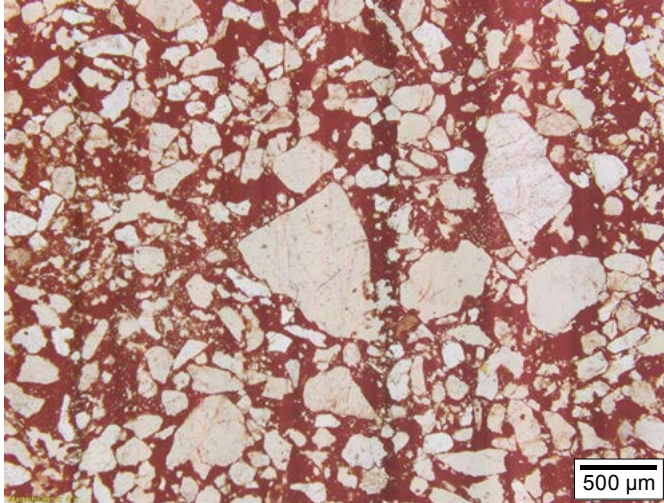
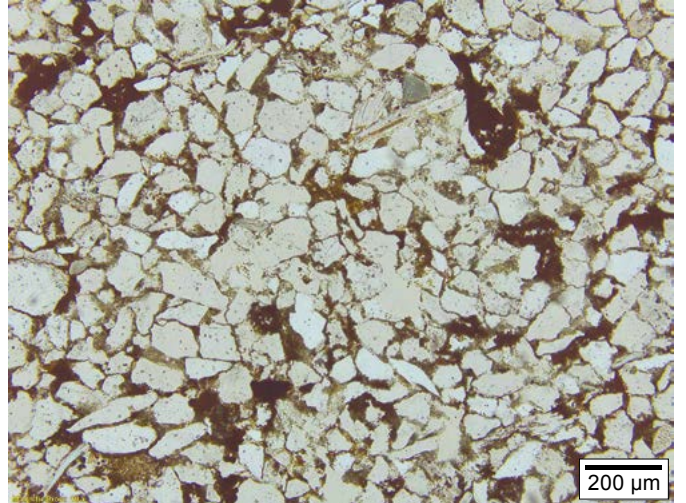


Figura 24. Miembro Zapatoca (anexos 1.1 y 1.3). Ilustración: Marie Jöelle Giraud.

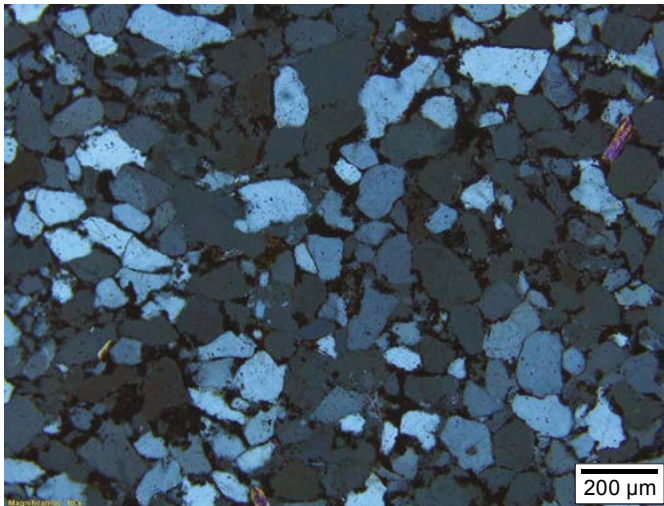
Lámina 8. Miembro Zapatocha. Capas III''', III'', III'



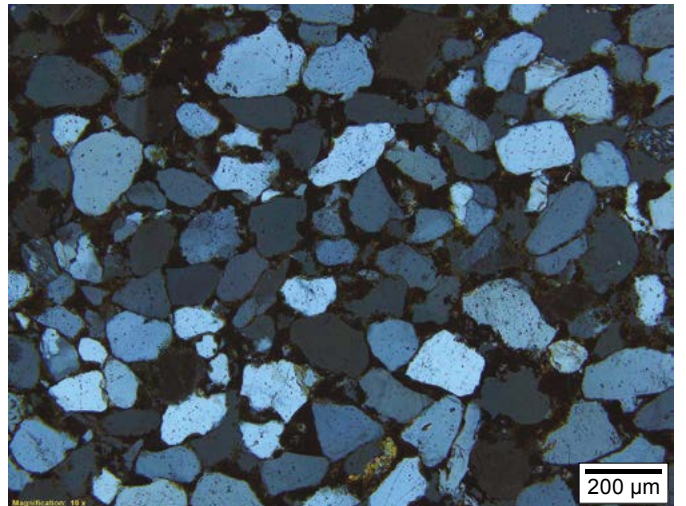
A. Capa III''' (base) (II) IGM183150
Arenisca lodosa. Esc. 500 µm



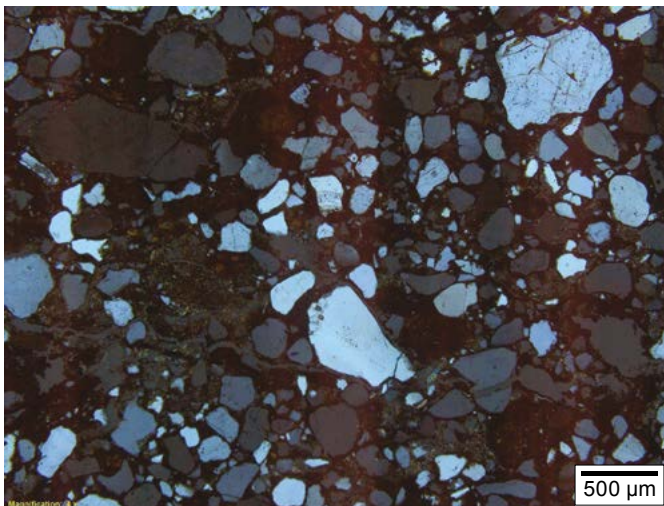
B. Capa III''' (II) IGM183149/5
Arenisca lodosa ferruginosa. Esc. 200 µm



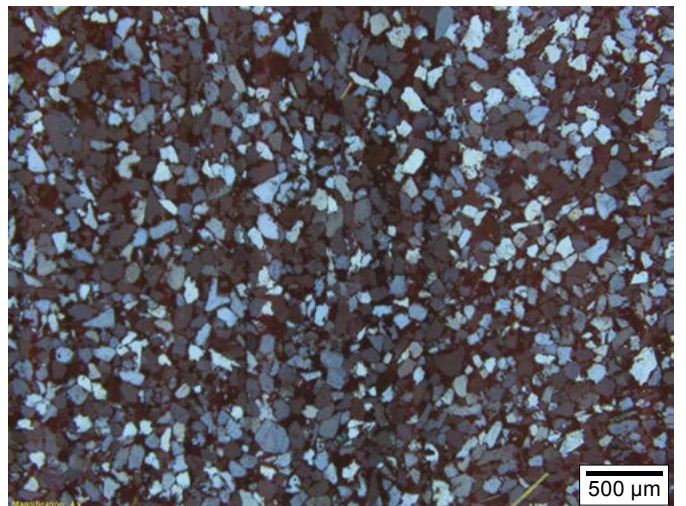
C. Capa III''' (X) IGM183149/4
Arenisca ferruginosa. Esc. 200 µm



D. Capa III'' (X) IGM183149/1
Arenisca lodosa ferruginosa. Esc. 200 µm



E. Capa III' (base) (X) IGM183148/1
Arenisca lodosa ferruginosa. Esc. 500 µm



F. Capa III' (techo) (X) IGM183147/1
Arenisca lodosa ferruginosa. Esc. 500 µm



Figura 25. Techo del Miembro El Sapo: capa IV, donde aparecen los últimos *Thalassinoides* y restos de crustáceos; infrayace a las lodolitas terrígenas con tintes rojizos y amarillentos de la base del miembro Zapatoca. Coordenadas: N:1.251.482, E:1.092.406. Fotografía: Rodrigo Vargas.



Figura 26. Interdigitación entre lodolitas terrígenas rojizas y areniscas lodosas ferruginosas del Miembro Zapatoca que dibujan filos. La palmera frondosa está junto a la casa de la hacienda El Carrizal. Vista desde el antiguo camino a la laguna El Sapo, con dirección al noroeste. Fotografía: Rodrigo Vargas.

ra de arena fina, subangular a subredondeado (38%), algunos granos de posible origen volcánico; líticos arcillosos de color pardo, entre ellos varios con forma nodular y textura de arena fina; mica muscovita con textura de arena fina (1%); matriz de arcilla (11%) y cemento de hematites (33%). Porosidad por disolución (12%). Color *moderate brown* 5YR 4/4, con moteado *dark reddish brown* 10R 3/4. **Lám. 9/B.**

Capa III (IGM183146/2), base parte media. **Arenisca lodosa ferruginosa** de textura fina; cuarzo con textura de arena

fina subangular a limo (43%); mica muscovita orientada paralela a S_0 (6%); matriz de arcilla (22%) y cemento de hematites (21%). Porosidad por disolución (7%); microlaminación interrumpida por raíces. Color *moderate brown* 5YR 4/4, con moteado *dark reddish brown* 10R 3/4. **Lám. 9/C.**

Capa III (IGM183146/1 y IGM36338), techo. **Arenisca lodosa ferruginosa** de textura fina; cuarzo con textura de arena fina, subredondeado (37%), alguno de origen volcánico; trazas de cuarzoarenita; muscovita en hojas finas (2%); matriz

de arcilla (12%) y cemento de hematites (32%). Porosidad móldica (17%). IGM36338. Bioclastos de equinodermos; cuarzo con textura de arena fina a gruesa, subangular a subredondeado (57%), los de mayor tamaño son de origen volcánico; trazas de feldespatos, arcillolitas, turmalina y mica muscovita; matriz de arcilla (6%) y cemento de hematites (33%). Porosidad por disolución (4%). Color *moderate brown* 5YR 4/4, con moteado *dark reddish brown* 10R 3/4. **Lám. 9/D.**

Descripción de las capas de la facies calcárea con *Ceratostreon*

Capa II (IGM183144/2). **Arenisca lodosa ferruginosa** con textura de arena fina; restos de equinodermos reemplazados en hematites. Cuarzo, algunos de origen volcánico y otros mono o policristalinos, subangulares a subredondeados, con textura de arena mediana a limo (25%); fragmentos arcillosos de forma nodular (7%) y glauconita (4%); matriz de arcilla (15%) y cemento de hematites (33%). Porosidad por disolución (16%). Color *dark yellowish orange* 10YR 6/6 a *moderate yellowish brown* 10YR 5/4; donde hay hematización, el color es *grayish red* 10R 4/2. **Lám. 9/E.**

Capa II (IGM183145/2 y IGM36337). **Packstone** de fragmentos de bivalvos, equinodermos, briozoarios con textura de arena fina a guijarro (33%); intraclastos de micritas y biomicritas (11%); cuarzo subangular con textura de arena gruesa a gránulo, algunos granos de posible origen volcánico (10%); líticos arcillosos de textura fina (2%); trazas de glauconita; óxidos de hierro (2%); micrita (31%); esparita dolomítica (3%); porosidad por disolución (2%) (*Biointramicrita terrigena-calcirrudita fina*). Color *medium gray* N5 y altera a *moderate yellowish brown* 10YR 5/4. **Lám. 9/F.** Espesor: 2,2 m.

Capa I (IGM183143/2 y IGM36336), parte media y techo. **Packstone** de fragmentos de bivalvos, equinodermos, briozoarios y foraminíferos aglutinantes, con textura de arena fina a gruesa (32%); intraclastos de biomicritas, micritas y bioesparitas, con textura de arena fina a gránulo (21%); cuarzo con textura de arena mediana a limo subangular a subredondeado (3%); trazas de glauconita; estilolitos con relleno de óxidos (7%); micrita (37%) (*Biointramicrita-calcirrudita mediana*). Color *moderate yellowish brown* 10YR 5/4; el color del *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) *sensu* Dietrich, 1938, es *medium dark gray* N4 a *medium gray* N5. **Lám. 10/A.** Espesor: 1,7 m.

Capa Ω (RT5589), techo. **Packstone** de bivalvos con concentraciones locales de *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) *sensu* Dietrich, 1938; restos de briozoarios y de equinodermos con textura de arena gruesa (35%); intraclastos de micritas y biomicritas (5%); cuarzo con textura de limo grueso a arena muy fina (5%); estilolitos con relleno de óxidos (2%); trazas de materia carbonosa; matriz de micrita (45%) con incipiente neomorfismo (*Biomicrita-calcirrudita*). Dos estratos de caliza, de 4,2 m, afloran de modo neto en el

extremo suroccidental del Llano de Gallos (coordenadas: N:1.248.500, E:1.091.210); la descripción petrográfica corresponde al estrato cuspidal. Color *dusky yellow gray* 5Y 6/4, *yellowish gray* 5Y 7/2 (**fig. 27**). **Lám. 10/B.** Espesor: 4,2 m.

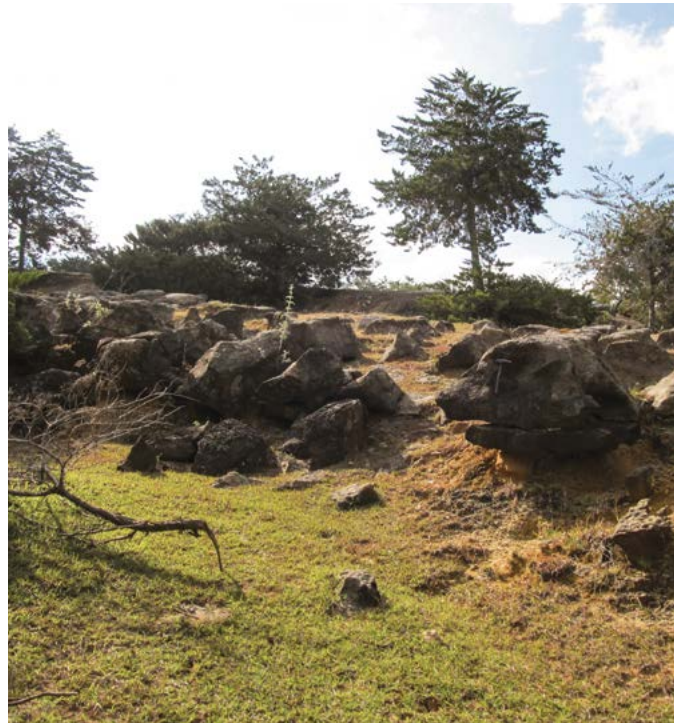
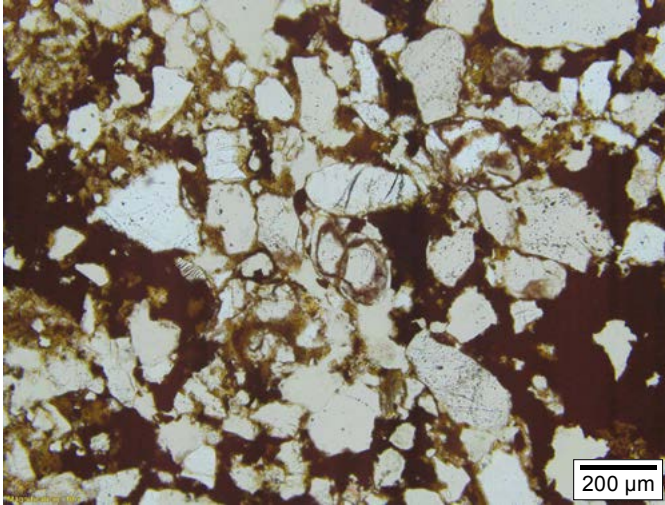


Figura 27. Techo del Miembro Zapatoaca: capa Ω (Llano de Gallos). **Packstone** con *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) *sensu* Dietrich, 1938. Fotografía: Adrián Pérez.

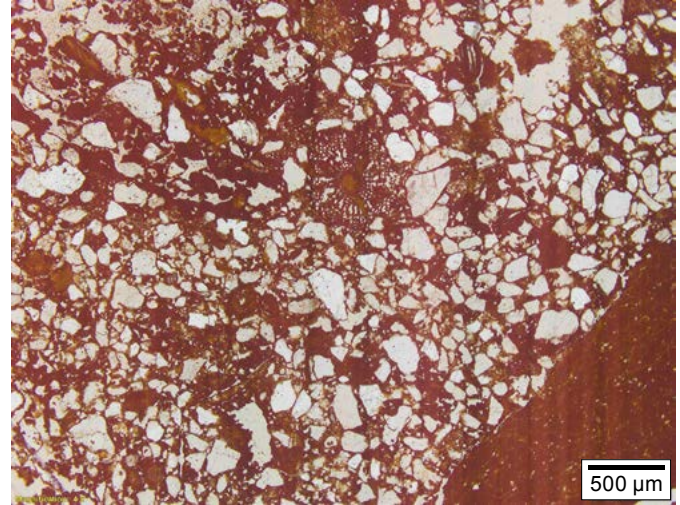


Figura 28. Contacto entre la Formación Rosa Blanca —piso— y la Formación La Paja —pared—. Coordenadas: N:1.243.523, E:1.099.110, elevación: 892 m. Fotografía: Diana Montoya.

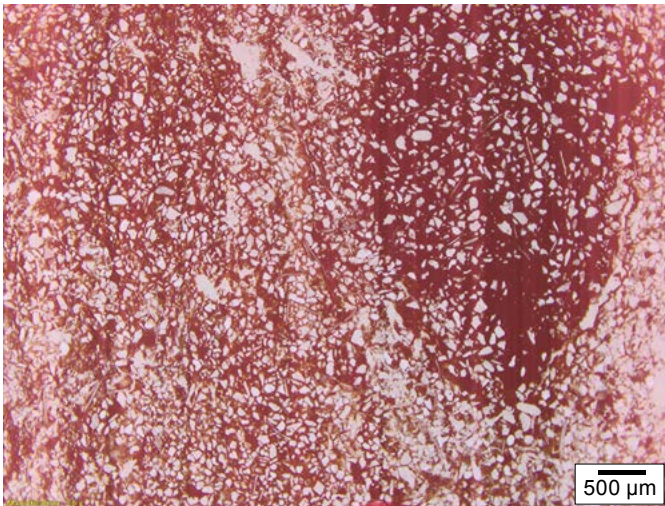
Lámina 9. Miembro Zapatoaca. Capas III, II



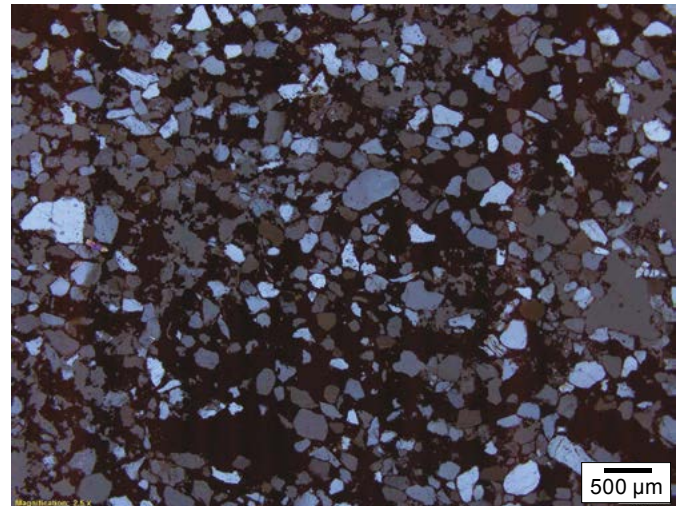
A. Capa III (base) (||) IGM183146/4
Arenisca lodosa ferruginosa. Esc. 200 μm



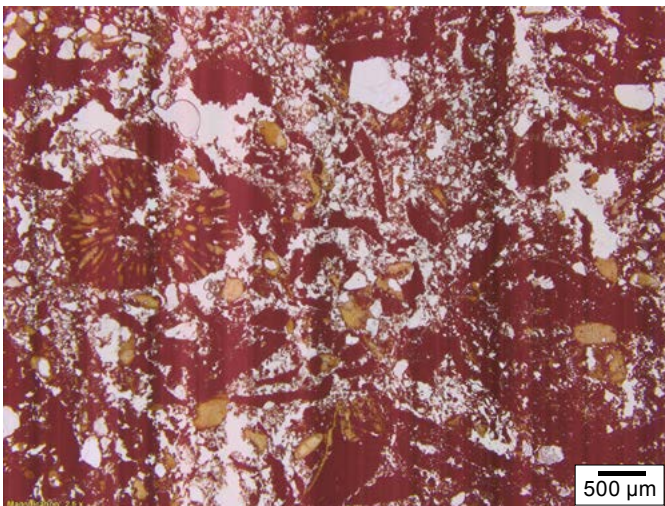
B. Capa III (base) (||) IGM183146/3
Arenisca lodosa ferruginosa. Esc. 500 μm



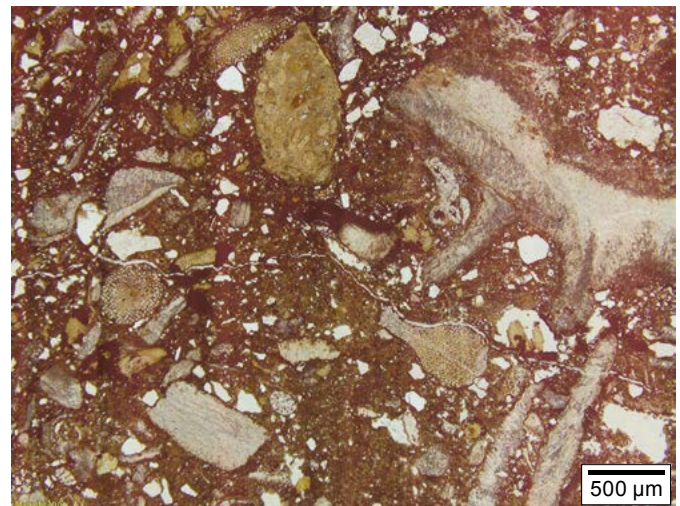
C. Capa III (base parte media) (||) IGM183146/2
Arenisca lodosa ferruginosa. Esc. 500 μm



D. Capa III (techo) (X) IGM36338
Arenisca lodosa ferruginosa. Esc. 500 μm

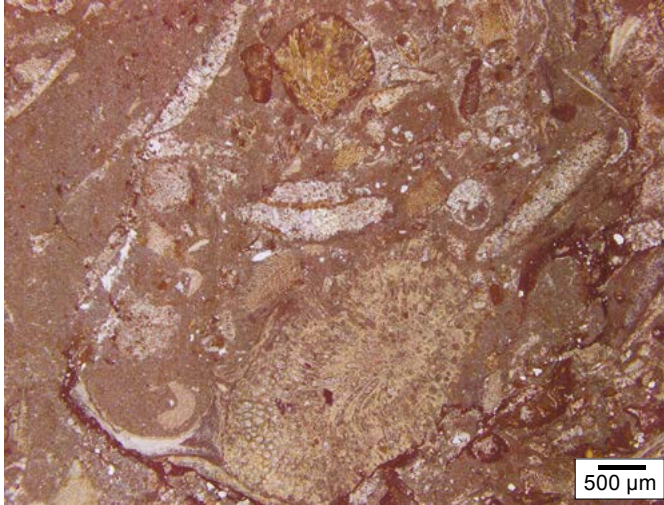


E. Capa II (facies arenosa) (||) IGM183144/2
Arenisca lodosa ferruginosa. Esc. 500 μm

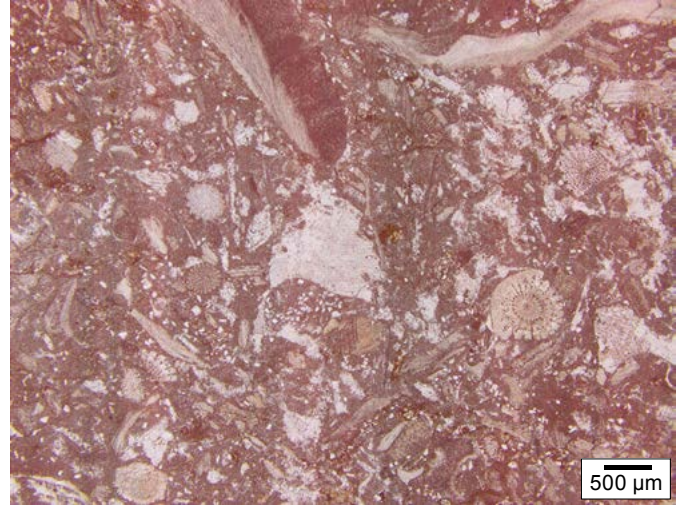


F. Capa II (facies calcárea) (||) IGM36337
Packstone (Biointramicrita terrígena-Calcirrudita fina). Esc. 500 μm

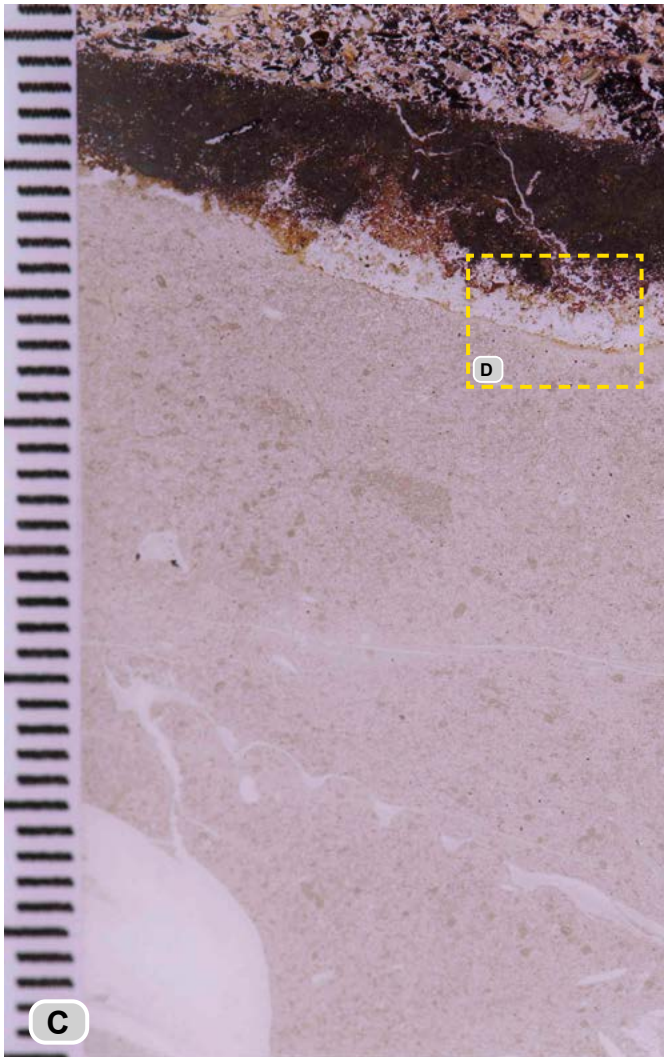
Lámina 10. Miembro Zapato. Capas I y Ω



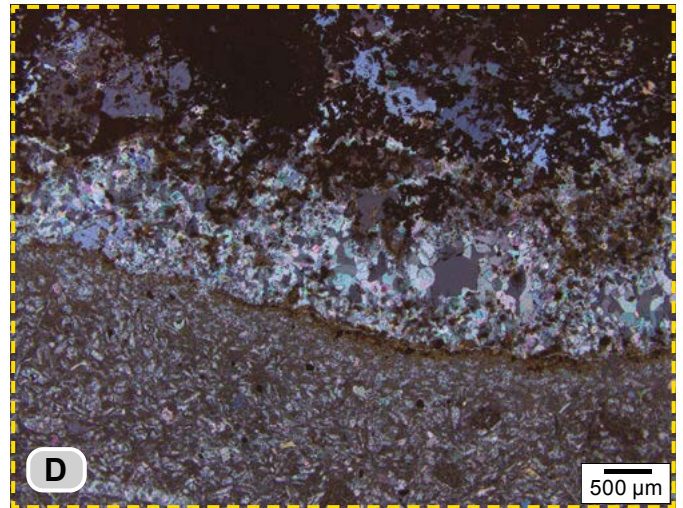
A. Capa I (techo) (||) IGM183143/2
Packstone (*Biointramicrita*-*Calcirrudita mediana*). Esc. 500 μ m



B. Capa Ω (||) RT5589
Packstone con restos de equinodermos. Esc. 500 μ m



C



DMA5829. Paleosuelo en el techo de la Formación Rosa Blanca (X). Esc. 500 μ m



E

Lámina 10. C) Sobrefaz de exposición (*exposure surface*) del techo de la Formación Rosa Blanca. Nótese el desarrollo de la costra de *goethita*? y el blanqueado de la capa calcárea. Compárese con Immenhauser et al. (2000, fig. 3a). Figura escaneada de sección delgada; la escala gráfica está dividida en intervalos de 0,5 mm. La misma localidad que en la **figura 28. D)** Detalle del punto del contacto marcado con la letra D en la **figura C. E)** Detalle de la parte superior de la caliza cuspidal de la Formación Rosa Blanca (Harrison 1977, pl. 5, figs. 3 y 4).

BIOESTRATIGRAFÍA Y CRONOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN ROSA BLANCA

Para situar la Formación Rosa Blanca en el panorama cronoes-tratigráfico internacional es preciso apelar tanto a su contenido paleontológico (**lám. 11**) como a sus interrelaciones faciales. La Formación Rosa Blanca se encuadra entre la Formación Cumbre infrayacente y la Formación La Paja suprayacente.

El Miembro Lagunetas, que es el miembro inferior, no ha suministrado fósiles con valor biocronológico; por estar comprendido entre el Miembro Carrizal suprayacente y la Formación Cumbre infrayacente, es posible aplicarle un método de fechado indirecto: el principio de Walther. La Formación Cumbre, con fósiles de aguas intermareales a lagunares (Etayo-Serna 1989; Gaona 2001; Etayo-Serna et al. 2003), pasa de modo transicional ascendente al Miembro Lagunetas evaporítico hacia el oriente en su parte inferior. La Formación Los Santos, subyacente a la Formación Cumbre, representaría parte del piso Berriasiano, tal como lo sugirió Cediel (1968, 60; 1969, 136) y lo sustentaron Etayo-Serna y Rodríguez (1985); esta condición permite referir el Miembro Lagunetas al Berriasiano.

La base del Miembro Carrizal es una oosparenita y representa un cordón litoral que transgrede y descansa de manera disconforme sobre las capas cuspidales del Miembro Lagunetas. El segmento estratigráfico del Miembro Carrizal comprendido entre la oosparenita y la capa Q (**fig. 7**), representaría el Valanginiano inferior por la presencia en la capa Z' de *Thurmanniceras pertransiens* (SAYN, 1907, cit. en Huber y Wiedmann 1986, pl. 1, figs. 2 y 3), de acuerdo con la zonificación estándar mediante amonitas de la provincia Mediterránea Occidental (Reboulet et al. 2014, tab. 1a). El segmento que abarca desde la capa Q hasta la base de la capa P equivale a la base del Valangiano superior por la presencia de *Saynoceras verrucosum* (ORBIGNY, 1841) en el tramo Q₀-Q' (Thieuloy 1973, 927; Etayo-Serna 1993; Reboulet et al. 2014, tab. 5).

En el intervalo estratigráfico que abarca desde el primer hallazgo de *Saynoceras verrucosum* hasta el contacto disconforme con la capa P del Miembro Zo debería reflejarse, si la hubiere, la influencia del *Weissert oceanic anoxic event* (Erba, Bartolini y Larson 2004; Gréselle et al. 2011; Bedoya y Ortiz 2013).

La base de la capa P dibuja una cicatriz de erosión (**fig. 18B**) que sugiere: **1**) Actividad tectónica con movimientos verticales. **2**) Descenso del nivel del mar. **3**) Erosión. **4**) Ascenso del nivel del mar. Lo atestigua el rededósito en el Miembro Zo de fósiles derivados de las capas del Miembro Carrizal infrayacente (Guzmán-Ospitia 1985, fig. 9).

En el Miembro Zo, que se superpone al Miembro Carrizal, desde la base de la capa P hasta el techo de la capa L no hubo hallazgos de amonitas autóctonas, aunque es el tramo en el que más abunda la *Chofatella sogamosae* (KARSTEN, 1858),

que también se presenta en capas del Miembro Carrizal. Por las relaciones faciales con la sucesión estratigráfica suprayacente —principio de Walther—, las capas del Miembro Zo representarían parte del Hauteriviano inferior.

En el Miembro El Sapo se encontraron amonitas a partir de la capa B: *Shasticrioceras anglicum* (DOYLE, 1963), juntamente con *Bochianites kiliani* (TURNER, 1962), *Oosterella colombiana* (HAAS, 1960) y *Olcostephanus boussingaultii* (ORBIGNY, 1842), que permiten asignar estas capas al Hauteriviano inferior (Turner 1962, 246; Doyle 1963, 576).

El miembro Zapatoca es el miembro superior de la Formación Rosa Blanca, y su techo está representado por un banco de caliza *wackestone* o *packstone* con *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) *sensu* Dietrich, 1938 (**figs. 27 y 28**). En el techo de dicho banco aparece un paleosuelo o una superficie de carstificación (**fig. 3B y 28; lám. 10/C, D y E**), y sobre estos, y en contacto neto paraconforme reposan las capas basales de la Formación La Paja. Las primeras amonitas encontradas a menos de un metro de la base de la Formación La Paja corresponden a *Nicklesia pulchella* (ORBIGNY, 1841), que en orden ascendente da nombre a la tercera Zona del Barremiano inferior de la zonificación estándar, marcándose así un hiato estratigráfico (Reboulet et al. 2014, tab. 1b). Bürgl ya había llamado la atención a esta situación (1954, pl. 4; 1956, 33; 1957, 122).

Aquellas calizas *wackestone*, que en algunos sitios del Valle Medio del Magdalena contienen amonitas del Barremiano y que han sido referidas a la Formación Rosa Blanca (Etayo-Serna 1989; Gaona, Maurrasse y Etayo-Serna 2013) no hacen parte de ella, porque corresponden a un nuevo episodio de depósito y representan cambios faciales laterales de la Formación La Paja (León Ariza 2002; Etayo-Serna 2011).

La primera mención de la región de Zapatoca como lugar de procedencia de fósiles cretácicos se debe a Orbigny (1842a y 1842b) y se trata de equinoideos; viene luego la información de Karsten (1858, 113-114), quien menciona *Terebratulina Haueri sp. nov.* *Planulina Zapatocensis sp. nov.* *Robulina Sogamosae sp. nov.* Karsten refirió estos fósiles al *Galt (sic)*, o simplemente al *Crétacé superieur* (1886, 26; Dietrich 1938, 107). Todas las muestras referidas procedían de rocas hoy en día consideradas de la Formación Rosa Blanca. Debe recalarse que ni en Zapatoca o sus alrededores afloran capas del Cretácico superior.

Dietrich (1935, 74) estudió muestras con amonitas de la colección Karsten, procedentes de Zapatoca, y puntualizó que el alcance estratigráfico de las mismas abarcaba desde el Valangiano superior hasta el Hauteriviano medio, en el sentido que en su época se tenía de estos pisos; además, advirtió que faltaban pruebas para reconocer el Valanginiano inferior (*Für Untervalendis fehlen Belege*), que correspondía entonces a lo que hoy en día se acepta como Berriasiano (Hoe-demaeker 1995).

Lámina 11. Fósiles representativos de la Formación Rosa Blanca

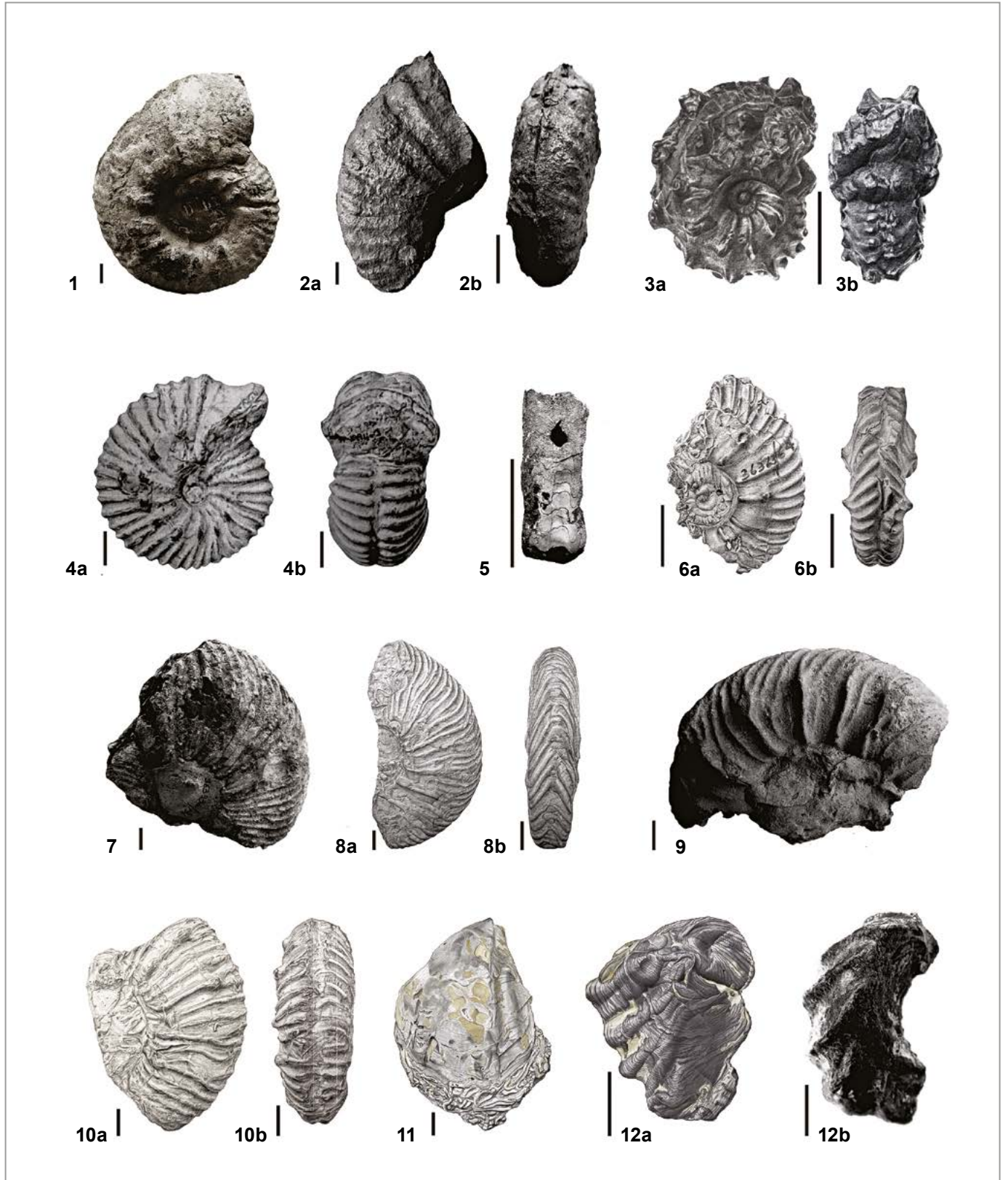


Lámina 11. 1) *Olcostephanus boussingaultii* (ORBIGNY, 1842). 2) *Oosterella colombiana* (HAAS, 1960). 3) *Saynoceras verrucosum* (ORBIGNY, 1841). 4) *Santafecites santafecinus* (ORBIGNY, 1842). 5) *Bochianites kiliani* (TURNER, 1962). 6) *Acantholissonia colombiana* (LEANZA, 1972). 7) *Lissonia riveroi* (LISSON, 1907). 8) *Pseudofavrella colombiana* (HAAS, 1960). 9) *Raimondiceras pflueckeri* (LISSON, 1904). 10) *Kilianella lucensis* (SAYN, 1907). 11) *Aetostreon couloni* (DEFRANCE, 1821). 12a) *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842). 12b) *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) *sensu* Dietrich, 1938. La barra negra que acompaña a cada una de las figuras representa 1 cm.

En junio de 1944 el Instituto Colombiano de Petróleos publicó un cuadro de correlación estratigráfica del Valle Medio del Magdalena compilado por W. C. Hatfield, y en él la Formación Rosa Blanca —según la Tropical Oil Company (Troco)— se asigna al intervalo *Berriasiense-Auterviense (sic)*, datación que concuerda con la lograda en el presente estudio.

En muestras recogidas por H. Bürgl en la Mesa de los Santos, descenso a mina de yeso, en la vertiente E del río Sogamoso, enfrente de la región de Zapatoca, *in a white to yellowish soft marl* de la Formación Rosa Blanca, Petters (1954, 130) identifica el foraminífero *Chofatella Sogamosae* (KARSTEN, 1958); dicha muestra también contenía la amonita *Lissonia*, que, según Bürgl (Petters 1954, 130), representaba el Hauteriviano. Hoy en día sabemos que *Lissonia* es un género de amonitas del Valanginiano inferior de Colombia (Etayo-Serna 1985), posición que se confirma en el presente estudio.

Axel A. Olsson (1956, 310) hace referencia a *The Rosa Blanca formation* aguas arriba del puente Tablazo —hoy en día levantado aproximadamente 100 m sobre el nivel del agua—, y agrega: *It is also finely developed at Zapatoca where it is richly fossiliferous; its fauna is made up of large mollusks, echinoids, and the ammonite Astieria boussingaultii. The Rosa Blanca is the general zone of Exogyra boussingaulti, which is largely restricted to this formation in Colombia.* Olsson situó la Formación Rosa Blanca dentro del armazón estratigráfico de su tiempo en el intervalo Valanginiano —en parte— hasta la base del Barremiano (Olsson 1956, 307, fig. 1).

Dos años después del trabajo de Olsson se publicó la estandarización de la nomenclatura estratigráfica para las rocas sedimentarias del Valle Medio del Magdalena, en el simposio *Habitat of Oil*. Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958, 647, fig. 5) interpretan la Formación Rosa Blanca como un cuerpo de roca diacrónico que abarcaría desde la base de Hauteriviano, al sur, hasta el Barremiano, al norte: *The age of the formation ranges from mostly Hauterivian in the south to Barremian in the north.* Sin embargo, la información bioestratigráfica para tales afirmaciones fue inadecuada, y las correlaciones litológicas, inapropiadas (León Ariza 2002). Hubach (1957, 143) anota: “La formación [...] sería el piso (*stage*) inferior del Grupo de Villeta”.

Marco tectónico regional

Como resultado del episodio antecretácico de resquebrajamiento del territorio de Colombia (Cáceres, Cediel y Etayo-Serna 2005), en la depresión que hoy ocupa el Valle Medio del Magdalena (VMM) se produjo la acumulación de los sedimentos del Grupo Girón (Cediel 1968, 1969, 2001). Poco después en el transcurso del Berriasiense y del Valanginiano comenzó el proceso de agrietamiento de la gran masa terrestre a partir de la cual se formaron las placas continentales de África y Suramérica, se inició su apartamiento, y como consecuencia la margen noroccidental de Suramérica basculó hacia el occidente, lo cual facilitó el ingreso de un mar de poca profundi-

dad transversal al territorio de Colombia (Wiedmann 1988), que se bifurcó alrededor del paleoalto conocido como Macizo de Santander, con lo que se delinearón los paleogolfos de Nunchía, al noreste, y Valle Medio del Magdalena, al oeste, también nombrados *Cocuy Basin* y *Tablazo Magdalena Basin* (Etayo-Serna, Renzoni y Barrero 1976; Geyer 1979; Fabre 1987; Etayo-Serna 1989; Cooper et al. 1995; Sarmiento Rojas 2001; Rolón 2004; Cáceres, Cediel y Etayo-Serna 2005).

En el brazo de mar Noroccidental (VMM) aquí estudiado se produjo el depósito de sedimentos cuyas facies reflejan ambientes de fondo contiguos en sentido oriente-occidente, que abarcan desde la llanura supramareal evaporítica *sabkha*, la laguna salina, las barras litorales y los fondos costafuera próximos, similares a los desarrollados en fondos de depósito modernos tipo rampa (Ahr 1973, 1998; Walkden y Williams 1998; Burchette y Wright 1992, fig. 3). El registro geológico descrito está materializado en la Formación Cumbre y los Miembros Lagunetas y Carrizal de la Formación Rosa Blanca.

Un rápido y breve ascenso global del nivel del mar en los inicios del Valanginiano tardío queda registrado con la presencia del fósil índice de la Zona de *Saynoceras verrucosum*, es decir, la primera Zona del Valanginiano superior de la región del Mediterráneo.

Durante el resto del Valanginiano, a causa de movimientos verticales de bloques del basamento (Julivert y Téllez 1963), al parecer contemporáneos con caída del nivel del mar, no hubo más depósitos del Valanginiano, o los que pudo haber fueron erosionados. Un ascenso del nivel del mar, o la subsidencia de los bloques del basamento, permitió el desarrollo de una costa tipo islas barrera (Schwartz 1971) y los correspondientes depósitos de fondos someros de los Miembros Zo y El Sapo, en su orden, a comienzos del Hauteriviano. Sobre el Miembro El Sapo se acumularon progresivamente los depósitos deltaicos del Miembro Zapatoca —facies NE—, provenientes de un sistema fluvial que corrió del E al SW, lo que dio como resultado un proceso de regresión forzada a mediados o finales del Hauteriviano. Tiempo después, en los comienzos del Barremiano, un renovado ascenso del nivel del mar con carácter global, Zona de *Nicklesia pulchella*, generó depósitos de fondos someros dominados por tapices de algas y bacterias (Etayo-Serna 1993; Montoya 2019).

Facies, ámbitos de depósito y paleoclimas

En las postrimerías del Jurásico y comienzos del Cretácico feneció el sistema fluvial que depositó las arenas de la Formación los Santos (Cediel 1968, 1969, 2001; Rolón 2004); a continuación ingresó una lámina de agua de mar que en su avance fue generando una superficie de abarrancamiento (*ravinement*) e indujo las condiciones de depósito de los sedimentos marinos marginales de la Formación Cumbre, los cuales reflejan al menos de modo local hipersalinidad del agua expresada en la presencia de minerales autigénicos tales como cuarzo, albita, dolomita y yesos (figura 3A; Zamarreño 1963, 13).

A grandes rasgos, la morfología del medio de depósito del Miembro Lagunetas fue la de una laguna litoral comunicada con el mar —albufera: *lagoon*— con poco declive y extendida hasta la planicie supramareal que formaba parte del pie de monte occidental del Macizo de Santander durante todo el Cretácico temprano. Esta situación es comparable a la que se observa en el sector sureste del golfo Pérsico (golfo Árabe), tal como lo muestran, entre otros, Evans et al. (1969, fig. 1), Walkden y Williams (1998, fig. 1) y Perthuisot (1979, fig. 3). La sedimentación se presentó en condiciones de clima árido y cálido (Tennant et al. 2016, fig. 1B).

El Miembro Carrizal comienza con un banco (± 2 m) de graptolite de ooides que interpretamos como un cordón litoral (*barrier beach*) (Fischer 1961; Schwarz 1971), que separó a la laguna en que se generó el miembro Lagunetas, de la región somera, costa fuera en cuyo fondo se acumularon los materiales del Miembro Carrizal al W. La alternancia de *hardgrounds* y limolitas arcillosas características de este miembro significa que repitieron unas mismas condiciones sedimentológicas y medioambientales, aunque difieran en el ritmo de sucesión; algunos *hardgrounds* registran más tiempo de formación, por presentar un apilamiento apretado de *Thalassinoides* (Fürsich 1973).

En cuanto a la interpretación de la profundidad a la que se generaron los *hardgrounds* del Miembro Carrizal, por comparación con regiones marinas costaneras actuales, como las analizadas por Burchette y Wright (1992, fig. 15), concordamos con Immenhauser y Scott (2004) en asignar profundidades menores de 10 m para estos depósitos. La abundancia de conchas de equinodermos irregulares en determinados intervalos de *hardground* (Cruz Guevara et al. 2001) sugieren mortalidades catastróficas atribuibles al calentamiento de la masa de agua marina por encima de las temperaturas tolerables por los erizos, como ha sucedido en sectores lagunares de islas del mar Caribe, o quizá a causa de infestaciones periódicas (Greenstein 1989).

De manera intermitente, aunque no periódica, repiten capas con rasgos característicos de exposición subaérea de los fondos marinos someros que favorecieron el desarrollo de fenómenos cársticos comparables con los que se presentan en la actualidad en la costa caribe de Honduras Británica, como es el caso de 1) la capa V —uve— (Purdy 1974, fig. 2, 837), 2) costras calcáreas laminadas, como los caliches de la capa V?, similares a los de los cayos de la Florida (Multer y Hoffmeister 1968), 3) nodularización de capas calcáreas en la capa U similares a lo que sucedió en capas del Purbeckiano de Suiza (Mojon y Strasser 1987, fig. 6), y paleoesplotemas en la capa V (Assereto y Folk 1980). Estos fenómenos pudieron haber sucedido durante el tiempo de acumulación del Miembro Zo.

El Miembro Zo se distingue por sus calizas *wackestone* y *packstone* con cuarzos con textura de arena en proporciones variables, y además en láminas con inclinaciones variables;

las calizas, interpuestas con *mudstone* arcillosos recuerdan los sectores marginales de arenas de cuarzo que bordean algunas costas; la abundancia de foraminíferos aglutinantes sugiere su concentración por acción de las corrientes (Purdy 1974, fig. 5).

El Miembro El Sapo, por el contrario, repite más o menos una historia similar a la del Miembro Carrizal, condición ya reconocida por Zamarreño (1963). Sin embargo, como lo ha mostrado Guzmán-Ospitia (1985) mediante el análisis de la distribución vertical de los bivalvos grifeidos *Ceratostreon* y *Aetostreon*, este último no reaparece en el miembro El Sapo, quizá debido al aumento progresivo de arena de cuarzo, cuyo máximo se alcanza en el miembro Zapatoca, cuando se percibe la entrada de descargas torrenciales desde el NE (Rolón 2004, fig. 24), al estilo de lo que sucede en las cabecezas del golfo Árabe con los ríos Tigris y Éufrates (Kendall y Schlager 1981, fig. 7). El *Faraoni Event* (Baudin 2005) no estaría registrado en la Formación Rosa Blanca.

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.
- Ahr, Wayne M. 1998. "Carbonate ramps, 1973-1996: A historical review". En *Carbonate ramps*, editado por V. Paul Wright y Trevor. P. Burchette, 7-14. Special Publications 149. London: Geological Society.
- Aitken, James D. 1967. "Classification and environmental significance of cryptalgal limestones and dolomites, with illustrations from the Cambrian and Ordovician of southwestern Alberta". *Journal of Sedimentary Research* 37 (4): 1163-1178. <https://doi.org/10.1306/74D7185C-2B21-11D7-8648000102C1865D>.
- Alfonso Pava, Carlos Arturo. 1984. "Petrografía y génesis de los yesos asociados a la Formación Rosablanca, en el área de la Mesa de Los Santos (Santander)". Trabajo de grado. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Alfonso Pava, Carlos Arturo. 1985. "Los episodios evaporíticos de la Formación Rosablanca". En *Proyecto Cretácico, Contribuciones*, editado por Fernando Etayo-Serna y Fabio Laverde. Publicaciones Geológicas Especiales 16. Bogotá: Ingeominas.
- Alsharhan, A. S. y Christopher G. St. C. Kendall. 2003. "Holocene coastal carbonates and evaporites of the Southern Arabian Gulf and their ancient analogues". *Earth-Science Reviews* 61 (3-4): 191-243. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(02\)00110-1](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(02)00110-1).
- ANH. 2007. "Middle Magdalena Valley Basin". En *Colombia Oil and Gas*. Bogotá: Agencia Nacional de Hidrocarburos.
- Assereto, Riccardo y Robert L. Folk. 1980. "Diagenetic fabrics of aragonite, calcite and dolomite in an ancient peritidal-spelean environment: Triassic Calcareo Rosso, Lombardia, Italy". *Journal of Sedimentary Research* 50 (2): 371-394. <https://doi.org/10.1306/212F7A0E-2B24-11D7-8648000102C1865D>.

- Barrera Cabrera, Herminio, Pedro Gómez Valderrama y Humberto Gómez Castillo. 1985. *Zapatoca: una imagen de la provincia colombiana*. Bogotá: Litocamargo Ltda.
- Barrero, Darío, Andrés Pardo, Carlos A. Vargas y Juan F. Martínez. 2007. *Colombian sedimentary basins: Nomenclature, boundaries and petroleum geology, a new proposal*. Bogotá: Agencia Nacional de Hidrocarburos.
- Baudin, François. 2005. "A Late Hauterivian short-lived anoxic event in the Mediterranean Thetys: 'Faraoni Event'". *Comptes Rendus Geosciences* 337 (16): 1532-1540. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2005.08.012>.
- Bedoya Rueda, Carolina y Hefer Emilec Nomesqui Ortíz. 2013. "Estratigrafía, quimioestratigrafía y petrografía de la Formación Rosablanca: implicaciones para la identificación de eventos anóxicos oceánicos en la cordillera Oriental colombiana". Trabajo de grado. Universidad de Caldas.
- Bernier, Paul, Christian Gaillard, Jean-Claude Gall, Georges Barale, Jean-Paul Bourseau, Éric Buffetaut y Sylvie Wenz. 1991. "Morphogenetic impact of microbial mats on surface structures of kimmeridgian micritic limestones (Cerin, France)". *Sedimentology* 38 (1): 127-136. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1991.tb01858.x>.
- Bromley, Richard G. 1967. "Some observations on burrows of thalassinidean crustacea in chalk hardgrounds". *Quarterly Journal of the Geological Society of London* 123 (1-4): 157-182. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.123.1.0157>.
- Bromley, Richard G. 1975. "Trace fossils at omission surfaces". En *The study of trace fossils*, editado por R. W. Frey, 399-428. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-65923-2>.
- Bromley, Richard G. 1990. *Trace fossils: Biology and Taphonomy*. London: Unwin Hyman.
- Buatois, Luis A. y M. Gabriela Mángano. 2004. "Animal-substrate interactions in freshwater environments: Applications of ichnology in facies and sequence stratigraphic analysis of fluvio-lacustrine successions". En *The application of ichnology to palaeo-environmental and stratigraphic analysis*, editado por Duncan McIlroy, 311-333. Special Publications 228. London: Geological Society. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2004.228.01.14>.
- Burchette, Trevor P. y V. Paul Wright. 1992. "Carbonate ramp depositional systems". *Sedimentary Geology* 79 (1-4): 3-57. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(92\)90003-A](https://doi.org/10.1016/0037-0738(92)90003-A).
- Burgess, Peter M. 2016. "The future of the sequence stratigraphy paradigm: Dealing with a variable third dimension". *Geology* 44 (4): 335-336. <https://doi.org/10.1130/focus042016.1>.
- Bürgl, Hans. 1954. "El Cretáceo inferior de los alrededores de Villa de Leiva (Boyacá)". *Boletín Geológico* 2 (1): 5-22.
- Bürgl, Hans. 1956. "Catálogo de las amonitas de Colombia. Parte I Pulchelliidae". *Boletín Geológico* 4 (1): 1-119.
- Bürgl, Hans. 1957. "Biostratigrafía de la sabana de Bogotá y sus alrededores". *Boletín Geológico* 5 (2): 113-185.
- Bürgl, Hans. 1959. "Sedimentación cíclica en el geosinclinal cretáceo de la cordillera Oriental de Colombia". *Boletín Geológico* 7 (1-3): 1959: 85-118.
- Bürgl, Hans. 1961. "Historia geológica de Colombia". *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 11 (43): 137-191.
- Bürgl, Hans. 1963. "Die rhythmischen Bewegungen der Kreid-geosinklinalen der Ostkordillere Kolumbiens". *Geologische Rundschau Band* 53 (2): 706-731.
- Cáceres Girón, Carlos, Fabio Cediél Melo y Fernando Etayo-Serna. 2005. *Maps of sedimentary facies distribution and tectonic setting of Colombia through the Proterozoic and Phanerozoic*. Bogotá: Ingeominas.
- Cadena Rueda, Edwin Alberto y Eugene S. Gaffney. 2005. "Notoemys zapatoensis: A new side-necked turtle (Pleurodira: Platycheilyidae) from the Early Cretaceous of Colombia". *American Museum Novitates* 3470: 1-19. <http://digitallibrary.amnh.org/handle/2246/2780>.
- Cadena Rueda, Edwin Alberto, Carlos A. Jaramillo y Jonathan I. Bloch. 2013. "New material of the Platycheilyid turtle *Notoemys zapatoensis* from the Early Cretaceous of Colombia; implications for understanding Pleurodira evolution". En *Morphology and evolution of turtles, vertebrate paleobiology and paleoanthropology*, editado por Donald. B. Brinkman et al., 105-120. Dordrecht: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4309-0>.
- Cadena, Edwin Alberto. 2011a. "Potential earliest record of Podocnemidoid turtles, from the Early Cretaceous (Valanginian) of Colombia". *Journal of Paleontology* 85 (5): 877-881. <https://doi.org/10.1666/10-097.1>.
- Cadena, Edwin Alberto. 2011b. "First record of Eucryptodiran turtles from the Early Cretaceous (Valanginian), at the Northern-most part of South America". *South American Journal of Herpetology* 6 (1): 49-53. <https://doi.org/10.2994/057-006.0107>.
- Carrillo Briceño, Jorge D., Edwin Alberto Cadena, Alex T. Dececchi, Hans C. E. Larson y Trina Y. Du. 2016. "First record of a hybodont shark (Chondrichthyes: Hobodontiformes) from the Lower Cretaceous of Colombia". *Neotropical Biodiversity* 2 (1): 81-86. <https://doi.org/10.1080/23766808.2016.1191749>.
- Cediél, Fabio. 1968. "El grupo Girón: una molasa mesozoica de la cordillera Oriental". *Boletín Geológico* 16 (1-3): 5-96.
- Cediél, Fabio. 1969. "Die Girón-Gruppe: Eine früh-mesozoische Molasse der Ostkordillere Kolumbiens". *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen* 133 (2): 111-162.
- Cediél, Fabio. 2001. "El grupo Girón: una molasa mesozoica de la cordillera Oriental de Colombia. Comunicaciones Científicas Breves. Resúmenes del Coloquio sobre el Tríasico-Jurásico". *Boletín de Geología* 23 (38): 88.
- Chafetz, Henry S. y Sean A. Guidry. 1999. "Bacterial shrubs, crystal shrubs and ray-crystal shrubs: Bacterial vs abiotic precipitation". *Sedimentary Geology* 126 (1-4): 57-74. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(99\)00032-9](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(99)00032-9).
- Christ, Nicolas, Adrian Immenhauser, Rachel A. Wood, Khadija Darwich y Andrea Niedermayr. 2015. "Petrography and environmental controls on the formation of Phanerozoic marine carbonate hardgrounds". *Earth-Science Reviews* 151: 176-226. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.10.002>.
- Cooper, Mark A., Fergus T. Addison, Ricardo Álvarez, Mario Coral, Rod H. Graham, Anthony B. Hayward, Spencer Howe, Jaime Martínez, Joaquín Naar, Ricardo Peñas, Andy J. Pulham y Adriana Taborda. 1995. "Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia". *AAPG Bulletin* 79 (10): 1421-1443.
- Cornée, Annie, Mike Dickman y Georges Busson. 1992. "Laminated cyanobacterial mats in sediments of solar salt works: Some sedimentological implications". *Sedimentology* 39: 599-612. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1992.tb02139.x>.
- Cruz Guevara, Luis E., Javier H. Jerez Jaimes, Eliana X. Narváez Parra y Ricardo A. Franco Blanco. 2000. "Análisis de variables morfológicas de *Toxaster roulini* Agassiz (Echinoides: Toxasteriidae) de la Formación Rosa Blanca, municipio de Zapatoca (Santander, Colombia)". *Boletín de Geología* 22 (37): 7-17.
- Cruz Guevara, Luis E., Javier H. Jerez Jaimes, Eliana X. Narváez Parra y Ricardo A. Franco Blanco. 2001. "Distribución espacial

- y relación entre organismos fósiles. Breve síntesis paleoecológica de *Toxaster colombianus* y *Thalassinoides*". *Boletín de Geología* 23 (38): 21-29.
- Cruz, Jaime, Rodrigo Vargas. 1972. "Informe sobre los yesos de la Formación Rosablanca en la Mesa de los Santos". *Boletín Geológico* 20 (3): 105-129.
- Davaud, Eric y André Strasser. 1984. "Progradation, cimentation, érosion: évolution sédimentaire et diagénétique récente d'un littoral carbonaté (Bimini, Bahamas)". *Eclogae Geologicae Helveticae* 77 (3): 449-468. <http://doi.org/10.5169/seals-165517>.
- Dhondt, Anni V. y Iginio Dieni. 1988. "Early Cretaceous Bivalves of Eastern Sardinia". En *Memorie di Scienze Geologiche*, Padova: Societa' Cooperativa Tipografica.
- Dickinson, William R. 2003. "The place and power of myth in geoscience: An associate editor's perspective". *American Journal of Science* 303 (9): 856-864. <http://doi.org/10.2475/ajs.303.9.856>.
- Dietrich, Wilhelm O. 1935. "Zur Stratigraphie der kolumbianischen Ostkordillere. Zentralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie". *Abteilung B: Geologie und Paläontologie* (3): 74-82.
- Dietrich, Wilhelm O. 1938. "Lamelibranchios cretácicos de la cordillera Oriental". En *Estudios geológicos y paleontológicos sobre la cordillera Oriental de Colombia*, 81-108. Bogotá: Departamento de Minas y Petroleos.
- Dolan, Robert y Bruce Hyden. 1981. "Storms and shoreline configuration". *Journal of Sedimentary Research* 51 (3): 737-744. <https://doi.org/10.1306/212F7D92-2B24-11D7-8648000102C1865D>.
- Doyle, Jhon C. 1963. "A new heteromorph ammonite from the Lower Cretaceous of Yorkshire". *Palaeontology* 6 (3): 575-578. https://www.palass.org/publications/palaeontology-journal/archive/6/3/article_pp575-578.
- Doyle, Jhon C. 1989. "The stratigraphy of a late Lower Hauterivian horizon in the Speeton Clay formation (Lower Cretaceous) of East Yorkshire". *Proceedings of the Geologists's Association* 100 (2): 175-182. [https://doi.org/10.1016/S0016-7878\(89\)80004-5](https://doi.org/10.1016/S0016-7878(89)80004-5).
- Dunham, Robert J. 1962. "Classification of carbonate rocks according to depositional texture". 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>.
- El Albani, Abderrazzak, Alain Meunier y Franz Fürsich. 2005. "Unusual occurrence of glauconite in a shallow lagoonal environment (Lower Cretaceous, northern Aquitaine Basin, SW France)". *Terra Nova* 17 (6): 537-544. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2005.00646.x>.
- Embry, Ashton F. 2002. "Transgressive-regressive (T-R) Sequence Stratigraphy". En *Sequence Stratigraphic Models for Exploration and Production: Evolving Methodology, Emerging Models and Application Histories*, editado por John M. Armentrout y Norman C. Rosen, 151-172. SEPM Society for Sedimentary Geology. <https://doi.org/10.5724/gcs.02.22.0151>.
- Erba, Elisabetta, Annachiara Bartolini y Roger L. Larson. 2004. "Valanginian Weissert oceanic anoxic event". *Geology* 32 (2): 149-152. <https://doi.org/10.1130/G20008.1>.
- Etayo-Serna, Fernando y Gloria Inés Rodríguez S. 1985. "Edad de la Formación Los Santos". En *Proyecto Cretácico, contribuciones*, editado por Fernando Etayo-Serna y Fabio Laverde. Publicaciones Geológicas Especiales 16. Bogotá: Ingeominas.
- Etayo-Serna, Fernando, Giancarlo Renzoni y Darío Barrero. 1976. "Contornos sucesivos del mar cretáceo en Colombia". En *Memoria del Primer Congreso Colombiano de Geología*, editado por Fernando Etayo-Serna y Carlos Cáceres, 217-252. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Etayo-Serna, Fernando, Nuria Solé De Porta, Jaime De Porta y Tatiana Gaona. 2003. "The Batá Formation of Colombia is truly Cretaceous, not Jurassic". *Journal of South American Earth Sciences* 16: 113-117. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(03\)-00048-8](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(03)-00048-8).
- Etayo-Serna, Fernando. 1964. "Posición de las faunas en los depósitos cretácicos colombianos y su valor en la subdivisión cronológica de los mismos". *Boletín de Geología* 16-17: 1-142.
- Etayo-Serna, Fernando. 1985. "Paleontología estratigráfica del Sistema Cretácico en la Sierra Nevada del Cocuy". En *Proyecto Cretácico, contribuciones*, editado por Fernando Etayo-Serna y Fabio Laverde. Publicaciones Geológicas Especiales 16. Bogotá: Ingeominas.
- Etayo-Serna, Fernando. 1989. "Análisis facial del inicio del avance marino del Cretácico en la región SW del Macizo de Santander". V Congreso Colombiano de Geología. Excursión Pre-Congreso No. 2: 1-8. Bucaramanga.
- Etayo-Serna, Fernando. 1993. "Ammonitina Speciation and Eustacy". *AAPG Bulletin* 77 (2): 317.
- Etayo-Serna, Fernando. 2011. "Viaje a pie por los pisos del Cretácico de Colombia". XIV Congreso Latinoamericano de Geología y XIII Congreso Colombiano de Geología. Medellín.
- Evans, Graham, V. Schmidt, P. Bush y H. Nelson. 1969. "Stratigraphy and geologic history of the sabkha, Abu Dhabi, Persian Gulf". *Sedimentology* 12 (1-2): 145-159. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1969.tb00167.x>.
- Fabre, Antoine. 1987. "Tectonique et génération d'hydrocarbures: un modèle de évolution de la Cordillère Orientale de Colombie et du bassin des Llanos pendant le Crétacé et le Tertiaire". *Archive Science Genève* 40 (2): 145-190.
- Fischer, Alfred G. 1961. "Stratigraphic record of transgressing seas in light of sedimentation on Atlantic coast of New Jersey". *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists* 45 (10): 1656-1666.
- Fischer, Alfred G. 1986. "Climatic rhythms recorded in strata". *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 14: 351-376. <https://doi.org/10.1146/annurev.ea.14.050186.002031>.
- 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. 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 L. y Riccardo Assereto. 1976. "Comparative fabrics of length-slow and length-fast calcite and calcitized aragonite in a Holocene speleothem, Carlsbad cavern, New Mexico". *Journal of Sedimentary Research* 46 (3): 486-496. <https://doi.org/10.1306/212F6FCD-2B24-11D7-8648000102C1865D>.
- Friedman, Gerald M. y John E. Sanders. 2000. "Comments about the relationships between new ideas and geologic terms in stratigraphy and sequence stratigraphy with suggested modifications". *AAPG Bulletin* 84 (9): 1274-1280. <https://doi.org/10.1306/A9673E78-1738-11D7-8645000102C1865D>.
- Fürsich, Franz T. 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.

- Gaona-Narváez, Tatiana, Florentin J.-M.R. Maurrasse y Fernando Etayo-Serna. 2013. "Geochemistry, palaeoenvironments and timing of Aptian organic-rich beds of the Paja Formation (Curití, Eastern Cordillera, Colombia)". In *Isotopic Studies in Cretaceous Research*, edited by Ana Voica Bojar, Mihaela C. Melinte-Dobrinescu and Jan Smit, 31-48. Special Publications 382. London: Geological Society. <https://doi.org/10.1144/SP382.6>.
- Gaona-Narváez, Tatiana. 2001. "Los moluscos bivalvos —excepto *Trigoniidae*— de las formaciones Cumbre y Batá, y su significado paleoambiental". Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.
- Gerdes, Gisela. 2007. "Structures left by modern microbial mats in their host sediments". En *Atlas of microbial mat features preserved with the siliciclastic rock record*, editado por Juergen Schieber, Pradip Bose, P.G. Eriksson, Santanu Banerjee, Subir Sarkar, Wladyslaw Altermann y Octavian Catuneanu, vol. 2, 5-38. Amsterdam: Elsevier Science.
- Gerdes, Gisela. 2010. "What are microbial mats?". En *Microbial Mats: Modern and Ancient Microorganisms in Stratified Systems, Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrogeology*, editado por Joseph Seckbach y Aharon Oren, 3-25. Dordrecht: Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3799-2>.
- Geyer, Otto F. 1979. "Zur Paläogeographie mesozoischer Ingressionen und Transgressionen in Kolumbien". *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Monatshefte* (6): 349-368.
- Ginsburg, Robert N. y Laurence A. Hardie. 1975. "Tidal and storm deposits, Northwestern Andros Island, Bahamas". En *Tidal Deposits. A casebook of recent examples and fossil counterparts*, editado por Robert N. Ginsburg, 201-208. New York: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-88494-8>.
- Gómez Cruz, Arley de Jesús, Hermann D. Bermúdez y Francisco J. Vega. 2015. "A new species of *Dialux* Bell, 1863 (Brachyura: Dialucidae) in the Early Cretaceous of the Rosablanca Formation, Colombia". *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 67 (1): 103-112. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2015v67n1a8>.
- Gordon, M. Walkden. 1974. "Palaeokarstic surfaces in Upper Viséan (Carboniferous) limestones of the Derbyshire block, England". *Journal of Sedimentary Research* 44 (4): 1232-1247. <https://doi.org/10.1306/212F6C80-2B24-11D7-8648000102C1865D>.
- Greenstein, Benjamin J. 1989. "Mass mortality of the West-Indian echinoid *Diadema antillarum* (Echinodermata: Echinoidea): A natural experiment in taphonomy". *Palaios* 4 (5): 487-492. <https://doi.org/10.2307/3514593>.
- Gréselle, Benjamin, Bernard Pittet, Emanuela Mattioli, Michael Joachimski, Nicolas Barbarin, Laurent Riquier, Stéphane Reboulet y Emmanuelle Pucéat. 2011. "The Valanginian isotope event: A complex suite of palaeoenvironmental perturbations". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 306 (1-2): 41-57. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.03.027>.
- Grey, Kathleen. 1989. "Handbook for the study of stromatolites and associated structures (Second Draft)". *Stromatolite Newsletter* 14: 82-171.
- Guzmán Ospitia, Georgina. 1984. "Análisis paleoecológico comparativo del *Aetostreon couloni* y del *Ceratostreon boussingaulti*, de la Formación Rosablanca, como indicadores de oscilaciones marinas en el área de Zapatoca (Santander)". Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.
- Guzmán Ospitia, Georgina. 1985. "Los grifeidos infracretácicos *Aetostreon couloni* y *Ceratostreon boussingaulti*, de la Formación Rosablanca, como indicadores de oscilaciones marinas". En *Proyecto Cretácico, Contribuciones*, editado por Fernando Etayo-Serna y Fabio Laverde. Publicaciones Geológicas Especiales 16. Bogotá: Ingeominas.
- Haas, Otto. 1960. "Lower cretaceous ammonites from Colombia, South America". *American Museum Novitates* 2005. <http://hdl.handle.net/2246/3521>
- Hag, Bilal U. 2014. "Cretaceous eustasy revisited". *Global and Planetary Change* 113: 44-58. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.12.007>.
- Harrison, Rand S. 1977. "Caliche profiles: Indicators of near-surface subaerial diagenesis, Barbados, West Indies". *Bulletin of Canadian Petroleum Geology* 23 (1): 123-173.
- Hasiotis, Stephen T. 2002. *Continental trace fossils*. vol. 51. Tulsa: SEPM Society for Sedimentary Geology. <https://doi.org/10.2110/scn.06.51>.
- Hatfield, Willis Charles. 1944. "Ensayo de correlación estratigráfica de Colombia, valle medio del Magdalena". Instituto Colombiano de Petróleos.
- Hettner, Alfred. 1892. "Die Kordillere von Bogotá". *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 104. Traducido en *La cordillera de Bogotá. Resultados de viajes y estudios*, editado por Ernesto Guhl, 1966. Bogotá: Banco de la República.
- 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>.
- Hoedemaeker, Philip J. 1995. "The Berriasian stage: A review". *Géologie Alpine, Mémoire Hors Série* 20 (1994): 5-14.
- Hoffman, Paul. 1975. "Shoaling-upward shale-to dolomite cycles in the Rocknest Formation (Lower Proterozoic), Northwest Territories, Canada". En *Tidal Deposits. A casebook of recent examples and fossil counterparts*, editado por Robert N. Ginsburg, 257-265. New York: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-88494-8>.
- Hubach, Enrique. 1957. "Contribución a las unidades estratigráficas de Colombia (enumeración regional, de más reciente a más antiguo)". Informe 1212. Bogotá: Instituto Geológico Nacional.
- Huber, Klaus y Jost Wiedmann. 1986. "Sobre el límite Jurásico-Cretácico en los alrededores de Villa de Leiva, Depto. de Boyacá, Colombia". *Geología Colombiana* 15: 81-92.
- Immenhauser, Adrian y Robert W. Scott. 2004. "An estimate of Albian sea-level amplitudes and its implication for the duration of stratigraphic hiatuses". *Sedimentary Geology* 152 (1-2): 19-28. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(02\)00260-9](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(02)00260-9).
- Immenhauser, Adrian, Anouk Creusen, Mateu Esteban y Hubert B. Vonhof. 2000. "Recognition and Interpretation of Polygenic Discontinuity Surfaces in the Middle Cretaceous Shu'aiba, Nahr Umr, and Natih Formations of Northern Oman". *Geo Arabia* 5 (2): 299-322.
- 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>.
- 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>.
- Jansa, Lubomir F. 1975. "Tidal deposits in the Monkman Quartzite (Lower Ordovician) Northeastern British Columbia, Canada". En *Tidal Deposits. A casebook of recent examples and fossil counterparts*, editado por Robert N. Ginsburg, 153-161. New York: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-88494-8>.

- Jeréz Jaimes, Javier H., María Alejandra Cetina Tarazona y Cindy N. Araque Gómez. 2013. "Primer registro del briozoo *Stomatopora cunningtoni* (orden: *Cyclostomata*, familia: *Stomatoporidae*) en el Cretácico inferior de Colombia". *Boletín de Geología* 35 (2): 45-51.
- Julivert, Manuel y Noel Téllez, I. 1963. "Sobre la presencia de fallas de edad Precretácica y Post-Girón (Jura-triásico) en el Flanco W del Macizo de Santander (Cordillera Oriental, Colombia)". *Boletín de Geología* 12: 5-17.
- Julivert, Manuel, Darío Barrero y Jaime Navas G. 1964. "Mapa geológico de Santander, Hoja n.º 120-IV, escala 1:50.000". *Boletín de Geología* 18: 1.
- Julivert, Manuel. 1968. "Colombie (première partie), Précambrien, Paléozoïque, et intrusions d'âge mésozoïque-tertiaire". En *Lexique Stratigraphique International V. Amérique Latine*, dirigido por R. Hoffstetter, fascicule 4a. Paris: Centre National De La Recherche Scientifique.
- Karsten, Hermann. 1858. "Über die Geognostischen Verhältnisse des westlichen Columbien, der heutigen Republiken Neu-Granada und Ecuador". En *Amtlicher Bericht über die Zwei und Dreissigste Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte su Wien im September 1856: Herausgegeben von den Geschäftsführern derselben, Hyrtl und Schrötter*, Wien, 80-117, 1-6 lám, 2 map.
- Karsten, Hermann. 1886. *Géologie de l'ancienne Colombie bolivarienne, Vénézuéla, Nouvelle-Grenade et Ecuador*. Berlin: R. Friedlander y Sohn.
- Kendall, Christopher G. St. C. y John Warren. 1987. "A review of the origin and setting of tepees and their associated fabrics". *Sedimentology* 34 (6): 1007-1027. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1987.tb00590.x>.
- Kendall, Christopher G. St. C. y Patrick A. d'E. Skipwith B. 1968. "Recent algal mats of a Persian Gulf Lagoon". *Journal of Sedimentary Research* 38 (4): 1040-1058. <https://doi.org/10.1306/74D71AF5-2B21-11D7-8648000102C1865D>.
- Kendall, Christopher G. St. C. y Wolfgang Schlager. 1981. "Carbonates and relative changes in sea level". *Marine Geology* 44 (1-2): 181-212. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(81\)90118-3](https://doi.org/10.1016/0025-3227(81)90118-3).
- Klein, George de Vries. 1977. *Clastic tidal facies*. Champaign: Continuing Education Publication Company.
- Kornicker, Louis S. 1958. "Bahamian limestone crusts". *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions* 8: 167-170.
- Kottlowski, Frank E. 1965. *Measuring stratigraphic sections*. Geologic field techniques series. New York, Holt, Rinehart and Winston.
- Larson, Hans C. E., Thomas Alex Dececchi y Felipe. C. Montefeltro. 2011. "A new *Metriorhynchid* (Crocodyliformes, Thalattosuchia) from the Early Cretaceous of Colombia (Rosablanca Formation, Late Valanginian)". *Ameghiniana* 48 (4), Suplemento: R86-R87.
- León Ariza, Javier Orlando. 2002. "Análisis estratigráfico de la Formación Rosablanca en la cuenca del valle medio del Magdalena". Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander.
- Llinás Rivera, Rubén Darío. 2004. "Análisis petrográfico de 170 secciones delgadas para identificar microfácies deposicionales y su afectación diagenética de las planchas 5-09 y sabana de Bogotá". Ingeominas.
- Mojon, Pierre-Olivier y André Strasser. 1987. "Microfaciès, sédimentologie et micropaléontologie du Purbeckien de Bienne (Jura suisse occidentale)". *Eclogae Geologicae Helvetiae* 80 (1): 37-58. <http://doi.org/10.5169/seals-165984>.
- Montenegro Rivera, Laura Carolina. 2012. "Análisis del componente micropaleontológico del segmento superior de la Formación Rosablanca, en el área de Zapatoca, Santander". Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.
- Montoya Arenas, Diana M. 2019. "Formación La Paja: descripción de la Sección Tipo. Influencia de los tapices microbiales en su génesis". 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.
- Morales, Luis G. y The Colombian Petroleum Industry. 1958. "General geology and oil occurrences of Middle Magdalena Valley, Colombia". In *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 cañón del río Sogamoso, en el sector Villanueva, Zapatoca, Betulia, 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.
- Multer, Harold Gray y John 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).
- Munafò, Marcus R., Brian A. Nosek, Dorothy V. M. Bishop, Katherine S. Button, Christopher D. Chambers, Nathalie Perci Du Sert, Uri Simonsohn, Erick-Jan Wagenmakers, Jennifer J. Ware y John P. A. Ioannidis. 2017. "A manifesto for reproducible science". *Nature Human Behaviour* 1: 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41562-016-0021>.
- Néraudeau, Didier y B. Mathey. 2000. "Biogeography and diversity of South Atlantic Cretaceous echinoids: implications for circulation patterns". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 156 (1-2): 71-88. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(99\)00132-7](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(99)00132-7).
- Ogg, James G. y Linda A. Hinnov. 2012. "Cretaceous". En *The geological time scale*, editado por Felix M. Gradstein, James G. Ogg, Mark Schmitz y Gabi M. Ogg, 793-853. Amsterdam: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2011-1-08249-8>.
- Olsson, Axel A. 1956. "Colombia". En *Handbook of South American Geology: An explanation of the geologic map of South America*, editado por William F. Jenks, 297-326. Memoir 65. Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/MEM65-p293>.
- Orbigny, Alcide Dessalines de. 1842a. *Coquilles et échinodermes fossiles de Colombie (Nouvelle-Grenade), recueillis de 1821 a 1833, par M. Boussingault, et décrits par Alcide Orbigny*. Paris: P. Bertrand Paris & Strasbourg.
- Orbigny, Alcide Dessalines de. 1842b. *Voyage dans l'Amérique Méridionale*, vol. 3, part 4, Paléontologie. Paris: Societé Géologique de France.
- Pemberton, George S., James A. MacEachern y Tom Saunders. 2004. "Stratigraphic applications of substrate-specific ichnofacies: Delineating discontinuities in the rock record". En *The application of ichnology to palaeoenvironmental and stratigraphic analysis*, editado por D. McIlroy, 29-62. Special Publication 228. London: Geological Society. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2004.228.01.01>.
- Pemberton, George S., Michelle Spila, Andrew J. Pulham, Tom Saunders, James A. MacEachern, Demian Robbins y Iain K.

- Sinclair. 2001. *Ichnology & sedimentology of shallow to marginal marine systems: Ben Nevis & Avalon reservoirs, Jeanne d'Arc Basin*. vol. 15. Geological Association of Canada.
- Perthuisot, Jean-Pierre. 1979. "Sites et processus de la formation d'évaporites dans la nature actuelle". *Bulletin du Centre de Recherches Exploration Production Elf-Aquitaine* 4 (1): 207-233.
- Petters, Viktor. 1954. "Typical foraminiferal horizons in the Lower Cretaceous of Colombia, S. A". En *Contributions of the Cushman Foundation for Foraminiferal Research* 5 (3): 128-137.
- Purdy, Edward G. 1974. "Karst-determined facies patterns in British Honduras: Holocene carbonate sedimentation model". *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 58 (5): 825-855.
- Reboullet, Sthephane, Otilia Szives, Beatriz Aguirre-Urreta, Ricardo Barragán, Miguel Company, Vyara Idakieva, Marin Ivanov, Mikheil V. Kakabadze, Josep A. Moreno-Bedmar, José Sandoval, Evgenij J. Baraboshkin, Meral K. Çağlar, István Fözy, Celestina González-Arreola, Samer Kenjo, Alexander Lukeneder, Seyed N. Raisossadat, Peter F. Rawson y José M. Tavera. 2014. "Report on the 5th International Meeting of the USGS Lower Cretaceous Ammonite Working Group, the Kilian Group (Ankara, Turkey, 31st August 2013)". *Cretaceous Research* 50: 126-137. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2014.04.001>.
- Reineck, Hans-Erich, Gisella Gerdes, Marianne Claes, Katharina Dunajtschik, Heike Riege y Wolfgang E. Krumbein. 1990. "Microbial modification of sedimentary surface structures". En *Sediments and environmental geochemistry*, editado por D. Heling, P. Rothe, U. Förstner y P. Stoffers, 254-276. Berlin: Springer.
- Retallack, Greg J. 1988. "Field recognition of paleosols". En *Paleosols and weathering through geologic time: Principles and Applications*, editado por Juergen Reinhardt y Wayne R. Sigleo, 1-20. Vol. 216. Boulder: Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/SPE216-p1>.
- Rolón, Luisa Fernanda. 2004. "Structural geometry of de Jura-Cretaceous rift of the Middle Magdalena Basin-Colombia". M. Sc. Thesis. West Virginia University, Morgantown: 63.
- Rouchy, Jean Marie y Claude Monty. 2000. "Gypsum microbial sediments: Neogene and modern examples". En *Microbial Sediments*, editado por Robert E. Riding y Stanley M. Awramik, 209-216. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-04036-2>.
- Saller, Arthur H., David. A. Budd y Paul. M. Harris. 1994. "Unconformities and porosity development in carbonate strata: Ideas from a Hedberg, Conference". *AAPG Bulletin* 78 (6): 857-872.
- Salvador, Amos. 1994. *International stratigraphic guide: A guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure*. Boulder: The International Union of Geological Sciences y The Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/9780813774022>.
- Sandy, Michael R. 1991a. "Biogeographic affinities of some Jurassic-Cretaceous brachiopod faunas from the Americas and their relation to tectonic and paleoceanographic events". En *Brachiopods through time: Proceedings of the 2nd International Brachiopod Congress, University of Otago, Dunedin, New Zealand, 5-9 february 1990*, editado por D. I. Mackinnon, Daphne. E. Lee y John. D. Campbell. Rotterdam: CRC Press.
- Sandy, Michael R. 1991b. "Aspects of Middle-Late Jurassic-Cretaceous Tethyan brachiopod biogeography in relation to tectonics and paleoceanographic developments". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 87 (1-4): 137-154. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(91\)90133-C](https://doi.org/10.1016/0031-0182(91)90133-C).
- Sarmiento Rojas, Luis Fernando. 2001. "Mesozoic rifting and Cenozoic basin inversion history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes. Inferences from tectonic models". Tesis de doctorado. Vrije Universiteit.
- Sarmiento Rojas, Luis Fernando. 2011. "Middle Magdalena Basin". En *Petroleum geology of Colombia*, editado por Fabio Cediell y German Yury Ojeda. Medellín: Universidad EAFIT.
- Scheibe, Ernst Albrecht. 1938. "Estudios geológicos sobre la cordillera Oriental de Colombia (cordillera de Bogotá)". En *Estudios geológicos y paleontológicos sobre la cordillera Oriental de Colombia*. Bogotá: Ministerio de Minas y Petróleos.
- Schwartz, Maurice L. 1971. "The multiple causality of barrier islands". *Journal of Geology* 79 (1): 91-94. <https://doi.org/10.1086/627589>.
- Schwarzacher, Walther. 2000. "Repetitions and cycles in stratigraphy". *Earth-Science Reviews* 50 (1-2): 51-75. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(99\)00070-7](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(99)00070-7).
- Seilacher, Adolf. 2007. *Trace fossil analysis*. Berlin: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-47226-1>.
- Shinn, Eugene A. 1983. "Tidal flat environments". En *Carbonate depositional environments*, editado por Peter A. Scholle, Don G. Bebout, Clyde H. Moore, 171-210. Vol. 33. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists. <https://doi.org/10.1306/M33429>.
- Strasser, André y Eric Davaud. 1982. "Les croûtes calcaires (calcretes) du Purbeckien du Mont-Salève (Haute-Savoie, France)". *Eclogae Geologicae Helveticae* 75 (2): 287-301. <http://doi.org/10.5169/seals-165232>.
- Ten Hove, Harry A. y Peter van den Hurk. 1993. "A review of Recent and fossil serpulid 'reefs'; actinopalaontology and the 'Upper Malm' serpulid limestones in Germany". *Geologie en Mijnbouw* 72 (1): 23-67.
- Tennant, Jonathan P., Philip D. Mannion, Paul Upchurch, Mark D. Sutton y Gregory D. Price. 2016. "Biotic and environmental dynamics through the Late Jurassic–Early Cretaceous transition: evidence for protracted faunal and ecological turnover". *Biological Reviews* 92 (2): 776-814. <http://doi.org/10.1111/brv.12255>.
- Thieuloy, Jean-Pierre. 1973. "Le genre *Saynoceras* (Ammonoidea) et la zonéographie valanginienne dans l'arc subalpin de Castellane (Alpes de Haute-Provence)". *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences Paris Série D* 276: 925-927.
- Tsujita, Cameron J. 2001. "The significance of multiple causes and coincidence in the geological record: From clam clusters to Cretaceous catastrophe". *Canadian Journal of Earth Sciences* 38 (2): 271-292. <https://doi.org/10.1139/e00-048>.
- Turner, Judith. 1962. "Quelques remarques sur les genres *Bochianites* Orbigny et *Baculina* Orbigny". Travaux du Laboratoire de Géologie. Université Grenoble.
- Walkden, Gordon M. 1974. "Palaeokarstic surfaces in Upper Viséan (Carboniferous) limestones of the Derbyshire block, England". *Journal of Sedimentary Research* 44 (4): 1232-1247.
- Walkden, Gordon y Alun Williams. 1998. "Carbonate ramps and the Pleistocene-Recent depositional systems of the Arabian Gulf". En *Carbonate ramps*, editado por V. Paul Wright y Trevor. P. Burchette, 43-53. Special Publications 149. London: Geological Society.
- Ward, Dwight E., Richard Goldsmith, Andrés Jimeno Vega, Jaime Cruz Buenaventura y Eduardo Gómez R. 1969. "Mapa geológico del cuadrángulo H-12 Bucaramanga". Bogotá: Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras.
- Ward, Dwight E., Richard Goldsmith, Jaime Cruz y Hernán Restrepo A. 1973. "Geología de los cuadrangulos H-12

- Bucaramanga y H-13 Pamplona, departamento de Santander". *Boletín Geológico* 21 (1-3): 1-134.
- Ward, Dwight E. Richard Goldsmith, Andrés Jimeno V., Jaime Cruz B., Hernán Restrepo y Eduardo Gómez R. 1977. "Geologic Map of the Bucaramanga Quadrangle (H-12), Colombia". Miscellaneous Investigations Series Map I-1005. United States Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/i1005>.
- Warren, John K. y Christopher G. ST. C. Kendall. 1985. "Comparison of sequences formed in marine sabkha (subaerial) and salina (subaqueous) settings -modern and ancient". *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 69 (6): 1013-1023.
- Wheeler, Orby Clinton. 1929. "Report on the Palmira Series with Notes on Stratigraphy of the Umir, Lisama, and La Paz Formations Near the Eastern part of the Mares Concession". *Informe Geológico* 37. Ecopetrol.
- Wiedmann, Jost. 1988. "Plate tectonics, sea level changes, climate and the relationship to ammonite evolution, provincialism, and mode of life". En *Cephalopods, present and past*, editado por Jost Wiedmann y Jürgen Kullmann, 737-765. Stuttgart: Schweizerbart.
- Wright, V. Paul y Peter L. Smart. 1994. "Paleokarst (dissolution diagenesis): Its occurrence and hydrocarbon exploration significance". En *Diagenesis, IV*, editado por Karl. H. Wolf, George V. Chilingarian, 477-517, vol. 51. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(08\)70447-3](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(08)70447-3).
- Zamarreño de Julivert, Isabel. 1963. "Estudio petrográfico de las calizas de la Formación Rosablanca de la región de la Mesa de los Santos (cordillera Oriental, Colombia)". *Boletín de Geología* 15: 5-34.
- Zeller, Edward J. 1964. "Cycles and psychology". *Kansas Geological Survey Bulletin* 169 (1): 631-636.



**Formación La Paja: descripción de la sección tipo.
Influencia de los tapices microbiales en su génesis**

*It is obvious that the results of work in the field and in
the laboratory should be interrelated*

Philip Henry Kuenen

Portadilla: microfotografía de *mudstone* calcáreo con materia orgánica que ilustra una concentración de algas *Dasycladaceas* (dma 5020; objetivo 50x).

Citación: Montoya Arenas, Diana M. 2019. "Formación La Paja: descripción de la sección tipo. Influencia de los tapices microbiales en su génesis". 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

A detailed study of the La Paja Formation type section was carried out in the outcrops of its eponymous stream, currently flooded by the Hidrosogamoso Dam reservoir.

A 288 m thick sequence was measured and divided, from bottom to top, into the following five segments: Stratigraphic segment I, composed of alternating strata of organic matter-rich calcareous mudstones (organic matter-rich bindstones) and limestone mudstones (recrystallized bindstones) originating in biomineralized microbial tapestries with microcrystalline calcite (microbialites) accompanied by organic matter and Dasycladaceae algae in aggregates, individual fragments and reproductive elements of the algae.

Stratigraphic segment II is lithologically similar to segment I; however, it is highlighted that calcite sheets and lenses interpreted in the present study as dried seaweed tapestries are present; remobilized nodular gypsum, gypsum crystals sheets with perpendicular growth to So, and domed bodies "gas domes" were also identified.

Segment III, mostly covered, is represented by organic matter-bearing clayey mudstone (bindstones with clays and organic matter). Segment IV, recognized as more competent and lithologically homogeneous than the lower intervals, is composed of limestones (mudstones), with marked flat parallel lamination and, as in segments I and II, recrystallized microbialites, which indicates similar conditions in the depositional environment that was more durable than in the lower segments.

In the upper segment V, the presence of clay is constant; clayey mudstones predominate (clayey and organic matter-rich bindstones), which towards the cuspidal section are more calcareous and alternate with sporadic layers of limestone mudstones (recrystallized bindstones).

Three degrees of recrystallization were recognized under the microscope for the mudstone limestones of the La Paja Formation: in the low degree, the laminar forms of the microbial tapestries are conserved; in the medium degree of recrystallization, the laminar textures have almost disappeared; and in the high degree of recrystallization, the texture has been homogenized. In calcareous mudstones with organic matter, under the microscope, thick laminated textures are sometimes recognized with micrite peloids, while in clayey mudstones with organic matter, the textures are defined by the form of presentation of the clay in thin to medium sheets, in lenses and as a patina with oriented clay of fine micaceous habit.

As a result of this investigation, it is proposed that the depositional environment of the Paja Formation sediments was restricted to the domains between the upper tidal and the supra-tidal regions. The age assigned to this formation ranges from the Barremian to the lower Albian.

Formación La Paja: descripción de la sección tipo. Influencia de los tapices microbiales en su génesis

2

Diana M. Montoya Arenas

RESUMEN

Se realizó el estudio detallado de la Formación La Paja en su sección tipo, localizada en la quebrada homónima y actualmente inundada a causa de la presa de Hidrosogamoso. Se midió un espesor de 288 m de secuencia, dividida en cinco segmentos estratigráficos, descritos en orden ascendente así: **segmento estratigráfico I**, compuesto por *mudstone* calcáreos con materia orgánica (*bindstone* con materia orgánica), alternantes con calizas *mudstone* (*bindstone* con recristalización); estas rocas se originan en tapices microbiales biomineralizados con calcita microcristalina (microbialitas); están acompañados de materia orgánica, algas *Dasycladaceas* en agregados o fragmentos individuales y elementos reproductores de algas. **Segmento estratigráfico II**, litológicamente similar al anterior; sin embargo, en él se destaca la presencia de láminas y lentes de calcita fibrosa que en el presente estudio se han interpretado como tapices de algas desecados; se identifican yesos nodulares removilizados y láminas de cristales de yeso con crecimiento perpendicular a S_0 , además de cuerpos con forma de cúpula: domos de gases. **El segmento estratigráfico III**, en su mayor parte cubierto, está representado por *mudstone* arcillosos con materia orgánica (*bindstone* con arcillas y materia orgánica). **El segmento estratigráfico IV** se reconoce por ser más competente que los inferiores y litológicamente más homogéneo; lo integran calizas *mudstone* con una marcada laminación plana paralela y, al igual que en los segmentos I y II, se identifican microbialitas con recristalización, lo que habla de condiciones similares del medio de depósito, más duraderas que en los segmentos anteriores. En el **segmento superior V**, la presencia de arcilla es constante; predominan *mudstone* arcillosos (*bindstone* con arcilla y materia orgánica), que hacia el tramo cuspidal son más calcáreos; alternan con capas esporádicas de calizas *mudstone* (*bindstone* recristalizados).

Las calizas *mudstone* de esta formación presentan en el microscopio tres grados de recristalización: en el bajo se conservan las formas laminares de los tapices microbiales; en el grado de recristalización medio, las texturas laminares casi han desaparecido, y en el grado de recristalización alto, la textura se vuelve homogénea.

En los *mudstone* calcáreos con materia orgánica, se reconocen en el microscopio texturas con laminación gruesa, en ocasiones con peloides de micrita; mientras que en los *mudstone* arcillosos con materia orgánica las texturas son definidas por la forma de presentación de las arcillas: en láminas delgadas a medianas, en lentes y como pátina, con arcillas orientadas de fino hábito micáceo.

Como resultado de la investigación, el medio de depósito de estos sedimentos se restringe al dominio de fondo comprendido entre la región intermareal superior y la supramareal.

INTRODUCCIÓN

En el año 2013, el Servicio Geológico Colombiano (SGC), mediante cartografía geológica y levantamientos estratigráficos, adelantó un estudio detallado en las localidades tipo de las unidades cretácicas de la región del Valle Medio del Magdalena, adoptadas por Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958). La presente investigación registra el mayor número de las características de dichas unidades litológicas, ante la inundación de las secciones tipo de la estratigrafía del Cretácico del Valle Medio del Magdalena.

Como parte de esta investigación se realizó el levantamiento de la Formación La Paja, nombre propuesto por Wheeler (1929), quien estudió las rocas que afloran en la quebrada La Paja (**fig. 1**); Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958, 648-649) admiten estos afloramientos como la sección tipo.

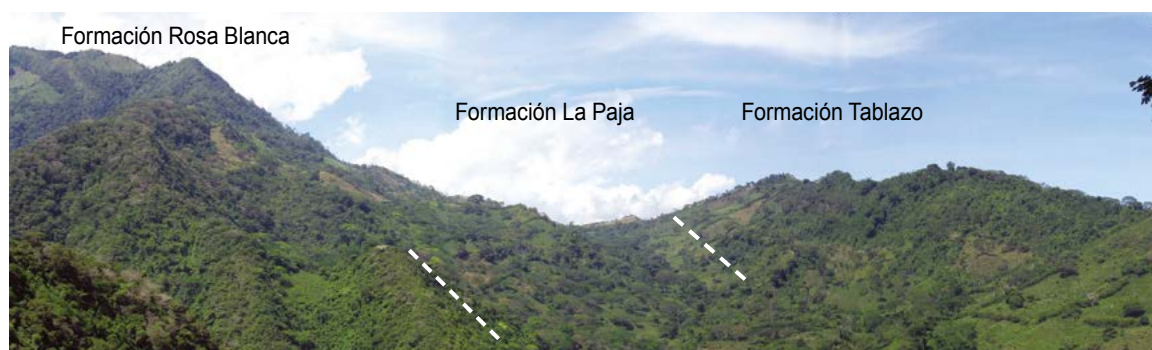


Figura 1. Panorámica de la Formación La Paja (entre líneas punteadas). Obsérvese la morfología suave que genera la unidad. Fotografía tomada desde el punto con coordenadas: N:1.271.422, E:1.083.530, Z:390, azimut 224°.

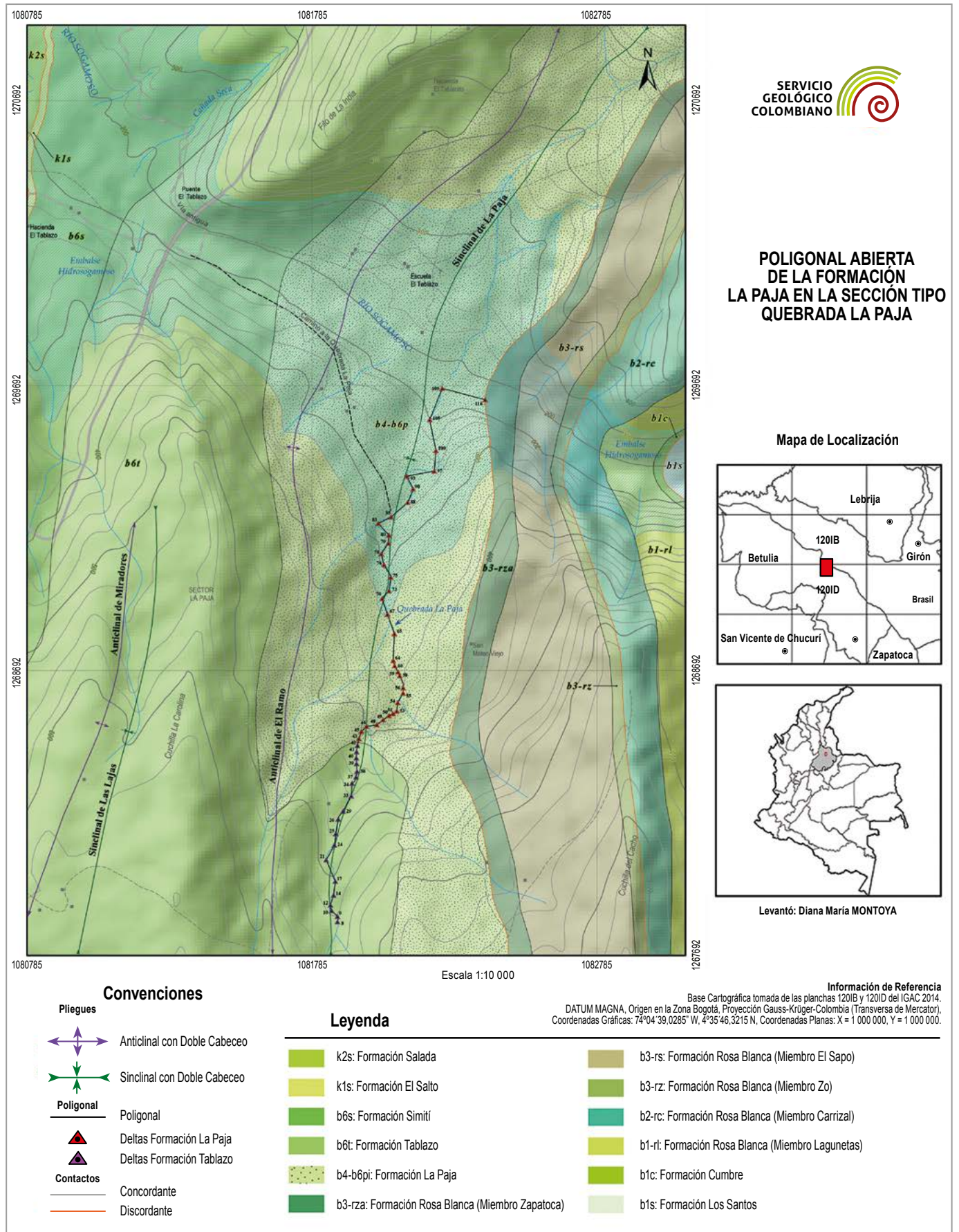


Figura 2. Localización y poligonal (mapa geológico del sector Tablazo, tomado de Moreno-Sánchez 2019).

METODOLOGÍA

Por la quebrada La Paja se realizó el estudio de las rocas aflorantes (**fig. 1**), que fueron descritas y amarradas a una poligonal abierta levantada con brújula y cinta métrica (**fig. 2**). En la poligonal se marcaron 116 puntos o deltas (Δ), de los cuales 70 Δ corresponden a sitios en donde se estudiaron las rocas de la Formación La Paja (Δ 116- Δ 46).

En el Δ 116 (N:1.269.639, E:1.082.371, Z:193) afloran las capas cuspidales de la Formación Rosa Blanca en contacto con las rocas basales de la Formación La Paja. El Δ 116 está localizado 120° al este y a una distancia de 156 m del sitio de la antigua confluencia de la quebrada La Paja con el río Sogamoso, localizada en el Δ 109 (N:1.269.760, E:1.082.224, Z:202).

La poligonal continúa desde Δ 109, aguas arriba (hacia el sur) por el cauce de la quebrada La Paja, que coincide de modo aproximado con el eje de una estructura sinclinal (Moreno-Sánchez 2019).

La secuencia se corta de base a techo; presenta diez tramos cubiertos por depósitos coluviales (**fig. 3**), tres de los cuales comprenden espesores de decenas de metros, el primero, desde el Δ 109 hasta el Δ 98 (39 m), el segundo desde el Δ 99 hasta el Δ 94 (19 m) y el tercero desde Δ 74 hasta el Δ 56 (56 m). En la quebrada se observan bloques rodados de dimensiones métricas tanto de las rocas calcáreas y siliciclásticas de la unidad suprayacente, como de la Formación La Paja.

Entre los puntos Δ 43- Δ 42 se observan las rocas basales de la Formación Tablazo (N:1.268.497, E:1.081.973, Z:399), y los metros cuspidales de la Formación La Paja se presentan en Δ 46 (N:1.262.497, E:1.081.973, Z:399).



Figura 3. Depósitos coluviales de bloques en el lecho de la quebrada La Paja (Δ 63, N:1.268.890, E:1.082.103, Z:317).

La poligonal continúa aguas arriba hasta el punto Δ 0 (N:1.267.830, E:1.081.872, Z:541), en donde siguen aflorando las rocas de la parte inferior de la Formación Tablazo.

El espesor de la sucesión litológica se midió mediante el método del bastón de Jacob. El recálculo del espesor se hizo mediante aplicación de la fórmula de Mertie (1922).

La sucesión de las rocas descritas por la quebrada La Paja se dividió en segmentos estratigráficos con base en la homogeneidad de la litología; esta información se condensó en la columna estratigráfica, en donde se amarró a la poligonal por medio de los deltas (Δ). Las porciones de la secuencia que están cubiertas se representan en el dibujo por medio de líneas punteadas. Las muestras paleontológicas y petrográficas se registraron en formatos adoptados para la descripción litológica.

La descripción de campo de las rocas aflorantes en la quebrada fue macroscópica, mediante el uso de la lupa de diez aumentos. Para describir el espesor y la forma de las capas se utilizaron, hasta donde fue posible, los criterios de Campbell (1967) e Ingram (1954).

Para las rocas de grano fino (< 62,5 μ m) se utilizó el nombre de *mudstone* en lugar de lodolita y para indicar su composición se siguieron las recomendaciones de Lazar et al. (2015). De acuerdo con estos autores, el nombre de la roca debería reflejar la heterogeneidad de sus constituyentes; así, la segunda palabra del nombre es composicional y refleja las condiciones de origen, es decir, si los sedimentos son el producto de materiales adicionados al fondo de acumulación (minerales de arcilla, carbonatos, etc.), o son producidos en ella (materia orgánica, carbonatos producto de procesos biológicos o microbiales, etc.). En el diagrama ternario planteado por Lazar et al. (2015), en los vértices están los porcentajes totales (100%) de carbonatos, arcillas (illita, esmectita) y cuarzo; el diagrama puede ser modificado en uno de sus vértices para reflejar los componentes dominantes: presencia de materia orgánica (TOC), fosfatos, etc.

Nótese que para la nomenclatura de las rocas de la Formación La Paja utilizada en campo, como *mudstone*, coincidentes con entrantes en el perfil topográfico, se sitúan en los vértices del diagrama ternario (Lazar et al. 2015) arcilla, carbonatos y materia orgánica.

Utilizando la metodología de Lazar et al. (2015), después de la palabra *mudstone* sigue el nombre que refleja el componente con contenido mayor del 50%, y se usará más de un nombre si ningún contenido sobrepasa el 50%.

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. Así, se utilizaron los nombres *mudstone* calcáreo arcilloso con materia orgánica, para la roca compuesta por carbonato, arcilla y materia orgánica, y *mudstone* arcillosos calcáreos con materia orgánica es la roca constituida por arcilla, carbonatos y materia orgánica.

Mediante la observación en el microscopio se distingue en estas rocas la presencia de tapices microbiales y se entiende que la formación de carbonato de calcio (calcita microcristalina) está influenciada por la acción de microbios, lo que a su vez permite la litificación; a este tipo de rocas, Burne y Moore (1987) las denominan microbialitas.

Siguiendo las técnicas convencionales de trabajo de campo, es importante destacar que en el terreno la roca se identificó como *mudstone* calcáreo con materia orgánica o *mudstone* arcilloso con materia orgánica, etc. En el microscopio, si solo

se trabaja con los objetivos 3,5x a 10x, esta roca se identificaría como una biomicrita con materia orgánica, dependiendo de la proporción de sus constituyentes. Sin embargo, con objetivos 20x y 50x es posible detectar los tapices microbiales y comprobar que los carbonatos tienen texturas de origen microbial, y que se trata de crecimientos o construcciones *in situ* laminares (fig. 4). Por ello se emplearon los criterios de clasificación textural propuestos de Embry y Klovan (1971): el término *bindstone* se refiere a las construcciones laminares, seguida de la palabra microbialita, que indica la influencia directa o indirecta de procesos biológicos en su litificación. En el caso de los *mudstone* arcillosos se adiciona la expresión con arcilla después de *bindstone*.

En el microscopio, por no tener valores de TOC, no se utiliza el término *carbonoso* y en su reemplazo se dice que la roca tiene materia orgánica y el componente de colores negro o pardo de

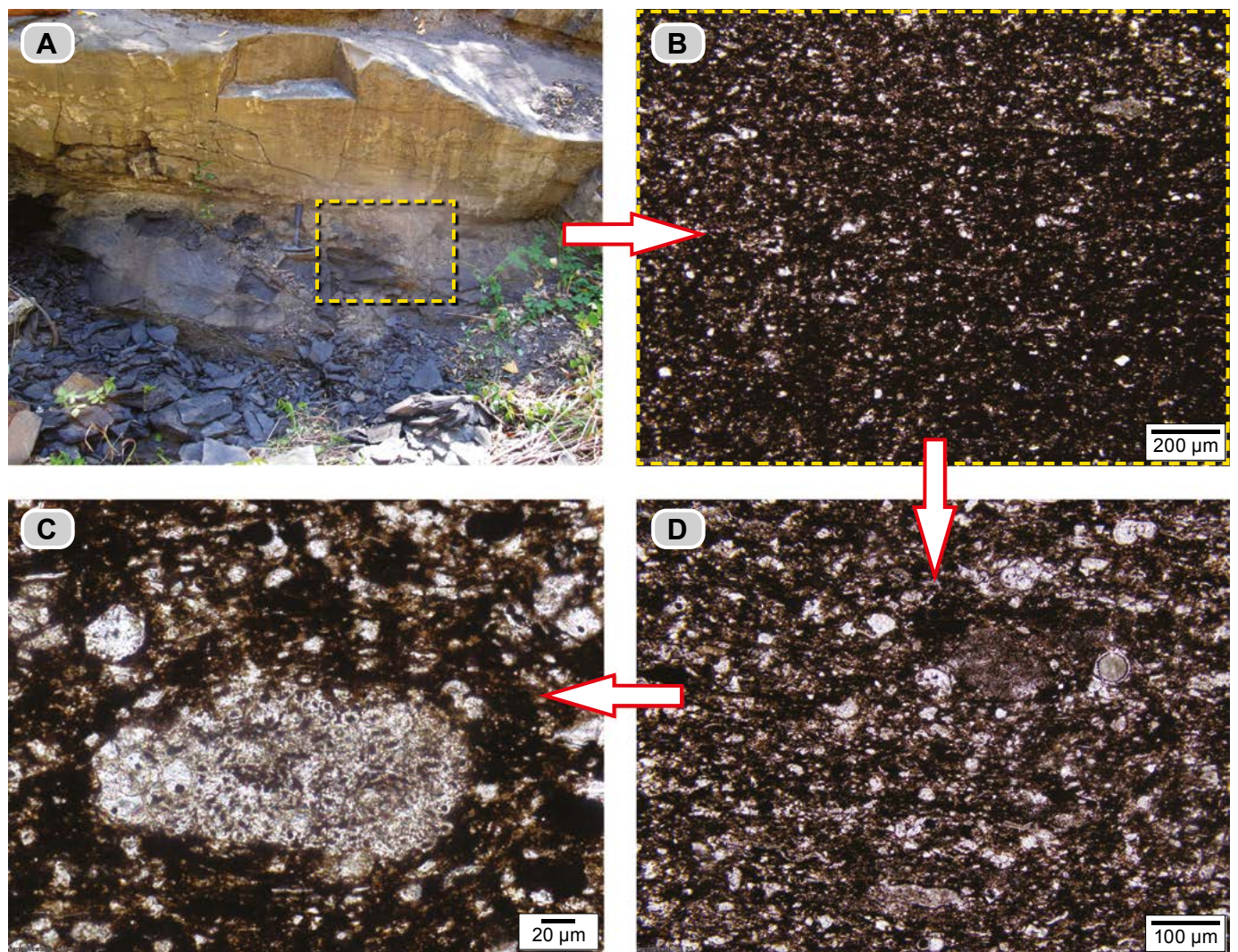
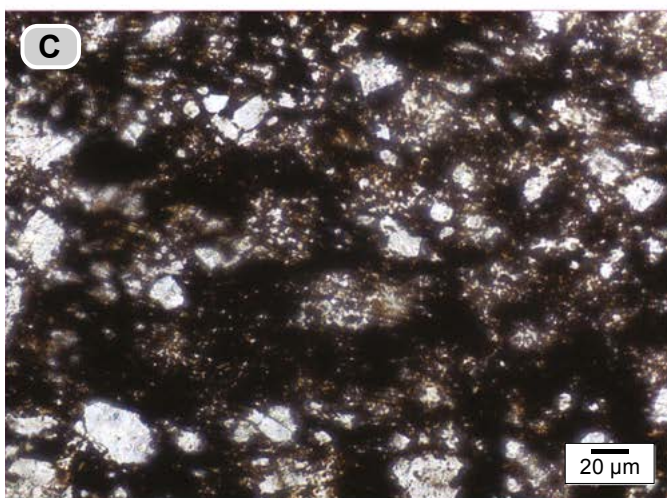
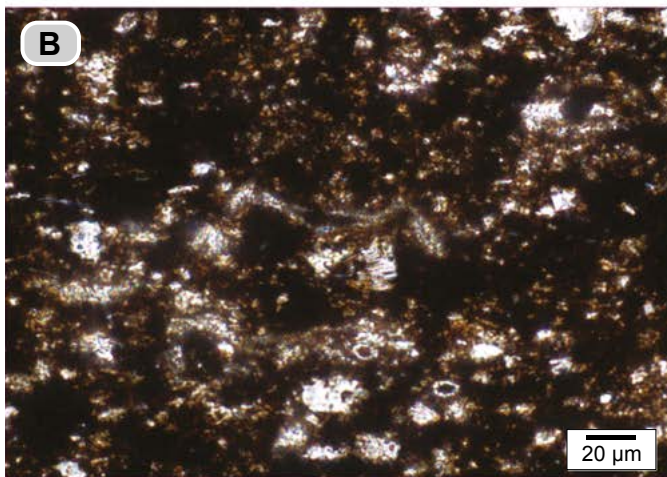
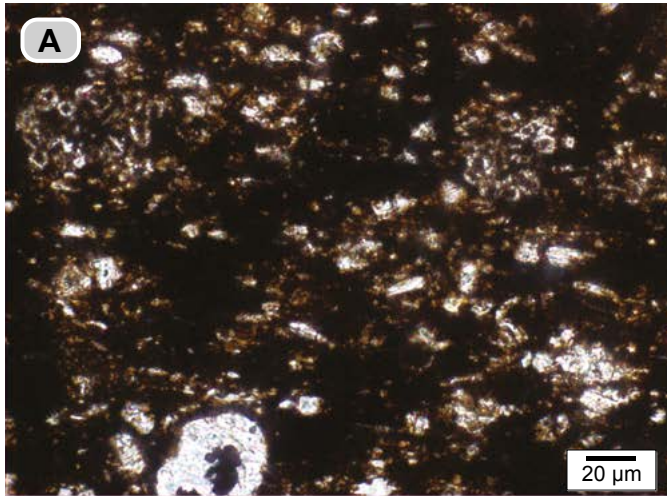


Figura 4. Procedimiento utilizado para el estudio de las rocas de la Formación La Paja. **A)** Identificación de la roca en afloramiento con la lupa de aumento 10x; en este caso se denomina *mudstone* calcáreo con materia orgánica (recuadro amarillo). **B)** La sección delgada (dms 5020: recuadro), vista en el microscopio con objetivo de aumento 10x: biomicrita rala con materia orgánica. **C y D)** Al utilizar los objetivos 20x **D)** y 50x **C)** se distingue que lo que con aumento 10x aparece blanco o amarillo, en realidad corresponde a estructuras orgánicas identificadas como tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina, en este caso acompañada con fragmentos de algas *Dasycladaceas*, estos últimos como cuerpos individuales o como intraclastos. La roca se identifica por su composición y textura como *bindstone* con materia orgánica (microbialita).

carácter isotrópico, se considera como materia orgánica. Aplicando el método sugerido por Folk (1987), se diferenciaron la materia orgánica, los sulfuros y los hidrocarburos.

En sección delgada, un tapiz microbial se ve como un entramado de calcita microcristalina (Chafetz y Buczynski 1991, fig. 1A), en tonos pardos, por la presencia de materia orgánica, con textura de tamiz o cedazo: es decir, se reconocen po-



ros negros con tamaños menores de 5 μm , distribuidos aleatoriamente, unidos por carbonato de calcio microcristalino y enmascarados por un tono pardo (materia orgánica) (fig. 5).

En las rocas de grano muy fino ($< 62 \mu\text{m}$), *mudstone* calcáreos con materia orgánica y *mudstone* arcillosos con materia orgánica, se han diferenciado petrográficamente las siguientes texturas (fig. 6):

Textura A, exhibida por los *mudstone* calcáreos con materia orgánica, en donde la principal característica es la proporción alta de materia orgánica sobre los tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina.

Textura B, son los *mudstone* calcáreos con proporciones altas de materia orgánica, y se caracteriza por presentar peloides de micrita.

Textura C, son *mudstone* arcillosos, y aunque se evidencia la presencia de cantidades importantes de materia orgánica, la arcilla está presente y forma una película abiótica que está adherida a los tapices microbiales (Konhauser 1998), los cuales muestran tres disposiciones (fig. 7):

Textura Laminar, es aquella en donde se observa alternancia entre láminas de tapices microbiales que conforman intervalos claramente delimitados por hilos de materia orgánica, en los que la arcilla se adhiere y forma una superficie abiótica (Konhauser 1998); estos agregados de arcilla toman color azul, bajo nicoles cruzados, al insertar el compensador 1λ y después de rotar la platina a posición NE-SW (fig. 7).

Textura Lenticular, son agregados de arcilla de fino hábito micáceo que dibujan lentes de diferentes dimensiones sobre los tapices microbiales (fig. 7).

Textura Pulverulenta, se reconoce como una pátina de finas partículas de micas, en general orientadas ópticamente, con extinción en conjunto (Pettijohn 1975) (fig. 7).

Las rocas calcáreas (con más de 50% de CaCO_3), que corresponden a salientes en el perfil topográfico, se identificaron en campo teniendo en cuenta la proporción de sus constituyentes y su textura; siguiendo la clasificación propuesta por Dunham (1962); de esta manera, se llamaron calizas *mudstone*, calizas *wackestone*, etc. Si se presentan cantidades apreciables de arcilla, se adiciona el adjetivo ar-

Figura 5. En sección delgada (dma 5020), los tapices microbiales aparecen como un entramado de calcita microcristalina en tonos pardos por la presencia de materia orgánica, que tienen textura de tamiz o cedazo: se distinguen poros diseminados negros de tamaños entre 2 y 5 μm ; la materia orgánica también se aprecia en motas y laminillas. **A)** Se observan tapices microbiales con textura en tamiz; se destaca la presencia de grupúsculos de algas *Dasycladaceas*. **B)** Se observan tapices microbiales con textura de tamiz, el tono más claro se debe a la biomineralización por calcita microcristalina; también hay presencia de restos de algas *Dasycladaceas*. **C)** En este caso aparecen cristales de carbonatos con formas rómbicas y de tolva *hopper* (Robertson 1991) acompañando la presencia de tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina y materia orgánica.

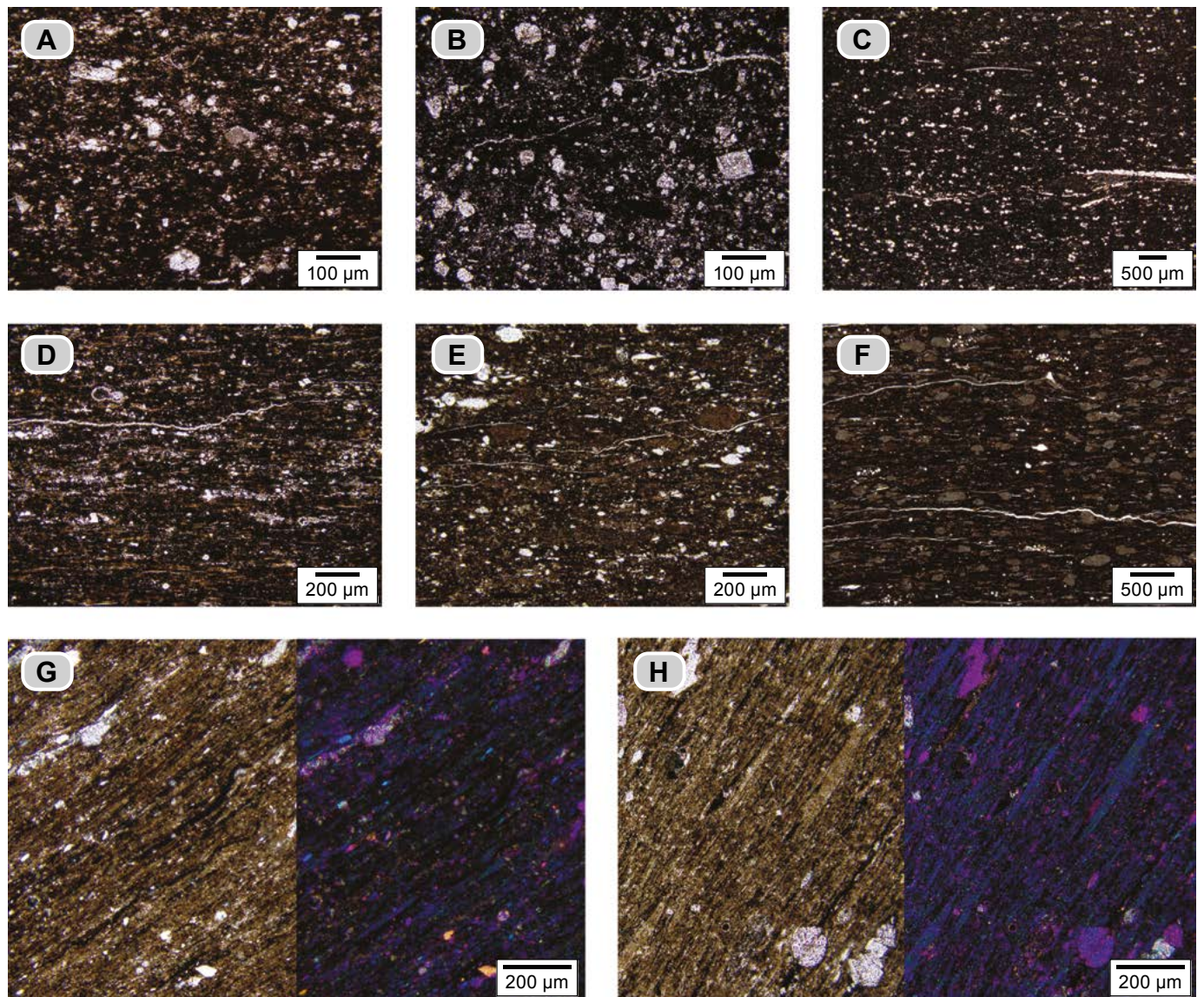


Figura 6. Texturas de los *mudstone* calcáreos y *mudstone* arcillosos con materia orgánica. **Textura A:** los *mudstone* calcáreos son de color casi negro, debido al alto contenido de materia orgánica; los demás constituyentes en general son carbonato de calcio (**A, B, C y D**). **A)** Son comunidades de tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina y por restos de algas *Dasycladaceas*. **B)** En este ejemplo, además de calcita microcristalina (micrita) y materia orgánica, hay cristales cúbicos (halita?) reemplazados por calcita. **C)** En este caso acompañando a las microbialitas, son visibles conchas de foraminíferos reemplazadas por cristales de calcita espar. **D)** Los *mudstone* calcáreos a simple vista aparecen de color casi negro debido al alto contenido de materia orgánica; sin embargo, destacan lentes de color pardo claro por presencia de arcilla adherida a los tapices microbiales; hay presencia de lentes blancos que están constituidos por cristales de yeso y halita. **E y F) Textura B:** es similar a las anteriores en cuanto a la presencia de materia orgánica, calcita microcristalina que biomineraliza los tapices microbiales, pero aquí son notorios los peloides de micrita. En las texturas **A y B**, es común observar indicios de hidrocarburos que atraviesan láminas y rellenan espacios interlaminares. **G y H) Textura C:** corresponde a los *mudstone* arcillosos con materia orgánica, con o sin calcita microcristalina; presentan arcilla adherida a los tapices microbiales. Se diferencian tres modos de presentación de la arcilla: en **G**, la arcilla tiene textura pulverulenta (finos hábitos micáceos) y lenticular. En **H)** las arcillas resaltan como lentes y menos frecuente en fino hábito micáceo. **Nota:** el color azul de la arcilla se obtiene al girar la platina del microscopio a 45° en relación con la laminación, de cruzar nicoles e introducir el compensador 1λ.

cillosa, y si tienen cantidades apreciables de arena, el adjetivo es arenoso.

En el microscopio, cuando se trabaja con los objetivos 2,5x a 10x, la roca se identificaría como calizas *mudstone*, *wackestone* y *packstone* (Dunham 1962) y como micritas y biomicritas (Folk 1962); sin embargo, al observarlas con objetivos 20x y 50x es posible reconocer los tapices de origen microbial y los restos de algas.

Al determinar con el microscopio la naturaleza microbial de estas rocas se utilizaron los criterios de clasificación textural de Embry y Klovan (1971): *bindstone*, *bafflestone*, entre otros, seguida de la palabra microbialita, que indica la influencia directa o indirecta de procesos biológicos.

Las calizas *mudstone* estudiadas en el microscopio muestran varios estadios de recrystalización, que a su vez definen diferentes texturas (**fig. 8**):

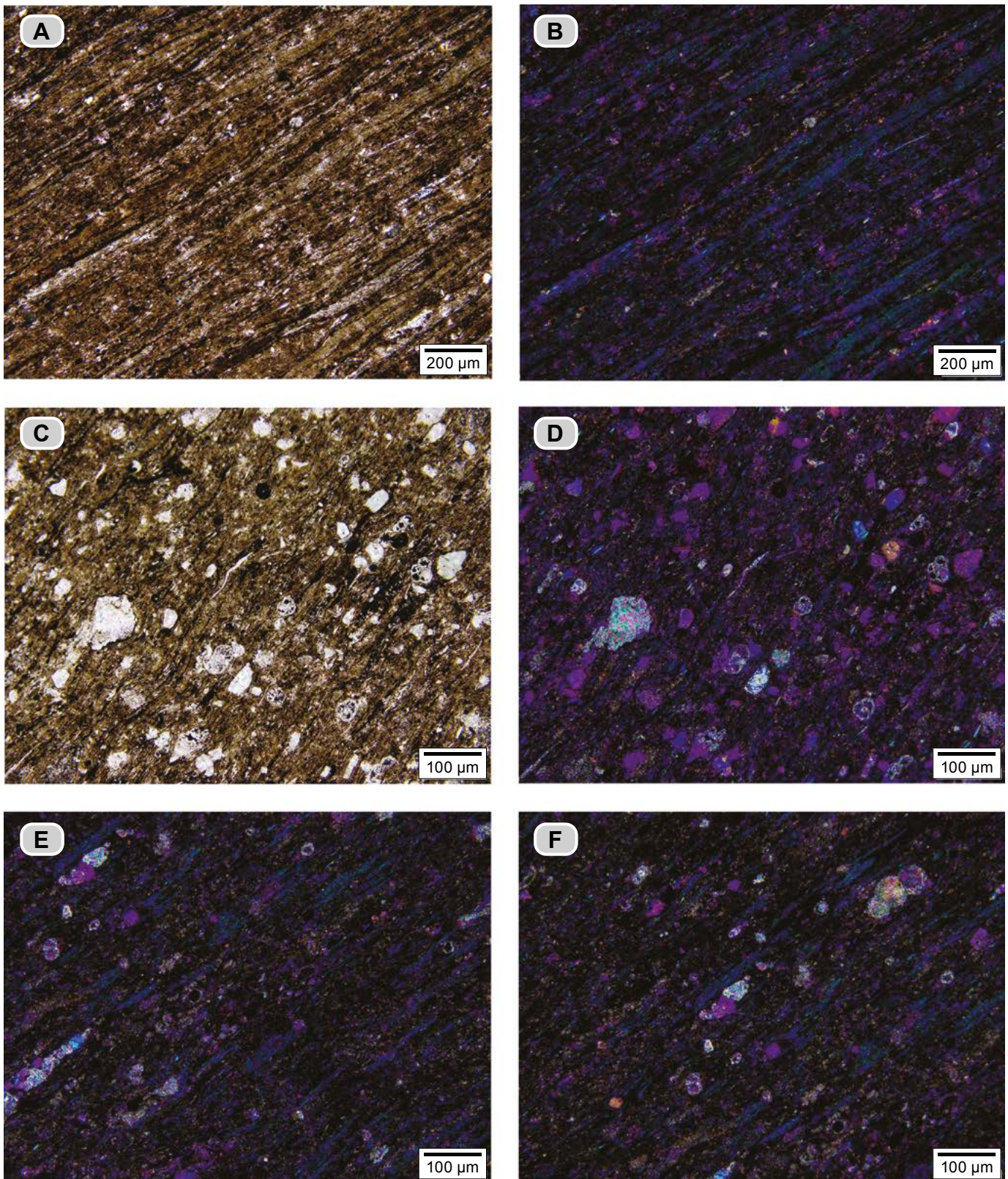


Figura 7. Texturas en los *mudstone* arcillosos de la Formación La Paja. **A y B)** Textura laminar (**dma 4841**): se observan láminas continuas y discontinuas de tapices microbiales con arcilla adherida que alternan con tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina y laminillas de materia orgánica que se interponen entre las anteriores. **C y D)** Textura pulverulenta (**dma 4822**): las arcillas tienen fino hábito micáceo; también se presentan conchillas de foraminíferos, cristales rómbicos de calcita y escasos cuarzos (puntos blancos). **E y F)** Textura lenticular (**dma 4993**): se observan lentes con arcilla de hábito micáceo fino, con extinción en conjunto; en este caso alternan con láminas de tapices microbiales biomineralizados con calcita microcristalina; además se reconoce la presencia de conchillas de foraminíferos. **Nota:** el color azul de la arcilla se obtiene al girar la platina 45° con respecto a la laminación, luego se cruzan los nicoles y finalmente se inserta el compensador 1λ.

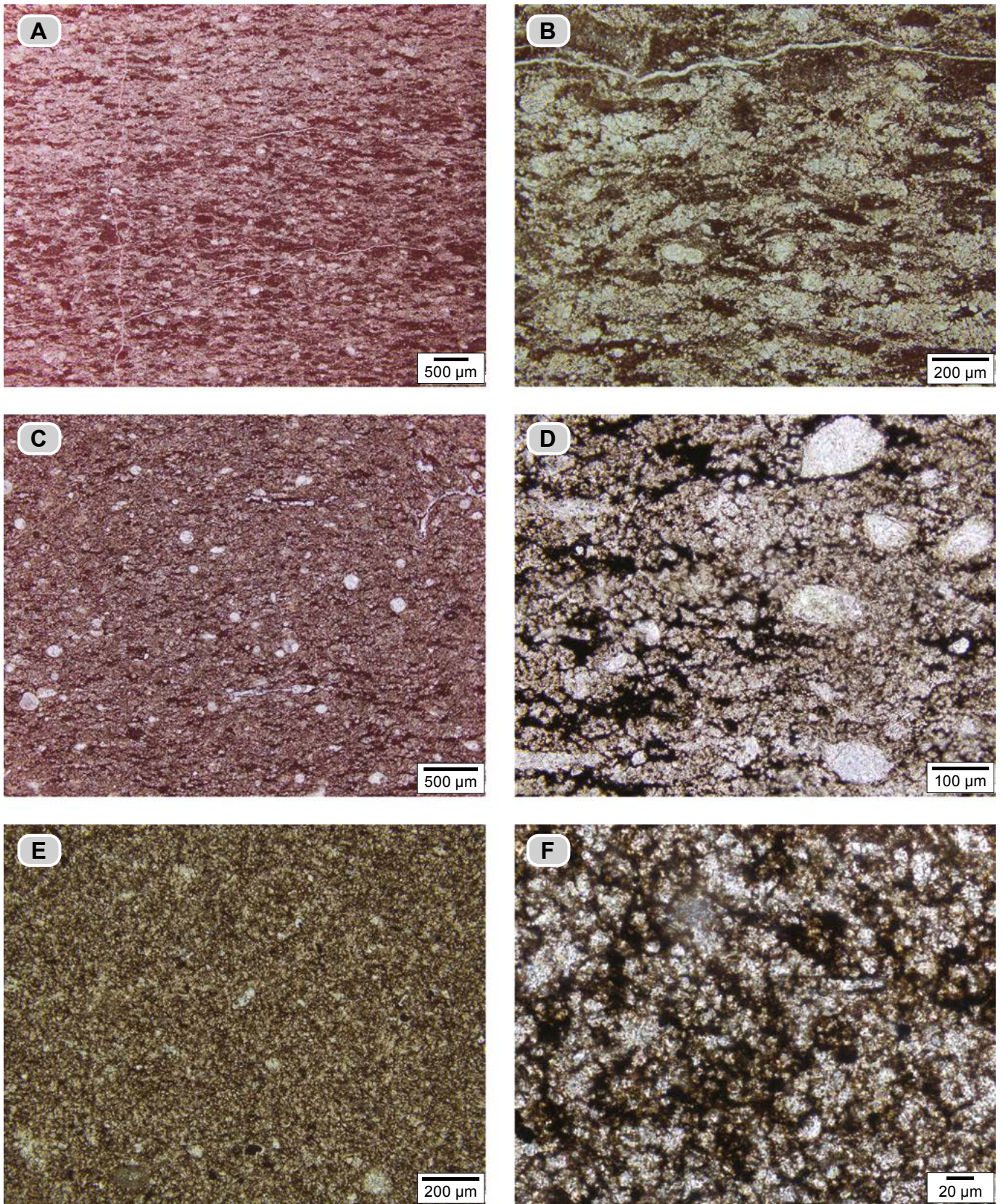


Figura 8. Estadios de recrystalización **A y B)** Estadio de recrystalización bajo (**dma 5023**): se conserva la laminación original; las láminas de color claro tienen recrystalización que produce un agregado de cristales de calcita textura limo fino (espar) y alterna con lentes en tono pardo constituidos por tapices microbiales. **C y D)** Estadio de recrystalización medio (**dma 5025**): se reconoce la textura original de manera difusa; en **D**, con mayor aumento se observan agregados de cristales neoformados, además de la presencia de conchas de ostrá-codos. **E y F)** Estadio de recrystalización alto (**dma 5021**): no se observa la textura original, que ha sido obliterada, y el tamaño de los cristales de calcita es homogéneo por neoformación más avanzada.

Textura tipo I, en este estadio se conserva la laminación y se reconocen dos elementos: **a)** láminas blancas, constituidas por un agregado de cristales de calcita de textura limo fino y limo grueso por recristalización, alternantes con **b)** láminas oscuras de tapices microbiales con biomineralización de carbonato de calcio microcristalino y materia orgánica (**fig. 8**).

Textura tipo II, o estadio intermedio de recristalización; comienza el proceso de homogeneización parcial, y como resultado la textura laminada es difusa; se presentan agregados de cristales de calcita de textura limo, separados por tapices microbiales a modo de hilillos (**fig. 8**).

Textura tipo III, es el estadio de recristalización más alto; se ha obliterado la textura original: la homogeneización de la roca es total. El resultado es un agregado de cristales de calcita de textura limo (**fig. 8**).

Cuando los constituyentes calcáreos no están influenciados por microbios, en la identificación con el microscopio se utilizan los criterios de Folk (1962).

Con el microscopio, en las rocas se observa la presencia de varios cuerpos circulares calcáreos, algunos su naturaleza no se conoce con certidumbre. A continuación se describen los principales tipos (**fig. 9**):

1) Cuerpos circulares con estructura interna concéntrica, cuyos diámetros varían entre 120 μm y 200 μm ; aparecen reemplazados por cristales de calcita-espar (**fig. 9A**).

2) Cuerpos circulares con diámetros que varían entre 120 μm y 180 μm ; internamente son agregados de cristales de calcita espar. Generalmente su contorno es liso, aunque en ocasiones tienen prominencias; también se presentan cuerpos circulares similares, con menor tamaño, de hasta 70 μm (**fig. 9B**), elementos reproductores de algas? o esferas de calcita por la acción de bacterias? (Bundeleva et al. 2012).

3) Cuerpos circulares con diámetros desde 20 μm hasta 40 μm ; con centro de carbonato de calcio en un único cristal, rodeado por un anillo segmentado de varios cristales de calcita espar; estos cuerpos corresponden a quistes de dinoflagelados calcáreos (Reháková 2000, pl. II, fig -13) (**fig. 9C**).

4) Cuerpos circulares con diámetros desde 20 μm hasta 60 μm ; internamente rellenos con cristales de espar, menos común con un cristal único de espar y rodeado por un anillo de cristales subrectangulares de calcita. Se asocia a un quiste de dinoflagelado calcáreo. (Reháková 2000, pl. II, fig. 13) (**fig. 9D**).

5) Forma ovoide reniforme, con tamaños desde 40 μm hasta 60 μm ; internamente constituido por cristales de calcita espar radiales: *microcodium* (**fig. 9E**).

6) Cuerpos circulares con diámetros que van desde 20 μm hasta 40 μm ; con un centro de varios cristales de calcita espar; rodeados por un anillo oscuro, que está circundado por cristales radiales aciculares de calcita, posiblemente por reemplazo de cristales de aragonito (**fig. 9F**). Estos cuerpos corresponden a quistes de dinoflagelados calcáreos (Reháková 2000).

TERMINOLOGÍA

Biofilms: en sentido estricto, los *biofilms* son láminas de organismos sésiles embebidos en su mucílago y fijos a un sustrato (Gerdes 2010). Se caracterizan por: **i)** organismos fisiológicamente cooperativos; **ii)** con presencia de sustancias poliméricas extracelulares (EPS) que envuelven y unen al sustrato celdas y otros componentes inorgánicos y orgánicos; **iii)** capacidad de adherencia de las EPS; **iv)** afinidad entre interfase/sustrato; **v)** agregados microbiales; **vi)** contenido de agua.

Tapiz microbial (*microbial mat*): se produce cuando los biofilmes forman láminas sobre superficies estratiformes; reflejan vacíos en la acumulación, equivalentes a la duración de crecimiento de estas comunidades; están conformadas por la asociación de cianobacterias, eucarióticas, hongos, protoctistas y macroalgas (Gerdes 2010). El tapiz microbial presenta diferenciación vertical en bandas; la más alta está dominada por cianobacterias, seguida hacia abajo por una intermedia de bacterias fotosintéticas; la más baja está integrada por bacterias sulfato-reductoras (Stal, Gernerden y Krumbein 1985; Chafetz y Buczynski 1991).

Carbonatos microbiales: son depósitos de minerales, en este caso de carbonatos, resultado de mineralización *in situ* inducida por comunidades microbiales conocidas como *microbial mats* o *algal mats* (Riding 1991, 2000). Esta biomineralización se da en la banda de bacterias sulfato-reductoras (Stal, Gernerden y Krumbein 1985).

Microbialitas: son depósitos órgano-sedimentarios que acrecen cuando pululan comunidades microbiales bentónicas que atrapan y estratifican sedimentos y forman el *locus* de precipitación mineral (Burne y Moore 1987; Krumbein et al. 2003; Dupraz et al. 2009).

Para Noffke y Awramik (2013), Noffke et al. (2013) y Noffke et al. (2001), las microbialitas tienen estructuras sedimentarias distintivas (MISS), inducidas por la interacción de los biofilmes con el ambiente, debido a la atracción, el atrapamiento y la bioestabilización, que dan como resultado la captura de varias partículas al *locus*.

Son depósitos minerales en sistemas órgano-sedimentarios laminados que permiten la preservación de los tapices microbiales como resultado de órgano-mineralización (Flügel 2010).

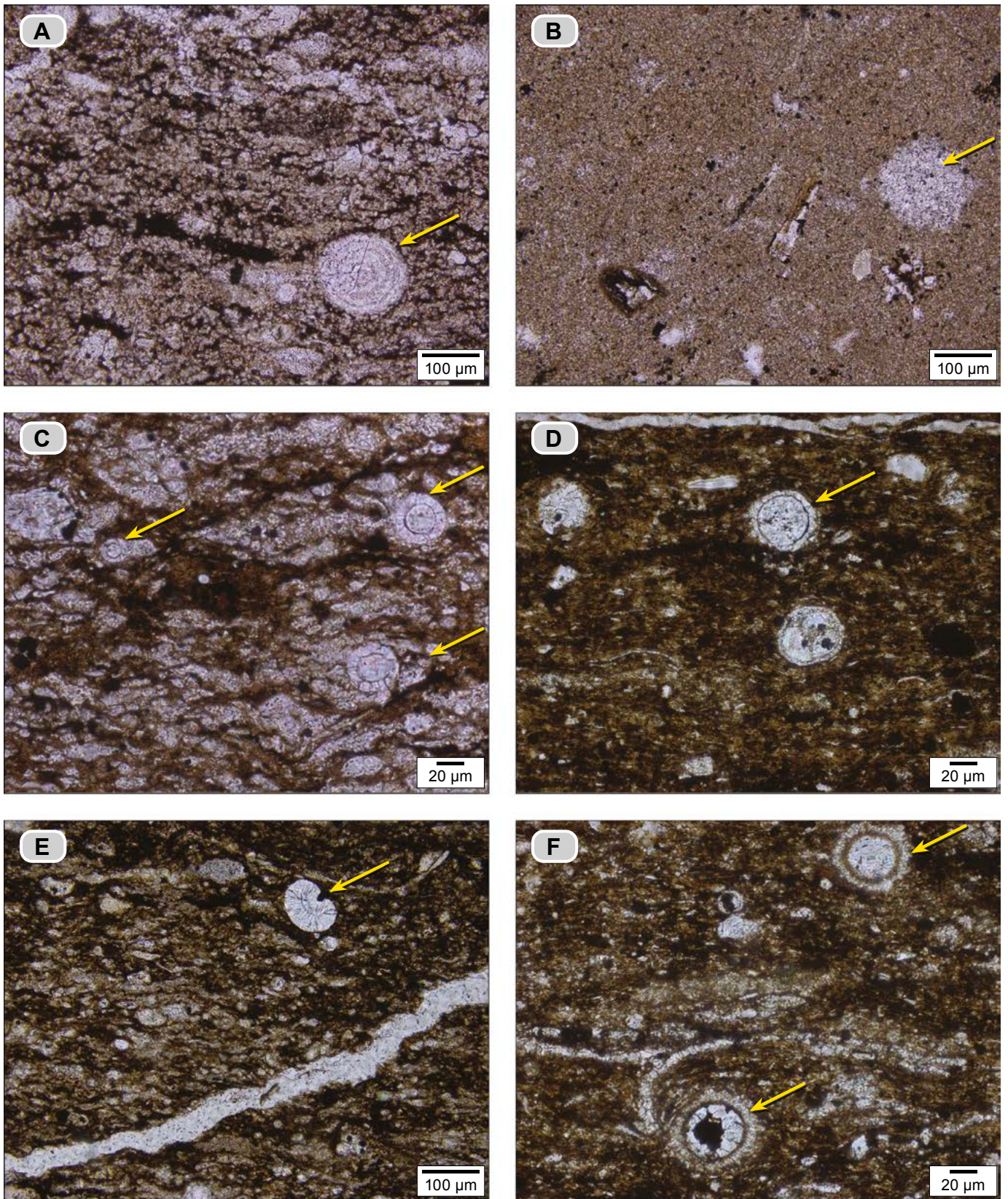


Figura 9. Cuerpos circulares: **A)** constituido por cristales de esparg con un arreglo interno concéntrico. **B)** Constituido por cristales de carbonato de calcio tamaño esparg, sin forma interna. **C)** Cuerpo con un centro de carbonato de calcita en un único cristal, rodeado por un anillo segmentado de varios cristales de carbonatos de calcio (quistes de dinoflagelados calcáreos). **D)** Internamente presentan cristales de calcita-esparg, y con menor frecuencia un solo cristal, con un anillo exterior de cristales subrectangulares de calcita (quiste de dinoflagelado calcáreo). **E)** Cuerpo ovoide que asemeja un fríjol, internamente está constituido por cristales de calcita-esparg radiales: *microcodium*. **F)** Cuerpo circular con dos anillos, el interior de color pardo oscuro y el exterior está constituido por cristales aciculares de carbonato de calcio con crecimiento radial (quistes de dinoflagelados calcáreos).

El término *órgano-mineralización* distingue e incluye la mineralización inducida biológicamente: resultante de la interacción entre actividad biológica-ambiente y la mineralización influenciada biológicamente, es decir, una mineralización pasiva de materia orgánica (Dupraz et al. 2009). La biomineralización de carbonato de calcio se produce en la banda de bacterias sulfato reductoras (Chafetz y Buczynski 1991).

Biolaminitas: equivalente a laminación criptoalgácea (Warren 2006); es una textura sedimentaria inducida por microbios; se da entre láminas orgánicas y tapices microbiales (Noffke et al. 1996)

Peloides y/o granuloides de algas: son pequeños parches de micrita secretada por algas; pueden ser granos alargados de color pardo oscuro y de aspecto microcristalino que pudieron haber sido interpretados como clastos de calizas (Wolf 1965). Esta micrita algal forma montículos semisólidos, que al desintegrarse producen fragmentos de aspecto peloidal (Wolf 1965). Los peloides microbiales, según dicho autor, tienen formación *in situ*, es decir origen autóctono y son partículas de carbonato de calcio en tapices microbiales. En Flügel (2010), los peloides algales se interpretan como partículas resultantes de la desintegración de algas calcificadas y cuerpos microbiales, como producto de la abrasión. Se diferencian varios casos:

- 1) Fragmentos redondeados de composición micrítica derivados de tapices microbiales y, en ciertas ocasiones, de algas (Wolf 1965).
- 2) Intraclastos con las mismas características composicionales con contornos irregulares (Wolf 1965).

Algas *Dasycladaceas*: grupo de algas verdes unicelulares calcificadas, bentónicas, milimétricas a centimétricas; que crecen adheridas a un sustrato. Consisten de un talo central con numerosas ramas laterales con sus órganos reproductivos, los cuales también pueden estar en el talo central. Aparecen en secciones delgadas de calizas como cortes transversales, longitudinales u oblicuos (Scholle y Ulmer-Scholle 2003). Crecen en aguas someras tropicales a subtropicales, y raramente son encontradas en aguas profundas; solo han sido observadas hasta 20 m de profundidad (Berger 2006). Su ambiente son rampas marinas de carbonatos, aparecen desde el Cámbrico hasta Cenozoico inferior (Flügel 2010).

Algas filoideas: nombre informal para cuerpos con aspecto de hojas calcificadas, parecidas a las algas verdes modernas o a algunas algas rojas. Exhiben varios rasgos internos: zonas corticales y medulares centrales; su diferenciación se basa en la corteza (Flügel 2010). Es un término descriptivo, por lo general están fuertemente afectadas por la diagénesis y exhiben pocas características diagnósticas. Se observan como hojas curvadas recristalizadas, muchas están perforadas, semejan hojuelas (*corn flakes* o *potato chip*) y pueden no

mostrar estructuras internas (Scholle y Ulmer-Scholle 2003).

Carofíceas: las carofíceas modernas son algas verdes (clorofitas) que habitan en aguas dulces o salobres internas (Scholle y Ulmer-Scholle 2003).

HISTORIA DE LA NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA

Wheeler (1929) es el primer autor en realizar descripciones con base en los afloramientos por la quebrada La Paja; estas fueron reunidas en un reporte interno para la compañía Imperial Oil Ltd.

Según este autor:

The La Paja formation embraces 625 meters (2050') of black, thinly laminated shales that immediately overlie the Rosa Blanca limestones and marls. The formation is typically exposed in the Quebrada La Paja and just opposite its mouth into the Sogamoso.

The shales in this formation are uniformly black, thinly laminated, sligly (*sic*) calcareous and often micaceous and silty. They are very incompetent and entire hills composed of these shales slump down into the vales (*sic*). Resistant, ledges are rare.

The lower 800-1000' of this formation contains concretions (*sic*) of limestone, septarians, and veins of calcite. The concretions are in the shape of an obtale (*sic*) sheproid and are usually about 8" in their greatest dimension, although (*sic*) some exceeding 12" were seen. The septarians have the cracks filled with calcite and are somewhat smaller than the concretions. In addition, cophalopogd (*sic*) and worn (*sic*) tubes are common in the same part of the section.

The upper 1000' of the formation could not be studied as closely as the remainder because it was either soil covered or concealed by large talus black (*sic*) of limestone from the superjacent Tablazo limestone. It appeared, however, toward the top of (*sic*) grade into the overlying Tablazo marls and to assume more of the character of those beds. Large pelecypods like those of the Tablazo limestone and marls (*sic*) are present in the top parts of the formation.

The topography of areas of La Paja shale is, as would be expected, quite subdued. The hills are of very moderate height where they are not protected by the overlying formation.

Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958, 650) retoman la información de Wheeler (1929), aceptan como sección tipo la estudiada por Wheeler (1929) en la quebrada La Paja, y agregan: *The stratigraphic relationship with the underlying Rosa Blanca is concordant and the contact relatively sharp [...]. The upper part of the formation seems to grade into the overlying Tablazo marls and to assume more of the character of those beds [...].*

CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS DE LA SUCESIÓN AFLORANTE EN LA SECCIÓN TIPO

En su sección tipo, la Formación La Paja mide 288 m. En el presente estudio esta unidad se ha subdividido en cinco segmentos estratigráficos integrados por dos elementos superpuestos, que se repiten a través de la sucesión, en el siguiente orden:

1) *Mudstone* calcáreos y *mudstone* arcillosos, con materia orgánica: en el microscopio se identifican como *bindstone* con materia orgánica y *bindstone* con arcillas y materia orgánica. Ambos términos mencionados corresponden a microbialitas con materia orgánica. Esta tipología litológica favorece su expresión como entrantes en el perfil topográfico (**anexo 2, columna estratigráfica y fig. 10**).

2) Calizas *mudstone* recristalizadas (Flügel 2010, fig. 4.5): en el microscopio se trata de *bindstone* recristalizados; también se trata originalmente de microbialitas en las que la materia orgánica es apenas perceptible. Esta tipología litológica favorece su expresión como salientes en el perfil topográfico (**anexo 2, columna estratigráfica y fig. 10**).

El segmento estratigráfico I (0-73 m) está compuesto por calizas *mudstone* con recristalización, grises oscuras, en capas medianas a gruesas que se presentan así: **a)** planas-paralelas, **b)** con adelgazamientos y engrosamientos que configuran capas arrosariadas o de montículos, **c)** con uno de sus contactos ondulado y **d)** con uno de sus contactos dentellado. En este segmento las calizas *mudstone* alternan con *mudstone* calcáreos con materia orgánica, grises oscuros, laminados, en intervalos de hasta 1,20 m.

Con el microscopio, en los *mudstone* calcáreos con materia orgánica se reconocen tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina, que se distinguen por su textura de tamiz. Se identifican petrográficamente como *bindstone* con materia orgánica o su equivalente, microbialitas, es decir, depósitos órgano-sedimentarios producidos por comunidades microbiales bentónicas, en los cuales además se destaca la presencia de algas *Dasycladaceas*, algas filoideas y cuerpos circulares calcáreos de 100-200 μm , interpretados como elementos reproductores de algas. Hay presencia de materia orgánica.

El segmento estratigráfico II (73-116 m) es similar al anterior, pero se diferencia en particular porque contiene lentes y láminas de calcita fibrosa que recuerdan tapices de algas desecados; además, presentan yeso en láminas y nódulos resedimentados, y también domos de gases. En el microscopio persisten las microbialitas, restos de algas *Dasycladaceas*, cristales de yeso, halita reemplazada por yeso o calcita, y peloides de micrita.

El equivalente al segmento estratigráfico III (116-193 m) está cubierto en gran parte; los metros aflorantes son de *mudstone* arcillosos con materia orgánica.

El segmento estratigráfico IV (193-216 m) presenta calizas *mudstone*, cuya principal característica es la laminación, desde fina hasta mediana, plana paralela. El color en muestra fresca es gris oscuro; como pátina resalta el tono naranja amarillento. En el microscopio se identifican como *bindstone* recristalizados, y en ellos destacan cuerpos circulares calcáreos de 100-200 μm (elementos reproductores de algas) y quistes de dinoflagelados calcáreos.

El segmento estratigráfico V (216-288 m) está compuesto por calizas *mudstone* grises oscuras, que en el microscopio aparecen como *bindstone* con recristalización, dispuestos en capas con formas similares a las descritas en el segmento I, y alternan con intervalos de hasta 6 m de *mudstone* arcillosos con materia orgánica que en el microscopio se reconocen como *bindstone* con arcillas y materia orgánica.

En los *mudstone* calcáreos con materia orgánica de los segmentos estratigráficos I y II se observan conchillas de foraminíferos planctónicos con textura arena fina, mientras a partir del segmento III, en los *mudstone* arcillosos con materia orgánica, las conchillas de foraminíferos planctónicos presentan textura limo grueso.

Las impresiones de amonitas son frecuentes en toda la sucesión. Hay presencia esporádica de hidrocarburos en forma de relleno de cavidades, espacios intergranulares y microdiques. Son notables las concreciones subsferoidales a elipsoidales mayores de 10 cm en su diámetro mayor.

Algunos de los rasgos microscópicos que caracterizan las calizas *mudstone* es que están recristalizadas, en uno de tres estadios: I) se conserva la laminación original, en la que alternan láminas recristalizadas y láminas sin recristalización; II) las láminas recristalizadas y no recristalizadas que se entremezclan, y III) la recristalización la vuelve homogénea y se difumina la laminación.

Un caso conspicuo de rosetas de yeso calcificadas se presenta en calizas *mudstone* del segmento estratigráfico V, interpuestas entre *mudstone* arcillosos con materia orgánica.

El rasgo principal en los *mudstone* calcáreos con materia orgánica en el microscopio es la laminación gruesa, en ocasiones con peloides de micrita; mientras que en los *mudstone* arcillosos con materia orgánica, las texturas son definidas por la forma de presentación de las arcillas: en láminas delgadas y medianas, en lentes, y como pátina, con arcillas de fino hábito micáceo orientadas (pulverulenta).

Segmento estratigráfico I (0-73 m)

En la sección tipo, los primeros tres metros de la Formación La Paja están cubiertos, y se describen según los afloramientos que se encuentran en la vertiente oriental del río Sogamoso, a la altura del municipio de Los Santos (N:1.243.540, E:1.099.108, Z:895), en el carreteable que conduce a la mina de yeso El Carrancho (**fig. 11**).

FORMACIÓN LA PAJA SECCIÓN TIPO QUEBRADA LA PAJA

Inicio: 1.269.639N - 1.082.371E - 193 msnm
Final: 1.262.497N - 1.081.973E - 399 msnm

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

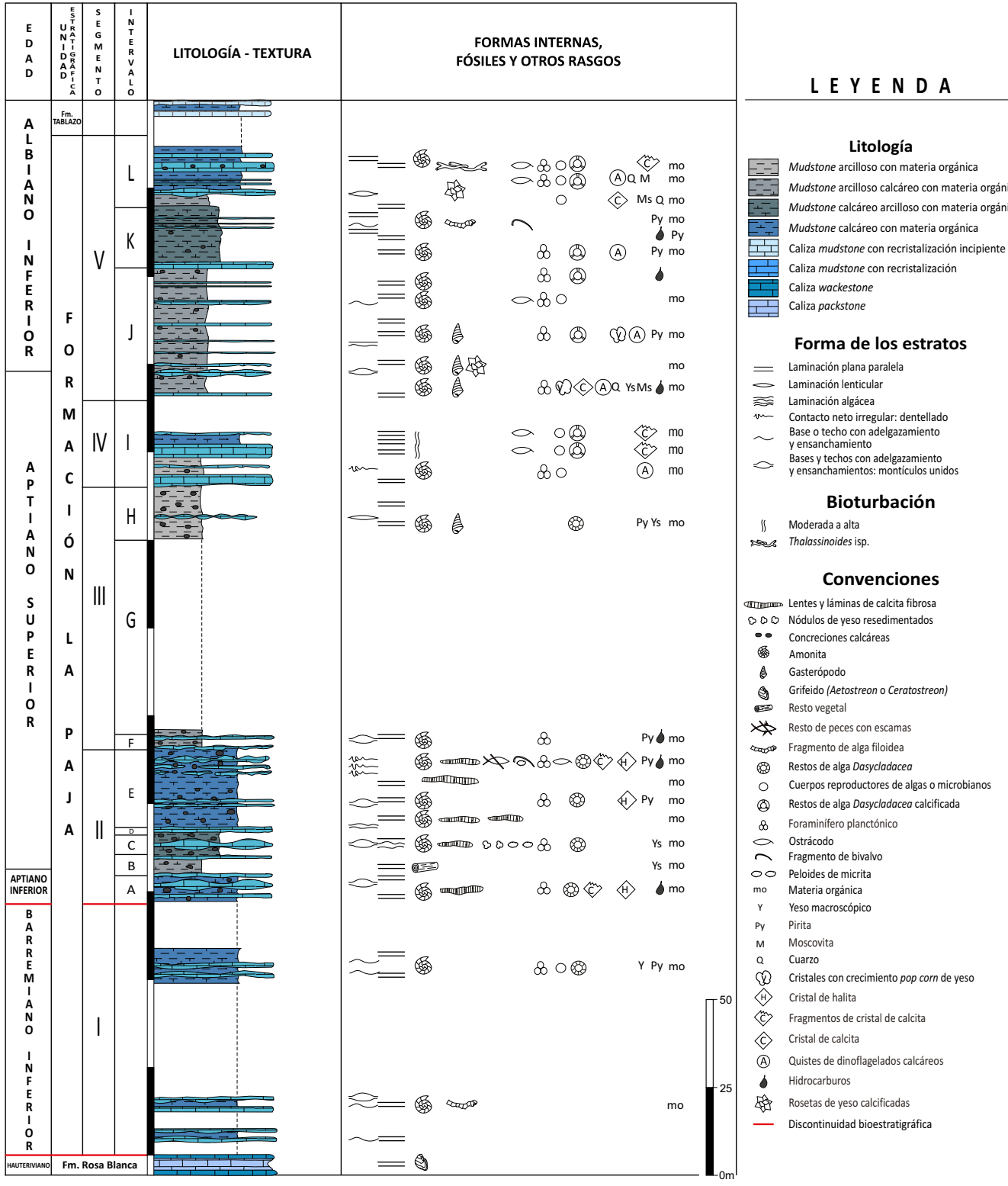


Figura 10. Columna generalizada de la Formación La Paja. Sección tipo.

El primer elemento litológico atribuible a la Formación La Paja son 5 cm de caliza *mudstone* (**dma 5891**), que yacen sobre un paleosuelo desarrollado sobre el techo de la Formación Rosa Blanca (véase Etayo-Serna y Guzmán 2019)

Los 30 cm que reposan sobre la caliza *mudstone* (**dma 5891**), corresponden a un intervalo laminado constituido por la alternancia de láminas delgadas y medianas de *mudstone* calcáreos grises (N3) a rojizos (5YR 5/4, 10YR 5/6) y láminas de yesos (**fig. 12**).

Sobre las capas anteriores se observa una sucesión constituida por calizas *mudstone* grises (N4-N5) en capas gruesas que dan resalte topográfico; alternan con capas gruesas, a su vez constituidas por *mudstone* calcáreos con láminas de yeso (**fig. 12**); el espesor total de este intervalo es de 2.70 m. Las láminas de yeso están formadas por cristales alargados perpendiculares a S_0 , blancos o de aspecto terroso por meteorización.

Las capas de las calizas *mudstone* presentan dos formas: la primera muestra ondulaciones en la base y el techo que generan adelgazamientos o engrosamientos, y en ocasiones se angostan tanto que configuran montículos unidos; la segunda forma de las capas presenta superficies planas paralelas.

El primer registro de amonitas (**dma 5894**, **dma 5830**) de la Formación La Paja se da en la caliza *mudstone*, a 35 cm del contacto con la Formación Rosa Blanca: se trata de *Nicklesia pulchella* (ORBIGNY, 1841).

En el microscopio, el primer elemento litológico (**dma 5891**) deja ver láminas medianas y gruesas alternantes, claras y oscuras; las láminas oscuras tienen un tinte pardusco, debido a la

presencia de óxidos de hierro y materia orgánica. La roca está recrystalizada y presenta un agregado de cristales de calcita con tamaños que varían desde 12 μm hasta 21 μm (**fig. 13**).

Entre los fósiles (7,5%) se reconocen (**fig. 13**): **a**) formas circulares con diámetros que varían entre 120 y 250 μm , rellenos por cristales de calcita. Algunas de estas formas presentan un apéndice que se interpreta como el inicio de la primera cámara. Estos cuerpos se han interpretado como protoconchas de amonitas o fragmentos de las mismas. **b**) Formas circulares similares con menor tamaño, de hasta 70 μm .

La caliza *mudstone* (**dma 5894**), presenta tonos rojizos y está recrystalizada, y se reconoce un agregado de cristales de calcita de 7 μm (**fig. 13**). Los fósiles son: **a**) cuerpos circulares (4%), con diámetros que varían desde 100 μm hasta 500 μm , rellenos por cristales de esparita; también se observa la presencia de cuerpos que presentan internamente cámaras, que en ocasiones conforman una espiral; estas cámaras pueden estar rellenas por micrita; todas estos cuerpos globosos son protoconchas de amonitas (Stinnesbeck, Frey y Patrick 2016) (**figs. 14 y 15**); **b**) conchas de bivalvos (5%), en dos tamaños en su dimensión mayor: alrededor de 500 μm , y desde 50 μm hasta 300 μm , con reemplazamiento a cristales de esparita o micritizadas; **c**) bivalvos con conchas articuladas (2%) con tamaños entre 120 μm y 200 μm , y **d**) restos fosfatizados de peces (4%).

En la quebrada La Paja (sección tipo), el segmento estratigráfico I de la Formación La Paja se localiza entre los puntos de la poligonal $\Delta 116$ y $\Delta 94$; presenta varios intervalos cubiertos, incluida su base, y los afloramientos representan el 8% de la sucesión estratigráfica.

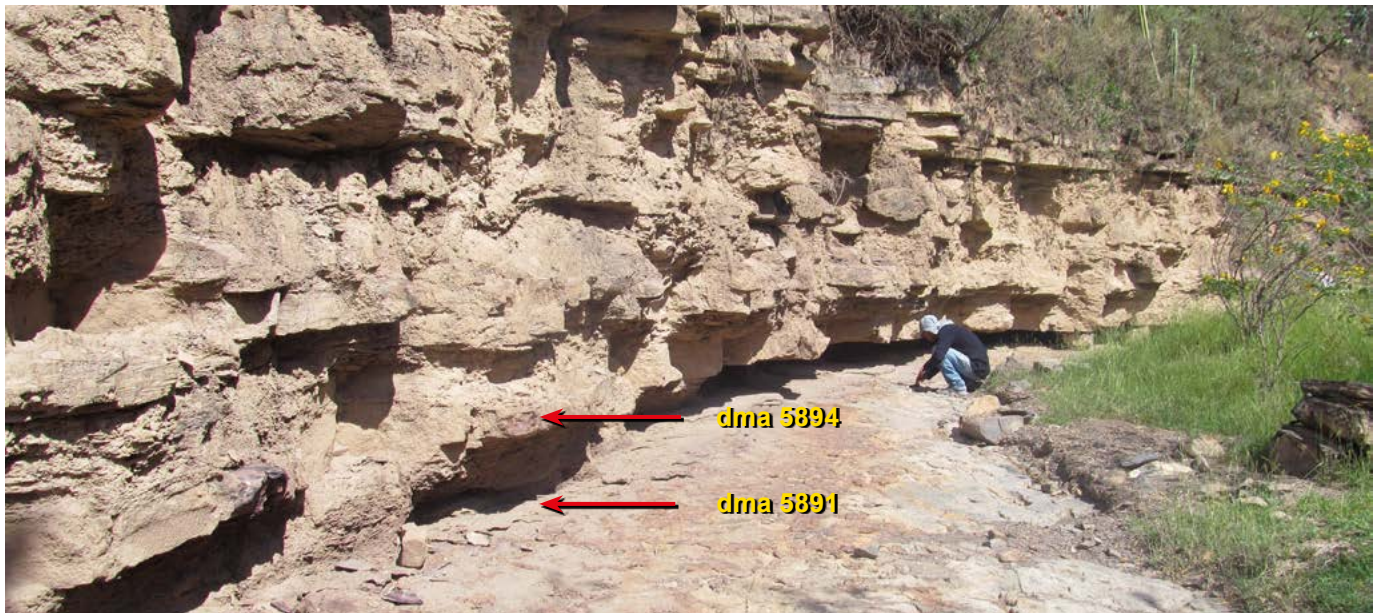


Figura 11. Metros basales de la Formación La Paja. Se observa la alternancia de un elemento duro (caliza *mudstone*) con un elemento blando (*mudstone* calcáreo). La Formación La Paja descansa sobre una superficie de alteración en el tope de la Formación Rosa Blanca (Etayo-Serna y Guzmán 2019). (Carretera Los Santos hacia las minas de yeso “El Carrancho”, N:1.243.540, E:1.099.108, Z:895).

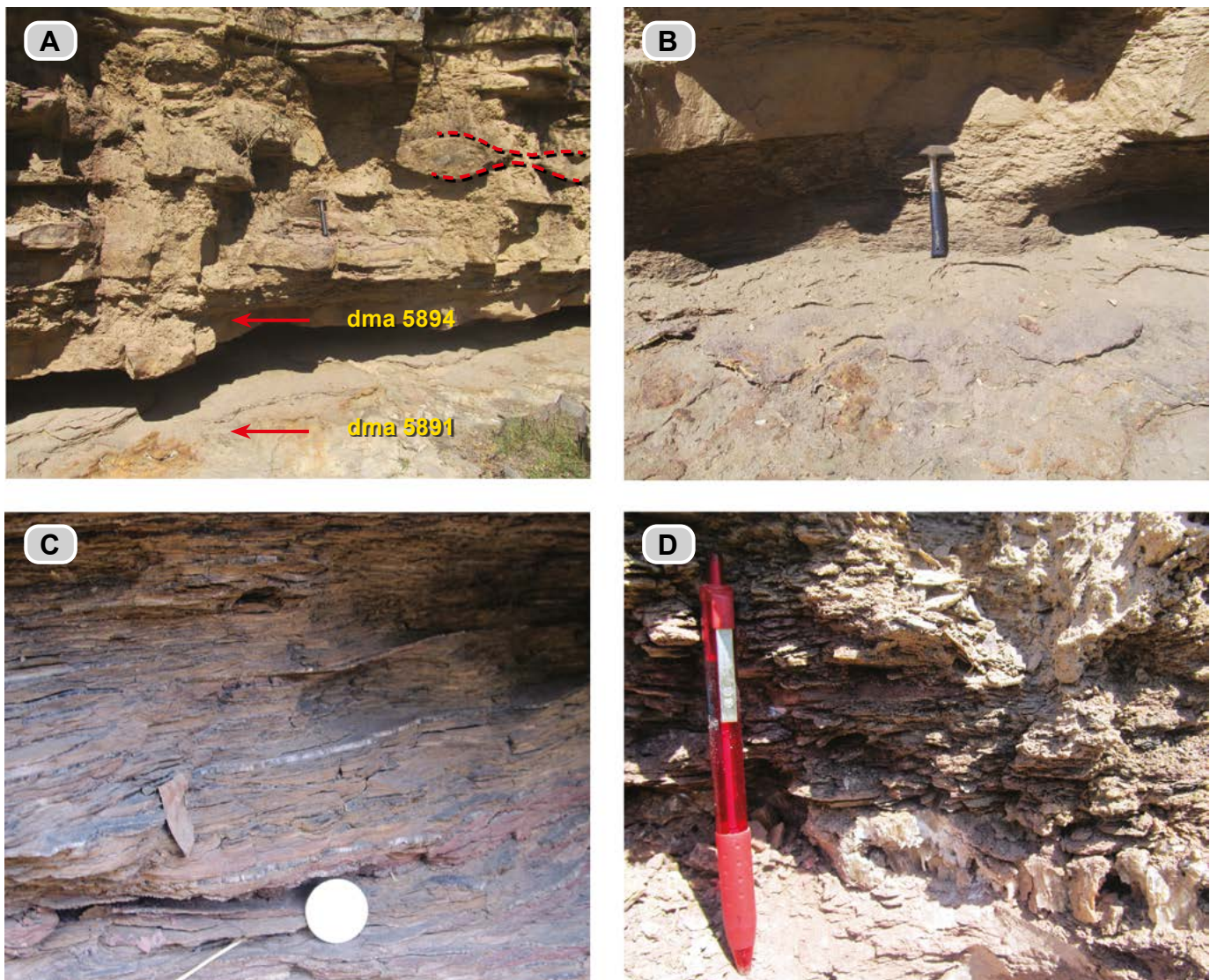


Figura 12. Metros basales de la Formación La Paja. **A)** Las capas de calizas *mudstone* tienen formas tanto plano-paralelas, en las que el espesor se conserva, como formas con contactos ondulados que configuran adelgazamientos y engrosamientos, y toman aspecto arrosariado (líneas rojas punteadas), (metro 0-2). **B)** Contacto entre las Formaciones Rosa Blanca y La Paja (30 cm basales). **C)** Detalle de la figura B (señalada por el martillo): se observa la alternancia de láminas de yeso con *mudstone* calcáreos; nótese el tono rojizo de estos. **D)** Láminas gruesas de yeso fibroso perpendiculares y laminillas de yeso paralelas a la estratificación (metro 1.5). (Carretera Los Santos a las minas “El Carrancho”, N:1.243.540, E:1.099.108, Z:897).

En esta, su sección tipo, los estratos se describen a partir del metro 3: allí afloran 2,5 m de secuencia; continúa un segundo tramo cubierto (4 m), al final del cual se observan 3,5 m de sucesión; para nuevamente aparecer el tercer tramo cubierto, hasta el metro 50, donde reaparecen los afloramientos.

En el metro 3 afloran calizas *mudstone* de color gris oscuro (N3-N5), que en el perfil topográfico generan salientes. Las rocas se disponen en capas medianas y gruesas (hasta 60 cm), con base y techo plano paralelo; en ocasiones sus bases son onduladas. Alternan con *mudstone* calcáreos con materia orgánica, laminados, en capas delgadas a gruesas (50 cm), que dibujan entrantes en el perfil topográfico (**fig. 16**).

A 11 m encima del techo de la Formación Rosa Blanca se coleccionaron las primeras amonitas con volumen de la sec-

ción tipo (**fig. 17**), en concreciones calcáreas elipsoidales a esferoidales con longitud variable en el eje mayor ϕ (ϕ): 30 cm, 25 cm y 4 cm.

En el microscopio, la caliza **dma 5196** es un *wackestone*, se identifica como *bindstone* (microbialita) y está constituida por (**fig. 18**): **a)** fragmentos de microbialitas, disgregados, subredondeados con tamaños entre 160 μm y 190 μm ; en cada fragmento internamente se aprecia una estructura reticulada; **b)** láminas de calcita espar con bordes arriñonados, irregulares y entrelazados; estas láminas representan tapices microbiales biomineralizados por calcita espar (microbialitas), y **c)** fragmentos alargados (4 mm) de formas onduladas, tipo hojuelas, cuyo grosor no es mayor de 4 μm , en general dispuestas de modo paralelo a S_0 , de color amarillo-pardo; corresponden a restos de algas filoideas.

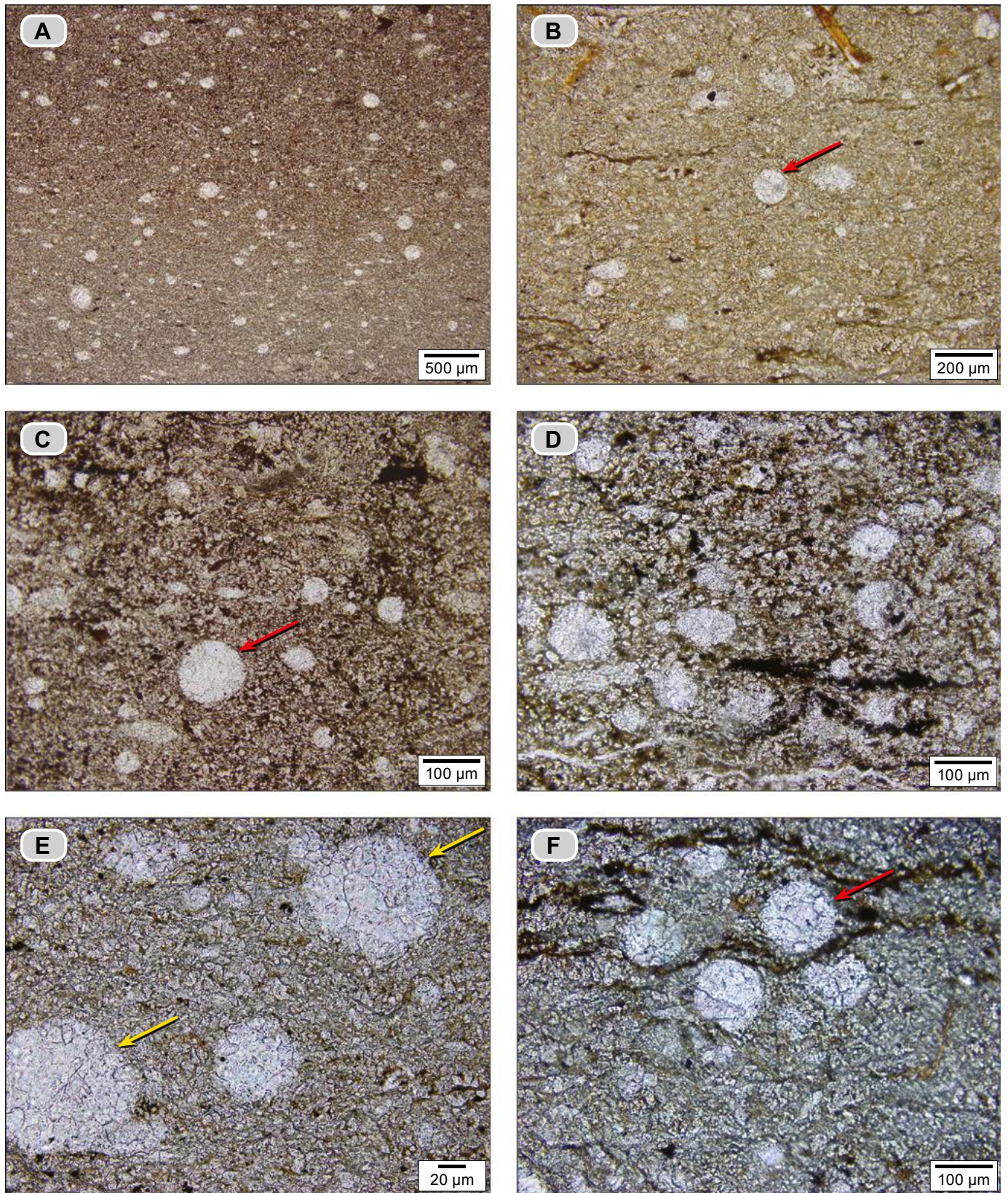


Figura 13. Caliza *mudstone* (dma 5891). **A)** El color pardo rojizo de la lámina superior se debe a la presencia de óxidos de hierro; además, en la sección delgada se observan cuerpos circulares entre 100 hasta 250 µm de diámetro, rellenos por cristales de calcita espar (protoconchas de amonitas). **B)** La flecha roja señala un cuerpo circular con desarrollo de cristales de calcita espar; además, se observan algunos restos fosfáticos y se aprecia la recrystalización de la micrita. **C)** En una lámina oscura hay presencia de protoconchas de amonitas (flecha roja) y presencia de óxidos de hierro. **D)** Nótese la micrita recrystalizada. **E y F)** En una lámina clara se observan las formas circulares (protoconchas amonitas) y la micrita con recrystalización; en **E** las flechas amarillas resaltan la presencia de cuerpos circulares rellenos por cristales de calcita espar, con apéndice (profisión de la amonita).

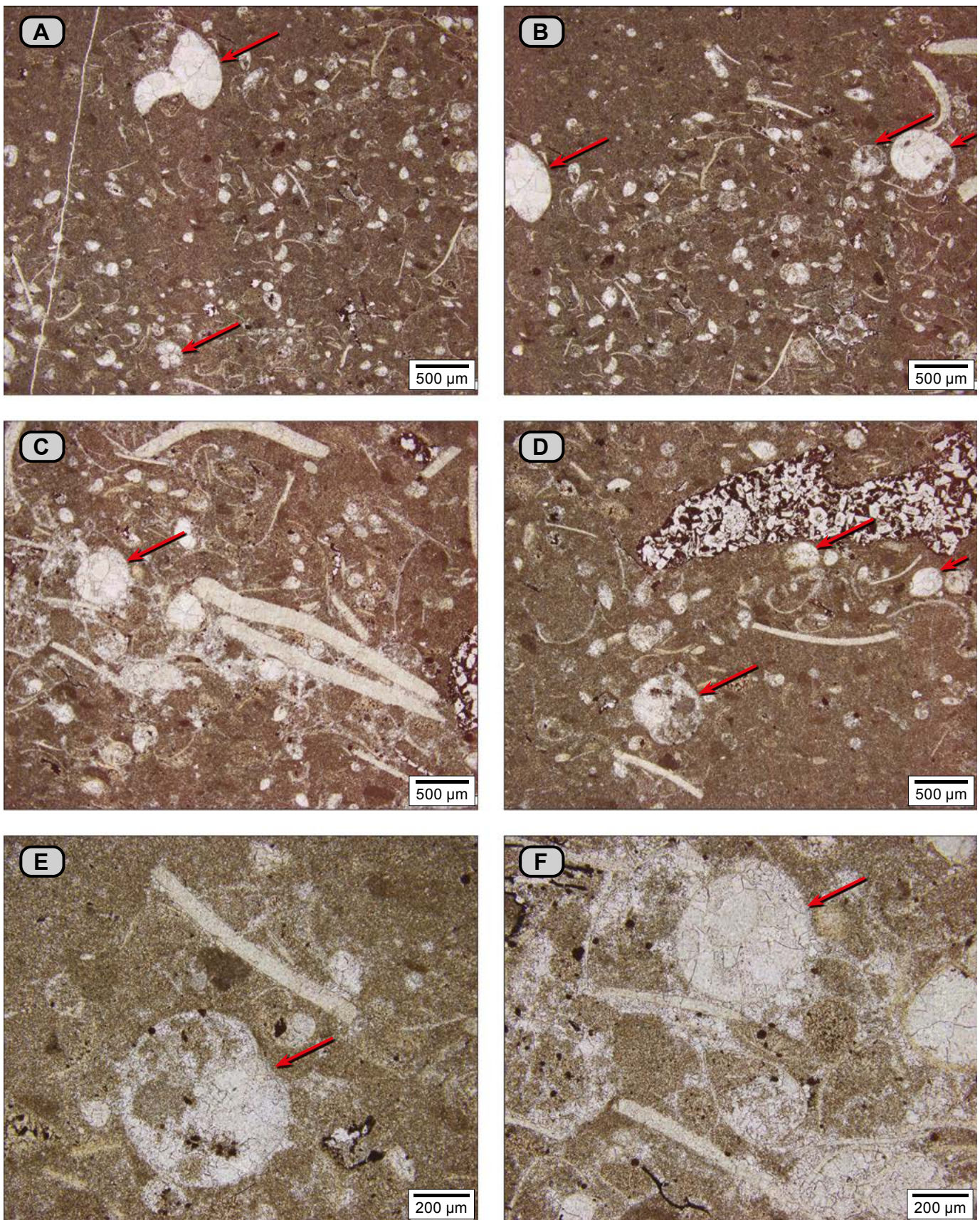


Figura 14. Caliza *mudstone* (dma 5894). **A, B, C y D)** Los constituyentes son conchas desarticuladas de bivalvos, conchas articuladas de pequeños bivalvos y fragmentos de huesos; las flechas rojas señalan la presencia de cuerpos circulares con cámaras internas y enrolladas de las protoconchas de amonitas. **E y F)** Con mayor aumento se observa micrita con recristalización incipiente, y las flechas rojas señalan cortes de protoconchas de amonitas para mostrar la primera cámara y el inicio del enrollamiento.

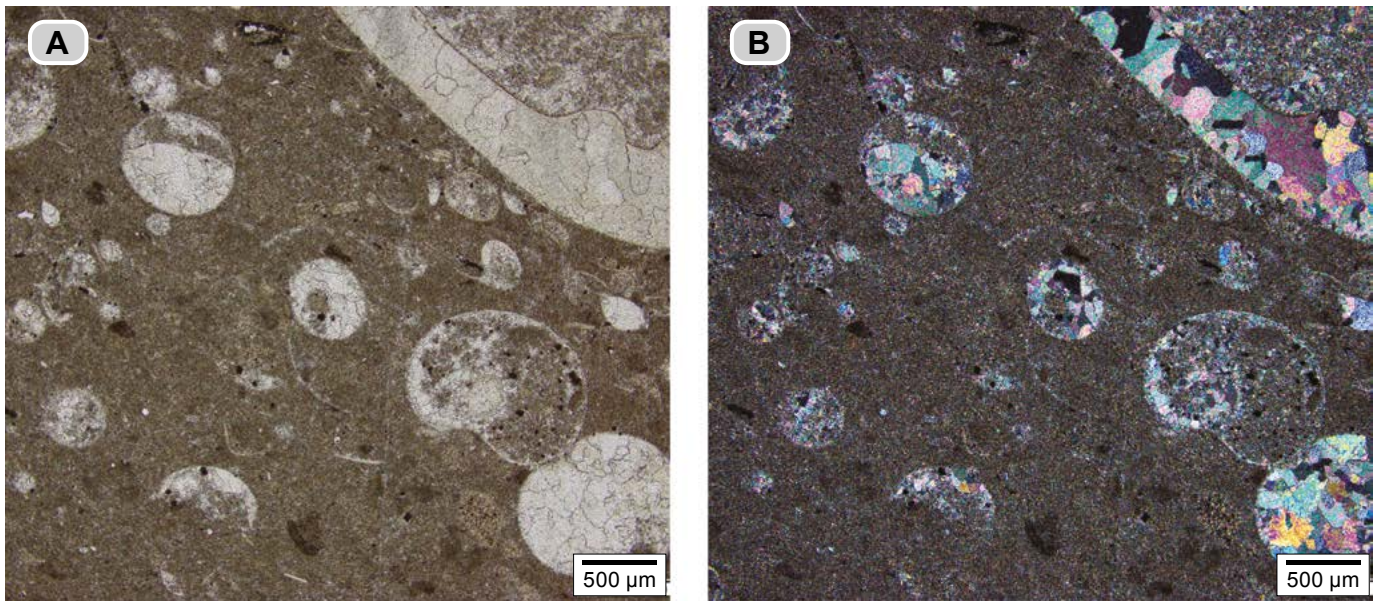


Figura 15. Protoconchas de amonitas en diferentes posiciones (**dma 5894**). Nótese que la cámara inicial suele estar rellena por cristales de calcita espar, mientras que la cámara siguiente está ocupada por micrita (Stinnesbeck Frey y Patrick 2016).



Figura 16. Calizas *mudstone* que resaltan en el perfil topográfico, en capas gruesas y medianas con formas plano-paralelas o con las bases onduladas (metro 9-12, $\Delta 116$).



Figura 17. *Nicklesia pulchella* (ORBIGNY, 1841). Metro 11 del segmento estratigráfico I.

La materia orgánica se observa como motas, que en ocasiones forma caminos. Se presentan otros restos fósiles como fragmentos de huesos y de equinodermos fosfatizados; hay presencia de hidrocarburo relleno fósiles y poros (**fig. 18**); además, hay presencia de pirita (5%) y fragmentos de cuarzo como mineral traza.

Estos constituyentes aparecen en dos tipos diferentes de láminas: **1**) la conformada por acumulaciones de fragmentos subredondeados de microbialitas, acompañados con restos de huesos de peces fosfatizados; por sectores hay presencia de fragmentos de algas filoideas; estos fragmentos disponen en varias direcciones con respecto a S_0 , y **2**) la conformada por láminas entrelazadas de tapices microbiales con bordes arriñonados, recristalizados a calcita espar.

La descripción anterior termina en el $\Delta 114$, a partir del cual se presenta el tercer tramo cubierto, correspondiente a 39 m de secuencia ($\Delta 114$ - $\Delta 98$). Por esta razón, parte de esta sucesión se describe con base en el afloramiento ubicado a seis kilómetros al sur (**fig. 19**), en la quebrada El Ramo (plancha 120-IB); en este sitio (N:1.265.183, E:1.079.724, Z:321), la alternancia más apretada de estos dos tipos litológicos: calizas *mudstone* y *mudstone* calcáreos con materia orgánica, produce un saliente topográfico (Intervalo El Ramo), (véase el Mapa geológico en los alrededores del Tablazo, en Moreno-Sánchez 2019); adicionalmente, en este intervalo se presentan 90 cm de *mudstone* calcáreos con entrecruzamiento de lentes de yeso.

Retomando la descripción del segmento I por la quebrada La Paja, después del cubierto de 39 m (tercer tramo cubierto, $\Delta 114$ - $\Delta 98$), se observan los 3,5 metros cuspidales de este segmento ($\Delta 98$ - $\Delta 96$); aquí alternan calizas *mudstone* y *mudstone* calcáreos con materia orgánica.

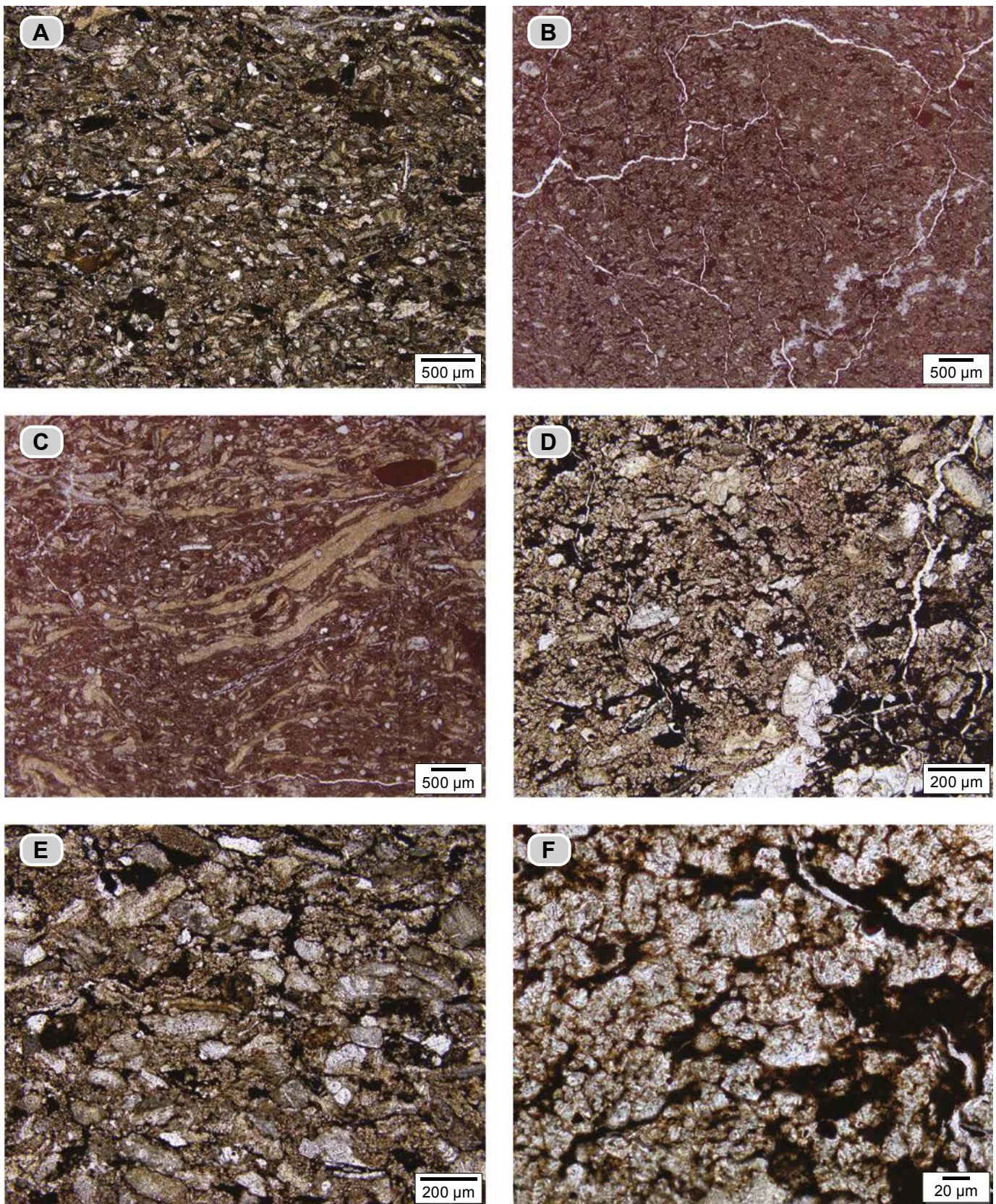


Figura 18. Caliza *wackestone* (dma 5196). Se identifica como *bindstone* (microbialita). **A)** Fotografía de una de las láminas, que muestra las acumulaciones de bioclastos de textura fina, subredondeados. **B)** Láminas contorsionadas de microbialitas con bordes arrifionados. **C)** Lámina con fragmentos de algas filoideas? (tono amarillo pálido), en general orientadas paralelas a S_0 . **D)** Ampliación de la figura B, para mostrar láminas contorsionadas con bordes arrifionados de calcita espar. **E)** Ampliación de la figura A para observar fragmentos de microbialitas de textura fina; nótese en algunos fragmentos la preservación de la estructura celular (poros negros que forma un retículo). **F)** Ampliación para mostrar las láminas de calcita espar con bordes arrifionados de las microbialitas recristalizadas.



Figura 19. Intervalo de calizas *mudstone* y *mudstone* calcáreos que generan resalte en el perfil topográfico (Intervalo El Ramo); la flecha amarilla señala la presencia de yeso entrecruzado. (Quebrada El Ramo, punto con coordenadas N:1.265.183, E:1.079.724, Z:321 y azimut de 212°, aproximadamente a 1,5 km aguas arriba desde el puente sobre la quebrada, en el cruce con la vía principal de San Vicente de Chucurí a Lebrija).

Los *mudstone* calcáreos con materia orgánica que tiñe las manos al tocarla son ricos en restos vegetales lustrosos (5-10 mm). Se presentan en intervalos de hasta 1,20 m, son grises oscuros (N2) y dibujan entrantes en el perfil topográfico. Alternan con calizas *mudstone* grises oscuras (N3) que resaltan en el perfil (**fig. 20**) y tienen dos formas de presentación: **I**) capas gruesas con bases y techos que muestran adelgazamientos y ensanchamientos, y que adquieren aspecto de montículos unidos, con las siguientes dimensiones: 2 m de largo, 2 m de ancho y 70 cm de grosor; **II**) capas medianas con formas plano paralelas (**fig. 20**).

En el microscopio, los *mudstone* calcáreos con materia orgánica (**dma 5020**), se identifican como *bindstone* con materia orgánica (microbialita), tienen **textura tipo A** y están constituidos por (**fig. 21**):

- a) Calcita microcristalina (micrita) con aspecto poroso o de tamiz, interpretada como tapices microbiales con biomineralización de calcita microcristalina (microbialitas);
- b) formas circulares con centro de color negro, recubiertas por un halo de cristales de calcita, que se identifican como restos de algas *Dasycladaceas* (5%), que se observan como secciones transversales de agregados y como restos individuales;
- c) amonitas juveniles (1%);
- d) conchillas de foraminíferos planctónicos y quistes de dinoflagelados calcáreos (Reháková 2000, plate II, fig 12);
- e) cristales anhedrales individuales de calcita con tamaños entre 5-30 μm , que se han interpretado como fragmentos disgregados, provenientes de láminas preexistentes de microbialitas recrystalizadas;
- f) materia orgánica en forma de motas e hilillos paralelos a S_0 , y
- g) pirita diseminada en porcentajes menores de 1%.

Las calizas de *textura mudstone*, en el microscopio se identifican como *bindstone* recrystalizados (microbialita recrystalizada), con **textura tipo III** (**dma 5021**); se reconocen por la homogeneización total de la roca, que genera un mosaico de cristales de calcita espar con **textura limo** (**fig. 22**). Hay



Figura 20. Calizas *mudstone* que forman resalte: **A**) Se observan capas con formas de montículos unidos. **B**) Se diferencian como cornisas con formas plano-paralelas (metro 50-52, $\Delta 98$).

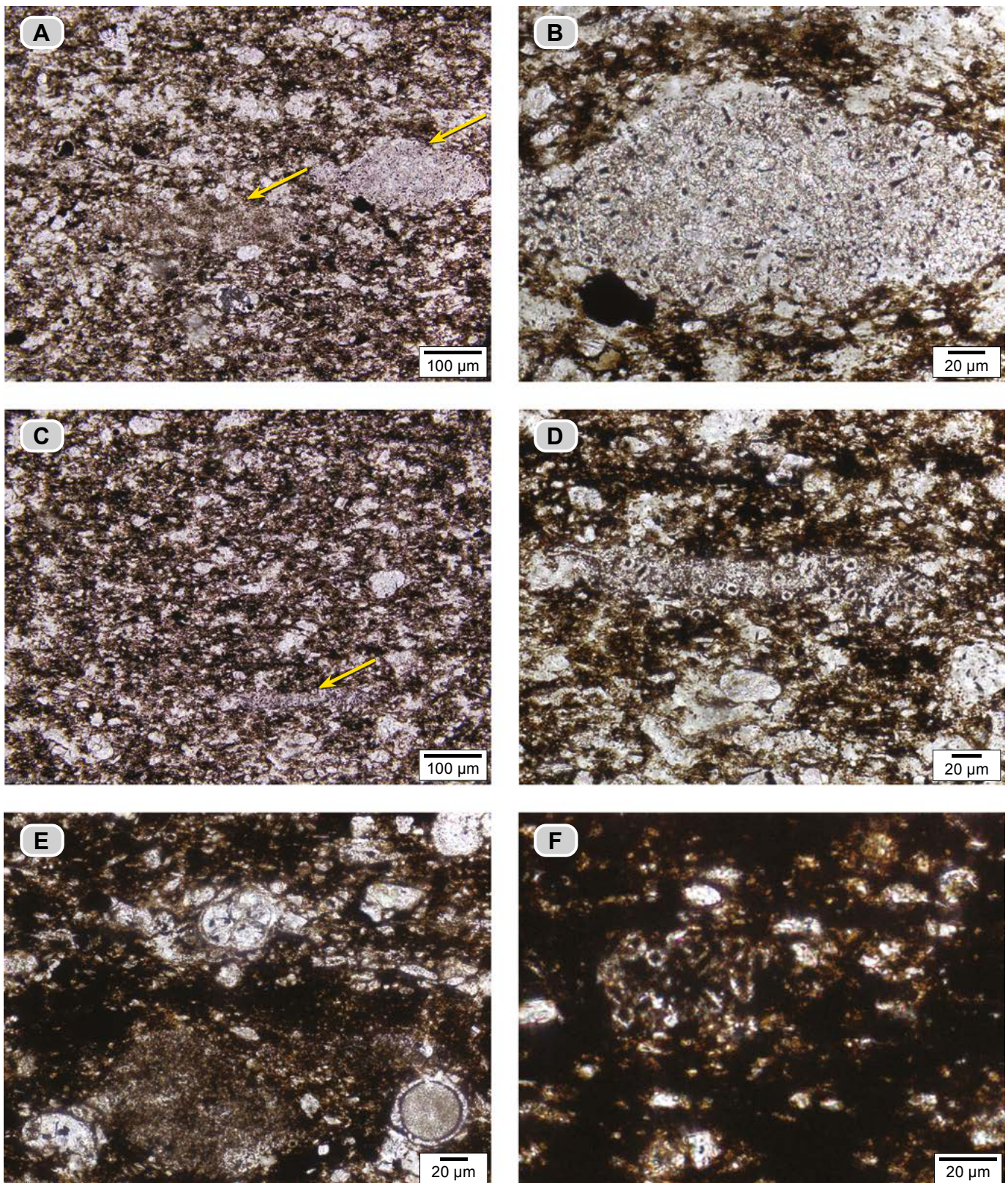


Figura 21. *Mudstone* calcáreo con materia orgánica (dma 5020); en el microscopio es un *bindstone* con materia orgánica (microbialita). **A)** Se observa calcita microcristalina (micrita) con textura de tamiz: es una retícula de carbonatos acompañada de materia orgánica (tapices microbiales), intraclastos y peloides de algas *Dasycladaceas* (flechas amarillas); hay presencia de fragmentos disgregados de calcita espar de 10-30 μm . **B)** Detalle de un intraclasto de algas *Dasycladaceas*. **C)** Se observan tapices microbiales mineralizados con calcita microcristalina, intraclastos de algas *Dasycladaceas* y fragmentos de cristales de calcita espar; la materia orgánica se presenta en motas. **D)** En la parte central de la fotografía se observa un intraclasto laminar de restos de algas *Dasycladaceas*. **E y F)** Detalle de los tapices microbiales, que entrapa en ellos foraminíferos planctónicos (parte central de la fotografía), e intraclasto de algas *Dasycladaceas* (parte inferior de la fotografía), y quiste de dinoflagelado calcáreo (parte inferior derecha de la fotografía) (Reháková 2000, plate II, fig. 12), acompañados de materia orgánica; en **F** se observa un grumo con restos de algas *Dasycladaceas*.

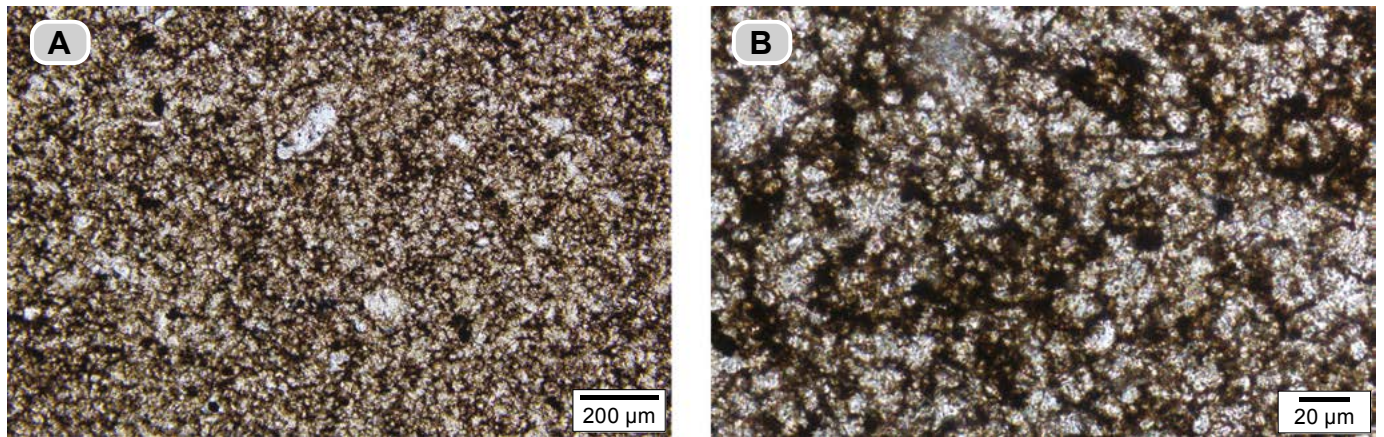


Figura 22. A) Caliza *mudstone* (dma 5021), en el microscopio se identifica como *bindstone* recrystalizado (microbialita recrystalizada). Obsérvese la textura homogénea por recrystalización alta. **B)** Detalle del carbonato de calcio recrystalizado a cristales con textura limo y materia orgánica en motas.

presencia de: **a)** cuerpos circulares que recuerdan elementos reproductivos de algas; **b)** materia orgánica en hilillos que insinúan caminos ramificados, y **c)** pirita framboidal.

El cuarto tramo cubierto se localiza entre los puntos Δ98-Δ94, correspondientes a 19 m de secuencia.

Segmento estratigráfico II (73-116 m)

Este segmento se localiza entre los puntos de la poligonal Δ94-Δ74. Alternan calizas de texturas *mudstone* y *wackestone* con *mudstone* calcáreos laminados que, respectivamente, dan cornisas y entrantes en el perfil topográfico, en los que se diferencian cinco intervalos estratigráficos.

En el Δ94 (metro 73) empiezan a aparecer de manera discreta láminas de calcita fibrosa, interpretadas como tapices de algas desecados, que se hacen más abundantes a partir del Δ85 (metro 86), y a su vez son más ricos en yeso; situación similar se presenta con las láminas continuas a discontinuas, ligeramente onduladas, en ocasiones dentelladas, de tonos gris oscuro (N4) y gris claro (N6), de posibles tapices microbiales.

Este segmento se diferencia además del segmento subyacente porque los espesores de las rocas que dibujan entrantes son mayores (hasta 7 m); sin embargo, el espesor de calizas *mudstone* permanece constante entre 30 y 60 cm, como también la forma de las capas.

Intervalo estratigráfico A (73-80 m). Se reconoce entre el punto Δ94 y el Δ92. Alternan calizas *mudstone* grises (N3-N6) y *mudstone* calcáreos con materia orgánica, grises (N2 a N6), laminados.

Este intervalo es rico en concreciones calcáreas y en restos e impresiones de amonitas. Estas últimas se hallan como impresiones sobre las superficies de acumulación (S_0), o aparecen en volumen dentro de las concreciones y suelen estar acompañadas

de bivalvos; las concreciones tienen formas elipsoidales, discoidales e irregulares con un ϕ máximo de 10 a 20 cm.

Los *mudstone* calcáreos con materia orgánica están laminados, dibujan entrantes (fig. 23) y alcanzan espesores de hasta 1.8 m. Hay presencia de lentes y láminas de calcita fibrosa y valores para uranio de 5.664 cuentas por millón, superiores al promedio.

En el microscopio, los *mudstone* calcáreos con materia orgánica se identifican como *bindstone* con materia orgánica (microbialitas) y **textura A**. Exhiben laminación desde delgada hasta gruesa, resaltada por el color: las láminas oscuras predominan sobre las láminas claras (dma 5030):

Las láminas oscuras (fig. 24), están compuestas por: **a)** estructuras orgánicas en las que se distingue una textura de tamiz: poros negros con tamaños de hasta 4 µm, rodeados por calcita microcristalina e identificados como tapices microbiales, que, cabe recalcar, por estar biomineralizados por calcita microcristalina reciben el nombre de *microbialitas*; **b)** intraclastos y agregados de algas *Dasycladaceas*: se reconocen segmentos circulares centrales de color negro, rodeados por un halo de cristales de calcita; **c)** fragmentos de calcita espar con



Figura 23. Intervalo estratigráfico A. *Mudstone* calcáreos con materia orgánica, laminados (dma 5030), en tramos de hasta 1,5 m; alternan con calizas *wackestone* en capas gruesas y medianas, con formas de montículo y planas paralelas (metro 75-77, Δ94-Δ93).

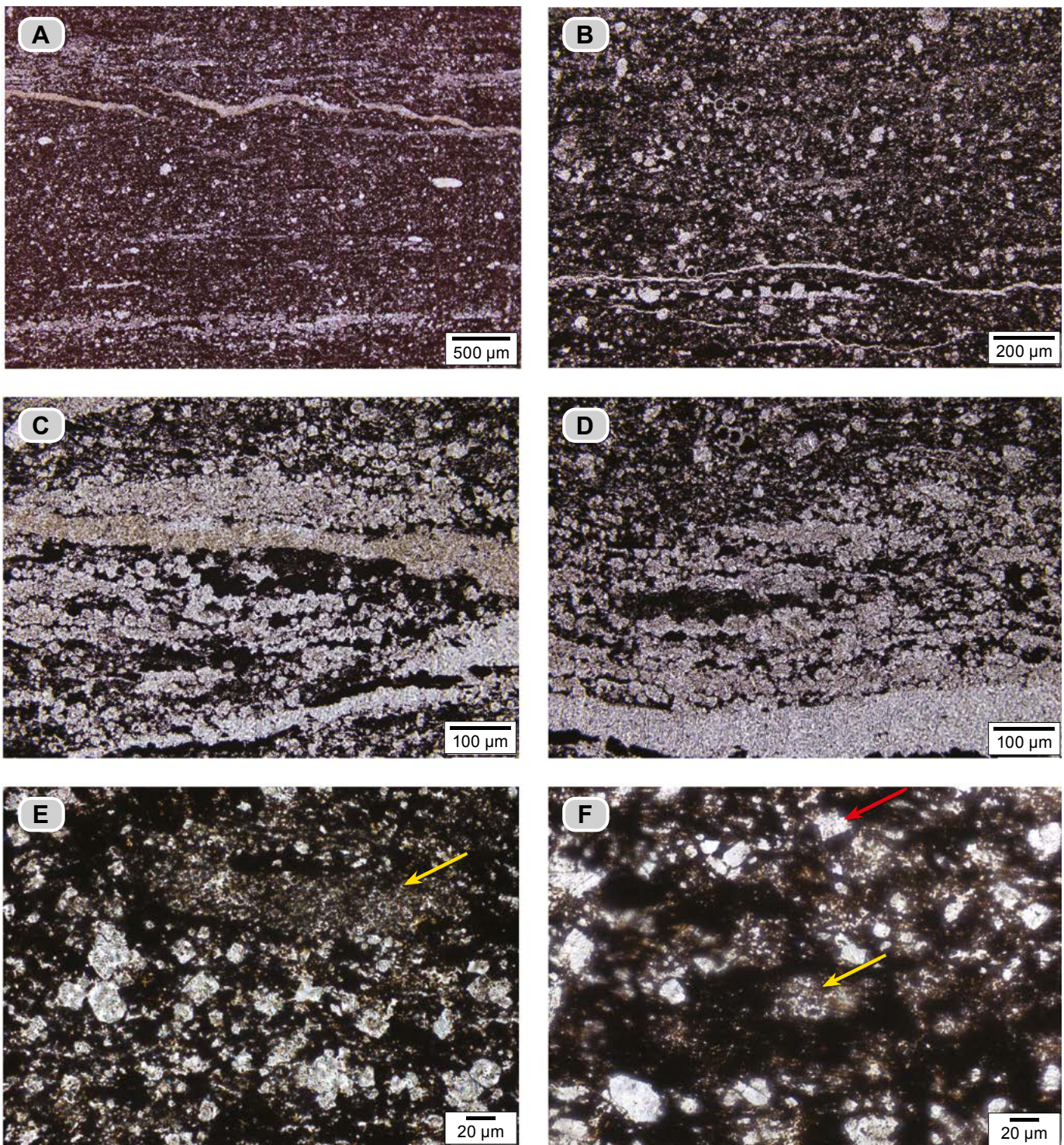


Figura 24. *Mudstone* calcáreo con materia orgánica (**dma 5030**), en el microscopio se identifica como un *bindstone* con materia orgánica (microbialita). **A)** Aspecto general de la roca: se observan láminas blancas, planas, discontinuas constituidas por cristales de halita y venas ligeramente oblicuas a S_0 ; de tono parduzco-amarillento, constituidas por cristales de yeso reemplazados por calcita; alternan con láminas de tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina con materia orgánica. **B)** Detalle de una lámina oscura; en otro sector de la sección delgada se observa la materia orgánica en motas y laminillas, cristales de halita (blancos) de formas cúbicas reemplazados por calcita, y el resto del material de color blanco es calcita microcristalina con recristalización incipiente; también se nota la presencia de amonitas juveniles y de hidrocarburos rellenoando espacios intergranulares y cavidades en restos fósiles. **C y D)** Detalles de láminas claras. Se observan dos tipos de láminas: 1) compuesta por cristales alargados de carbonato de calcio que crecen perpendiculares a S_0 , que reemplazan yeso original; 2) compuestas por concentraciones de cristales de halita de forma cúbica y tova reemplazados por calcita; en **D** se observa, además, en la parte inferior, una lámina constituida por cristales de yeso suprayacidas por cristales de halita que forman láminas discontinuas. **E)** Detalle de una lámina oscura donde se observa la presencia de colonias de tapices microbiales con algas *Dasycladaceas* (flecha amarilla), acompañados por cristales cúbicos de halita reemplazados por calcita; la materia orgánica se observa como motas negras. **F)** Con mayor aumento se observan cristales de halita reemplazados por calcita (flecha roja); también se observan los tapices microbiales biomineralizados. Obsérvese la textura de tamiz y los agregados de algas *Dasycladaceas* (flecha amarilla).

bordes irregulares; **d**) cristales de halita cúbicos y con formas de tolvas *hopper* (Robertson 1991), con textura limo grueso (50 μm), reemplazados por calcita; **e**) materia orgánica como películas y motas micrométricas, y **f**) cámaras de amonitas, foraminíferos y otros restos rellenos de hidrocarburos.

Las láminas claras (fig. 24) aparecen discontinuas y en ellas se diferencian dos formas: **a**) las constituidas por mosaicos de cristales de halita cúbicos y con forma de tolva, reemplazados por calcita, y **b**) las constituidas por agregados de cristales de calcita alargados que crecen perpendiculares a S_0 y que corresponden a cristales de yeso reemplazados por calcita.

Las calizas *mudstone* presentan dos formas de capas (**fig. 25**): **I**) tabulares con base y techo planos paralelos, internamente integrada por paquetes de láminas; **II**) monticulares, con adelgazamientos y engrosamientos, constituidas internamente por diversos paquetes de láminas.

Las calizas *mudstone* en el microscopio (**dma 5023**, **dma 5025** y **dma 5031**) presentan dos tipos de texturas, resultantes de la recristalización. La muestra **dma 5023** tiene una recristalización baja (**tipo I**), en la que se conserva la laminación, mientras las otras dos muestras (**dma 5025** y **dma 5031**) presentan un estadio más alto (**tipo II**), en el que comienza el proceso de homogeneización, y la textura original es difusa.

En el microscopio, la caliza *mudstone* (**dma 5023**), se identifica como *bindstone* recristalizado con **textura tipo I** (microbialita): se observan conjuntos de láminas oscuras alternantes con conjuntos de láminas claras.

El conjunto de láminas más oscuras (fig. 26) presenta mayor frecuencia, y están constituidas por: **1**) lentes y láminas discontinuas de tonos pardos oscuros, a su vez constituidos por: **a**) tapices microbiales que se reconocen por los poros circulares negros (textura de tamiz), con biomineralización de carbonato de calcio; **b**) agregado de algas *Dasycladaceas*, que se identifican por sus formas circulares negras con un anillo de cristales de calcita; **c**) materia orgánica en forma de motas, y **d**) presencia de cristales aciculares de yeso secundario. Se entrelazan con **2**) cuerpos laminares blancos, discontinuos, yuxtapuestos, ondulados, que en ocasiones dibujan picos de baja altura y amplitud mayor; a su vez, cada lámina está compuesta por un agregado de cristales de calcita granulares de hasta 15 μm , interpretados como producto de recristalización.

El conjunto de láminas claras está presente con menor frecuencia, y sus constituyentes son similares a los de las láminas oscuras: **a**) láminas con terminaciones irregulares, discontinuas, de diferentes espesores; los bordes son arriñonados y con superficies en zigzag de baja altura y mayor amplitud; internamente son agregados de cristales granulares de calcita espar, con tamaños de hasta 30 μm , interpretados como producto de recristalización; se entrelazan

con **b**) láminas discontinuas de tonos oscuros, de tapices microbiales acompañados por materia orgánica, y **c**) fragmentos de cristales de calcita con textura limo de formas anhedrales, interpretados como producto de la desintegración de láminas claras (recristalizadas) preexistentes.

La caliza *mudstone* (**dma 5025**) está constituida por capas medianas, laminadas, que lateralmente cambian a *mudstone* calcáreo laminado (**fig. 27**). En el microscopio se identifica como *bindstone* recristalizado —microbialita— (**fig. 28**), con grado de recristalización medio (**textura tipo II**). Se distinguen láminas discontinuas, onduladas, entrelazadas, con contornos arriñonados; están constituidas por agregados de cristales de calcita espar (10-12 μm), separadas por hilos oscuros de materia orgánica. Hay presencia de los siguientes fósiles (6%): **a**) restos de algas *Dasycladaceas*; **b**) cuerpos circulares cuyos diámetros varían entre 120 y 200 μm , que aparecen reemplazados por cristales de calcita espar; se pueden diferenciar tres tipos: el primero con estructura interna concéntrica; el segundo, reemplazado por cristales de calcita espar, con prominencias en su periferia, y el tercero, con su contorno totalmente liso. Son interpretados como quistes de dinoflagelados calcáreos, y **c**) con menor frecuencia se reconocen fragmentos de algas filoideas, con formas de hojuela (*corn flakes*). Se observa piritita disseminada como mineral traza y se reconoce la presencia de hidrocarburos que rellenan espacios interpartículas e intrapartículas.

La caliza *mudstone* con textura tipo II de recristalización (**dma 5031**) se identifica como *bindstone* recristalizado —microbialita recristalizada— (**fig. 29**). Se reconoce un agregado de láminas discontinuas, onduladas, con contornos arriñonados, compuestas por fragmentos de cristales de calcita espar con textura limo. También se observan restos de



Figura 25. Calizas *mudstone* en capas gruesas, de dos formas: I) tabulares con base y techo planos paralelos, y II) con adelgazamientos y engrosamientos, tipo montículo; se interponen con *mudstone* calcáreos con materia orgánica, laminados, en capas muy gruesas (metro 73-75, $\Delta 94-\Delta 93$).

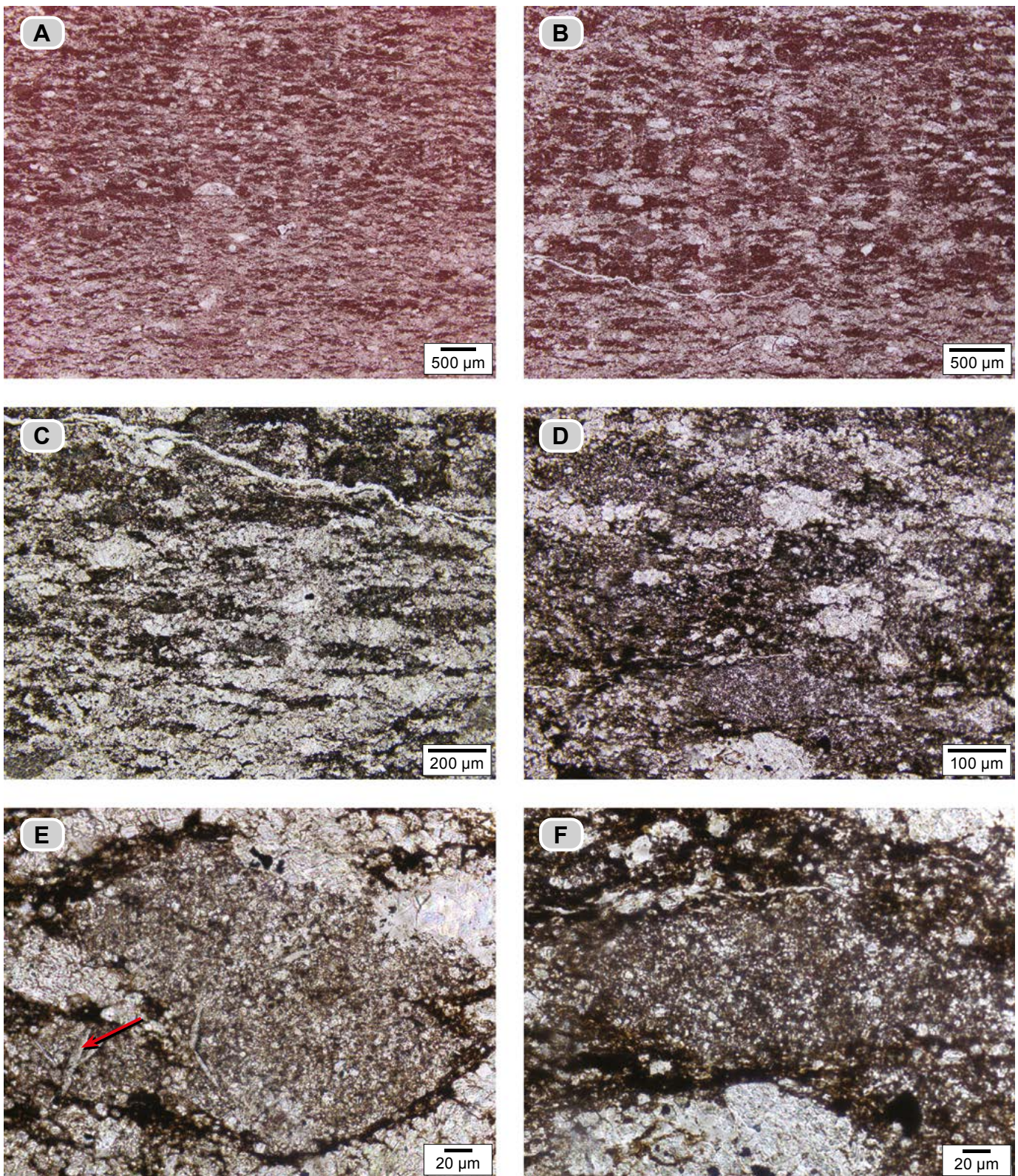


Figura 26. Caliza *mudstone* (dma 5023), en el microscopio es un *bindstone* recrystalizado. **A y B)** Estas figuras ilustran el estadio de menor recrystalización (textura tipo I); las láminas claras son discontinuas, están entrelazadas y constituidas por calcita espar; rodean y se entrecruzan con lentes y láminas oscuras de tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina. En **B)** ampliación de un sector de la sección delgada. Nótese la alternancia de láminas claras y oscuras; en las claras se entrelazan cuerpos laminares blancos, levemente ondulados que encierran formas lenticulares e irregulares oscuras. **C)** Ampliación de otro sector de la sección delgada. Nótese el entramado de láminas claras constituidas por agregados de cristales de calcita espar y los tapices microbiales en color oscuro. **D)** A mayor aumento se observa cómo los tapices microbiales con materia orgánica y textura de tamiz recubren peloides de restos de algas *Dasycladaceas*. **E y F)** Detalle de una forma peloidal constituida por algas *Dasycladaceas*. En **E)** hay desarrollo de cristales aciculares de yesos (flecha roja) en el cuerpo peloidal, y está rodeado por láminas blancas recrystalizadas, interpretadas como microbialitas recrystalizadas.



Figura 27. Los *mudstone* calcáreos con materia orgánica y laminación plana-paralela que están por encima y debajo de la caliza *mudstone* (dma 5031), se unen y forman un intervalo de 3 m. Obsérvense las concreciones calcáreas elipsoidales (metro 74-77, $\Delta 94$ - $\Delta 93$).

algas *Dasycladaceas* en agregados peloidales (fig. 29). La materia orgánica se presenta en motas y como hilillos discontinuos. Hay vestigios de pirita diseminada. Los fósiles son cuerpos circulares con diámetros entre 100 μm y 200 μm , con relleno de cristales de calcita espar, interpretados como elementos reproductores de algas?

Intervalo estratigráfico B (70-86 m). Se reconoce desde el $\Delta 92$ hasta el $\Delta 85$ de la poligonal. En este intervalo comienza a presentarse arcilla; también se observan lentes de calcita fibrosa, interpretados como tapices de algas parcialmente desecados. Este intervalo termina en el quinto tramo cubierto (1,5 m de espesor).

Los *mudstone* arcillosos calcáreos con materia orgánica presentan colores grises oscuros (N3-N4), están laminados y tienen partición en lajas; se disponen en capas gruesas (40-70 cm) intercaladas con calizas *mudstone* grises oscuras (N2-N3), en capas delgadas de formas planas paralelas (fig. 30), que con alguna frecuencia presentan adelgazamientos y engrosamientos que configuran forma arrosariada. Se presentan concreciones calcáreas elipsoidales que en su interior llevan restos de troncos fosilizados; además, son notorias las impresiones de amonitas.

Intervalo estratigráfico C (87-91 m). Localizado entre los puntos $\Delta 85$ - $\Delta 84$ de la poligonal. El $\Delta 85$ se sitúa en el cruce del camino que salía del puente El Tablazo a la quebrada La Paja, hoy inundado.

Este intervalo se diferencia por la presencia de: **A)** lentes y láminas de calcita fibrosa, y **B)** yeso dispuesto de dos maneras: **1)** nódulos milimétricos resedimentados (metro 86) que forman franjas de hasta 3 cm, paralelas a S_0 ; **2)** en lámi-

nas continuas dentelladas que alternan con láminas de materia orgánica.

Este intervalo está compuesto por *mudstone* calcáreos arcillosos que se presentan en dos tramos, separados por una caliza *mudstone* laminada, dispuesta en una capa gruesa con forma de montículos; tanto el tramo inferior, de 1,8 m, así como el superior, de 2,4 m de espesor (fig. 31), se caracterizan por la presencia de materia orgánica, laminación plana paralela y colores grises (N1-N3).

Los *mudstone* calcáreos arcillosos con materia orgánica tienen abundantes láminas y lentes de calcita fibrosa con espesores de 1 a 3 cm. Los lentes de calcita fibrosa tienen longitudes entre 3 y 15 cm, se disponen paralelos a la estratificación y están constituidos por cristales de calcita alargados con sus ejes perpendiculares a la estratificación, dispuestos en dos bandas separadas por una película oscura. Las láminas de calcita fibrosa tienen apariencia similar, pero extensión métrica (fig. 31). Estas estructuras se interpretan como tapices de algas afectadas por procesos de desecación diferencial (Horodysky, Bloeser y Vonder Haar 1977; Forero y Sarmiento 1982).

En el techo de los *mudstone* calcáreos arcillosos con materia orgánica se reconoce la presencia de agrupaciones de estructuras en forma de domos (Noffke et al. 2001), generadas por burbujas de gas (fig. 32), además de abundantes concreciones calcáreas con formas elipsoidales, irregulares y subesféricas, con el ϕ mayor, entre 20 cm y 40 cm (fig. 33).

En el microscopio, los *mudstone* calcáreos arcillosos con materia orgánica (dma 4993) se identifican como *bindstone* con arcillas y materia orgánica (microbialitas), con **textura tipo B** (figs. 34 y 35). Se observan láminas de tapices microbiales, materia orgánica y arcilla, esta última interpretada como material adherido a los tapices microbiales que forma una superficie abiótica (Konhauser 1998). La materia orgánica se observa en láminas o en agregados (motas).

Se diferencian dos sectores laminares: **1)** los constituidos por tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina, con arcilla (illita?) adherida en lentes, con fino hábito micáceo y extinción en conjunto (Pettijohn 1975), acompañada por materia orgánica (fig. 34 y 35), y **2)** intervalos laminares donde la arcilla está ausente y aumenta la cantidad de materia orgánica.

Se reconocen ocasionales lentes y láminas blanquecinas, discontinuas, compuestas por cristales cúbicos y sus fragmentos, textura limo, reemplazados por calcita y yeso. La forma de los cristales sugiere que correspondían originalmente a halita.

Los fósiles observados (2%) son: **a)** restos de algas *Dasycladaceas*; **b)** foraminíferos planctónicos con tamaños desde 100 μm hasta 120 μm , y **c)** ammonitellas rellenas por calcita y materia orgánica (fig. 35).

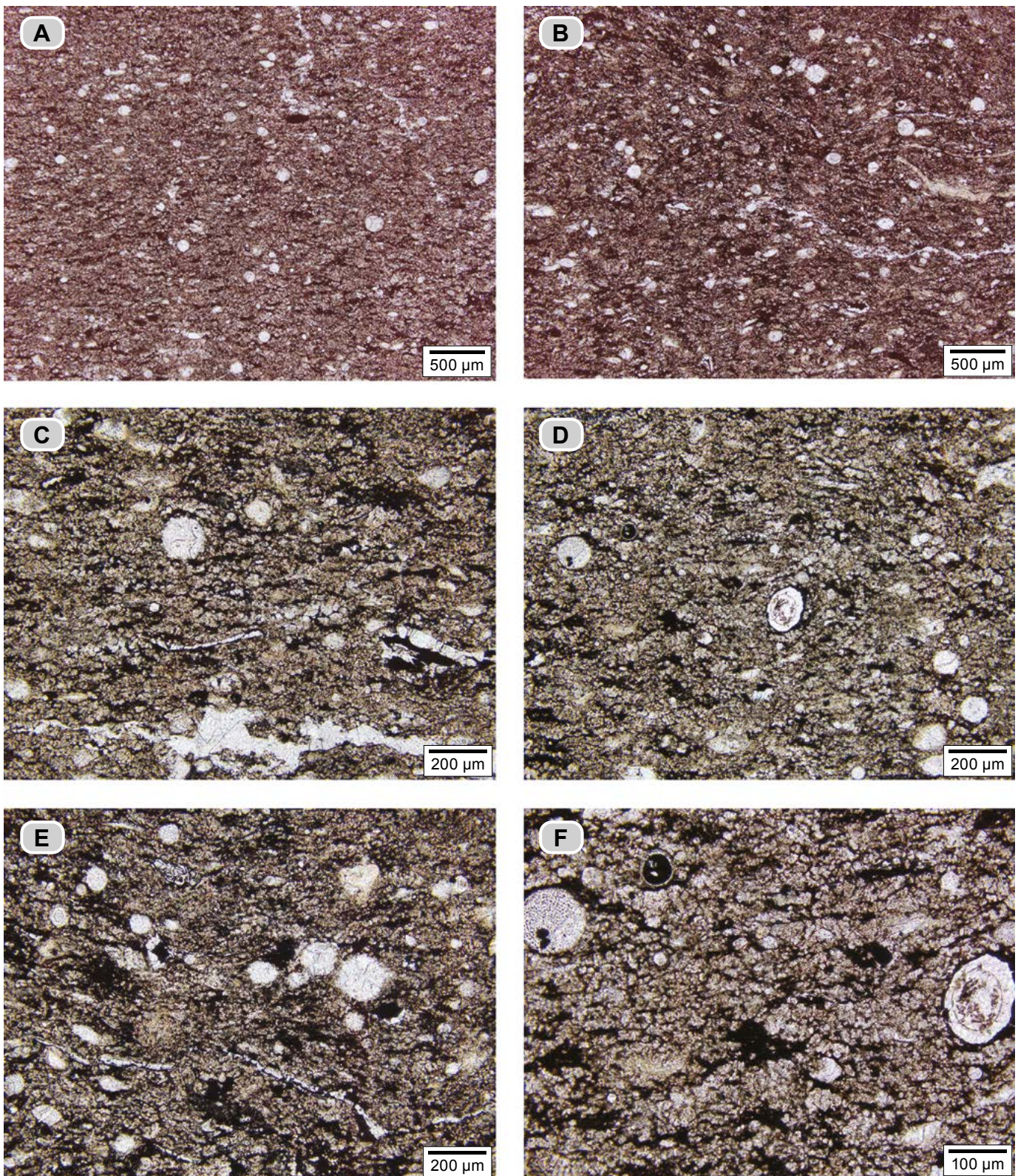


Figura 28. Caliza *mudstone* (dma 5025). En el microscopio es un *bindstone* recrystalizado. **A y B)** Grado de recrystalización medio, con presencia de cuerpos circulares reemplazados por cristales de calcita espar. **C y D)** Con mayor aumento se observan agregados de cristales de calcita, producto de recrystalización; por sectores dibujan láminas ondulosas; el tono oscuro corresponde a materia orgánica. Hay presencia de fragmentos fósiles no diferenciados, irregulares, de carbonato de calcio con rellenos de hidrocarburo y cuerpos circulares reemplazados por calcita espar, con su contorno totalmente liso. En **D**, en la parte central de la figura se reconoce la presencia de un resto calcáreo de alga *Dasycladacea*. **E y F)** Con mayor aumento, se observan tres cuerpos circulares reemplazados por cristales de calcita espar; tienen contornos totalmente lisos y contornos con prominencias en su periferia; son interpretados como quistes de dinoflagelados calcáreos? o elementos reproductores de algas? En **F** se observa, a la izquierda, un cuerpo circular con estructura interna concéntrica, y a la derecha, un resto de alga *Dasycladacea*.

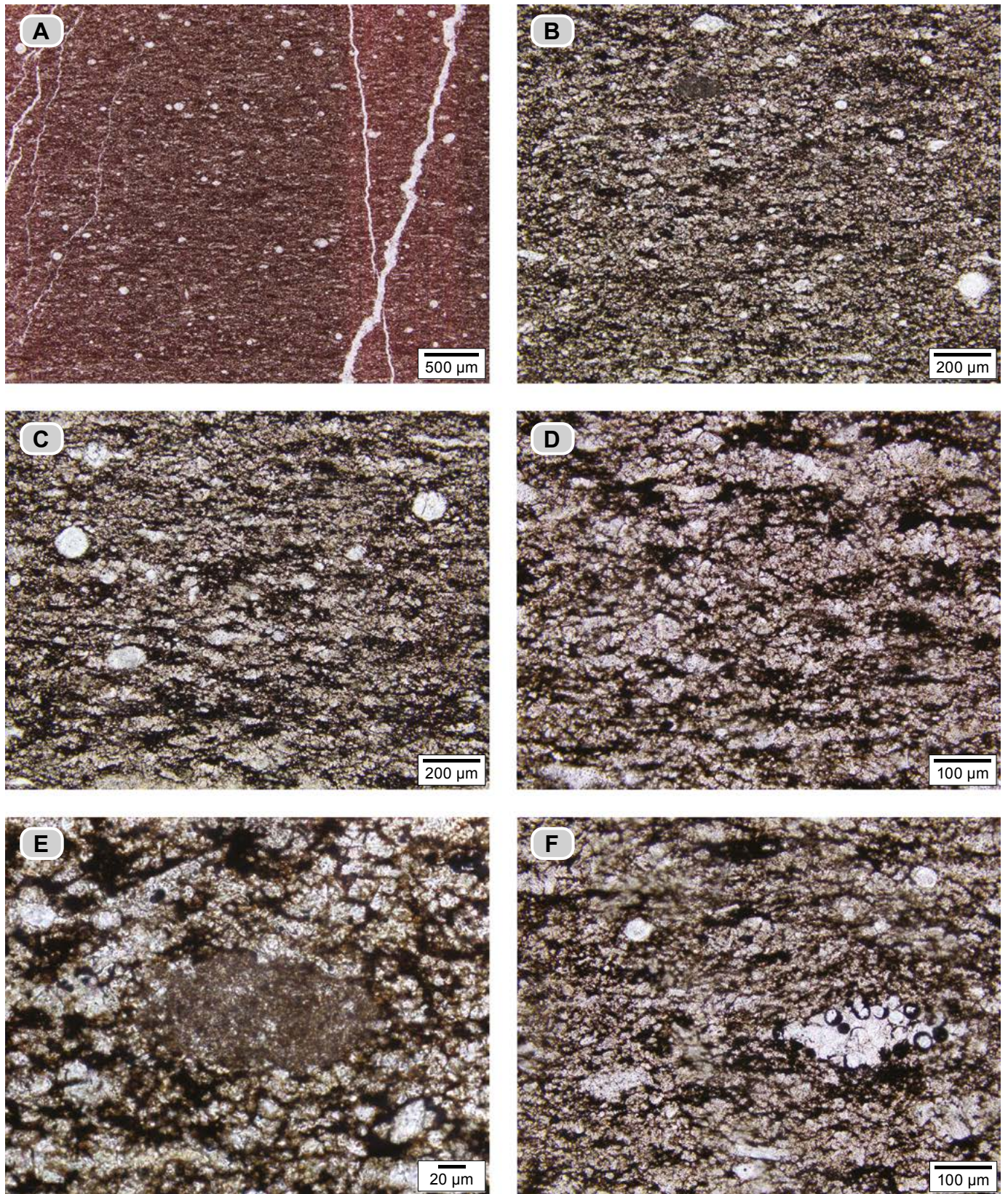


Figura 29. Caliza *mudstone* (dma 5031), con el microscopio es un *bindstone* recristalizado. **A)** Textura general de la roca tipo II. **B y C)** A mayor aumento se distingue, en tonos blancos, formas laminares y lenticulares de cristales de calcita espar con textura limo, además de cuerpos circulares reemplazados por cristales de calcita, con contornos lisos o con prominencias en su periferia (elementos reproductores de algas?). **D)** Con mayor aumento se observan formas laminares discontinuas con diferente espesor, constituidas por cristales de calcita espar, con textura limo grueso, separadas por motas e hilos de materia orgánica. **E)** En el centro, forma peloidal de restos de algas *Dasycladaceas*. **F)** Formas laminares blancas, discontinuas y lenticulares con bordes de pico de baja amplitud, constituidas por cristales de calcita espar. Nótese la presencia de un fragmento de caliche? perforado por rizoides o micelios.



Figura 30. Intervalo de *mudstone* arcillosos calcáreos laminados con materia orgánica. Nótese la partición en lajas (metro 85, Δ92).

La caliza *mudstone* que forma resalte y separa los dos tramos de *mudstone* calcáreos arcillosos se presenta como una capa muy gruesa, con forma de montículos unidos (**fig. 31 y 36**), con dimensiones mayores de 5 m de largo x 3 m de ancho x 1 m de alto. La capa está compuesta por: **1)** láminas gruesas de color gris claro (N6-N8), y **2)** conjuntos de láminas entre muy delgadas a medianas, ligeramente ondulosas, de colores gris oscuro (N2) y gris claro (N5-N8) (**fig. 36**), que recuerdan las laminaciones de los tapices cianobacteriales o microbiales (Cornée, Dicman y Busson 1992).

En el microscopio, las láminas gruesas de tonos grises claros (N6) (**dma 4989**) se identifican como *bindstone* recristalizados (microbialitas recristalizadas) (**fig. 37**). Se observan láminas continuas y discontinuas de diferente espesor, debido a ensanchamientos y engrosamientos, con bordes de aspecto de espigas unidas o arriñonados. Internamente están constituidas por cristales de calcita espar, subrectangulares, lanceolados aislados, lanceolados en abanicos, y en grupos: *popcorn*, con tamaños entre 100 μm y 120 μm .

En el microscopio, los conjuntos de láminas entre muy delgadas a medianas, ligeramente ondulosas, de colores gris oscuro (N2) y gris claro (N5-N8) (**dma 4990**), están constituidas por láminas grises claras muy delgadas, similares a las descritas en el párrafo anterior, y láminas oscuras están constituidas por (**fig. 37**): **a)** tapices microbiales con biomineralización de calcita microcristalina (micrita), en los que se reconoce la textura de tamiz, con tonos oscuros; **b)** peloides y lenticulas de micrita con contornos arriñonados, de tonos pardos amarillentos, con cristales secundarios aciculares de yeso superpuestos, y **c)** cuerpos de color blanco con forma de roseta *popcorn* y laminares, que representan intraclastos.



Figura 31. **A)** Afloramiento del intervalo estratigráfico C. Nótese en la parte inferior de la fotografía, entre líneas amarillas, el desarrollo de montículos en la capa de caliza *mudstone*, suprayacida por un paquete de *mudstone* calcáreos con arcillas y materia orgánica (metro 87-94, Δ85). **B)** *Mudstone* calcáreos con materia orgánica y arcillas. La flecha amarilla señala la presencia de lentes y láminas de calcita fibrosa, que se ilustran ampliadas en **C)** (metro 94-95, Δ84).



Figura 32. Cuerpos discoidales en el techo de los *mudstone* calcáreos, generados por burbujas de gas (metro 90).

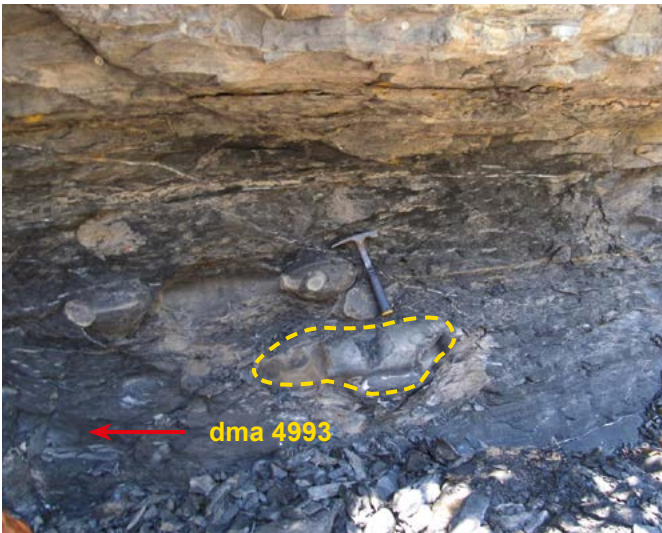


Figura 33. Concreciones calcáreas con formas elipsoidales con ϕ mayor de 20 cm, e irregulares con ϕ mayor de 40 cm. Nótese además la presencia de lentes de calcita fibrosa (metro 90-91, $\Delta 83$).

d) En las láminas oscuras hay presencia de cuerpos circulares de 40-60 μm , con su parte central ocupada por un cristal de calcita espar, que está rodeado por dos anillos: quistes de dinoflagelados calcáreos (Rehákoká 2000).

Intervalo estratigráfico D (91-92 m). Este intervalo se localiza entre los puntos de la poligonal $\Delta 84$ y $\Delta 81$, destaca en la quebrada por la morfología de resalte que lateralmente se difumina por la disminución en el contenido de carbonato de calcio (**fig. 38**).

Las calizas *mudstone* se presentan en capas delgadas a medianas que resaltan moderadamente en el perfil topográfico, alternan con láminas de *mudstone* calcáreos con materia orgánica de color gris oscuro (N2) (**fig. 39**). Hay presencia de concreciones calcáreas de formas elipsoidales a irregulares, con ϕ desde 10 cm hasta 30 cm, y amonitas en volumen en su interior.

En el microscopio, la caliza *mudstone* (**dma 4996**), se identifica como *bindstone* con materia orgánica (microbialita) (**fig. 40**). Sus constituyentes son: **a)** tapices microbiales biomineralizados con calcita microcristalina (microbialitas); se reconoce la textura porosa en tamiz con recristalización incipiente; **b)** peloides de agregados de restos algas *Dasycladaceas*; **c)** fragmentos de cristales de calcita espar; **d)** la materia orgánica se presenta en forma motas e hilos, y **e)** restos de conchillas de foraminíferos planctónicos (7%-10%), con tamaños entre 100 μm y 170 μm .

Hay presencia de cristales cúbicos y rómbicos euhedrales de calcita. Se identifica pirita diseminada como mineral traza.

Intervalo estratigráfico E (92-116 m). Localizado entre los puntos de la poligonal $\Delta 81$ y $\Delta 74$, en su base se encuentra el sexto tramo cubierto (2,5 m). El intervalo se subdivide en tres conjuntos: **Conjunto E1** (inferior) y **Conjunto E3** (superior) están constituidos principalmente por *mudstone* calcáreos con materia orgánica en intervalos de hasta 2 m, que alternan con esporádicas calizas *mudstone*. Las formas de las calizas quedan expresada así: **I)** capas gruesas con forma de montículos, y **II)** capas delgadas arrosariadas. El **Conjunto E2** (intermedio) genera resalte en el perfil topográfico; en él alternan calizas *mudstone* con *mudstone* calcáreos con materia orgánica, en capas delgadas con formas de montículos o arrosariadas.

Conjunto E1 (92-99 m). Con 7 m de espesor, forma entrante en el perfil topográfico. Está constituido por *mudstone* calcáreos con materia orgánica, grises oscuros (N3-N5), presentan laminación plana paralela, en intervalos de hasta 1,5 m. Son abundantes los lentes y láminas de calcita fibrosa y los cristales superficiales de yeso secundario en agregados con forma de roseta. Las concreciones calcáreas son elipsoidales con ϕ variable, entre 12 cm y 30 cm, que en general aparecen paralelas a la estratificación.

Conjunto E2 (99-102 m). Genera resalte en el perfil topográfico. Está limitado en la base y techo por calizas *mudstone* laminadas dispuestas en capas gruesas (**fig. 41**); entre ellas los intervalos de hasta 60 cm de *mudstone* calcáreos con materia orgánica con laminación plana paralela (**dma 5005**), son separados por calizas *mudstone* en capas delgadas. En los *mudstone* calcáreos hay presencia de láminas de yesos interpuestas entre láminas de materia orgánica (**dma 5006**).

Las calizas *mudstone* son grises (N3), generan resalte en el perfil topográfico y que limitan este conjunto, tienen varios modos de presentación: **I)** capa gruesa con forma tabular plano paralela, laminada; y **II)** capa gruesa con aspecto de montículo, internamente diferenciada en láminas gruesas claras, macizas con otras oscuras, deleznales.

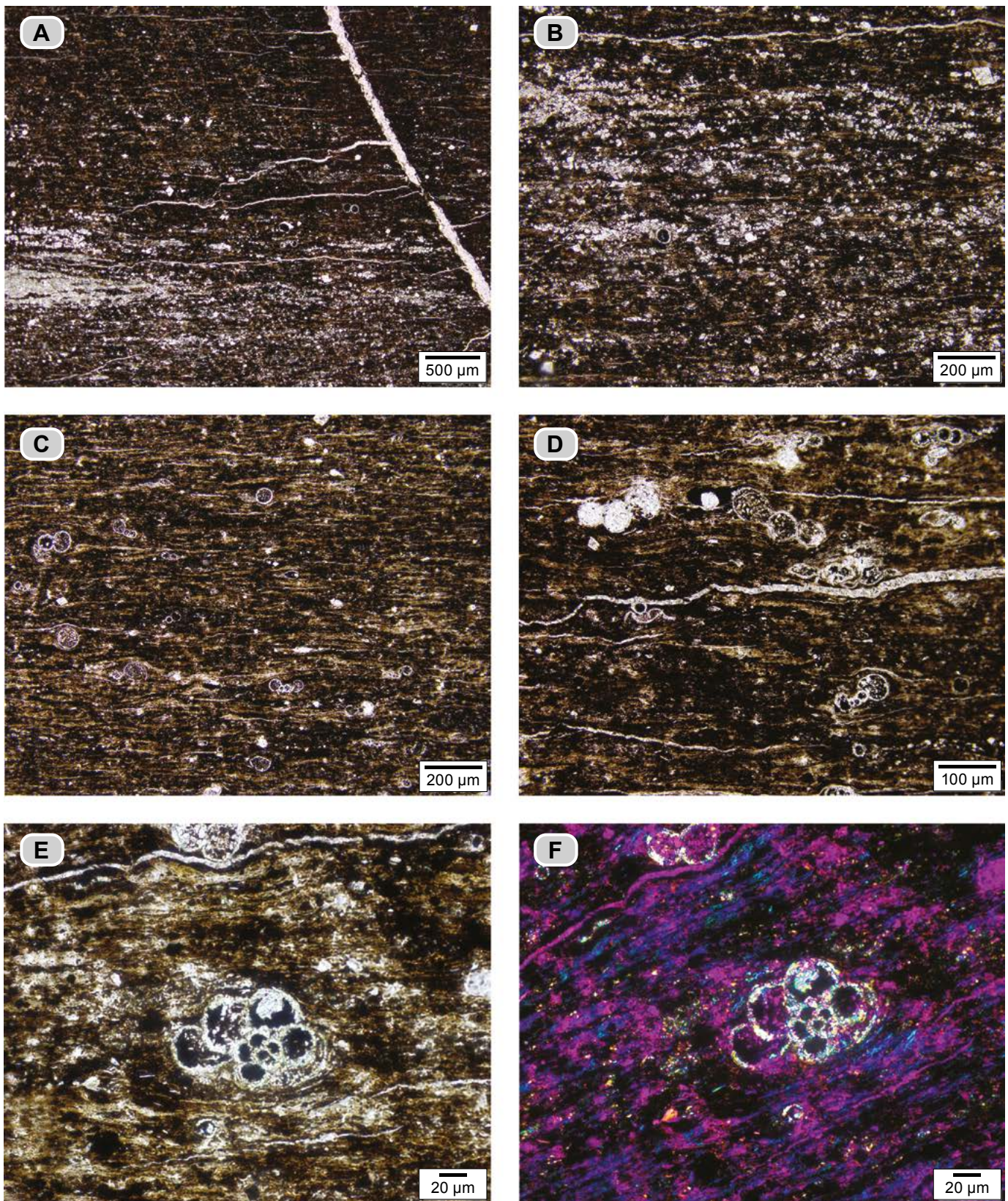


Figura 34. *Mudstone* calcáreo arcilloso con materia orgánica (dma 4993); en el microscopio se identifica como un *bindstone* con arcilla y materia orgánica (microbialita). **A)** Sector laminar oscuro constituido por tapices microbiales alternados con láminas discontinuas blanquecinas. **B)** Con mayor aumento se observan las láminas blanquecinas, son cristales cúbicos de carbonato de calcio y yeso que aparecen concentrados a modo de lentes y láminas; la presencia de carbonato de calcio se interpreta como reemplazamiento de cristales de halita. **C y D)** Observe la presencia de foraminíferos planctónicos; en **C** además, se aprecia la textura lenticular (hojuelas). **E)** Presencia de un foraminífero planctónico *hedbergelido* rodeado por tapices microbiales con presencia de arcilla. **F)** El tinte azul resalta la presencia de arcilla y es producido al insertar el compensador 1A, cruzar los nicóles y colocar la platina NE-SW.

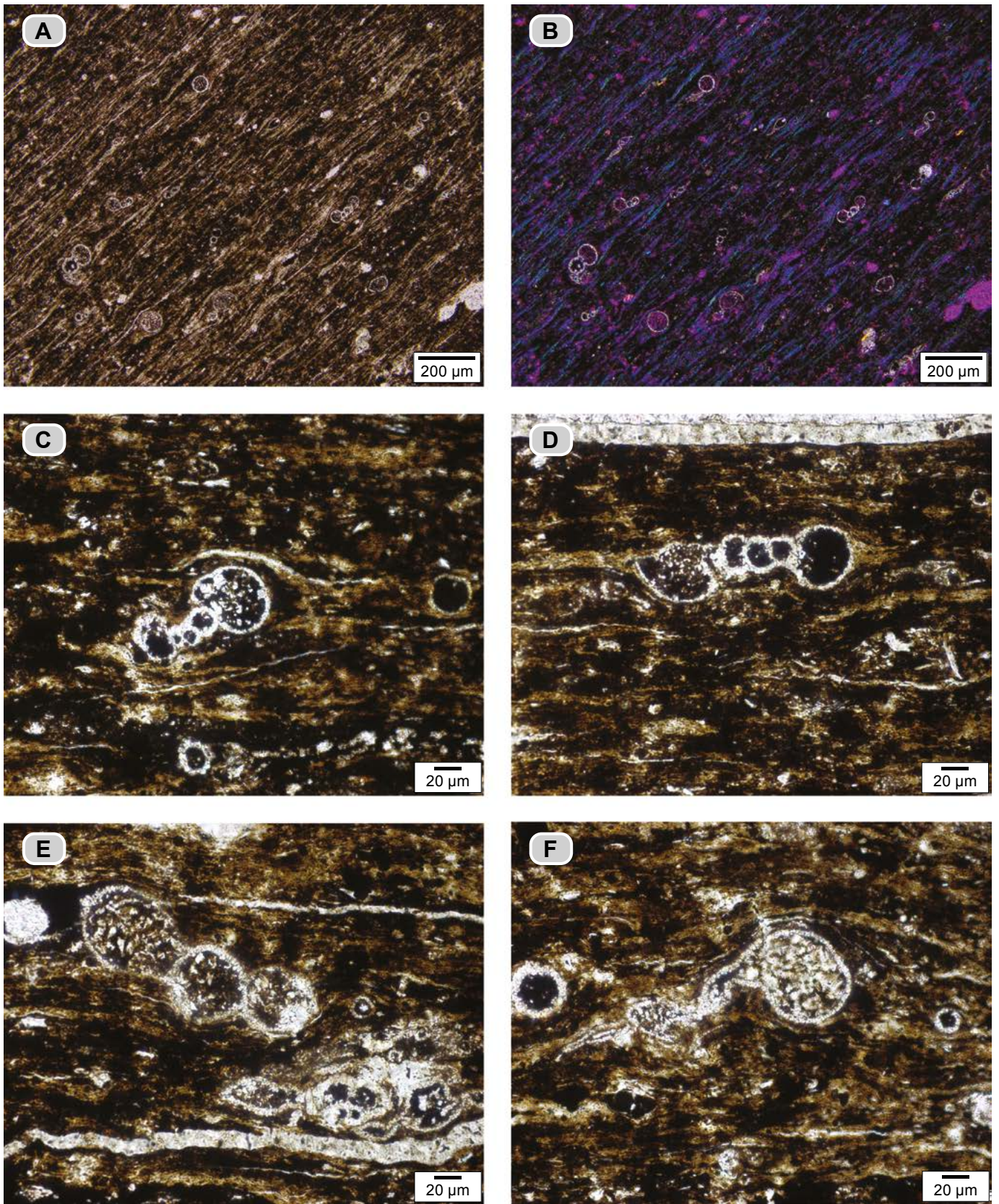


Figura 35. *Mudstone* calcáreo arcilloso con materia orgánica (**dma 4993**); en el microscopio se identifica como un *bindstone* con arcilla y materia orgánica. **A)** Tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina con textura lenticular (hojuelas), recubierta por una película de arcilla de tono pardo claro. **B)** Fotografía para mostrar que las partículas que dan el tono pardo claro en **A** son arcillas, como lo muestra el tono azul por extinción en conjunto, que da al insertar el compensador 1A, los nicols cruzados y rotar la platina NE-SW. También se observan foraminíferos planctónicos y conchillas de amonitelas. **C, D, E y F)** Con mayor detalle destacan tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina con materia orgánica (microbialitas), que recubren conchillas de amonitas o de foraminíferos planctónicos.



Figura 36. **A)** Aspecto monticular de la capa que separa el tramo inferior y superior de los *mudstone* calcáreos arcillosos del intervalo estratigráfico C (metro 87-90). **B)** Detalle del extremo derecho de la capa monticular de la **fig. A**; nótese la laminación a modo de estructuras estromatolíticas con alternancia de láminas claras (N6) y oscuras (N3) (metro 87, Δ84).

Los *mudstone* calcáreos con materia orgánica de este intervalo, en el microscopio (**dma 5005**), se identifican como *bindstone* con materia orgánica (microbialitas) (**fig. 42**), y están constituidos por: **a)** tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina, con textura en tamiz; **b)** la materia orgánica se reconoce como hilos y motas; **c)** restos de algas *Dasycladaceas* en agregados peloidales, intraclastos y partículas; **d)** conchillas de foraminíferos planctónicos (1%), con tamaños entre 100 μm y 120 μm ; **e)** yeso que reemplaza (1,5%) cristales de halita con formas cúbicas o de tolva, y **f)** pirita diseminada.

En los *mudstone* calcáreos con materia orgánica abundan los cristales de yeso secundarios superficiales en agregados con forma de rosetas blanquecinas que acompañan, sobrepuestas, a domos de gases; en los tapices microbiales actuales también se observan formas redondeadas similares debido a la presión ejercida por el ascenso de gases (domos de gas) (**fig. 43**).

En el **Conjunto E2** destaca la alternancia de yeso y materia orgánica en láminas continuas o discontinuas ligeramente onduladas (metro 100), en varios tonos: grises (N2-N3), blancos (N8), rojizos (10YR 5/4) y pardos verdosos (10Y 6/2, 5Y 5/6) (**fig. 44**). En el microscopio (**dma 5006**) las láminas negras están constituidas por materia orgánica y alternan con láminas claras compuestas por cristales de yeso que crecieron perpendiculares a S_0 (**fig. 45**).

Conjunto E3 (102-116 m). Está compuesto por *mudstone* calcáreos con materia orgánica en intervalos de hasta 3 m, en alternancia con calizas de textura *mudstone* en capas delgadas a medianas. En la parte basal del conjunto hay abundante presencia de láminas y lentes de calcita fibrosa, que disminuyen hacia la parte superior.

A partir del $\Delta 80$ de la polygonal se observan los 7 m basales del conjunto E3. Son *mudstone* calcáreos con materia orgánica de tonos grises oscuros (N3), con laminación plana paralela, que alternan con calizas *mudstone* grises oscuras (N3), macizas, en capas delgadas con formas tabulares, planas paralelas. Las láminas y los lentes de calcita fibrosa están presentes; en ocasiones su abundancia produce franjas de hasta 15 cm de espesor (**fig. 46**), que cuando meteorizan resaltan por su color marrón. Hay presencia abundante de concreciones calcáreas elípticas o discoidales con ϕ de 30 cm.

Los seis metros superiores de este conjunto se inician a partir del $\Delta 76$ (**fig. 47**). Allí afloran *mudstone* calcáreos con materia orgánica, de tonos grises oscuros (N3), con laminación plana paralela, en intervalos de hasta 3 m. Hay menor presencia de lentes y láminas de calcita fibrosa. Alternan con calizas de textura *mudstone* que dibujan salientes en el perfil topográfico; son grises oscuras (N3) y se presentan en capas medianas y delgadas de formas variadas: **a)** con superficies plano paralelas, y **b)** con contactos irregulares, dentellados; estas capas se observan como cuerpos alineados desconectados por estrangulamiento (**figs. 47 y 48**).

Las concreciones calcáreas presentes tienen formas discoidales e irregulares, con ϕ de 30 cm y 20 cm. En las concreciones se encuentran amonitas en volumen e impresiones de restos de peces (**fig. 49**).

En el microscopio, los *mudstone* calcáreos con materia orgánica presentan texturas tipo B (por la presencia de peloides de micrita) (**fig. 50**):

1) Bindstone con materia orgánica (microbialitas) (**fig. 51**) (**dma 4965**), y **textura B**, en donde se reconocen: **a)** láminas de tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina de color pardo oscuro acompañadas por materia orgánica, con recristalización incipiente; **b)** cuerpos peloidales de tamaños mayores a 100 μm , e intraclastos de micrita, interpretados como disgregación de tapices microbiales y que corresponden a lo que Wolf (1965) llama *peloides de*

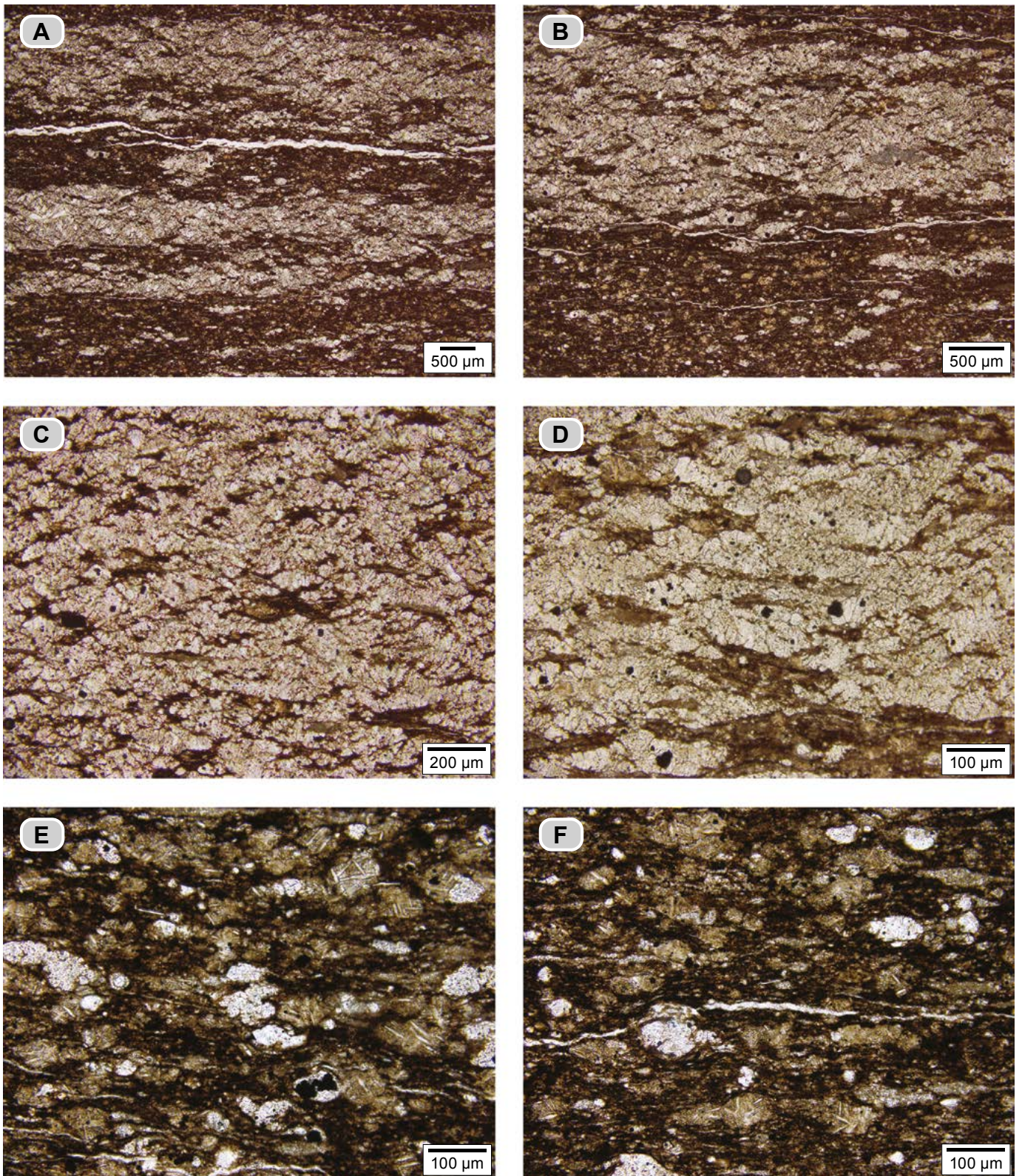


Figura 37. Vista microscópica de las láminas muy delgadas a medianas (dms 4990). **A)** Alternancia de láminas de *bindstone* recristalizados (claros) y tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina: *bindstone* con materia orgánica (oscuros). **B)** Detalle de una pareja de láminas: blanca-oscuro. La lámina blanca destaca por su aspecto espigado; también se observan bordes arrifionados. En las láminas oscuras destaca la abundancia de peloides de micrita rodeados por tapices microbiales. **C y D)** Detalle de una de las láminas blancas: están constituidas por cristales de calcita espar, subrectangulares, lanceolados aislados, lanceolados en abanicos y en grumos con bordes arrifionados. **E y F)** Detalle de una lámina oscura conformada por tapices microbiales biomineralizados por micrita microcristalina (tono pardo oscuro) y peloides de micrita, algunos con contornos arrifionados (pardo amarillento) que presentan cristales aciculares de yesos secundarios sobrepuestos; también se observan, en menor proporción, cuerpos blancos de calcita espar con bordes que asemejan *popcorn*.



Figura 38. Afloramiento de calizas *mudstone* del intervalo estratigráfico **D** entre líneas amarillas punteadas. Nótase que cambian lateralmente (hacia la derecha) a *mudstone* arcillosos calcáreos con laminación plana-paralela (metro 89-93, Δ85-Δ84).

algas, y **c**) fragmentos de cristales de calcita, con tamaños entre 3-10 μm ; interpretados como minerales disgregados de tapices recristalizados.

Los bioclastos (1,5%) son restos de conchillas de foraminíferos planctónicos, con tamaños entre 100-150 μm ; también se observan restos de bivalvos y ostrácodos, con disposición paralela o formando ángulo respecto a S_0 . Se reconocen restos dispersos de algas *Dasycladaceas*.

La materia orgánica se observa como laminillas y en agregados (motas). Hay presencia de hidrocarburos que rellenan espacios e intruyen las diferentes láminas (semejan microvolcanes).

La pirita se presenta diseminada y en cantidades menores a 1%; y se reconocen algunos fragmentos de cuarzo como minerales traza.



Figura 39. Detalle del cuerpo aflorante en la **fig. 38**. Capas delgadas de calizas *mudstone* separadas por *mudstone* calcáreos con materia orgánica con laminación plana-paralela (metro 91, Δ82).

2) Bindstone con materia orgánica (**dma 4975**) (microbialitas) y **textura tipo B (fig. 52)**. Presenta laminación entre delgada y mediana, definida por texturas y porcentaje de los constituyentes. En general, hay tendencia de los fragmentos a ser paralelos a S_0 ; sin embargo, algunos hacen un ángulo con S_0 .

Se diferencian tres láminas en las que los constituyentes son (**fig. 52**): **a**) tapices microbiales con biomineralización de calcita microcristalina, en tonos pardo oscuro, acompañados por materia orgánica; **b**) cuerpos gruesos irregulares y láminas muy delgadas que se difuminan, de micrita con recristalización incipiente de color pardo claro; **c**) peloides de micrita; **d**) materia orgánica dispuesta en laminillas y motas; **e**) hidrocarburos que sustituyen bioclastos y rellenan espacios y fracturas; **f**) fragmentos laminares alargados compuestos por cristales de calcita con tamaño 4-10 μm (posiblemente algas filoideas); **g**) cristales individuales de calcita provenientes de la disgregación de las algas o de rocas con recristalización; **h**) arcilla que se encuentra en menor porcentaje interpuesta entre estos tapetes; **i**) fragmento de caliche perforado por rizoides; **j**) conchillas de foraminíferos planctónicos; **k**) pirita diseminada (2,5%), y **l**) fragmentos y cristales cúbicos de halita reemplazados por calcita espar.

En la lámina inferior, constituida por tapices microbiales biomineralizados con calcita microcristalina, materia orgánica y, en menor proporción, arcilla; hay presencia abundante de grumos irregulares, intraclastos y peloides de micrita (**figs. 52A, B, C y D**).

En la lámina intermedia, rica en materia orgánica, es notoria la presencia de hidrocarburos; hay fragmentos laminares de algas y de cristales de calcita espar, rodeados por el entramado microbial (**fig. 52E**).

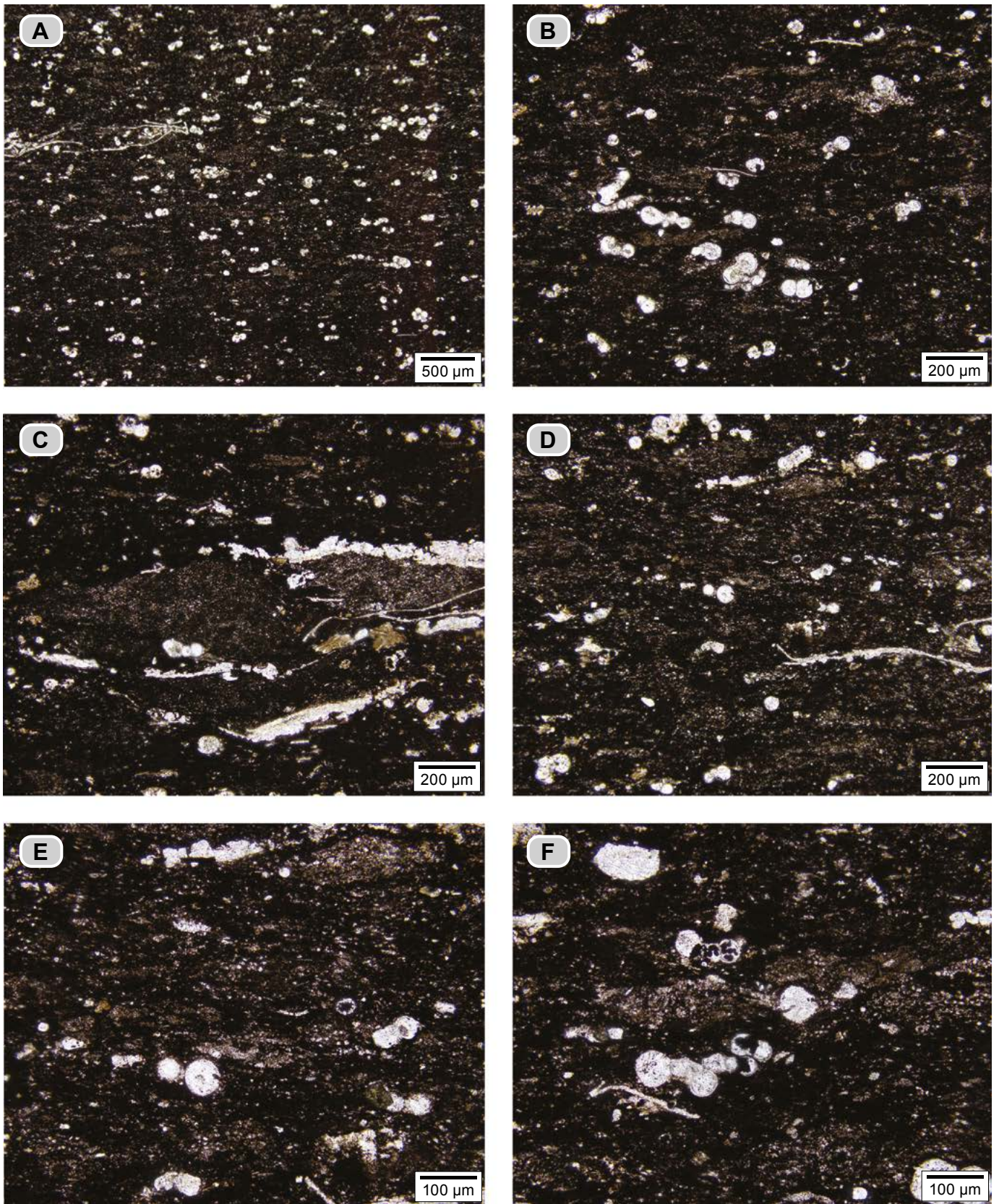


Figura 40. Caliza *mudstone* (dma 4996); en el microscopio se identifica como *bindstone* con materia orgánica (microbialita). **A)** Aspecto general de los tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina (puntos amarillos y blancos), con recristalización incipiente; la materia orgánica se presenta en motas en ocasiones alineadas; nótese las conchillas de foraminíferos planctónicos. **B)** Con mayor aumento se observan tapices microbiales biomineralizados con calcita microcristalina (microbialitas), con materia orgánica y foraminíferos. **C, D, E y F)** Con mayores aumentos se reconocen tapices microbiales con la textura porosa en tamiz, peloides de agregados de restos de algas *Dasycladaceas* y foraminíferos planctónicos, algunos con sus cámaras rellenas de hidrocarburo.



Figura 41. Conjunto E2 (intermedio), suprayacido por el tramo basal del conjunto E3 (el límite superior está señalado por la línea amarilla punteada). El conjunto E2 está limitado a la base y el techo por capas de calizas *mudstone* laminadas; entre ellas alternan *mudstone* calcáreos con materia orgánica (**dma 5005**) y calizas *mudstone*; también hay presencia de láminas de yeso (**dma 5006**) (metro 99-105, $\Delta 80-\Delta 79$).

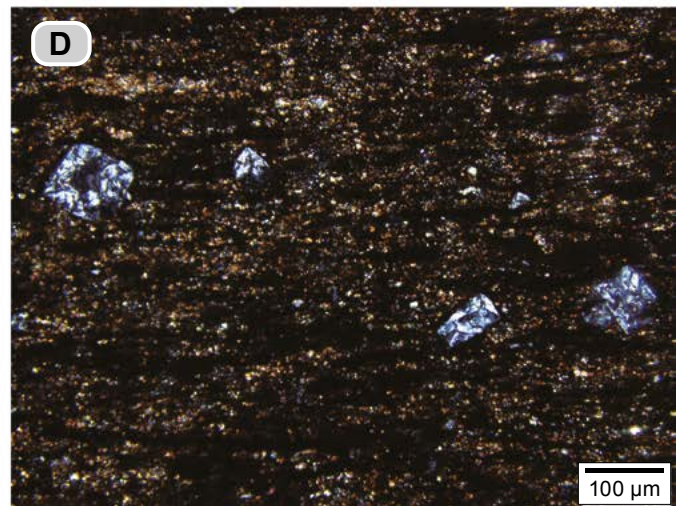
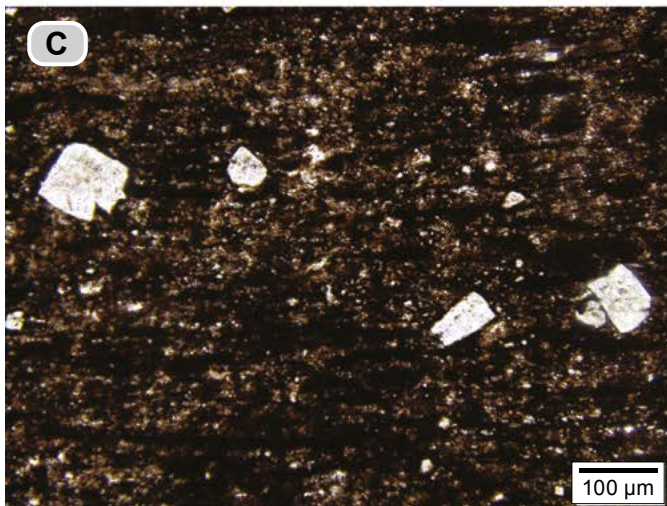
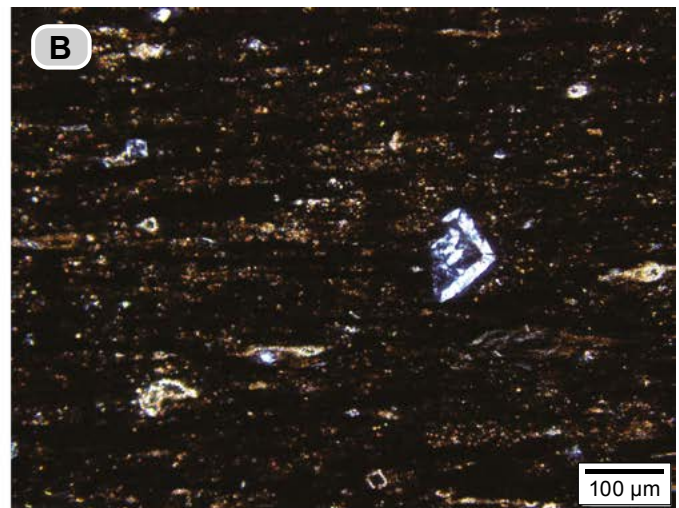
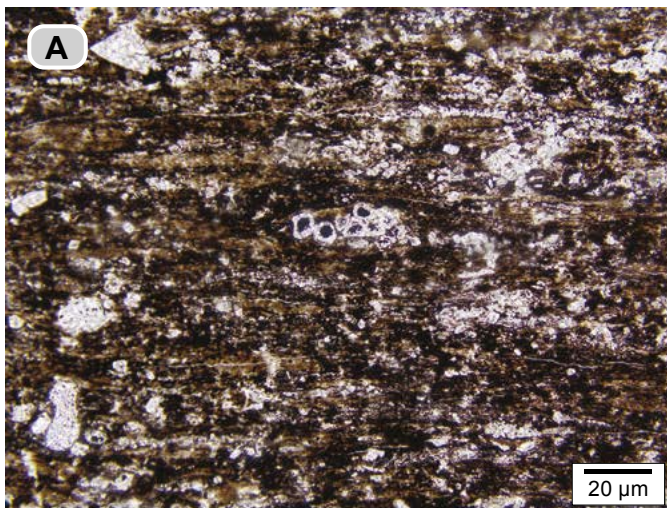


Figura 42. *Mudstone* calcáreo con materia orgánica (**dma 5005**); en el microscopio se identifica como *bindstone* con materia orgánica (microbialita). **A)** Tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina, con abundante materia orgánica en laminillas y motas; se observan restos de algas *Dasycladaceas* y cristales de yeso. **B)** Se resalta la presencia de cristales cúbicos de yeso que reemplazan halita original. **C y D)** Se observan tapices microbiales con biomineralización de calcita microcristalina (tonos amarillos), además de materia orgánica en motas e hilos; nótense los cristales cúbicos con reemplazamiento de halita reemplazados por yeso.

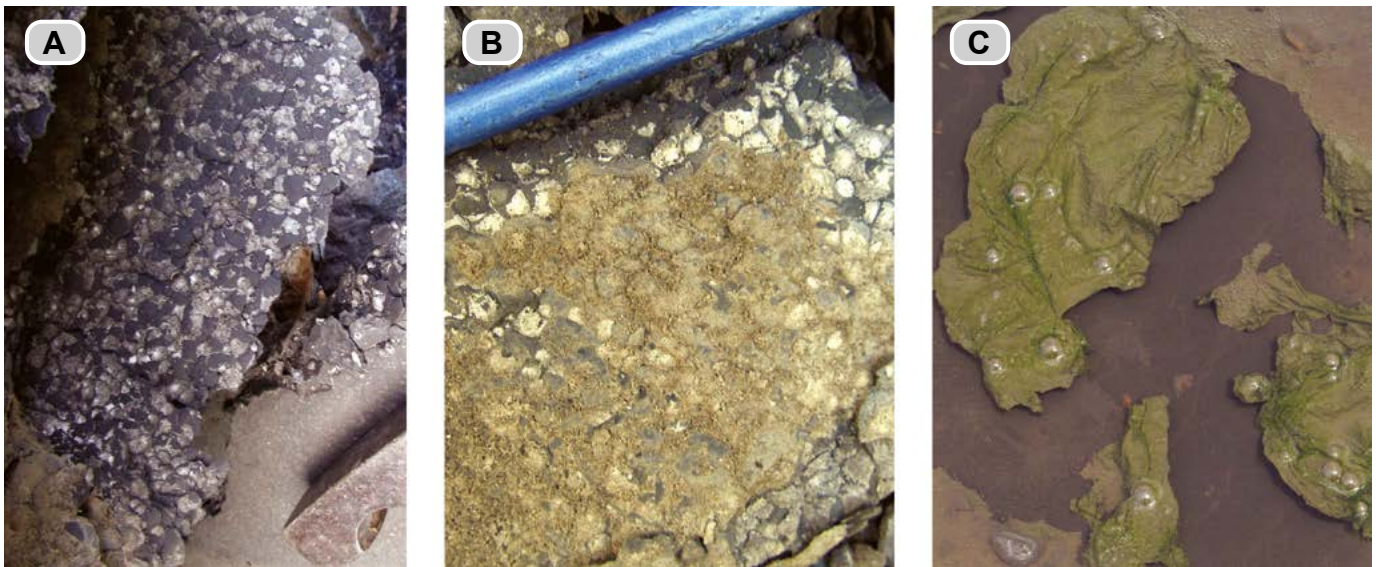


Figura 43. En el techo de los *mudstone* calcáreos con materia orgánica (conjunto E2) destacan cuerpos que en vista de planta aparecen como círculos o elipses (domos de gases) (metro 100) acompañados por agregados de cristales de yeso (color blanco). Las formas circulares se interpretan como la huella de burbujas de gases, tal como se observa actualmente en tapices microbiales desarrollados en charcas de agua lluvia (fig. C).



Figura 44. A) Se observa *mudstone* calcáreo con materia orgánica (metro 99-110); la parte superior del recuadro está ampliada en la fotografía inferior. **B)** Nótese las alternancias de láminas muy finas de color gris oscuro y blanco; por meteorización, estas láminas toman tonos pardos y amarillentos (dma 5006) (metro 100, Δ79).

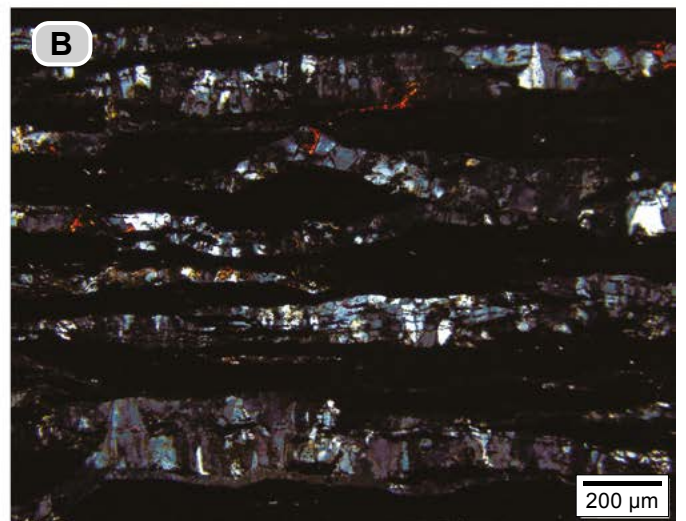
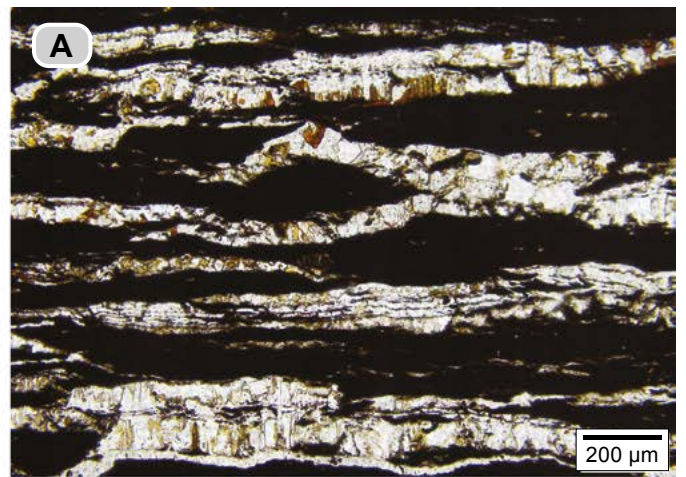


Figura 45. Esta figura ilustra el aspecto microscópico de las láminas que se muestran en el afloramiento de la fig. 43: corresponden a láminas de yeso y láminas de materia orgánica con pirita (bandas oscuras) (dma 5006).

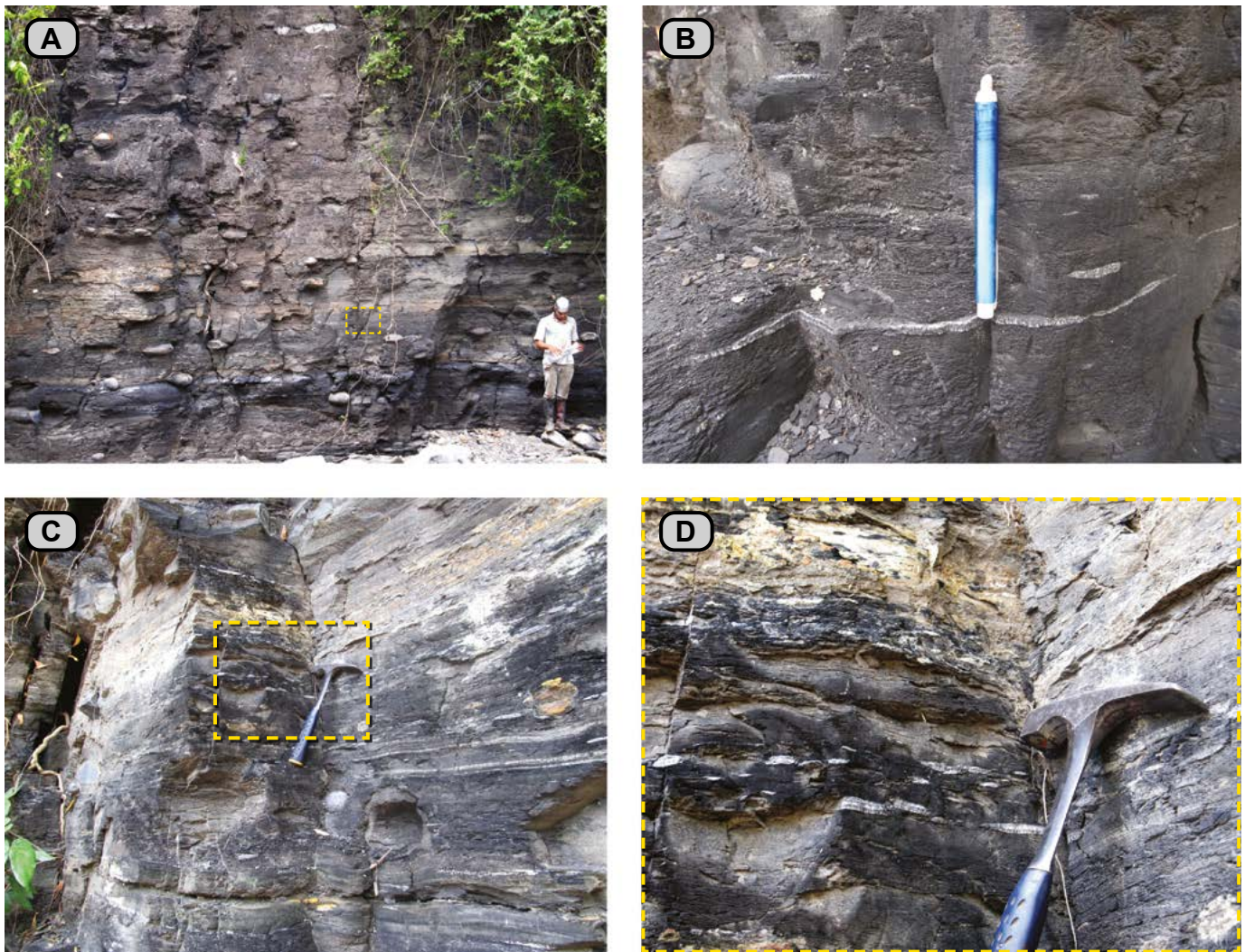


Figura 46. Aspecto general del tramo inferior del conjunto E3. **A)** *Mudstone* calcáreos con materia orgánica y concreciones calcáreas elipsoidales, paralelas a la estratificación (metro 109-112). **B, C y D)** Lentes y láminas de calcita fibrosa paralelas a la estratificación (S_0); en ocasiones forman franjas de tono marrón por meteorización (metro 109). En **D** se amplía el recuadro amarillo de **C**; nótese los lentes de calcita fibrosa (metro 110).



Figura 47. Aspecto general del tramo superior del conjunto E3. Intervalos de *mudstone* calcáreos con materia orgánica que dibujan entrantes en el perfil topográfico; en alternancia con capas medianas de calizas *mudstone* que generan salientes en el perfil topográfico. La caliza *mudstone* señalada por la flecha amarilla inferior presenta estrangulamiento y cuerpos de rocas desconectados. Las capas señaladas con flechas amarillas tienen su superficie inferior dentellada (metro 112-115, $\Delta 76-\Delta 74$).

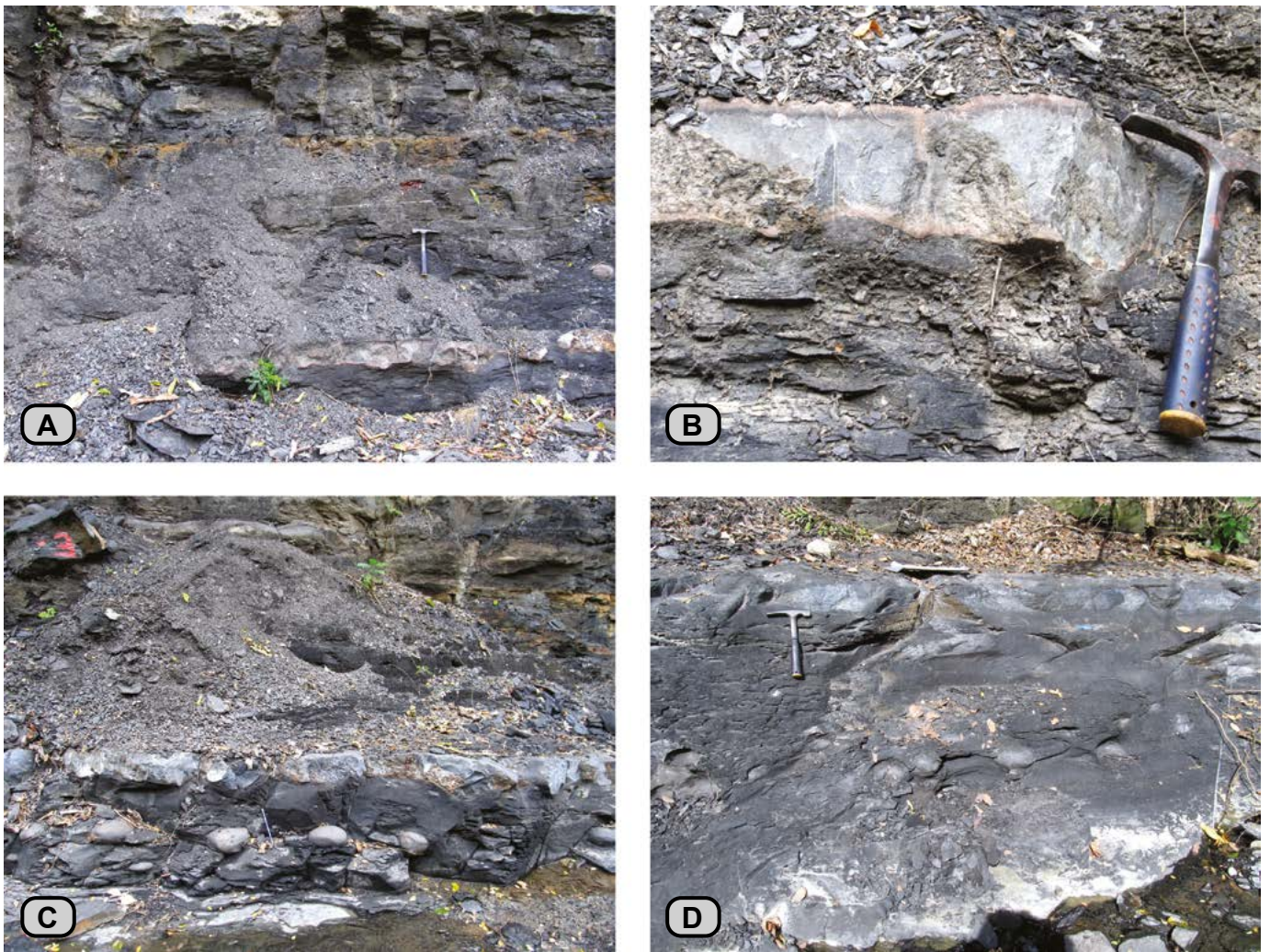


Figura 48. Conjunto E3 del intervalo estratigráfico E. **A)** *Mudstone* calcáreos con materia orgánica que alternan con calizas *mudstone* en capas delgadas; se observan como cuerpos alineados desconectados; la superficie inferior es dentellada (metro 113-114). **B)** Detalle de la forma dentellada de la superficie inferior; nótese las superficies inferior y superior oxidadas (metro 114). **C)** Caliza *mudstone* gris claro con su superficie inferior dentellada; nótese por debajo de esta capa la presencia de concreciones calcáreas discoidales alineadas embebidas en los *mudstone* calcáreos con materia orgánica (metro 114-115). **D)** Nótese en la parte superior de la figura (martillo) los fantasma de concreciones de la capa más superior del conjunto E3 (metro 116, $\Delta 74$).



Figura 49. Concreción calcárea con restos de peces en volumen; nótese la conservación de las escamas (metro 114), intervalo estratigráfico E3.



Figura 50. Fotografía que muestra los intervalos de *mudstone* calcáreos con alternancias de calizas *mudstone* en capas medianas (metro 113, $\Delta 74$).

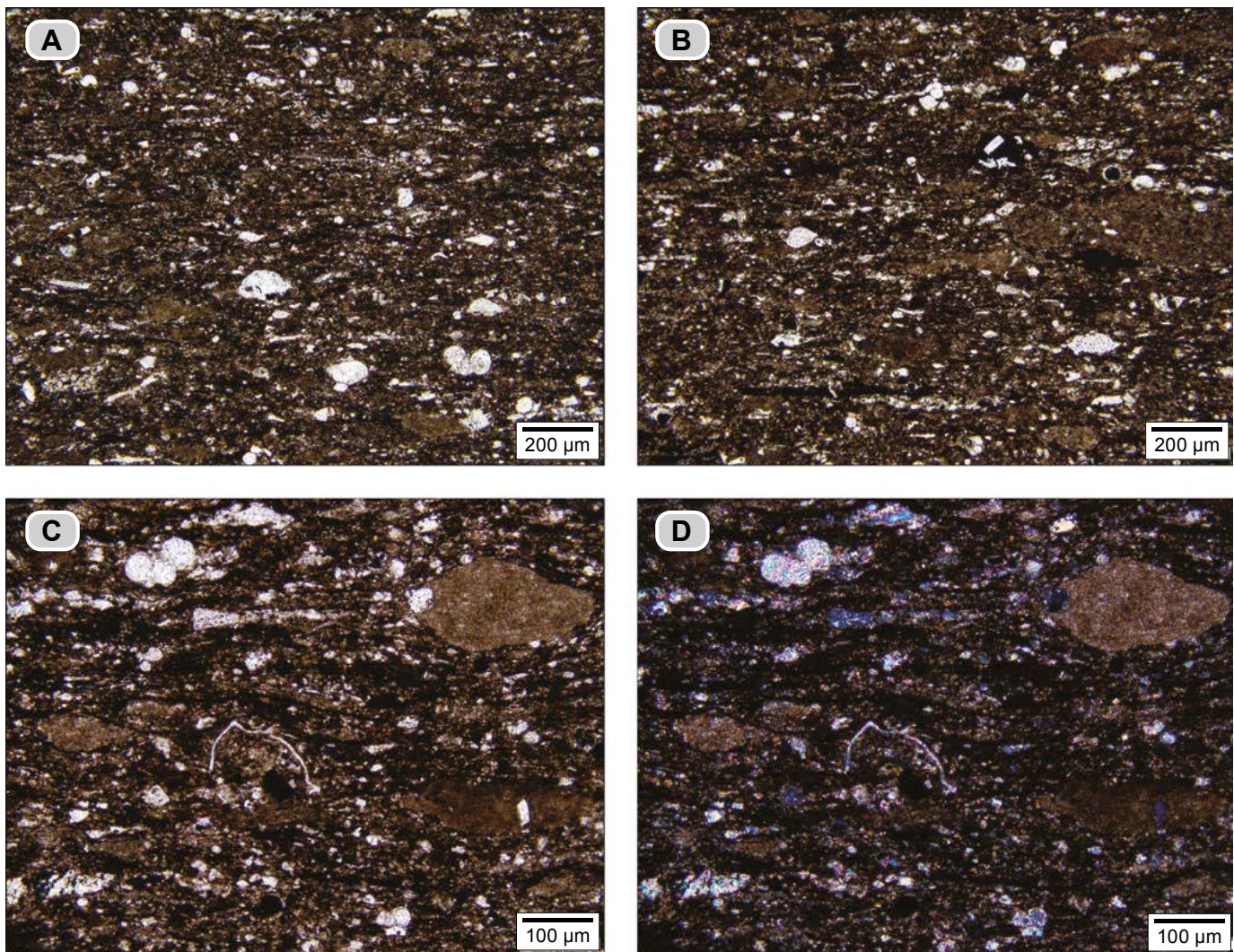


Figura 51. *Mudstone* calcáreo con materia orgánica (**dma 4965**), en el microscopio se identifica como *bindstone* con materia orgánica (microbialita). **A y B)** Tapices microbiales con biomineralización de calcita microcristalina (tonos pardos oscuros) y formas peloides e intraclastos; estos últimos son producto de tapices preexistentes desecados y removilizados. Hay presencia de conchillas de foraminíferos planctónicos, ostrácodos y fragmentos de cristales blancos de calcita; la materia orgánica (negra) se presenta como hilos y motas. **C y D)** Con mayor aumento se observan láminas de micrita que se adelgazan hasta desaparecer; además, materia orgánica e hidrocarburos; en **D** la fotografía fue tomada con nicoles cruzados.

En la lámina superior, las algas filoideas que se observan desde la lámina intermedia, son más abundantes, están mejor preservadas y su longitud varía entre 1 mm hasta 15 mm; también es abundante la presencia de materia orgánica y de hidrocarburos (**fig. 52 F**).

En el microscopio, las calizas *mudstone* dejan ver varios estadios de recristalización y varias texturas de neomorfismo (**fig. 53**), así:

1) Textura tipo III. La roca está recristalizada (**dma 4967**) y por tanto los tamaños de los cristales de calcita espar pasan a 6 μm (**fig. 54**). Se reconocen: **a)** fragmentos fosfatizados de restos de peces; **b)** fragmentos de materia vegetal; **c)** formas circulares (100 μm a 200 μm), constituidas internamente por cristales de calcita espar (elementos reproductores de algas?), y **d)** restos de bivalvos, ostrácodos y otros

restos no identificables. También se presentan pirita (3%) y cuarzo como trazas. Las partículas alargadas tienen inclinación alta en relación con S_0 .

2) Textura tipo I. Con estadio de recristalización bajo (**dma 4976**). Se identifica como un *bindstone* (microbialita) (**fig. 55**). Se reconoce la textura original, y se presentan láminas claras y oscuras. En las láminas claras se entretienen: **a)** cuerpos laminares blancos, con un ancho de 20 μm , alargados, discontinuos, ondulados, entrelazados, paralelos a S_0 , constituidos internamente por cristales de calcita espar de tamaños 6-10 μm (láminas microbiales recristalizadas); **b)** láminas discontinuas y cuerpos peloidales de micrita con recristalización incipiente en tonos pardos oscuros, y **c)** tapices microbiales con materia orgánica. En las láminas oscuras están conformadas por peloides de micrita en tono pardo claro, rodeados por tapices microbiales con materia orgánica.

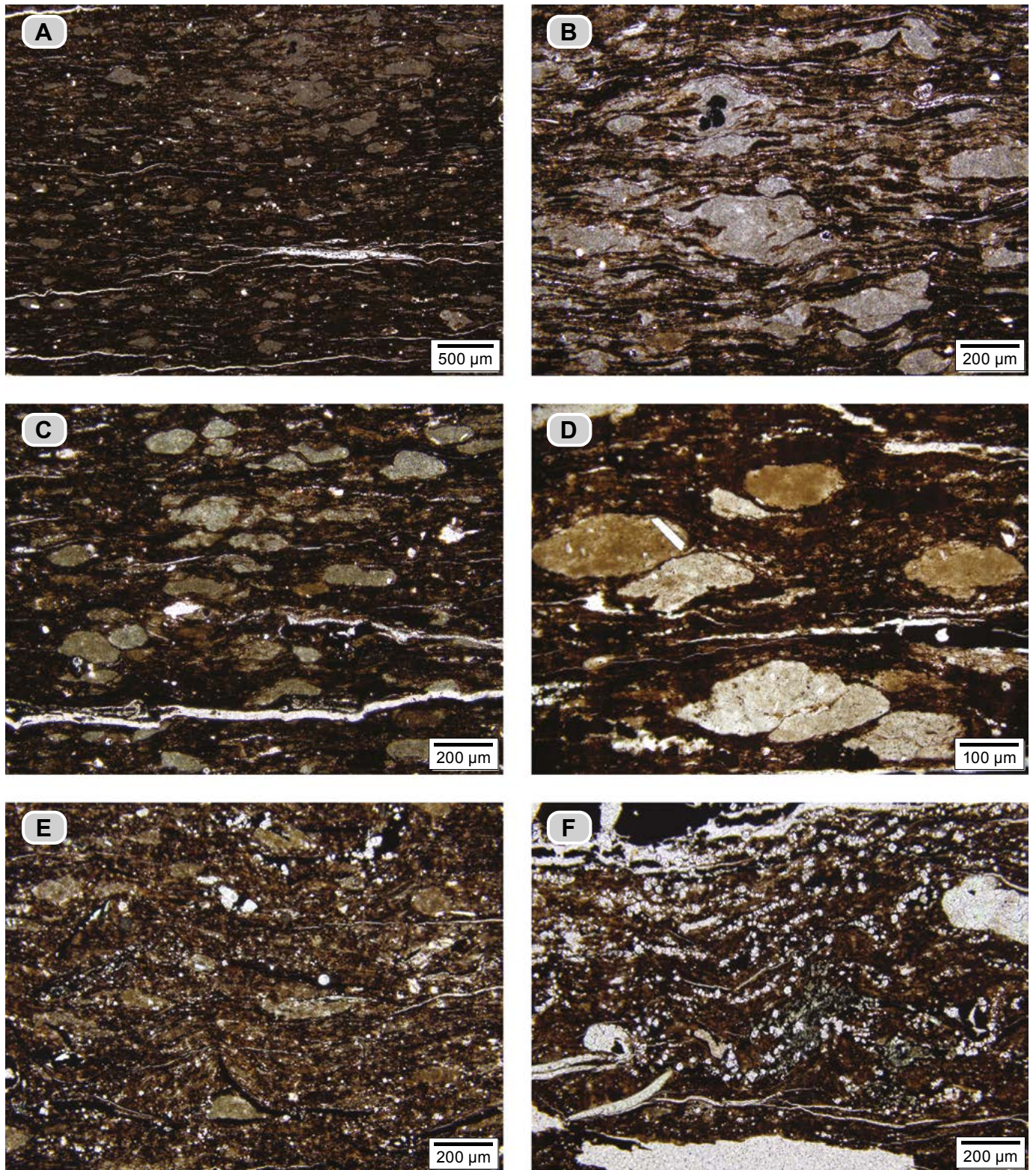


Figura 52. *Mudstone* calcáreo con materia orgánica (**dma 4975**); en el microscopio se identifica como *bindstone* con materia orgánica laminado (*microbialita*). **A)** Lámina inferior: en la parte baja de la sección delgada abundan los peloides de micrita (color pardo amarillento) y tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina (color pardo rojizo); en la parte superior alternan láminas delgadas discontinuas y cuerpos grumosos irregulares de micrita (color pardo claro). **B)** Detalle de la parte superior de la figura **A**; se observan láminas muy delgadas discontinuas y cuerpos grumosos irregulares de micrita de color pardo claro. **C y D)** Detalle de la parte inferior de la lámina **A**: entre los tapices microbiales con materia orgánica (color pardo oscuro) hay presencia de cuerpos peloidales de micrita, disgregados y removilizados (color pardo claro). **E)** Lámina intermedia: la proporción de materia orgánica y de hidrocarburos aumenta: hay presencia de fragmentos laminares y de cristales de calcita (provenientes de la disgregación de algas o de rocas recrystalizadas); los hidrocarburos (color negro) intruyen y rellenan espacios. **F)** Lámina superior: con presencia de algas filoides y abundancia de materia orgánica e hidrocarburos; nótese los cristales cúbicos de halita reemplazados por calcita.



Figura 53. Calizas *mudstone* (en tonos claros) que resaltan en el perfil topográfico y que alternan con *mudstone* calcáreos con materia orgánica (grises oscuros); forman entradas en el perfil topográfico (metro 113-115, $\Delta 73$ - $\Delta 74$).

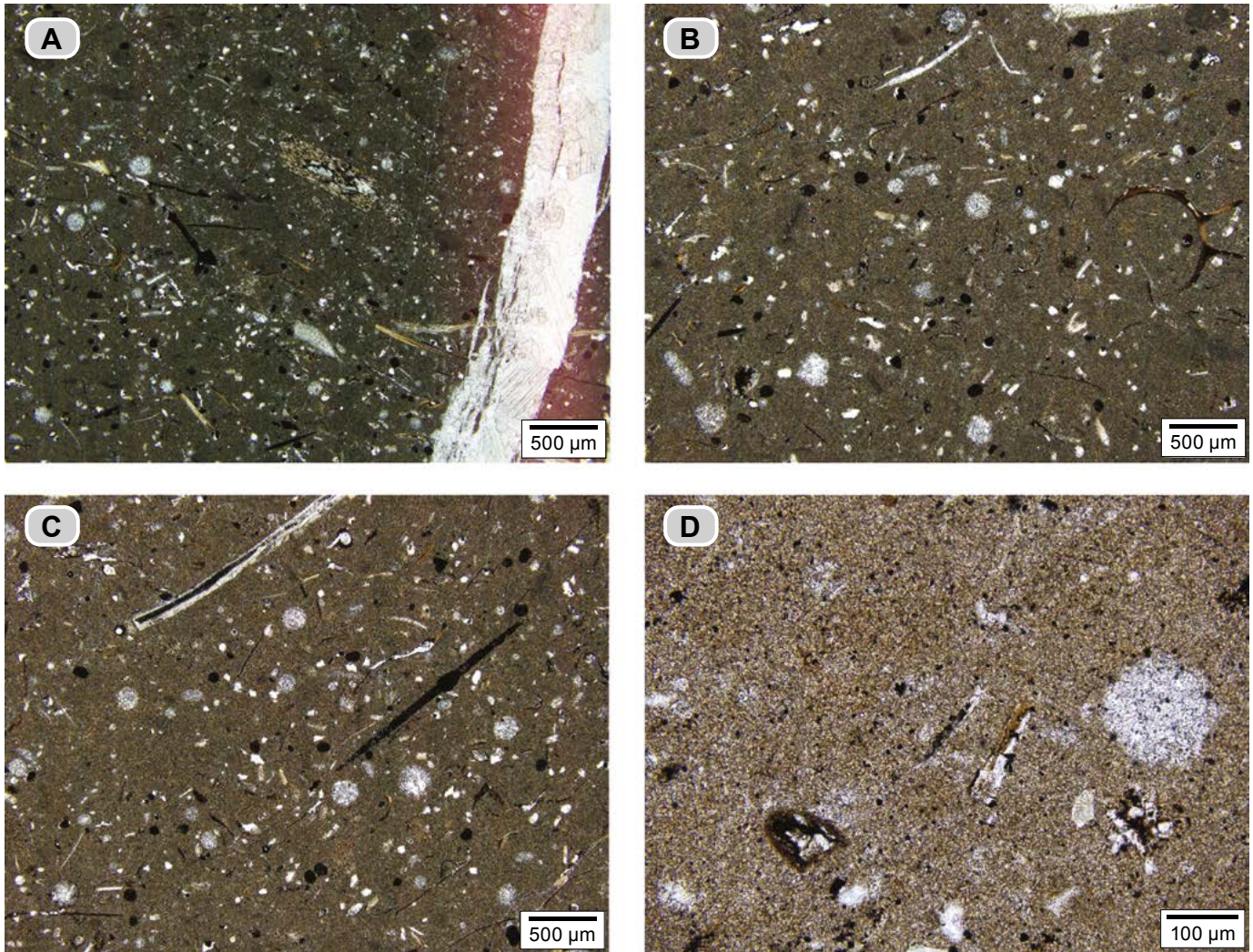


Figura 54. A, B y C) Calizas *mudstone* con bioclastos (dma 4967). Se observan restos de huesos de peces fosfatizados. Nótese la presencia de cuerpos circulares de 100 μm a 200 μm , conformados por cristales de calcita (elementos reproductores de algas? o esferas de calcita generadas por acción de bacterias?) y agregados de pirita. D) Con mayor aumento se observa la homogeneización de la calcita espar, restos de peces fosfatizados, pirita y cuerpos circulares reemplazados por cristales de calcita espar.

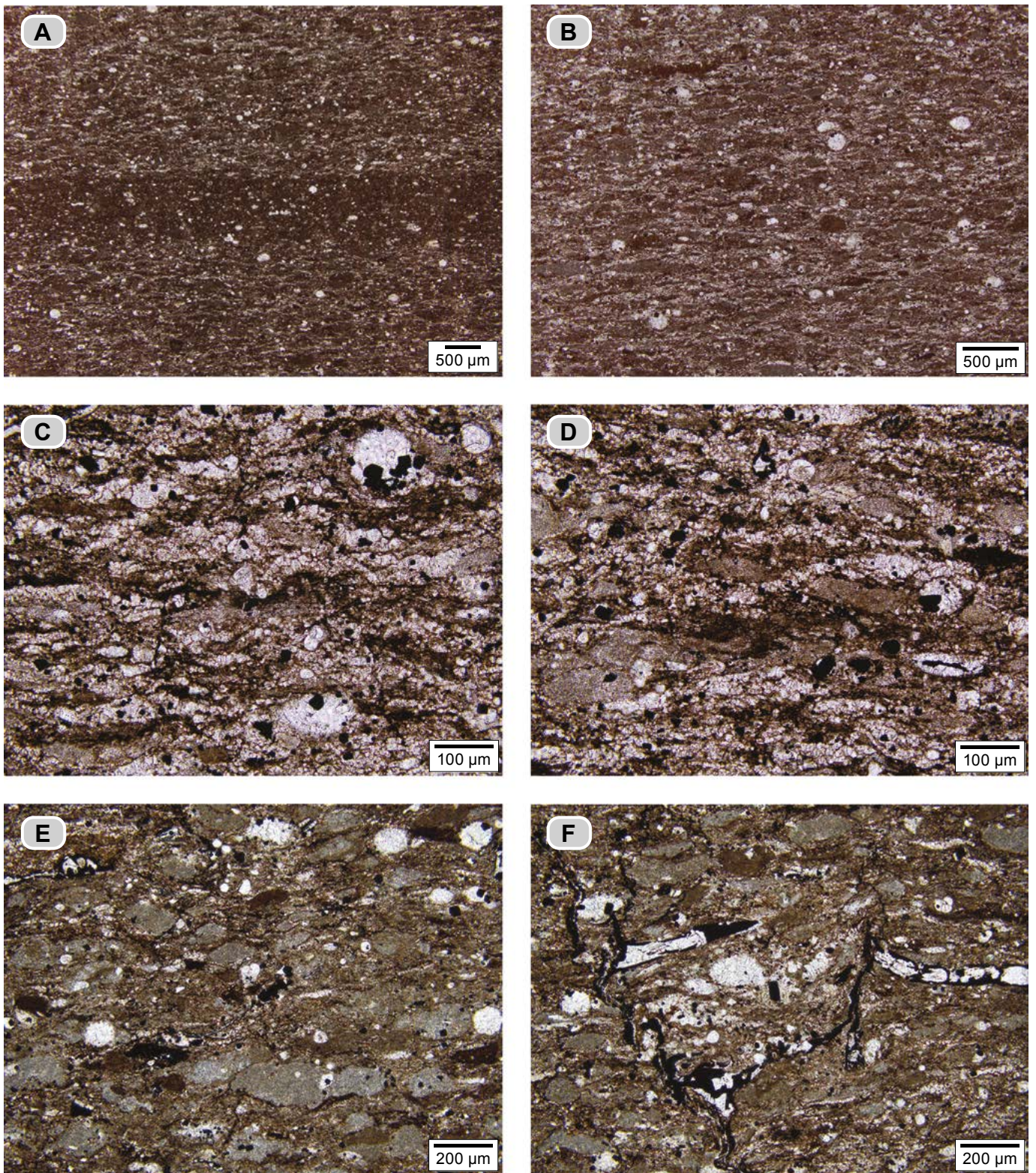


Figura 55. A) Caliza *mudstone* (dma 4976); en el microscopio se identifica como *bindstone* recristalizado. La recristalización es de tipo I. Se conserva la laminación, que está resaltada por los tonos pardos oscuros y tonos pardos más claros. **B)** Las láminas claras están constituidas por cuerpos laminares blancos, discontinuos, ondulados (microbialitas recristalizadas); peloides de micrita y tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina (pardos oscuros); también se observan ostrácodos y cuerpos circulares de calcita. **C y D)** Ampliación de un sector de la misma placa con láminas claras; se observan: **a)** cuerpos laminares blancos ondulados, internamente constituidos por un agregado de cristales de calcita; **b)** tapices microbiales de tono pardo oscuro, y **c)** peloides de micrita. También se reconocen cuerpos circulares de calcita, con diámetros de 15 μm a 100 μm . Hay presencia de pirita e hidrocarburos. **E y F)** Ampliación de un sector de la misma placa de las láminas oscuras; se diferencian: peloides de micrita alternantes con tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina (tono pardo); hidrocarburo que forma microdiques arborescentes, pirita y cuerpos circulares de calcita con diámetros entre 40 μm y 100 μm (elementos reproductores de algas? o esferas de calcita generadas por acción de bacterias?).

En las diferentes láminas hay presencia de foraminíferos planctónicos, conchillas de amonitas paralelas a S_0 , cuerpos circulares de 100 μm a 200 μm reemplazadas por cristales de calcita espar (elementos reproductores de algas?) quistes de dinoglagelados calcáreos y algas filoideas: son hojuelas onduladas tipo *corn flakes*. La pirita (2,5%) se presenta con hábito cúbico o framboidal; llama la atención la presencia de micro diques arborescentes de hidrocarburo.

Segmento estratigráfico III (116-193 m)

Este segmento se localiza desde el $\Delta 74$ hasta el $\Delta 55$ de la poligonal y se caracteriza por la ausencia de lentes de calcita fibrosa y por el incremento notable de la arcilla (grupo de la illita?). Se diferencian tres intervalos estratigráficos, que incluyen un tramo cubierto de 56 m (séptimo tramo cubierto).

Intervalo estratigráfico F (116-119 m). Aflora en el $\Delta 74$. Son *mudstone* arcillosos calcáreos de color gris oscuro (N4), laminados (**fig. 56**); alternan con calizas *mudstone* en capas gruesas lenticulares. Hay presencia de concreciones calcáreas redondeadas a discoidales con ϕ de 60 a 40 cm; las de mayor diámetro tienen un núcleo estrellado relleno de cristales individuales de calcita (geodas).

En el microscopio, la caliza *mudstone* se identifica como *bindstone* (microbialita) (**dma 4979**). Se observan tapices microbiales con biomineralización de calcita microcristalina (microbialita), con textura porosa (tamiz), con recristalización incipiente (**fig. 57**). La materia orgánica se presenta en hilos discontinuos paralelos a S_0 ; también hay presencia de conchillas de foraminíferos planctónicos (1,5%), hidrocarburo que rellena las conchillas y pirita (1%).

Intervalo estratigráfico G (119-175 m). Se localiza entre el $\Delta 74$ y el $\Delta 56$, y representa el séptimo tramo cubierto, de 56 m.

Intervalo estratigráfico H (175-193 m). Se ubica entre los $\Delta 56$ - $\Delta 55$. Son *mudstone* arcillosos con materia orgánica, laminados, de color gris oscuro y gris claro (N3, N4, N5), que conforman paquetes de hasta 3 m; alternan con esporádicas capas lenticulares delgadas de calizas *mudstone*.

Las rocas son ricas en bivalvos, gasterópodos e impresiones de amonitas sobre las superficies de acumulación (S_0); en ocasiones aparecen fragmentadas y en vista de perfil se destacan como láminas dentadas, discontinuas. Es común la presencia de cristales superficiales de yeso secundario y láminas de pirita.

Entre los metros 187-188 y 192-193 de la secuencia, y en un espesor de 90 cm y 1 m, respectivamente, se observan tramos con deformación circunscrita a estos paquetes. Las rocas están dislocadas, se aprecia un juego de bloques conjugados en forma de rombos angulosos, internamente fracturados, además de repliegues fallados a escala centimétrica.



Figura 56. Intervalo estratigráfico F. **A)** En la parte inferior se observan las rocas del Conjunto E3 en tonos grises y más duras, y en la parte superior, los primeros metros del intervalo estratigráfico F, constituidos por *mudstone* arcillosos calcáreos (metro 115 a 119). **B y C)** Metros inferiores del intervalo estratigráfico F; hay presencia de concreciones calcáreas de formas discoidales, ocasionalmente con geodas (metro 118, $\Delta 74$).

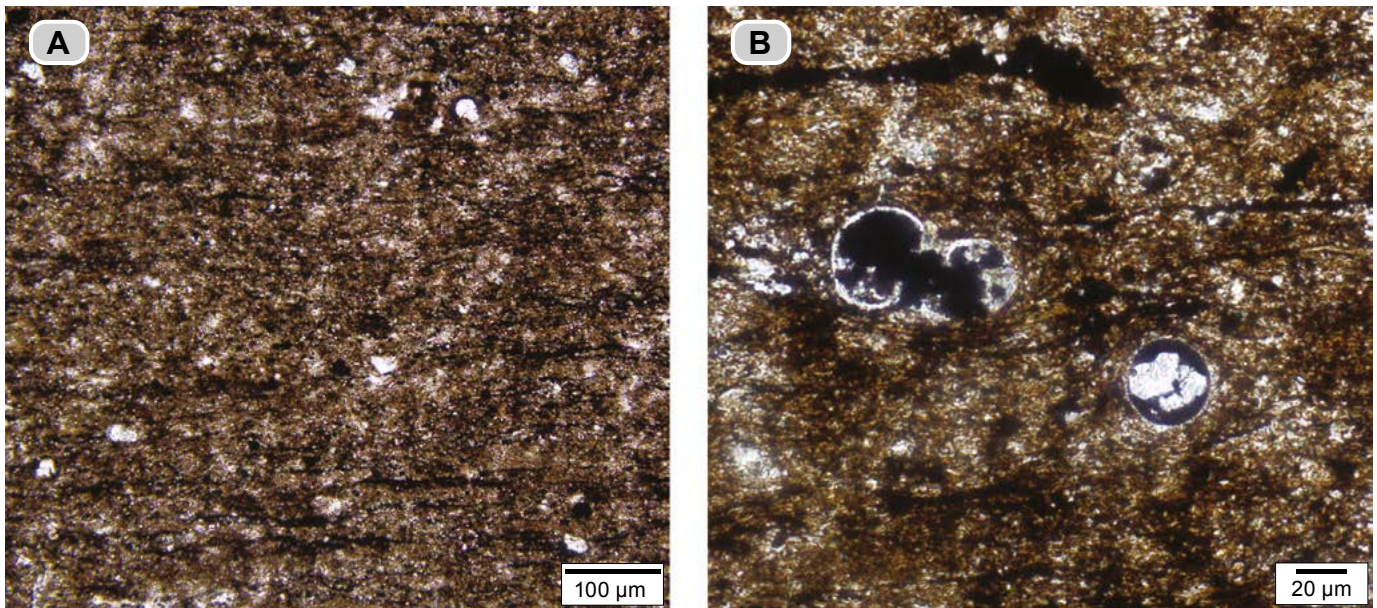


Figura 57. Caliza *mudstone* (dma 4979). En el microscopio se identifica como *bindstone*. **A)** Se observan tapices microbiales en tono pardo oscuro, biomineralizados por calcita microcristalina (microbialita); la materia orgánica se observa también como hilos y en agregados (motas). **B)** Con mayor detalle se reconoce la textura porosa, que corresponde a los tapices microbiales; nótese una conchilla de amonita rellena de hidrocarburos.

En el microscopio, los *mudstone* arcillosos con materia orgánica se identifican como *bindstone* con arcillas y materia orgánica (microbialita). Se observan intervalos con texturas laminadas e intervalos con texturas lenticulares (dma 4907 y 4915).

Los intervalos con textura lenticular (figs. 58 y 59) están compuestos por tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina, en donde se reconoce textura porosa de tamiz; adherida, hay arcilla tipo illita?, según Konhauser (1998), la arcilla constituye una superficie abiótica que forma lentes (fig. 58).

Los intervalos con texturas laminares alcanzan hasta 3 mm de espesor y están conformados por tapices microbiales con arcilla adherida de fino hábito micáceo con las siguientes configuraciones: **a)** láminas de 50 µm de grosor que aparecen levemente onduladas y discontinuas; y **b)** en lentes. Alternan con esporádicas láminas de micrita, peloides e intraclastos de agregados de algas *Dasycladaceas* (fig. 58). Según Konhauser (1998), la arcilla se suma a los tapices microbiales y forma una superficie abiótica.

La materia orgánica se observa en hilos y motas. Se observan fragmentos de amonitas paralelos a la estratificación (fig. 58) y algas filoideas (fig. 59), como también cristales de carbonato de calcio de forma rómbica.

Segmento estratigráfico IV (193-216 m)

Este segmento aflora entre el Δ55 y el Δ56 de la poligonal y termina en seis metros cubiertos (octavo tramo cubierto). En él, se diferencian dos conjuntos duros y dos blandos. El inferior duro (I1) está localizado entre los metros 193-196, y el superior duro (I3), entre los metros 201-207; están separados por un conjunto que genera valle (I2), localizado entre los me-

tros 196-201; sobre el conjunto I3, alcanza a aflorar la parte inferior del conjunto I4, parcialmente cubierto (207 a 216 m).

Los conjuntos que dan resalte (I1 e I3) están constituidos por calizas *mudstone*, se disponen en capas gruesas con formas plano paralelas y muestran pátina de color naranja amarillento (10YR 8/6 y 10YR 6/6). La principal característica de los conjuntos I1 e I3 está en que su laminación varía de delgada a mediana, plana paralela, definida por la composición, que a su vez se manifiesta en colores grises oscuros y grises claros (fig. 60).

El conjunto I2 está compuesto por *mudstone* arcillosos con materia orgánica. Hay presencia de concreciones calcáreas redondeadas y elipsoidales, piritosas, con dimensiones de hasta 35 cm en el diámetro máximo.

En el **conjunto I1**, las calizas *mudstone* están laminadas y se identifican en el microscopio como *bindstone* recristalizados (microbialitas recristalizadas), con diferentes estadios de recristalización, que permite reconocer en las calizas dos texturas:

A) Calizas *mudstone* con estadio de recristalización bajo. En ellas se conserva la laminación plana paralela (dma 4919), manifiesta en la alternancia de intervalos claros y oscuros (fig. 61). Los intervalos de tonos claros están constituidos casi exclusivamente por láminas discontinuas y lenticulares de tapices microbiales biomineralizados de calcita microcristalina con recristalización incipiente, los que a su vez están separados por laminillas en tonos oscuros de tapices microbiales con arcilla adherida. Los intervalos laminares, de tonos oscuros, tienen los mismos componentes que los intervalos claros, pero se diferencian por el incremento de materia orgánica y arcilla adherida.

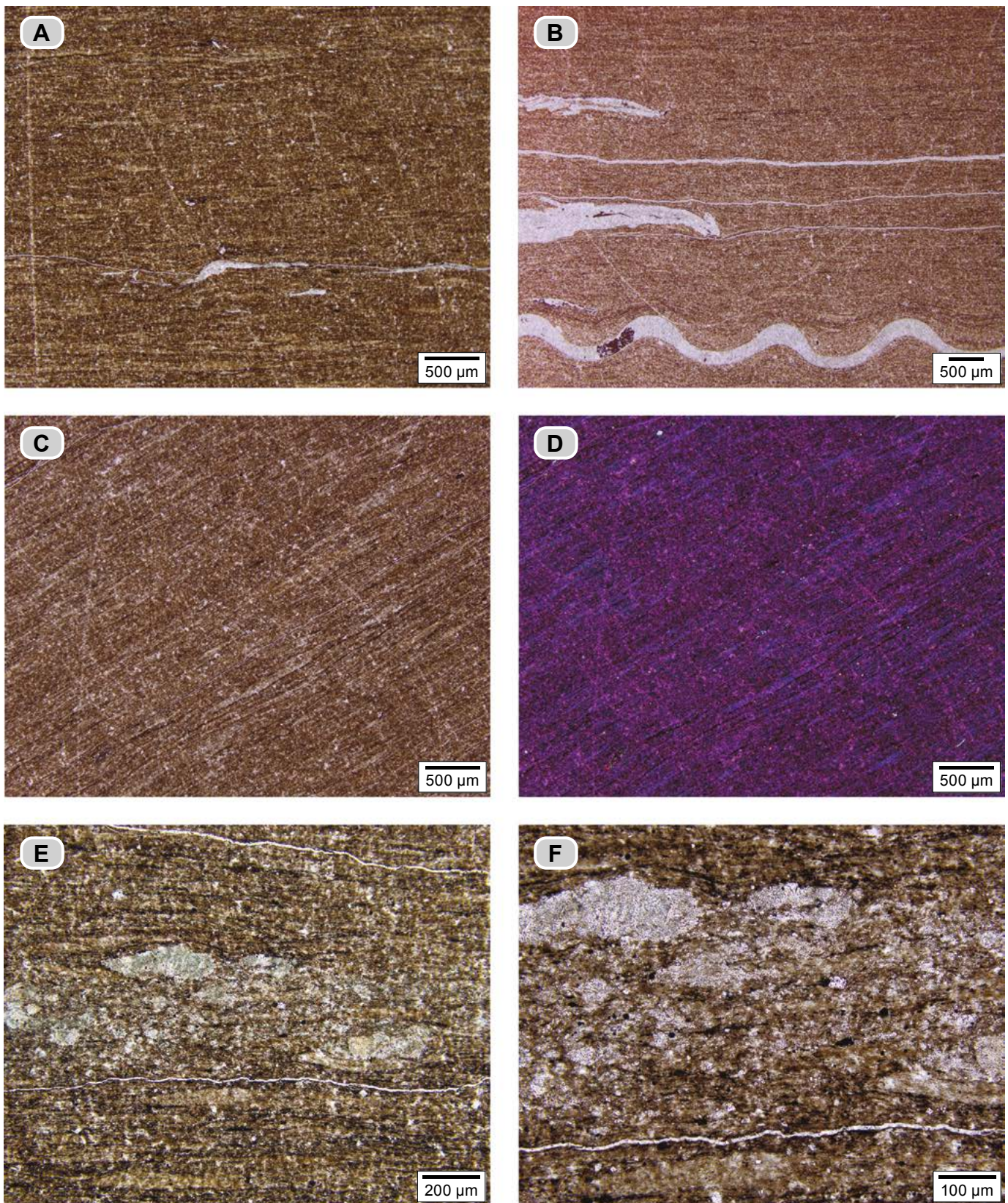


Figura 58. *Mudstone* arcilloso con materia orgánica (dma 4907); en el microscopio se identifica como *bindstone* con arcilla y materia orgánica. **A y B)** Textura lenticular y laminada; se trata de tapices microbiales con arcilla adherida (tonos más claros) y tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina (tonos más oscuros). **A)** Se reconoce en la parte inferior un intervalo laminar, y el resto de la sección es un intervalo con textura lenticular; nótese las formas lenticulares de colores más claros, por la presencia de arcilla adherida. **B)** Nótese el perfil de una concha de amonita. **C y D)** Textura lenticular en los tapices microbiales; las arcillas destacan por su color azul cuando se introduce el compensador 1λ , se cruzan nicoles y se gira la platina NE-SW. **E y F)** Detalle de los tapices microbiales, laminillas de materia orgánica y peloides e intraclastos de restos de algas *Dasycladaceas*.

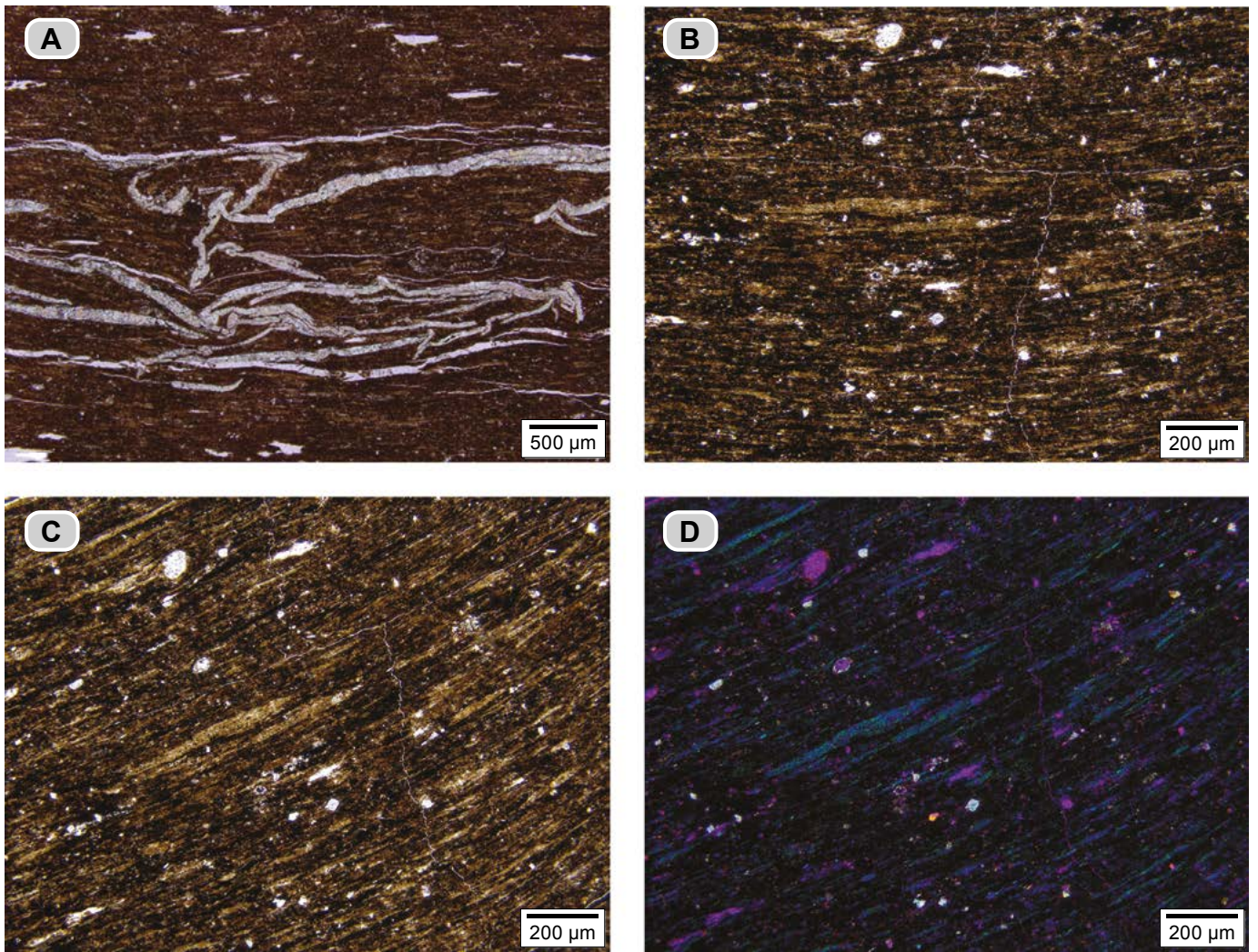


Figura 59. *Mudstone* arcillosos con materia orgánica (dma 4915); en el microscopio se identifican como *bindstone* con arcillas y materia orgánica. **A y B)** Lentes de tapices microbiales con arcilla adherida (tonos pardo claro) y tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina acompañados de materia orgánica (tonos pardos oscuros); en **A** microbialitas con textura lenticular; nótese la presencia de láminas arrugadas (tono blanco), correspondientes a algas filoideas o restos de bivalvos. **C)** Con mayor aumento se observan tapices microbiales. **D)** La misma fotografía anterior vista con compensador 1A, nicoles cruzados y platina rotada a NE-SW, en donde se ve que las arcillas dan tono azul y definen la textura lenticular.

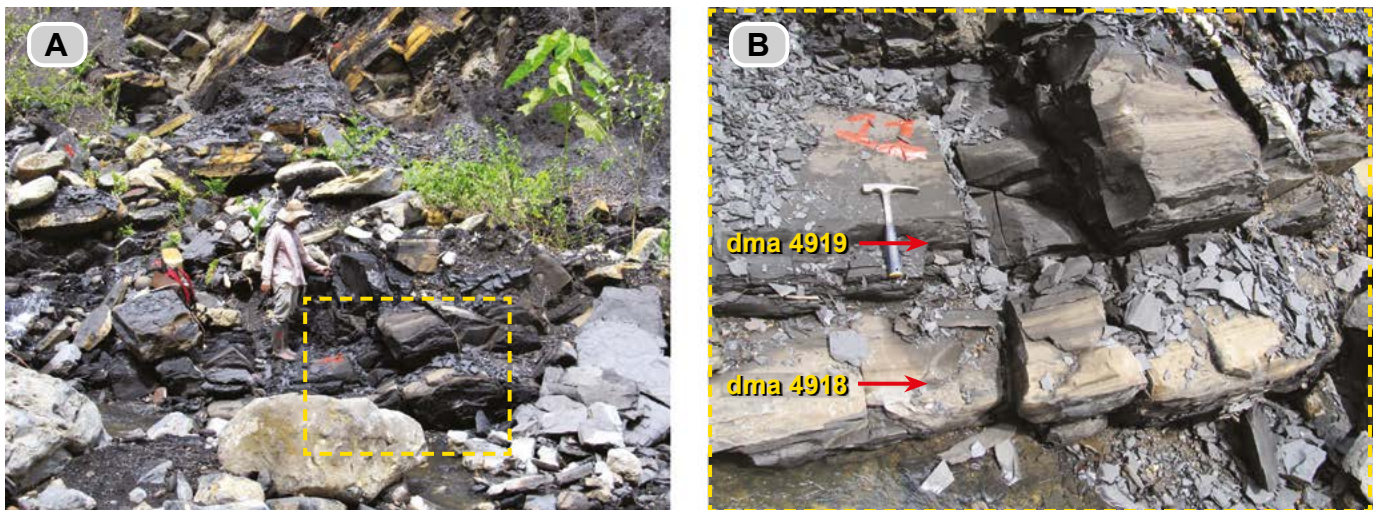


Figura 60. Segmento estratigráfico IV. **A)** Conjunto 11: son calizas *mudstone* laminadas en capas gruesas (metros 193-196, Δ54-Δ53); el recuadro amarillo, está ampliado en **B)**, donde se observa la laminación resaltada por una gama de colores grises, superficialmente con pátina naranja amarillenta (metro 193-196).

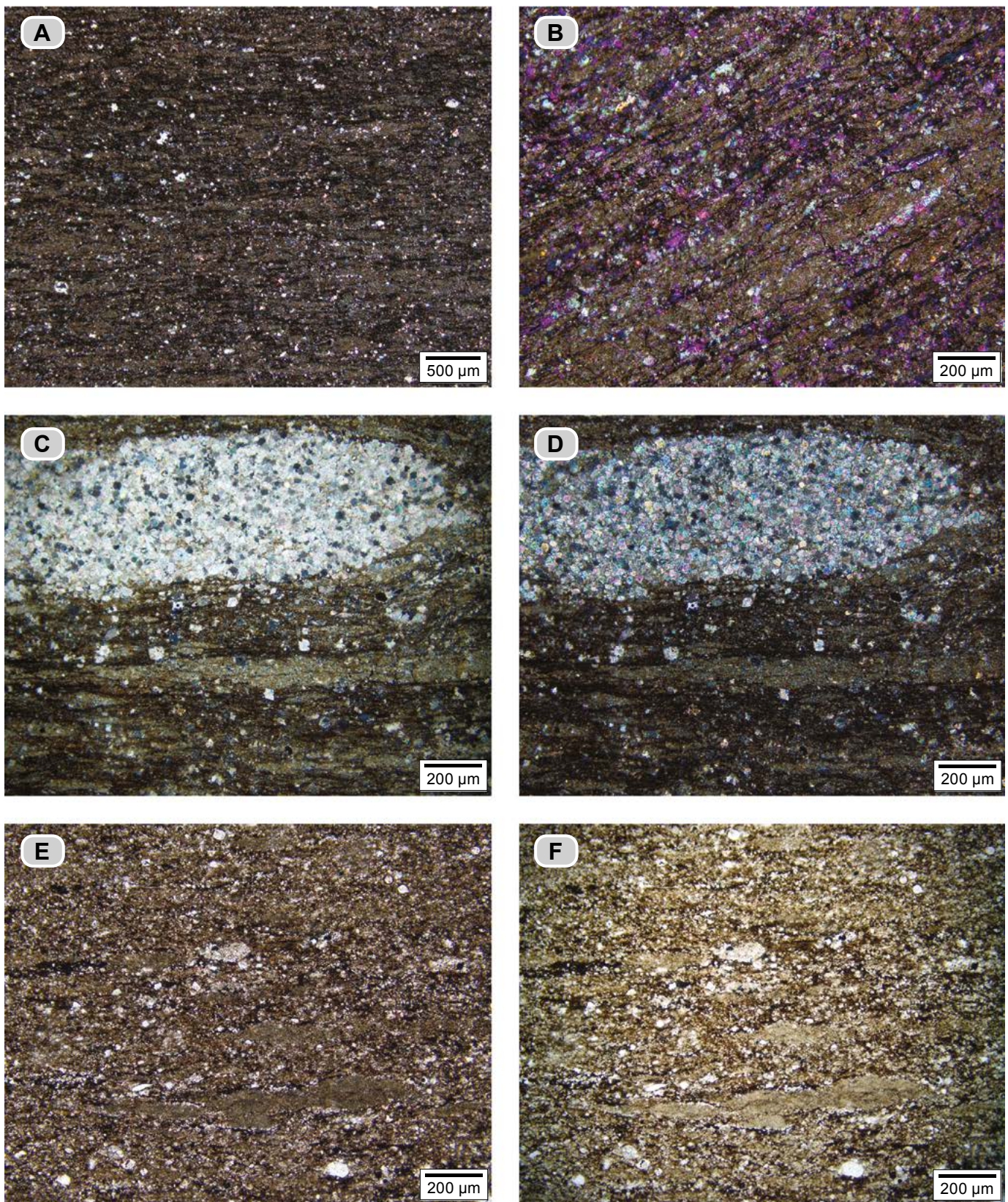


Figura 61. Calizas *mudstone* del segmento estratigráfico IV (**A**, **B**, **C** y **D**); en el microscopio son *bindstone* con recrystalización (**dma 4819**). En **A**) alternan láminas de tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina (tono claro) y tapices microbiales con materia orgánica y arcilla adherida (tono oscuro). **B**) Al insertar el compensador 1λ y girar la platina en dirección NE, las arcillas toman color azul, lo cual permite observar mejor la laminación. **C** y **D**) Se observa un intraclasto, consistente en un agregado de esferas de calcita producto de la actividad biológica de bacterias, con crecimiento de caras cristalinas alrededor de las esferas, que dibujan cristales rómbicos de carbonato de calcio. **E** y **F**) Caliza *mudstone* con recrystalización (**dma 4818**): la laminación está difuminada; sin embargo, se observan remanentes (lentes) de calcita microcristalina de posibles tapices microbiales con recrystalización incipiente.

En ambos intervalos laminares se identifican esferas de calcita generadas por acción de bacterias?, con diámetros entre 5-15 μm (Bundeleva et al. 2012, fig. 4) y quisites de dinoflagelados calcáreos; también se observa el crecimiento de caras cristalinas alrededor de las esferas, que dibujan cristales rómbicos de carbonato de calcio, en ocasiones maclados, con tamaños de hasta 30 μm . Lo anterior está ilustrado en el intraclasto de las **figs. 61C y 61D**.

B) Las calizas *mudstone* con estadio de recrystalización más alto (**dma 4918**) presentan laminación difusa: se trata de tapices microbiales con calcita microcristalina con recrystalización (**fig. 61**); lentes y láminas discontinuas de micrita con recrystalización incipiente y restos de laminillas de materia orgánica y los mismos fósiles.

El **conjunto I2**, que genera valle y separa los conjuntos I1 e I3, está representado por *mudstone* arcillosos levemente calcáreos, grises oscuros (N3), en intervalos de hasta 1.9 m. Estos *mudstone* presentan laminación plano paralela y parten en esquirlas pequeñas; al ser martilladas despiden fuerte olor a azufre. Se observan impresiones de amonitas, bivalvos y gasterópodos paralelos a las superficies S_0 , destacan agrupaciones de cristales superficiales aciculares de yeso secundario a manera de rosetas.

En este conjunto destacan dos capas calizas *mudstone* en capas delgadas, una de las cuales es discontinua y presenta su base dentellada (**fig. 62**), mientras que la otra aparece continua y es plana paralela.

En el microscopio, los *mudstone* arcillosos levemente calcáreos con materia orgánica (**dma 4927**) se identifican como *bindstone* con arcillas y materia orgánica (microbialitas) (**fig. 63**). Se presentan intervalos laminares alternados y constituidos por: **a)** tapices microbiales (tonos pardos) en láminas discontinuas, levemente onduladas, con textura porosa en tamiz; tienen arcilla adherida en finas partículas, en general orientadas ópticamente, con extinción en conjunto (Pettijohn 1975); **b)** de tapices microbiales con biomineralización de calcita microcristalina, **c)** tapices microbiales con arcilla adherida, que conforman lentes.

La materia orgánica se observa en laminillas y motas, mientras que hidrocarburos rellenan espacios interlaminares y reemplazan bioclastos. Se observan fósiles: **a)** foraminíferos planctónicos con tamaños de hasta 60 μm ; **b)** quisites de dinoflagelados calcáreos: son cuerpos circulares con dos anillos, el primero oscuro, y el segundo conformado por cristales subrectangulares de calcita (Reháková 2000). Como minerales traza hay fragmentos de cuarzo, glauconita, mica detrítica y piritita framboidal.

En el **Conjunto I3**, los primeros metros son calizas *mudstone* finamente laminadas que gradan a *mudstone* calcáreos arcillosos con materia orgánica laminados (**fig. 64**); al ascender en la sucesión, la laminación desaparece por la bioturbación (**fig. 64**).

En el microscopio, las calizas *mudstone* laminadas se identifican como *bindstone* recrystalizados, laminados (**dma 4931-4934**); se reconocen intervalos claros e intervalos oscuros (colores que en muestra de mano corresponden a tonos grises claros y oscuros) (**fig. 65**). En los intervalos claros, las láminas tienen mayor recrystalización: se observa un agregado homogéneo de cristales de calcita con tamaños entre 5-6 μm , y en menor proporción tamaños de 15 μm ; por sectores se alcanzan a reconocer vestigios de las texturas originales, que son laminillas de tapices microbiales. En los intervalos oscuros se reconocen tapices microbiales con materia orgánica y arcilla (illita?); en ellos se presenta menor recrystalización y más heterogeneidad, tanto en los tamaños de la micrita como en los cristales de calcita dispersos, se observa micrita con recrystalización incipiente y fragmentos de cristales de calcita anhedrales (15 μm), que han sido interpretados como producto de la disgregación de tapices microbiales recrystalizados (**fig. 65**).

Entre los fósiles de las rocas destacan cuerpos circulares con las siguientes características: **a)** rellenos por un cristal único de calcita, con dos halos: el interno oscuro e isotrópico, mientras que el otro está formado por cristales de calcita espar subrectangulares (quisites de dinoflagelados calcáreos), con tamaño de 20 μm ; **b)** rellenos por varios cristales de calcita espar; el tamaño del cuerpo circular es de alrededor de 200 μm ; **c)** objetos circulares en cuyo interior se presenta un cristal único de calcita, y lo rodea un anillo segmentado de cristales de calcita (quisites de dinoflagelados calcáreos); y **d)** restos de ostrácodos y menos frecuente conchillas de foraminíferos.

Hay presencia de piritita framboidal, laminillas de materia orgánica, hidrocarburos a modo caminillos y trazas de cuarzo.

Los *mudstone* calcáreos con arcilla (**dma 4932**); en el microscopio se identifican como *bindstone* con arcillas y materia orgánica (**fig. 66**); se observan alternancias de láminas de tapices microbiales biomineralizados con calcita microcristalina y lentes y láminas de tapices microbiales acompañadas por arcilla.

Se presentan cristales maclados de carbonato de calcio, rómbicos, de textura limo (5-7%); en ocasiones crecen a partir de un cuerpo esférico (quisites de dinoflagelado calcáreos).

También se observan foraminíferos con tamaños de hasta 60 μm , y como trazas: fragmentos de cuarzo y moscovita. La materia orgánica se observa en laminillas.

En los metros superiores de este conjunto las calizas *mudstone* no presentan laminación (**dma 4835-4836**), por bioturbación; son de color gris (N4) y superficialmente toman coloración amarilla (10YR 8/6 y 10YR 6/6). En el metro 205, el contacto inferior dibuja una cicatriz de erosión (**fig. 64**).

En el microscopio, las calizas bioturbadas pueden diferenciarse en dos tipos:

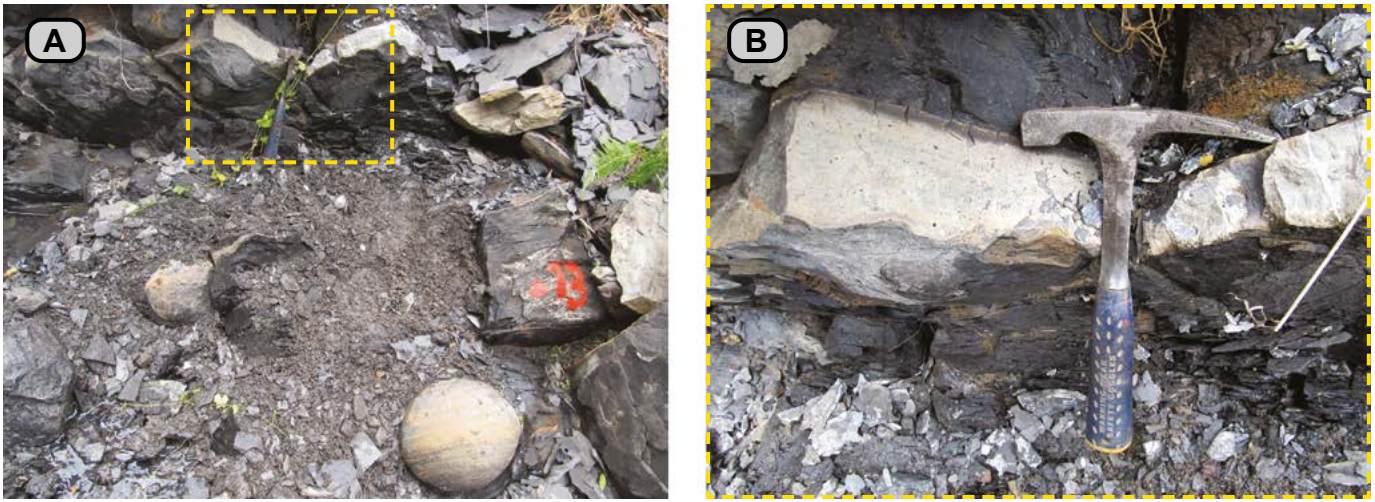


Figura 62. A) Conjunto I2. *Mudstone* arcilloso levemente calcáreo con materia orgánica que alterna con calizas *mudstone*; presencia de concreciones calcáreas esferoidales (metro 197). B) Ampliación del recuadro de la A; nótese la forma de la caliza *mudstone* de color claro, con su base irregular (metro 199).

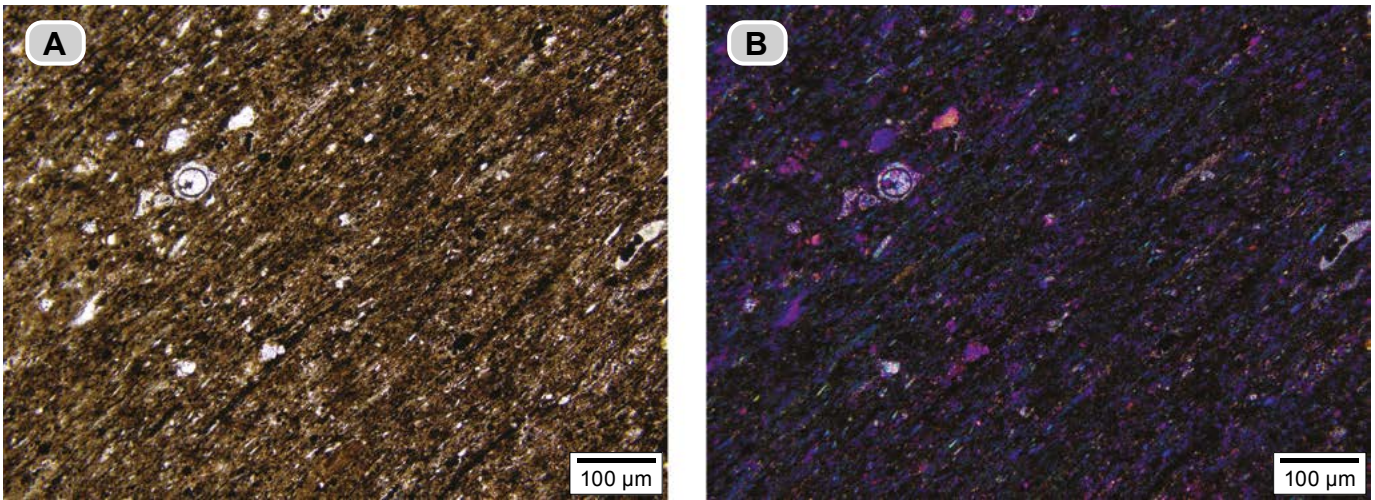


Figura 63. *Mudstone* arcilloso calcáreo con materia orgánica (dma 4927); en el microscopio es un *bindstone* con arcillas y materia orgánica. A) Láminas y lentes de tapices microbiales de color pardo con arcilla. Nótese la presencia de hidrocarburos de color negro que rellenan los espacios interlaminares; la materia orgánica se observa como hilillos. Hay presencia de quistes de dinoflagelados calcáreos. B) La presencia de arcilla resalta en color azul, al insertar el compensador 1λ con nicoles cruzados. Nótese el cuerpo circular (40 μm) con dos anillos, uno oscuro que circunda cristales de calcita espar, y que a su vez está rodeado por un anillo de pequeños cristales de calcita.

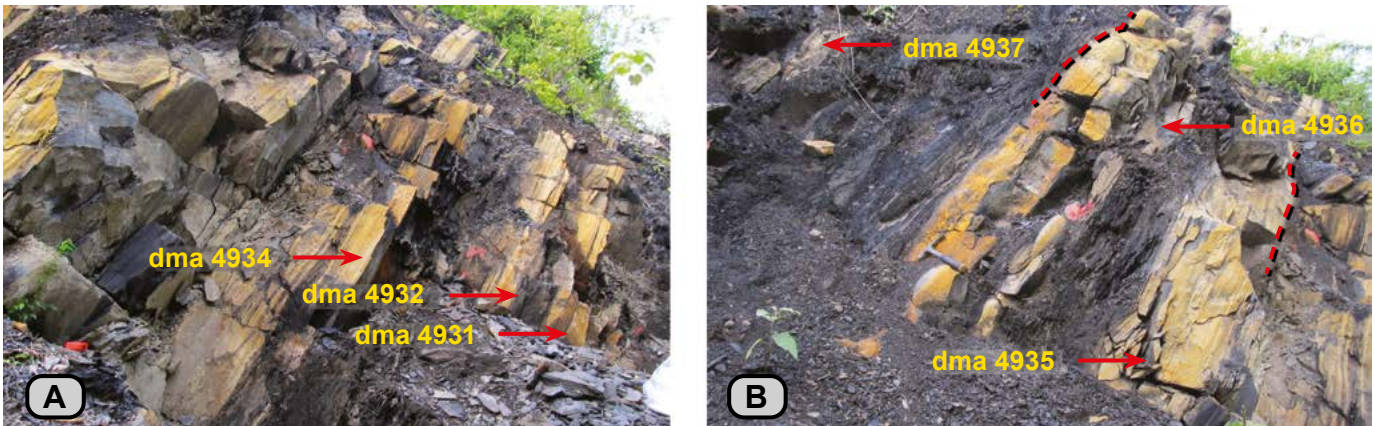


Figura 64. Conjunto I3. A) Las calizas *mudstone* (dma 4931 y dma 4934) de la parte inferior tienen laminación muy fina, plana-paralela, mientras que en las calizas de la parte superior no existe laminación: su textura es homogénea por bioturbación (metro 198-203). B) Se observan las calizas *mudstone* bioturbadas del Conjunto I3 (dma 4935 y dma 4936) (entre líneas rojas discontinuas) y los metros inferiores del Conjunto I4, en donde alternan *mudstone* calcáreos arcillosos con materia orgánica y calizas *mudstone* (dma 4937), con laminación plana-paralela (metro 201-209, Δ55-Δ54).

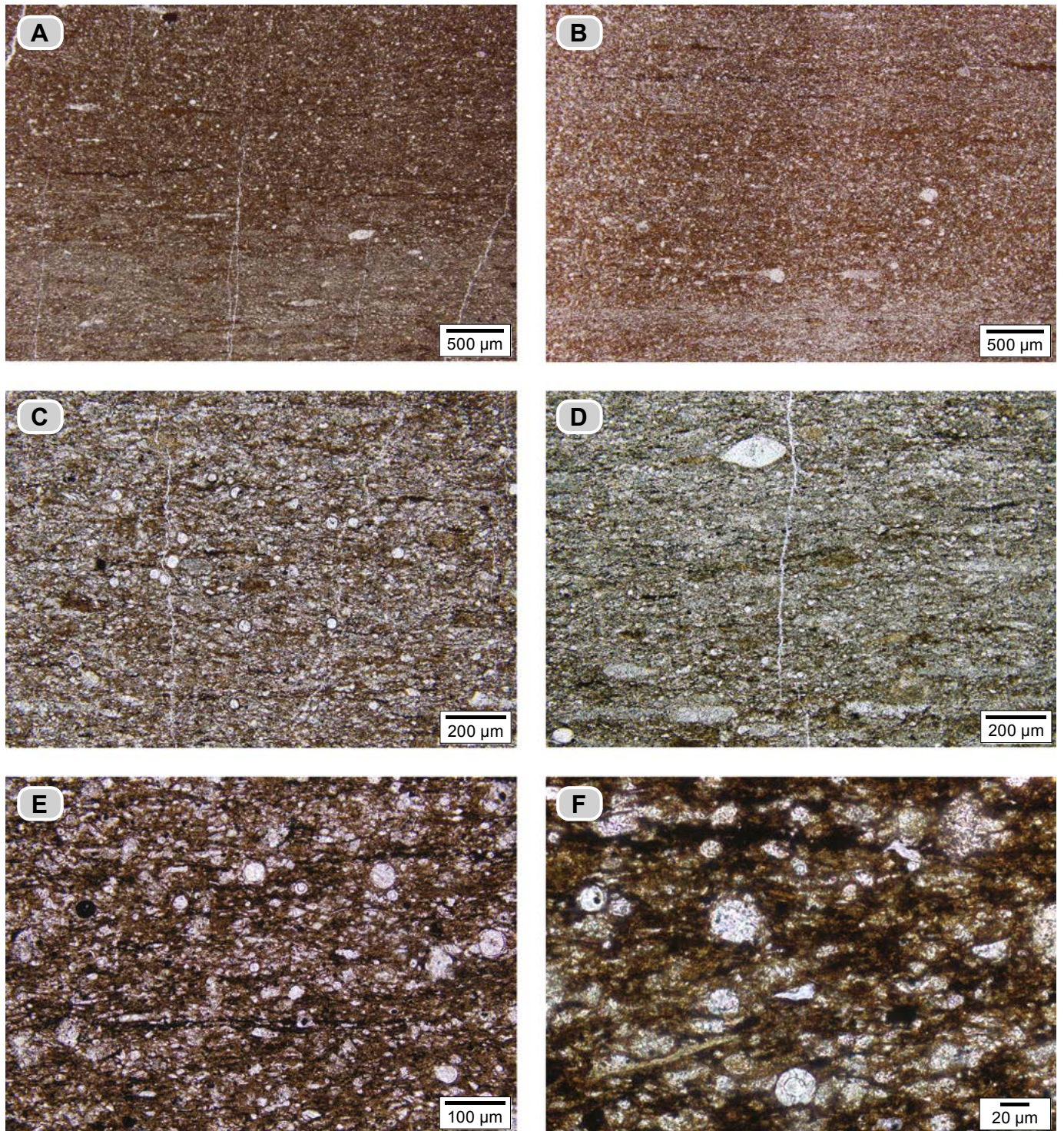


Figura 65. Caliza *mudstone* laminada (**dma 4931**); en el microscopio se identifica como un *bindstone* recristalizado. **A y B)** Se observan intervalos claros y oscuros. En los claros se reconocen láminas conformadas por agregados de cristales de calcita, con tamaños entre 6 y 10 µm; en los intervalos oscuros, no recristalizados, destacan las microbialitas de tonos pardos y contienen fragmentos de cristales de calcita disgregados. **C)** Lámina clara vista con mayor aumento; nótese las láminas onduladas de los tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina, cristales de calcita espar, fragmentos laminares disgregados, y cuerpos de calcita circulares (quistes de dinoflagelados calcáreos). **D)** Lámina clara recristalizada; nótese las ondulaciones de las láminas constituidas por agregados de cristales de calcita y pinceladas oscuras de restos de tapices microbiales; la concha de un ostrácodo aparece recubierta por las láminas de tapices microbiales recristalizadas. **E y F)** Caliza *mudstone* laminada (**dma 4934**); en el microscopio se identifica como un *bindstone* recristalizado. Se describe un intervalo oscuro de esta sección delgada: **E)** se observan cristales de calcita dispersos, con tamaños entre 5 µm y 15 µm; en tono pardo destacan los tapices microbiales y las laminillas de materia orgánica son negras. Nótese los diferentes tipos de los cuerpos circulares que corresponden a quistes de dinoflagelados calcáreos: **a)** con un centro de un único cristal y bordeado un anillo oscuro; **b)** similar al anterior, pero con un anillo externo compuesto por cristales de calcita subrectangulares y **c)** con un centro único y rodeado por un anillo segmentado de cristales de calcita. **F)** Con aumento mayor se alcanza a diferenciar la textura en tamiz de los tapices microbiales; se reconocen restos de quistes de dinoflagelados calcáreos, que se identifican por su forma circular, con centro de único cristal y un anillo segmentado de cristales de calcita.

A) Caliza moteada (**dma 4935**), con relictos de laminación; se identifica en el microscopio como *bindstone* recristalizado (microbialitas) y presenta moteado indistinto (**fig. 67**). Se observan remanentes de la laminación en tonos claros y tonos oscuros: las láminas claras están constituidas por cristales de calcita espar y en las láminas de tonos oscuros se observan tapices microbiales con biomineralización de calcita microcristalina; acompañados por hilillos de materia orgánica y por fragmentos de cristales de calcita que alcanzan tamaños de 10-20 μm : producto de la disgregación de láminas recristalizadas preexistentes. Los fósiles observados son: **a)** ostrácodos, **b)** conchillas de foraminíferos planctónicos, y **c)** cuerpos circulares de calcita de dos tipos: **1)** tamaño de 20-30 μm , con un centro de único cristal con un anillo segmentado de cristales de calcita, reconocidos como quistes de dinoflagelados calcáreos, y **2)** con tamaño de 60 μm hasta 150 μm , constituidos por cristales de espar.

B) Calizas *mudstone* homogéneas (**dma 4936**). Presentan los mismos fósiles dispuestos de diversas maneras (removidos) y envueltos por tapetes microbiales biomineralizados y con materia orgánica. Son notorios los fragmentos disgregados de cristales de calcita (**fig. 67**). Se observa piritita framboidal, que en ocasiones reemplaza fósiles. También hay cristales de calcita de forma rómbica, además de fragmentos de cuarzo y micas como trazas.

Conjunto I4. Solo afloran los metros basales; está compuesto por *mudstone* calcáreos arcillosos con materia orgánica en intervalos de hasta 1.5 m de espesor. Alternan con calizas *mudstone* laminadas que ocurren en capas medianas.

En el microscopio, la caliza *mudstone* (**dma 4837**), corresponde a *bindstone* recristalizado. Se observa alternancia de intervalos en tonos claros y oscuros (**fig. 68**). Los de tonos claros

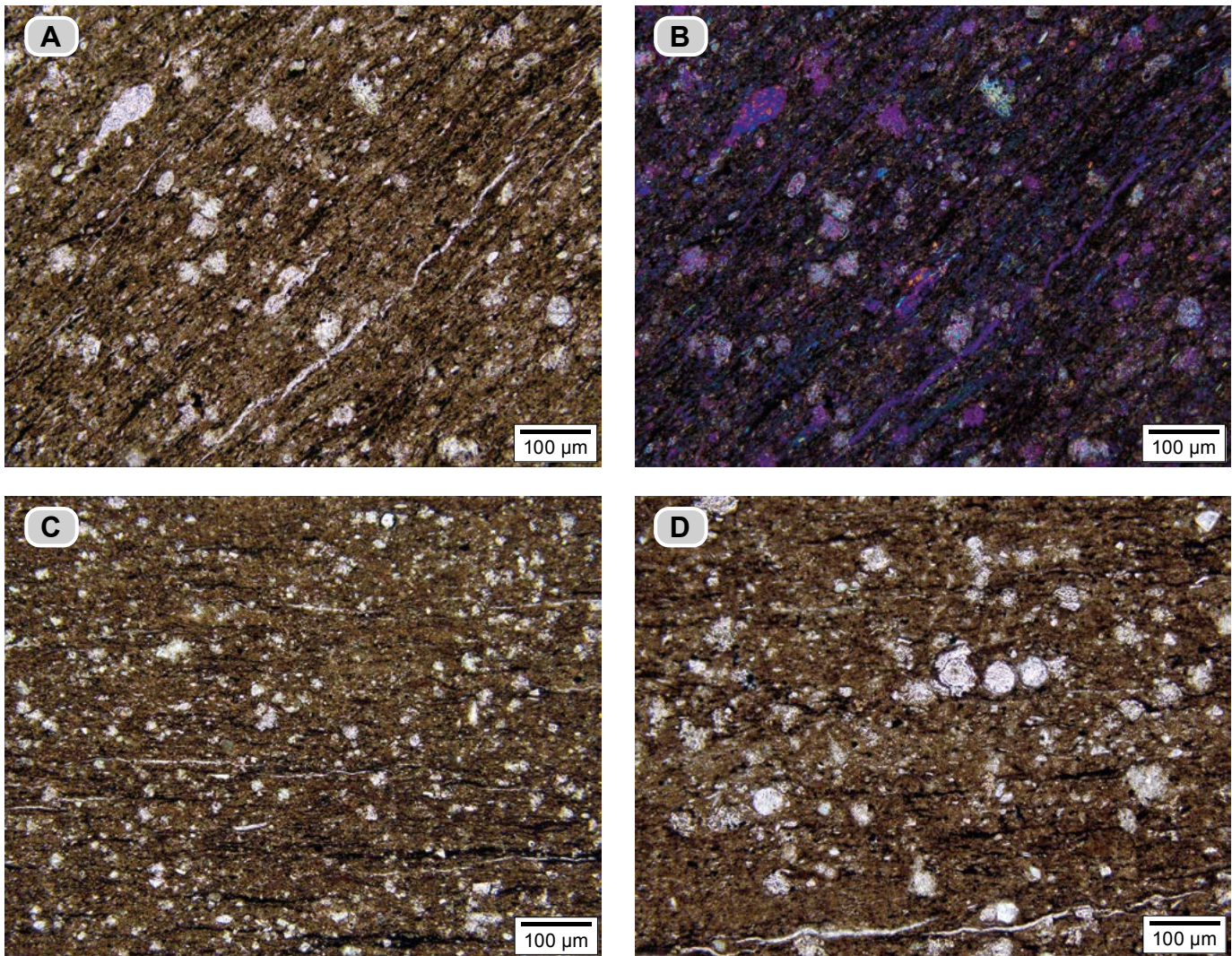


Figura 66. *Mudstone* calcáreo arcilloso con materia orgánica (**dma 4932**); en el microscopio se identifica como *bindstone* con arcillas y materia orgánica. **A)** Láminas de tapices microbiales con biomineralización de calcita microcristalina, en donde se reconoce la textura de tamiz; hay presencia de cristales rómbicos maclados de carbonato de calcio y materia orgánica en laminillas y en motas. **B)** La misma fotografía para destacar la presencia de arcillas con tono azul (compensador 1 λ y nicoles cruzados). **C)** Fotografía que ilustra la presencia de las laminillas discontinuas de materia orgánica y la presencia de cristales rómbicos de carbonato de calcio. **D)** A mayor aumento se observa cómo algunos cristales de calcita rómbicos crecen a partir de un centro circular; nótese la presencia de materia orgánica en laminillas y motas. Se manifiestan también elementos reproductores de algas-bacterias.

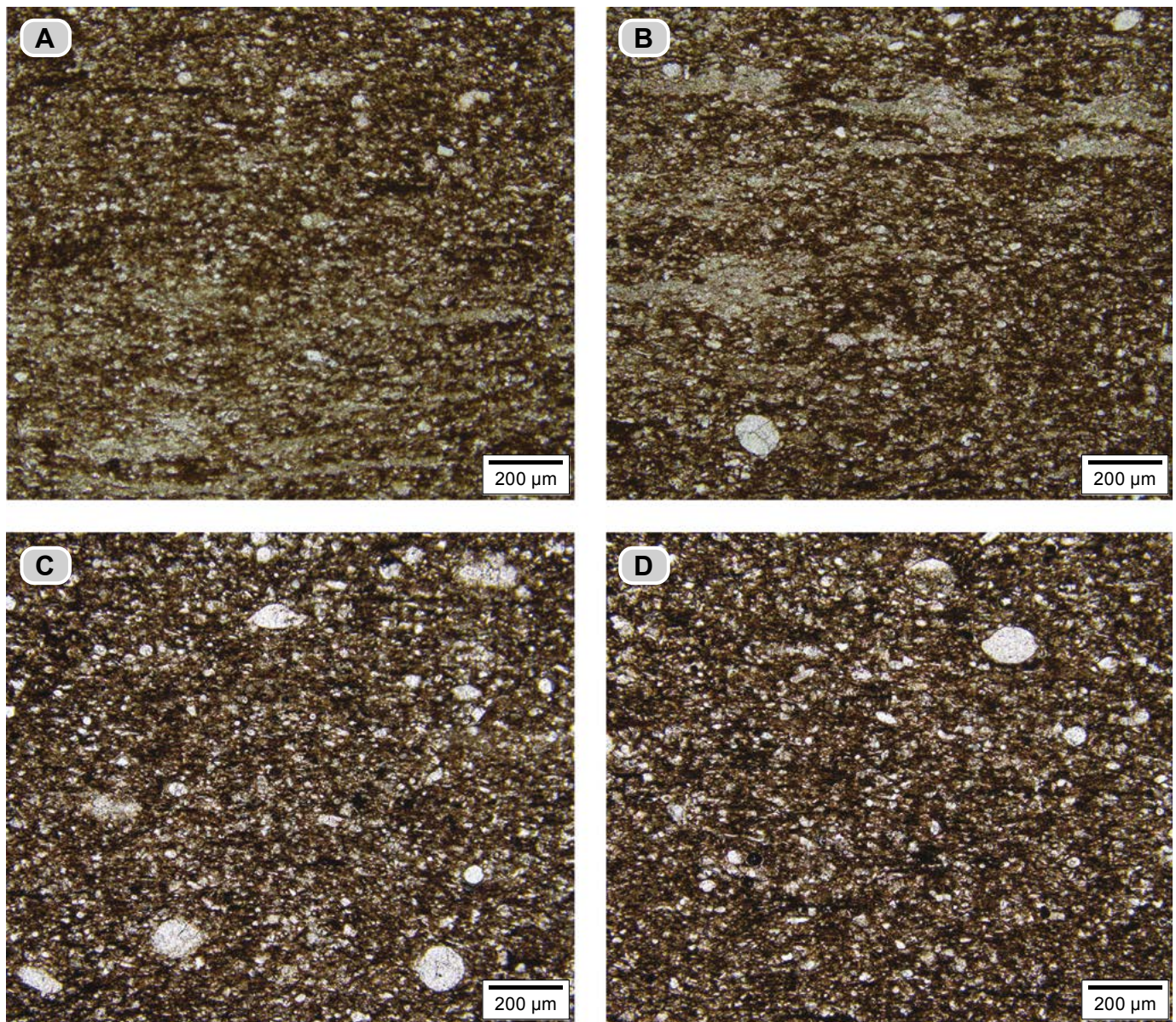


Figura 67. Calizas *mudstone* bioturbadas. **A y B)** Caliza *mudstone* con relictos de laminación (**dma 4935**). **C y D)** Caliza *mudstone* bioturbada (**dma 4936**). Presenta moteado indistinto a homogéneo; hay presencia de conchas de ostrácodos y cuerpos circulares de 100-200 µm, constituidos por cristales de calcita espar; también se observa la materia orgánica en motas.

están compuestos por cuerpos laminares ondulados que se apilan y se entrelazan, son discontinuos e internamente contienen agregados de cristales de calcita; esporádicamente se presentan vestigios de tapices microbiales (tonos pardos). Los intervalos de tonos oscuros por su parte están interlaminados por tapices microbiales en los que se reconoce la textura de tamiz, acompañados por fragmentos disgregados de calcita. Los tapices microbiales están acompañados por materia orgánica en motas y hay presencia de arcilla adherida a los tapices.

En todas las láminas aparecen cuerpos de calcita circulares (**fig. 68**), diferenciados así: **a)** con diámetro de alrededor de 40 µm y centro de cristal único de calcita, rodeado por un anillo segmentado de cristales de calcita (quistes de dinoflagelados calcáreos); **b)** con diámetros de alrededor de 60 µm, reemplazados por cristales de calcita espar, con un anillo

externo de cristales subrectangulares (quistes de dinoflagelados calcáreos), y **c)** con diámetros de hasta 60 µm, reemplazados por cristales de calcita, sin anillos. También se presentan conchillas de ostrácodos y de foraminíferos planctónicos.

Segmento estratigráfico V (216-288 m)

Este segmento se localiza entre los Δ53 y Δ46 de la poligonal y mide 72 m. Se caracteriza por el aumento en el contenido de material terrígeno (arcillas), que sobrepasa la presencia de carbonato de calcio y que se expresa en la alternancia de dos elementos litológicos: uno blando más potente de hasta 7 m, y uno duro, más delgado, de alrededor de 50 cm de espesor. Hay presencia abundante de amonitas, bivalvos y gasterópodos como impresiones o en volumen.

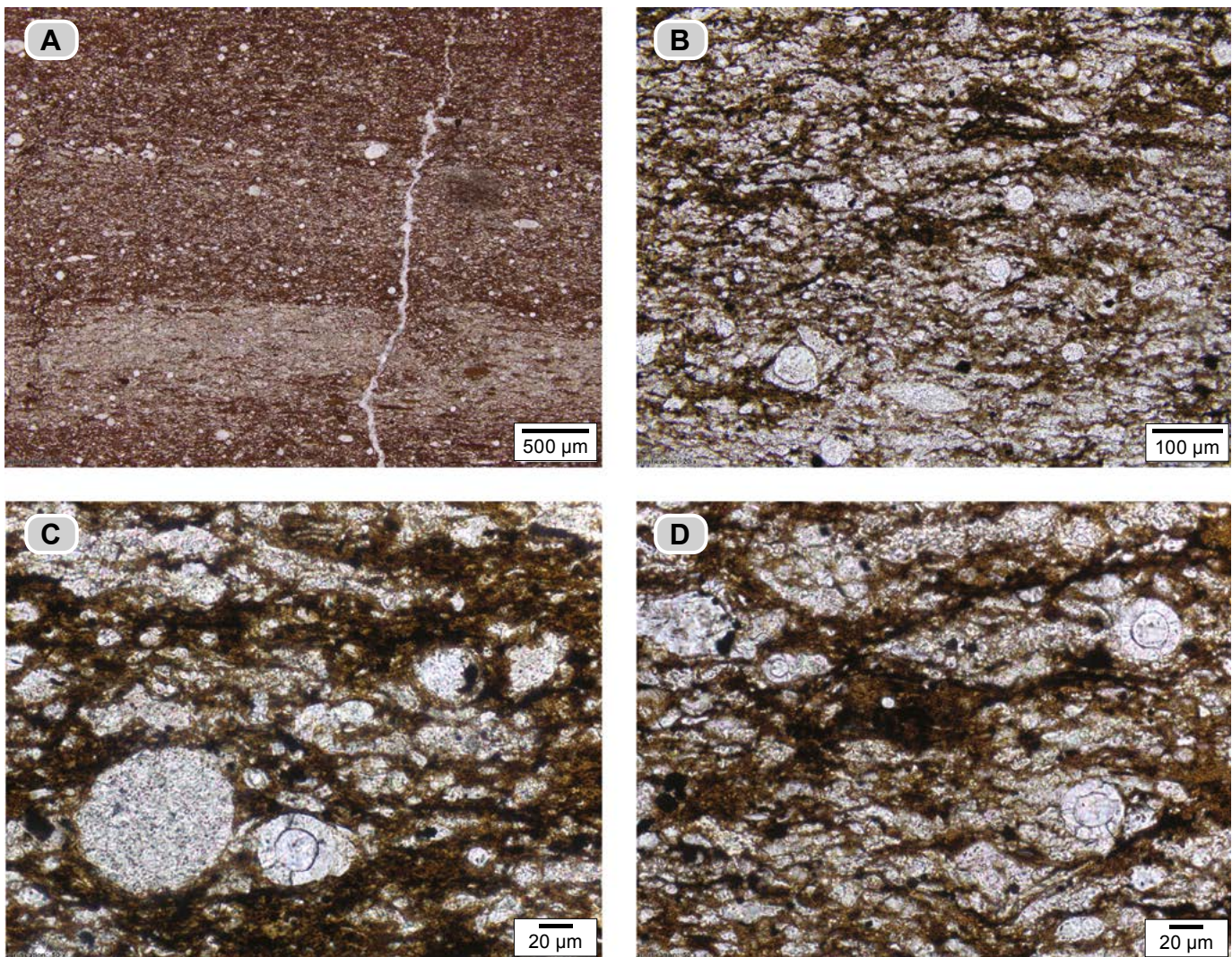


Figura 68. Caliza *mudstone* laminada (dma 4937); en el microscopio se identifica como *bindstone* recristalizado laminado. **A)** Alternan intervalos de tonos claros y oscuros. Los intervalos claros están compuestos por cuerpos laminares delgados con recristalización, que se apilan y se entrelazan; se observan vestigios de tapices microbiales en tono pardo oscuro. Los intervalos de tonos oscuros están constituidos por tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina y fragmentos de cristales de calcita disgregados. **B)** Intervalo oscuro observado con mayor aumento; hay presencia de cristales de calcita disgregados de 10 µm y fragmentos laminares constituidos por un mosaico de cristales de calcita, interpuestos con tapices microbiales de tonos pardos; nótese que el tono oscuro decrece en proporción con el mayor contenido de fragmentos de cristales y laminares de calcita. **B, C y D)** Con mayor detalle se observan cuerpos circulares calcáreos: **a)** cuerpos que presentan un cristal central de calcita rodeado por un anillo de cristales de calcita segmentados (quistes de dinoflagelados calcáreos) con tamaños de hasta 40 µm, y **b)** cuerpos circulares con un cristal central de calcita con tamaños de hasta 40 µm, con un anillo de cristales subretangulares de calcita (quistes de dinoflagelados calcáreos).

En este segmento estratigráfico los *mudstone* son arcillosos calcáreos con materia orgánica y se presentan en intervalos de hasta 7 m, que alternan con calizas *mudstone* en capas delgadas y medianas. El contenido de arcilla permite diferenciar tres intervalos estratigráficos, nombrados en orden ascendente *intervalos J, K y L*.

Intervalo estratigráfico J (216-255 m). Se localiza entre los $\Delta 53$ y $\Delta 51$ de la polygonal y se caracteriza por la gran cantidad de material terrígeno (arcillas). Los *mudstone* arcillosos calcáreos con materia orgánica son grises oscuros (N4-N3), generan entradas en el perfil topográfico en tramos de 2 a 7 m; tienen laminación plana paralela y rompen en esquirlas pequeñas (figs. 69 y 70). En ellos se observan pirita y cristales superficiales de yeso secundario superficiales que forma rosetas.

Este intervalo contiene concreciones calcáreas que suelen estar alineadas, de modo paralelo a la estratificación; tienen formas elipsoidales, esféricas, de trompo e irregulares, con un ϕ que varía desde 10 hasta 60 cm.

En el metro 242 se observa un tramo con deformación circunscrita a un espesor de 1.50 m, con las siguientes características: **a)** rombos angulosos internamente fracturados, y **b)** salbanda localizada (5 cm); la roca pierde su fábrica original, está finamente fracturada, y el material es blando, maleable.

En el metro 252 también se presenta un sector deformado de 90 cm; la roca tiene un arreglo de rombos y repliegues a pequeña escala (fig. 70).

En el microscopio, los *mudstone* arcillosos calcáreos con materia orgánica se identifican como *bindstone* con arcillas y materia orgánica; en ellos se reconocen intervalos laminares con las siguientes texturas:

A) *Bindstone* con textura lenticular y pulverulenta (dma 4823, dma 4828, dma 4829, dma, 4848 y dma 4856): 1) Intervalos con textura pulverulenta, en los que la arcilla es abundante y se reconoce como una pátina de finas partícu-

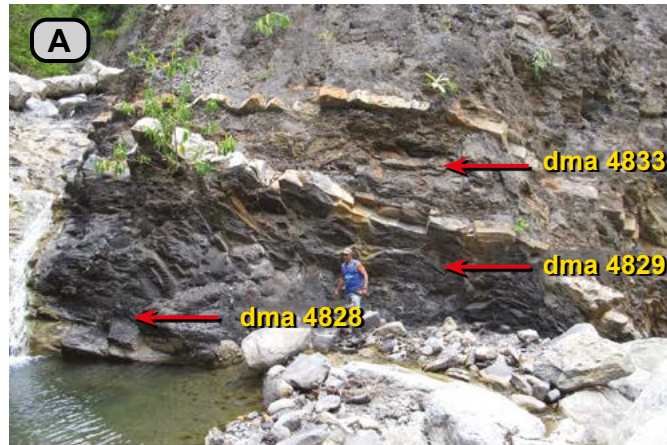


Figura 69. Calizas *mudstone* en capas gruesas y medianas (30-60 cm), con formas de montículos o planas paralelas, interpuestas entre *mudstone* arcillosos calcáreos con materia orgánica, en paquetes de 2 a 7 m. **(A)** Metro 216-225, Δ53. **(B)** Metro 227, Δ52-Δ51. **(C)** Metro 237-240. Δ51-Δ50.



Figura 70. **A)** *Mudstone* arcillosos calcáreos laminados con materia orgánica en intervalos de hasta 6 m, con esporádicas capas medianas de calizas *mudstone*. En la parte inferior del afloramiento (recuadro de líneas amarillas) se nota un repliegue (metro 251-256). **B)** Ampliación del recuadro de la **fig. (A)** para mostrar los repliegues pequeños (metro 252).

las, en general orientadas ópticamente, que Pettijohn (1975) denomina *extinción en conjunto*, y **2)** Intervalos con textura lenticular en donde la arcilla con extinción en conjunto dibuja lentes (**fig. 71**).

Los intervalos descritos están compuestos por tapices microbiales de tonos pardo claro y oscuro; en ellos se reconoce textura porosa, con espacios muy pequeños que se distribuyen como una malla de tamiz; la arcilla está adherida a los tapices y forma una superficie abiótica (Konhauser 1998).

Los bioclastos se presentan en proporciones variables, desde 1% hasta 4%: **a)** conchillas de foraminíferos planctónicos con tamaños de hasta 60 μm; **b)** intraclastos de algas *Dasycladaceas*; **c)** restos de conchas de amonitas, **d)** foraminíferos bentónicos, y **e)** cuerpos circulares con diámetro de 50 μm, reemplazados por un único cristal de calcita, rodeados por un anillo de cristales subrectangulares (quistes de dinoflagelados calcáreos).

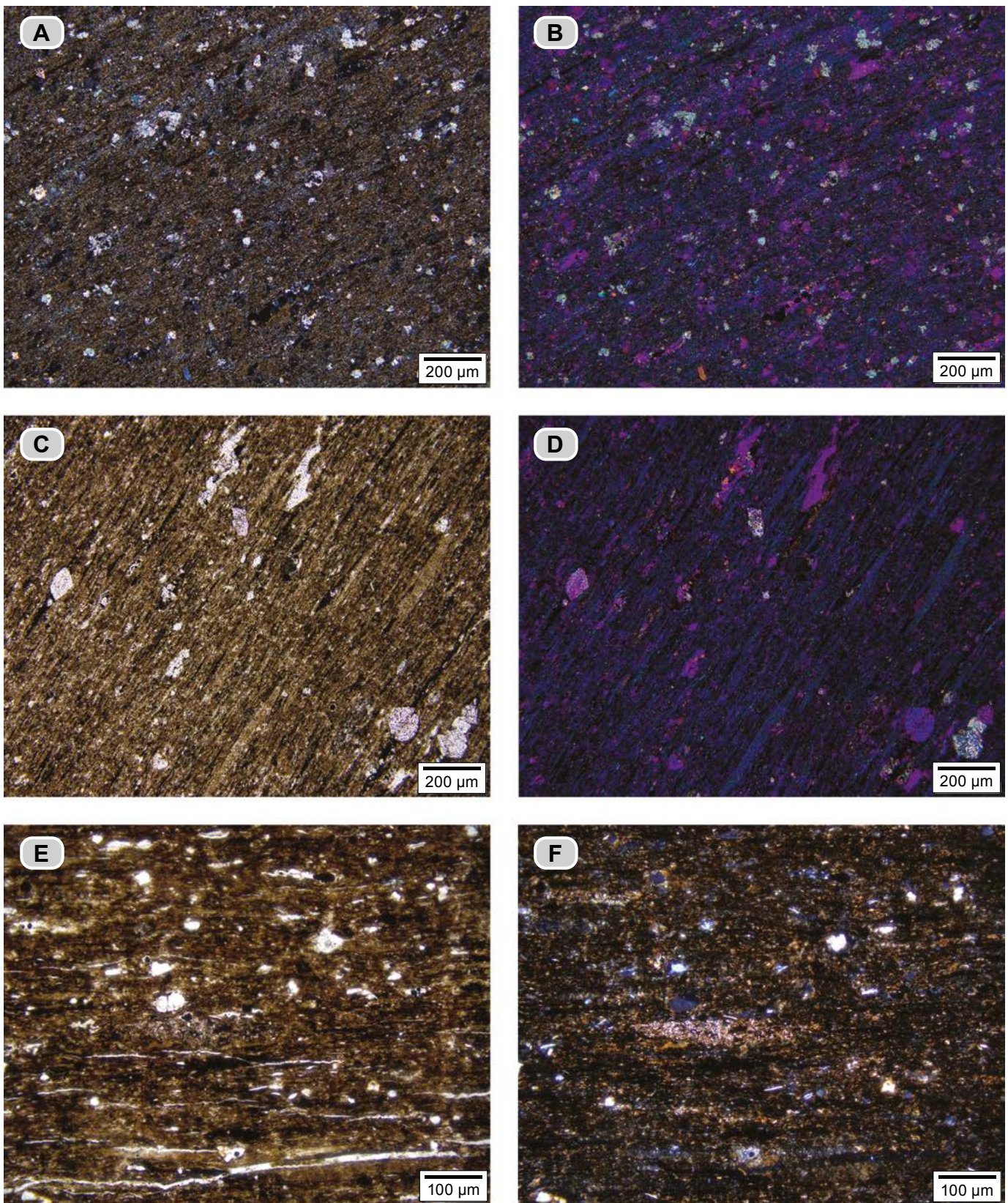


Figura 71. *Mudstone* arcilloso calcáreo con materia orgánica (dma 4823); en el microscopio se trata de un *bindstone* con arcillas y materia orgánica, en intervalos que presentan textura lenticular y pulverulenta. **A)** Se observan láminas de tapices microbiales con arcilla adherida de fino hábito micáceo. **B)** La misma sección delgada que en **A**, vista con nicols cruzados y lámina de yeso (compensador 1λ), para resaltar la presencia de arcillas en tono azul; la calcita, dependiendo del corte, aparece en tono violeta. **C y D)** Se presenta otro sector de la placa con texturas lenticulares; hay presencia de cristales rómbicos de calcita y materia orgánica en laminillas y motas. **E y F)** Con mayor detalle destaca la textura porosa de tamiz; materia orgánica en motas, fragmentos de cuarzo e intraclasto de algas *Dasycladaceas* en el centro de la fotografía.

Se observan además cristales de calcita con formas rómbicas, individuales o maclados; en ocasiones muestran desarrollo de cristales de calcita a partir de un centro (**fig. 72**).

En las secciones delgadas **dma 4848** y **dma 4829** hay presencia de dos generaciones de yeso (3%-7%); la primera corresponde a cristales con crecimiento *popcorn*, de color pardo amarillento, y la segunda (**fig. 72**) a cristales de hábito acicular-radial, desarrollado sobre los yesos de la primera generación.

Particularmente en la sección delgada **dma 4856** se observan, además, varios fragmentos fósiles sin diferenciar rellenos de hidrocarburo.

B) *Bindstone* con arcillas, materia orgánica y fragmentos terrígenos (**dma 4822**) con textura pulverulenta, se observan los tapices microbiales como láminas continuas a discontinuas y se reconocen por su textura porosa; son espacios muy pequeños que se distribuyen como una red y conforman una malla de tamiz. La arcilla se adhiere a los tapices y se interpreta como material atrapado que forma una superficie abiótica (Konhauser 1998); alterna con láminas de tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina (microbialitas). También se observan intraclastos y peloides compuestos por algas *Dasycladaceas* (**fig. 73**).

Hay presencia de fragmentos de diferente naturaleza (3%-7%): **a)** terrígenos (4%) de cuarzo, micas detríticas y, en menor proporción, caolinita; **b)** conchillas de foraminíferos (2%), con textura desde 40 μm hasta 60 μm , rellenos de hidrocarburo, y, menos frecuente, foraminíferos planctónicos con textura de 100 μm y con sus cámaras rellenas de cristales de calcita; **c)** cuerpos circulares y achatados con tamaños de 30-40 μm , rellenos de hidrocarburos (1%), con un anillo de cristales de calcita subrectangulares, y **d)** cristales rómbicos de carbonato de calcio únicos o formando maclas.

La materia orgánica se observa como motas y laminillas. También se reconoce la presencia de hidrocarburo relleno de espacios intrapartículas e intergranulares.

C) *Bindstone* con arcilla y materia orgánica, de textura laminada y lenticular (**dma 4833, dma 4841, dma 4843, dma 4862, dma 4867 y dma 4869**), constituidos por: **1)** Intervalos laminares separados por laminillas de materia orgánica, conformados por juegos de láminas ondulosas, paralelas, predominantemente continuas, de tapices microbiales con la arcilla adherida. **2)** Intervalos laminares constituidos por juegos de láminas, ondulosas de: **a)** tapices microbiales con arcilla adherida, y **b)** láminas de tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina (**fig. 74**).

La arcilla que se adhiere a las láminas con textura porosa de tamiz (tapices microbiales) tiene un fino hábito micáceo y extingue en conjunto; según Konhauser (1998), estos agregados arcillosos forman una superficie abiótica.

Hay presencia de intraclastos y de cuerpos peloidales de algas *Dasycladaceas* (**fig. 75**). También se reconocen: **a)** conchillas de foraminíferos planctónicos, distribuidas en dos poblaciones, de entre 60 μm y 120 μm ; **b)** ammonitellas con textura de arena fina; **c)** conchillas de foraminíferos bentónicos, **d)** intraclastos de algas *dasycladaceas*, **e)** cuerpos circulares rellenos de hidrocarburos, y **f)** menos frecuentes quistes dinoflagelados calcáreos (**fig. 76**).

Los fragmentos detríticos son de moscovita y cuarzo. Se observan cristales de carbonato de calcio de forma rómbica.

La materia orgánica se presenta en motas y laminillas discontinuas que en ocasiones separan las diferentes láminas de tapices microbiales. Los hidrocarburos rellenan fósiles y espacios interlaminares.

Es de destacar que en las secciones delgadas **dma 4843** y **dma 4862** se identifica yeso en cristales de color pardo amarillento, con bordes irregulares, arriñonados, con forma de roseta.

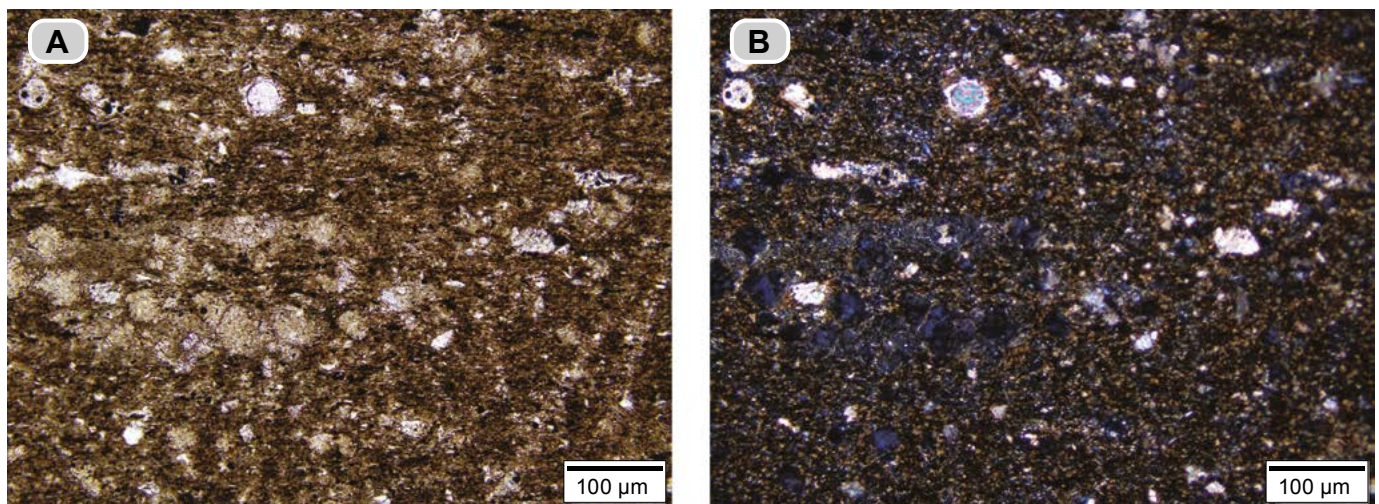


Figura 72. *Mudstone* arcilloso calcáreo con materia orgánica (**dma 4848**), en el microscopio se identifica como *bindstone* con arcillas y materia orgánica. **A)** Tapices microbiales con arcilla adherida. Nótese la presencia de cristales de yeso (tonos pardo-amarillentos claros), restos de conchillas de foraminíferos planctónicos de 60 μm y cuerpos circulares con anillo de cristales de calcita subrectangulares (quistes de dinoflagelados calcáreos). **B)** La misma fotografía de **A**, tomada con nicoles cruzados: el yeso toma colores grises de primer orden.

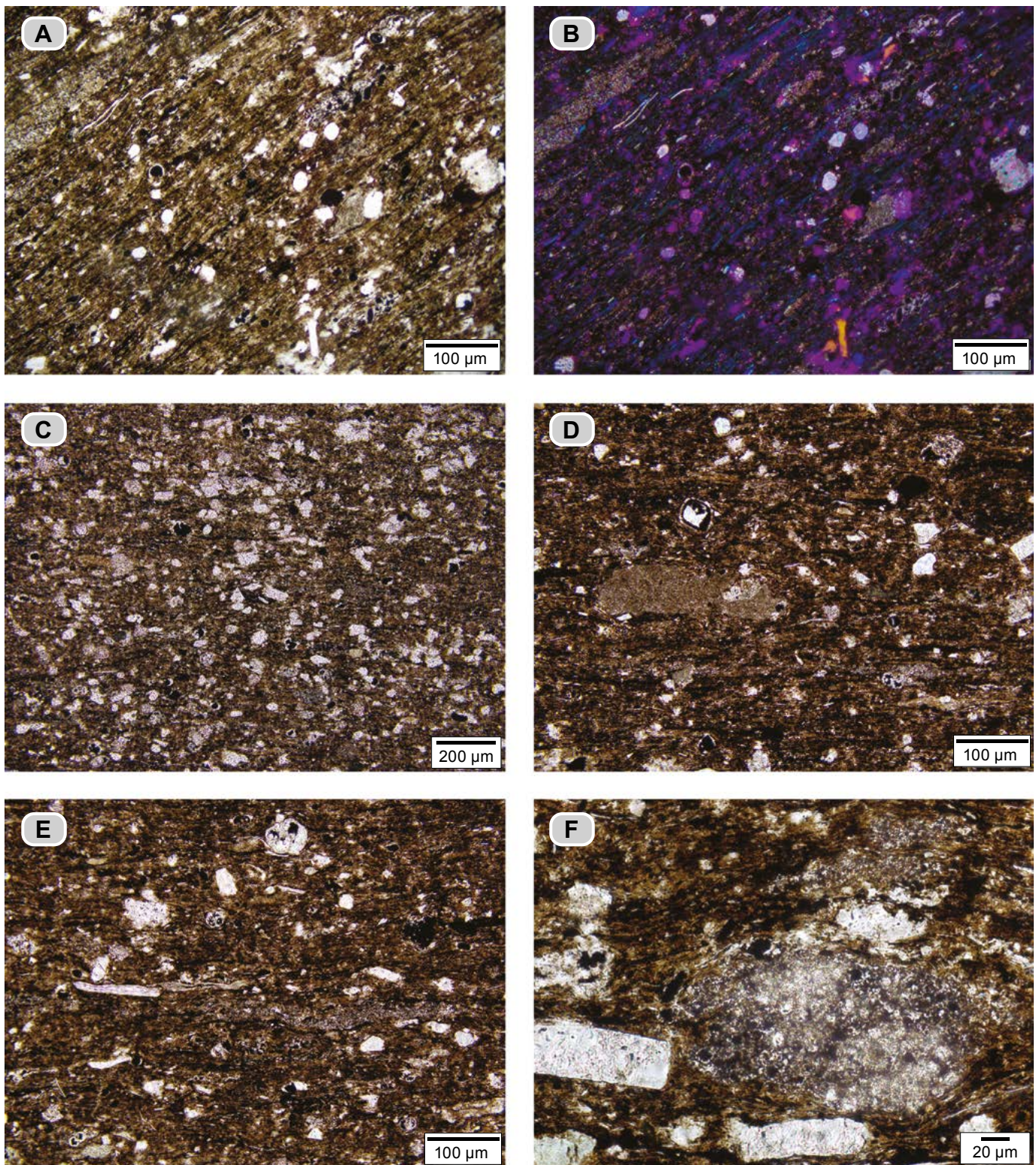


Figura 73. *Mudstone* arcilloso calcáreo con materia orgánica y terrígenos (**dma 4822**); en el microscopio se identifica como *bindstone* con arcillas, materia orgánica y terrígenos con textura limo. **A y B)** Alternancia de láminas de tapices microbiales con arcillas y láminas biomineralizadas por calcita microcristalina; hay presencia de fragmentos de cuarzo, mica detrítica, caolinita, conchillas de foraminíferos y cuerpos circulares y achatados rellenos de hidrocarburo con un anillo de cristales de calcita subrectangulares (quistes de dinoflagelados calcáreos). **B)** Fotografía tomada con compensador de 1λ y nicoles cruzados para mostrar la presencia de arcilla, que destaca con tono azul. Nótese los intraclastos de algas *Dasycladaceas*. **C)** Se observan cristales rómbicos de calcita, cuarzo, caolinita, moscovita, conchillas de foraminíferos planctónicos ($40\ \mu\text{m}$) y pirita. **D)** Con mayor aumento se observan tapices microbiales con arcilla adherida, intraclastos de algas *Dasycladaceas* y laminillas de materia orgánica. **E)** Se observan fragmentos de cuarzo y mica detrítica, así como conchillas de foraminíferos planctónicos e intraclastos laminares de algas *Dasycladaceas*. **F)** Detalle de un sector de esta misma sección delgada con intraclastos de algas *Dasycladaceas*; en el centro destaca un intraclasto de algas *Dasycladaceas* rodeado por tapices microbiales; nótese como los tapices microbiales se deforman alrededor del intraclasto.

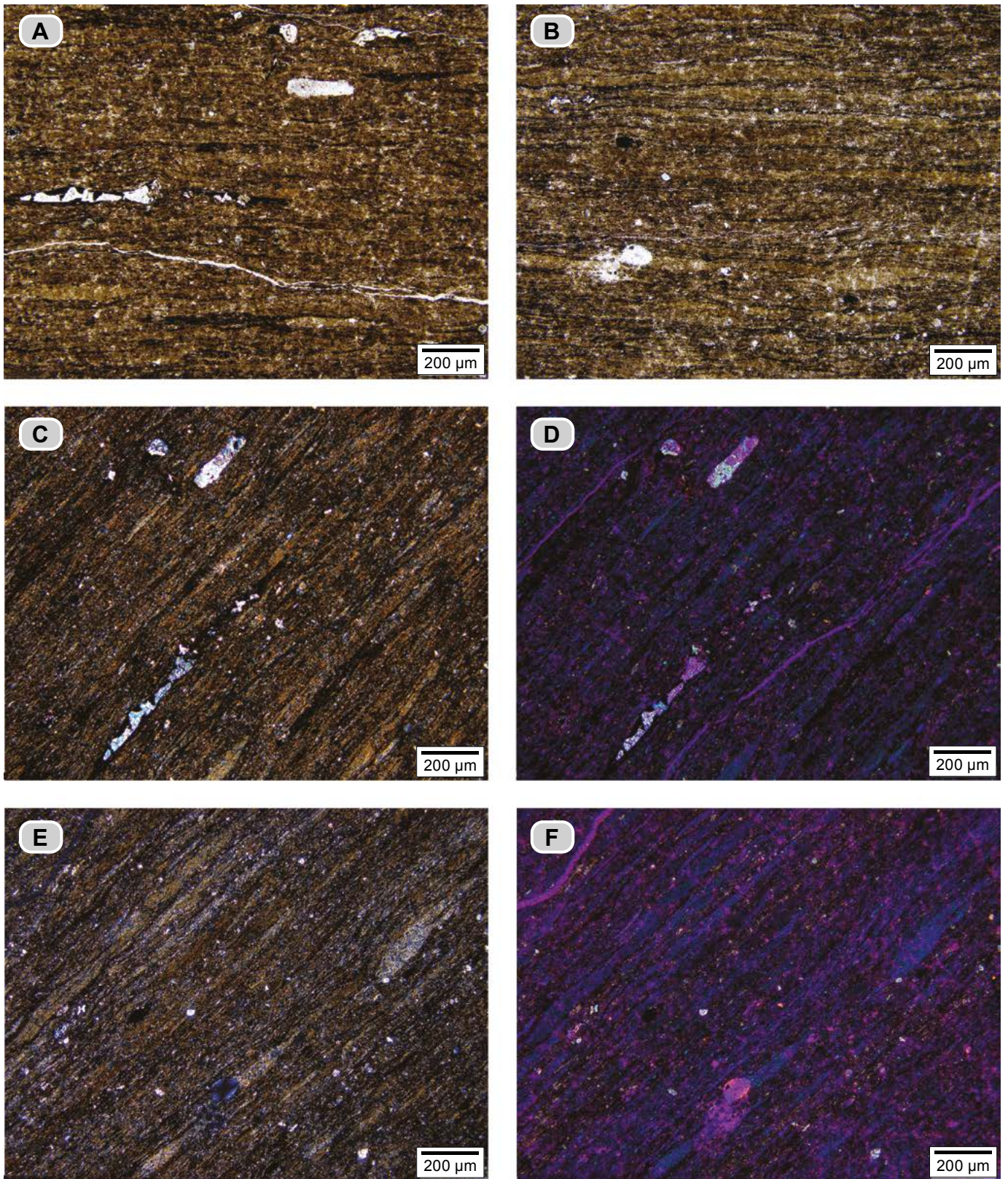


Figura 74. *Mudstone* arcilloso calcáreo con materia orgánica (**dma 4841**); en el microscopio es un *bindstone* con arcillas y materia orgánica, de textura laminar. **A y B)** Láminas de tapices microbiales con arcilla (pardo claro), separadas por laminillas de materia orgánica oscuras y láminas de tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina (pardo oscuro). **C y D)** En otro sector de la sección delgada se observan los conjuntos de láminas de tapices microbiales con arcilla adherida, separadas por laminillas de materia orgánica; en **D** la misma fotografía se toma girando la platina 45°, insertando el compensador 1λ y con nicoles cruzados: la arcilla toma tono azul por elongación positiva; nótese un fragmento fósil no identificado rodeado de hidrocarburos. **E y F)** Otro sector de la misma sección delgada, con alternancia de láminas onduladas y plano-paralelas de tapices microbiales con arcilla adherida, laminillas de materia orgánica y tapetes microbiales biomineralizados por calcita microcristalina. El fino hábito micáceo de la arcilla se nota en **F**.

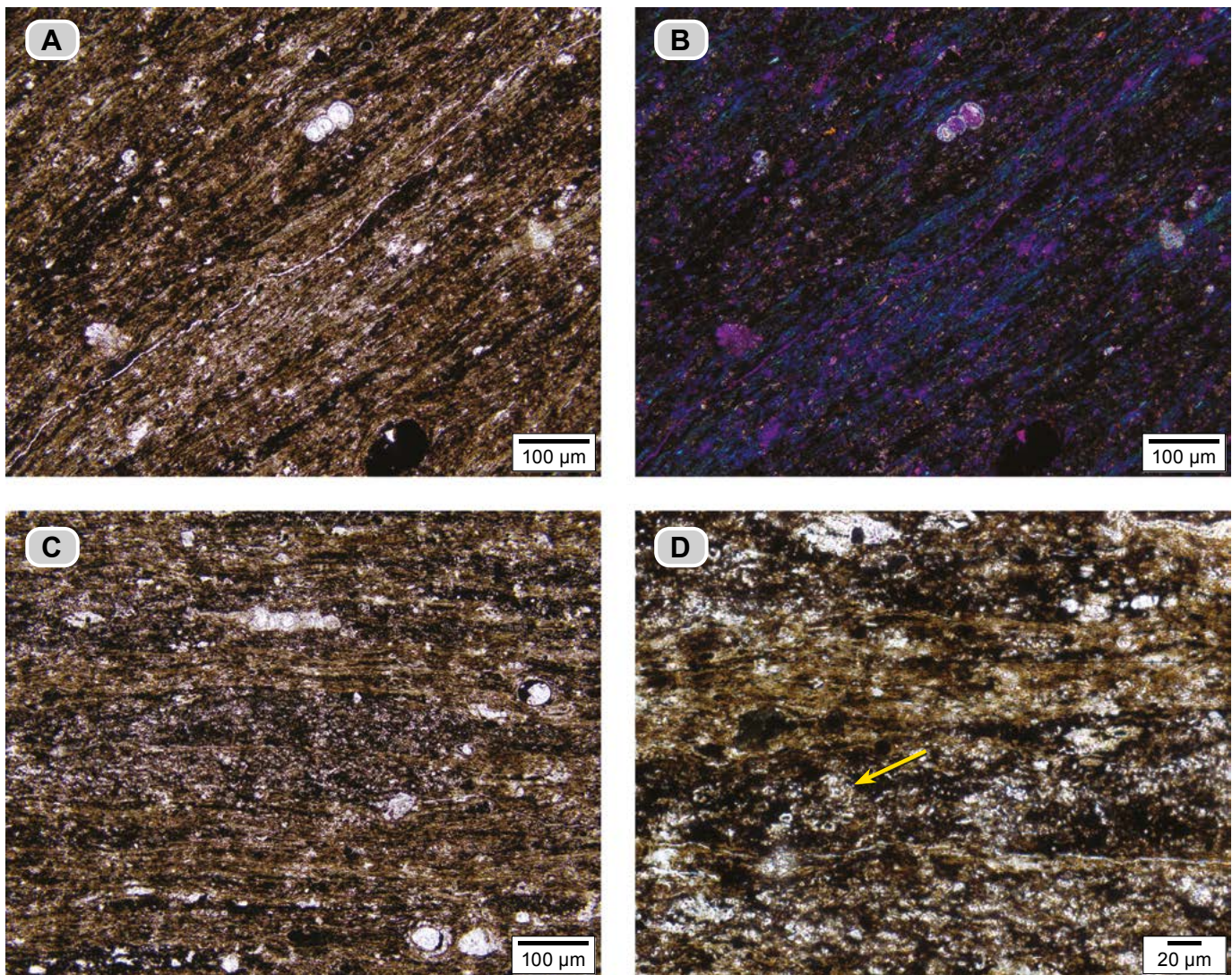


Figura 75. *Mudstone* arcilloso calcáreo con materia orgánica (**dma 4833**); en el microscopio es un *bindstone* con arcillas y materia orgánica. **A)** Intervalos laminares levemente ondulados en los que alternan tapices microbiales con biomineralización de calcita microcristalina (pardo oscuro) y tapices microbiales con arcillas adheridas (pardo claro), que definen textura lenticular y pulverulenta; nótese las laminillas negras de materia orgánica. **B)** La misma fotografía que en **A** con inserción del compensador 1 λ y nicoles cruzados: la arcilla toma color azul. En esta ocasión destacan los intervalos laminares con arcilla adherida de fino hábito micáceo en el centro, mientras que en las partes inferior y superior se observan en mayor porcentaje tapices microbiales con calcita microcristalina. **C)** Laminación suavemente ondulosa y subparalela de tapices microbiales con arcilla (pardo claro); nótese en la parte central de la figura un intraclasto ahusado de agregados de algas *Dasycladaceas*. Nótese también cortes de micelios? con cristales de calcita y rellenos de hidrocarburos. **D)** Ampliación del intraclasto de la figura **C**, para observar los restos de algas *Dasycladaceas* (flecha amarilla).

Las calizas *mudstone* grises oscuras (N3-N5) se presentan en capas delgadas a gruesas (hasta 60 cm), con formas planas paralelas, aunque en ocasiones engrosan y adelgazan a modo de montículos unidos (**fig. 77**). Como impresiones es común observar sobre las superficies S_0 impresiones y restos de amonitas, bivalvos y gasterópodos.

En el microscopio se reconocen dos estadios de recristalización:

A) Con textura porfiroide por neomorfismo (**dma 4821**), compuesta por cristales de calcita (55%) de hasta 120 μm , que forman rosetas con tamaño de hasta 500 μm entrelazadas por tapices microbiales con arcilla adherida (45%) (**fig. 78**); se interpretan como calcita producto de recristalización a partir de rosetas de anhidrita (Flügel 2010, lámina 125, fig. 1-2).

B) *Bindstone* recristalizados (microbialitas) (**dma 4836** y **dma 4871**), con estadio de recristalización bajo (tipo I), en los que la laminación original se conserva (**fig. 78**). Se observa, en alternancia: **1)** tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina con recristalización incipiente, de tono pardo claro, en láminas discontinuas por estrujamiento; **2)** formas lenticulares de tonos pardo oscuro a rojizo, constituidos por microbialitas en las que se reconocen formas orgánicas con textura de tamiz, enmascaradas por materia orgánica, y **3)** láminas claras (blancas) discontinuas, ondulosas, compuestas por un agregado de cristales de calcita espar con tamaño 5-12 μm .

Hay presencia de cristales de calcita anhedrales con tamaños entre 6-15 μm , lo que se interpreta como disgregación

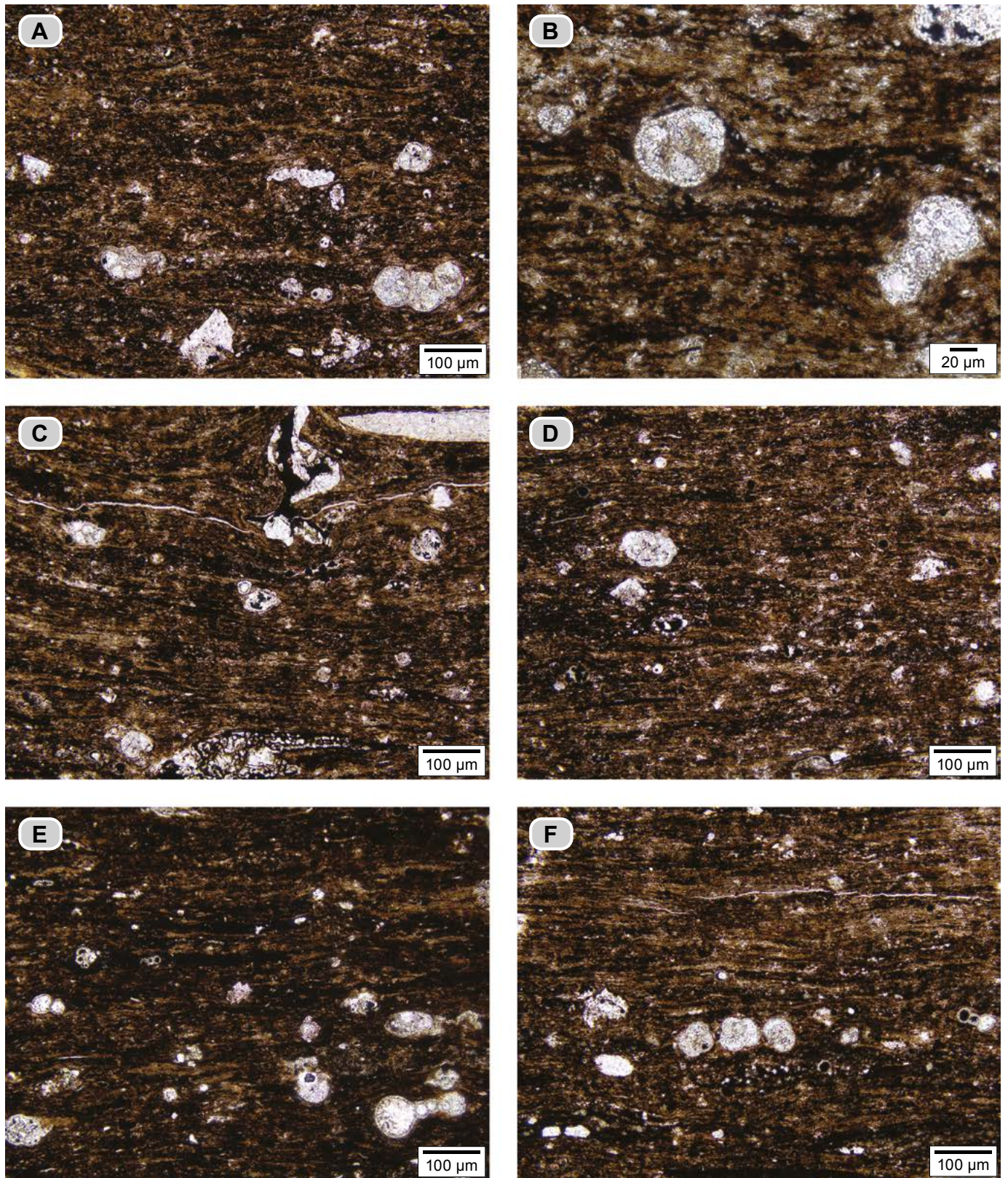


Figura 76. *Mudstone* arcilloso calcáreo con materia orgánica (dma 4833); en el microscopio es un *bindstone* con arcillas y materia orgánica. **A)** Se presentan conchillas de foraminíferos en dos texturas: arena muy fina y fina (mayores que 100 μm) y textura limo grueso (30-60 μm), envueltos por tapices microbiales con arcilla adherida, también se observan laminillas de materia orgánica. **B)** Ampliación de otro sector de la misma sección delgada para mostrar la disposición de las conchillas de foraminíferos planctónicos y la acomodación a ellas de los tapices microbiales. **C)** Tapices microbiales afectados por la migración de hidrocarburos: en la parte central superior se observa un domo por inyección de hidrocarburos, algunas conchillas de foraminíferos y quistes de dinoflagelados calcáreos. **D, E y F)** Nótese las conchillas de foraminíferos con texturas de limo grueso (30-60 μm), recubiertas por tapices microbiales y materia orgánica en laminillas. En algunos de los foraminíferos se observan sus cámaras rellenas de hidrocarburo. En **E)** se observa una amonita en la parte inferior derecha.

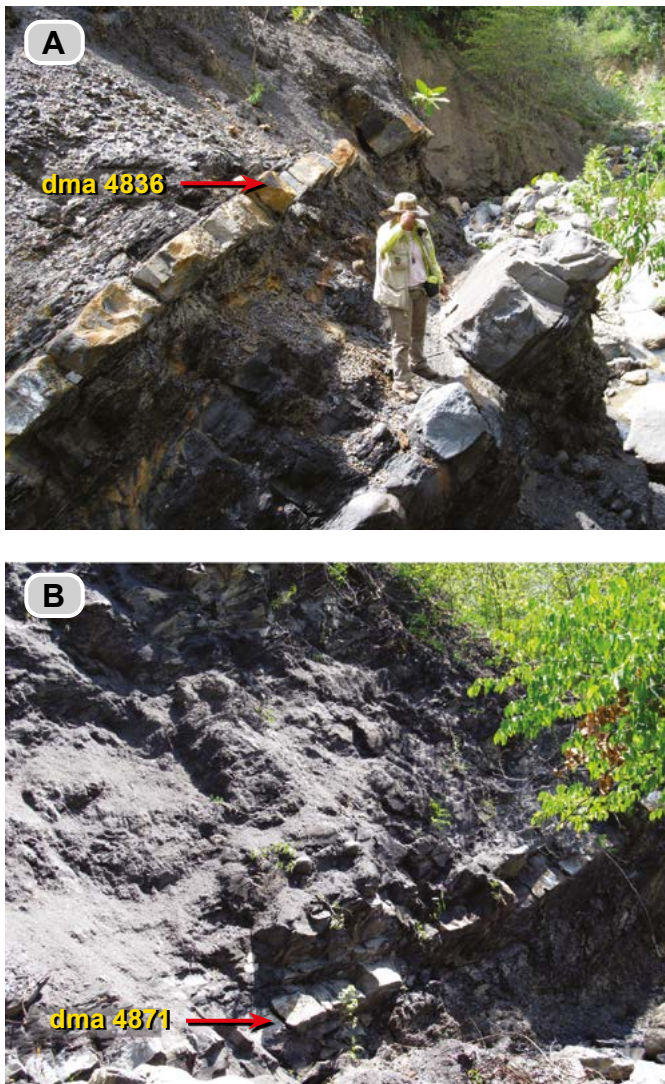


Figura 77. Calizas *mudstone* del intervalo estratigráfico J en capas que generan resalte con las siguientes características: **A)** La capa inferior se adelgaza y engrosa, a modo de montículos, mientras que la capa superior tiene base y techo plano paralelo (metro 224-227). **B)** Capa de forma plana-paralela (metro 249).

de láminas preexistentes. La materia orgánica se observa en laminillas; hay hidrocarburos relleno de espacios interlaminares y fragmentos fósiles. Entre los restos fósiles se reconocen (**fig. 79**): **a)** conchillas de foraminíferos planctónicos con tamaños entre 100-150 μm ; **b)** conchillas de ammonitellas con tamaños de 200-250 μm ; **c)** ostrácodos; **d)** cuerpos circulares de 30 a 40 μm , con relleno de calcita e hidrocarburos en ocasiones concentrados, interpretados como cortes de micelios; y **e)** restos de algas *Dasycladaceas*. La pirita se presenta en cristales octaédricos y hay trazas de fragmentos de cuarzo.

Intervalo estratigráfico K (255-270 m). Se localiza entre los $\Delta 51$ y $\Delta 47$ de la polygonal; en este intervalo persiste la abundancia de las arcillas, a la par que aumenta el contenido de material calcáreo y las rocas adquieren mayor competencia (**fig. 80**). En la parte media de este intervalo, entre los metros 263-264, hay una capa delgada de caliza *packstone* (**dma 4883**), con forma tabular (**fig. 80**).

Alternan paquetes de *mudstone* calcáreos arcillosos con materia orgánica, de tonos grises oscuros (N3), y calizas *mudstone* dispuestas en capas delgadas y medianas. Localmente afloran *mudstone* calcáreos con materia orgánica.

Los *mudstone* calcáreos arcillosos con materia orgánica se diferencian del segmento anterior por ser más compactos, presentan laminación plana paralela, partición en esquirlas y lajas; afloran formando paquetes de 2 m a 6 m (**fig. 80**).

En este intervalo las concreciones calcáreas están alineadas y paralelas a S_0 ; tienen formas esféricas, elipsoidales, de trompo e irregulares, con ϕ variable: 35 cm, 20 cm, hasta 15 cm.

Las calizas *mudstone* grises (N3-N5) que dan resalte topográfico presentan dos expresiones morfológicas: **I)** calizas en capas gruesas (60 cm), con adelgazamientos y abombamientos que producen un aspecto arrosariado, y **II)** capas con superficies planas paralelas.

En este intervalo se presentan deformaciones estructurales locales (**fig. 81**): la primera en el metro 260, con 30 cm de tramo deformado entre dos capas que no están deformadas; se aprecia una serie de fracturas discontinuas que rompen la roca con una fábrica de rombos. El segundo tramo deformado se observa a partir del metro 265, con las siguientes características: **a)** varias direcciones de fracturamiento; **b)** por sectores el material es deleznable; **c)** repliegues, y **d)** brecha que corta la estratificación con espesor variable, desde 10 a 5 cm, en donde se embeben fragmentos que alcanzan hasta 3 cm.

En el microscopio, los *mudstone* calcáreos arcillosos con materia orgánica se identifican así:

A) *Bindstone* con arcillas y materia orgánica, de textura pulverulenta y menos frecuente lenticular (**dma 4874**), (**fig. 82**); se caracterizan por: **a)** láminas de tapices microbiales con arcillas de fino hábito micáceo que extinguen en conjunto, lo que Konhauser (1998) interpretó como material atrapado, que forma superficies abióticas; la presencia de arcillas de fino hábito micáceo que forman esta superficies en el presente estudio se denomina textura pulverulenta, y **b)** láminas lenticulares de micrita con recristalización incipiente, en donde se alcanzan a distinguir formas orgánicas que asemejan un tamiz; se reconocen fragmentos de algas *Dasycladaceas*. La materia orgánica se presenta en hilos o laminillas.

Hay presencia de varios tipos de bioclastos: **a)** foraminíferos planctónicos con textura limo (hasta de 60 μm) y menos frecuente bentónicos; **b)** cuerpos circulares en cuyo interior se observa un único cristal de calcita, rodeado por un anillo oscuro, a su vez circundado por cristales de calcita con terminaciones triangulares (quistes de dinoflagelados calcáreos). De manera aleatoria aparecen cristales rómbicos de calcita (**fig. 82**).

B) *Bindstone* con arcillas y materia orgánica (**dma 4877**), de textura laminar; las láminas son suavemente onduladas y

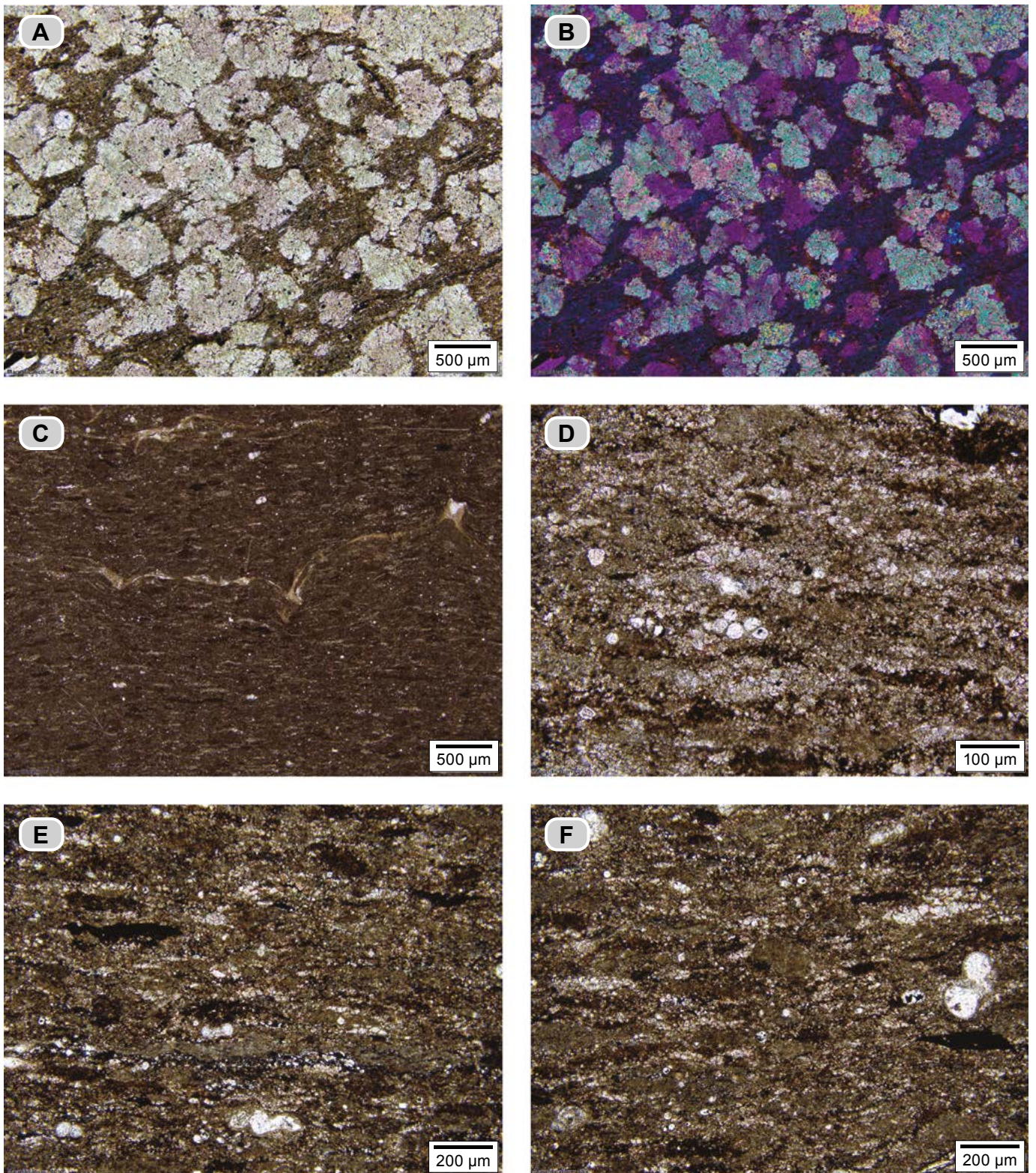


Figura 78. Texturas en las calizas *mudstone* del intervalo estratigráfico J. **A)** Textura porfiroide (**dma 4821**): son rosetas de yeso recrystalizadas en calcita (color blanco); el material de tono pardo corresponde a tapices microbiales con arcilla. **B)** La misma fotografía que en **A** con nicols cruzados y compensador 1λ para que las arcillas adheridas a los tapices microbiales resalten en tono azul oscuro entre las rosetas. **C, D, E y F)** *Bindstone* con recrystalización baja, en donde se reconoce la textura original (**dma 4836**). **C)** Tapices microbiales biomineralizados con calcita microcristalina (tono pardo); se alternan con lentes de tapices microbiales (tono pardo oscuro), formas laminares constituidas por cristales de calcita con tamaños de hasta 12 µm (color blanco); y peloides de micrita (tono pardo oscuro rojizo); nótese el remanente de una concha de amonita? en el centro de la sección delgada. **D)** Con mayor aumento se reconocen: **a)** tapices microbiales recrystalizados que se observan como formas laminares y lenticulares de color blanco; **b)** láminas estrujadas discontinuas de tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina; nótese la recrystalización incipiente responsable del tono pardo claro, y **c)** láminas irregulares de microbialitas de color pardo oscuro enmascaradas por materia orgánica y pirita. En **(F)** nótese los foraminíferos planctónicos con cámaras rellenas de calcita.

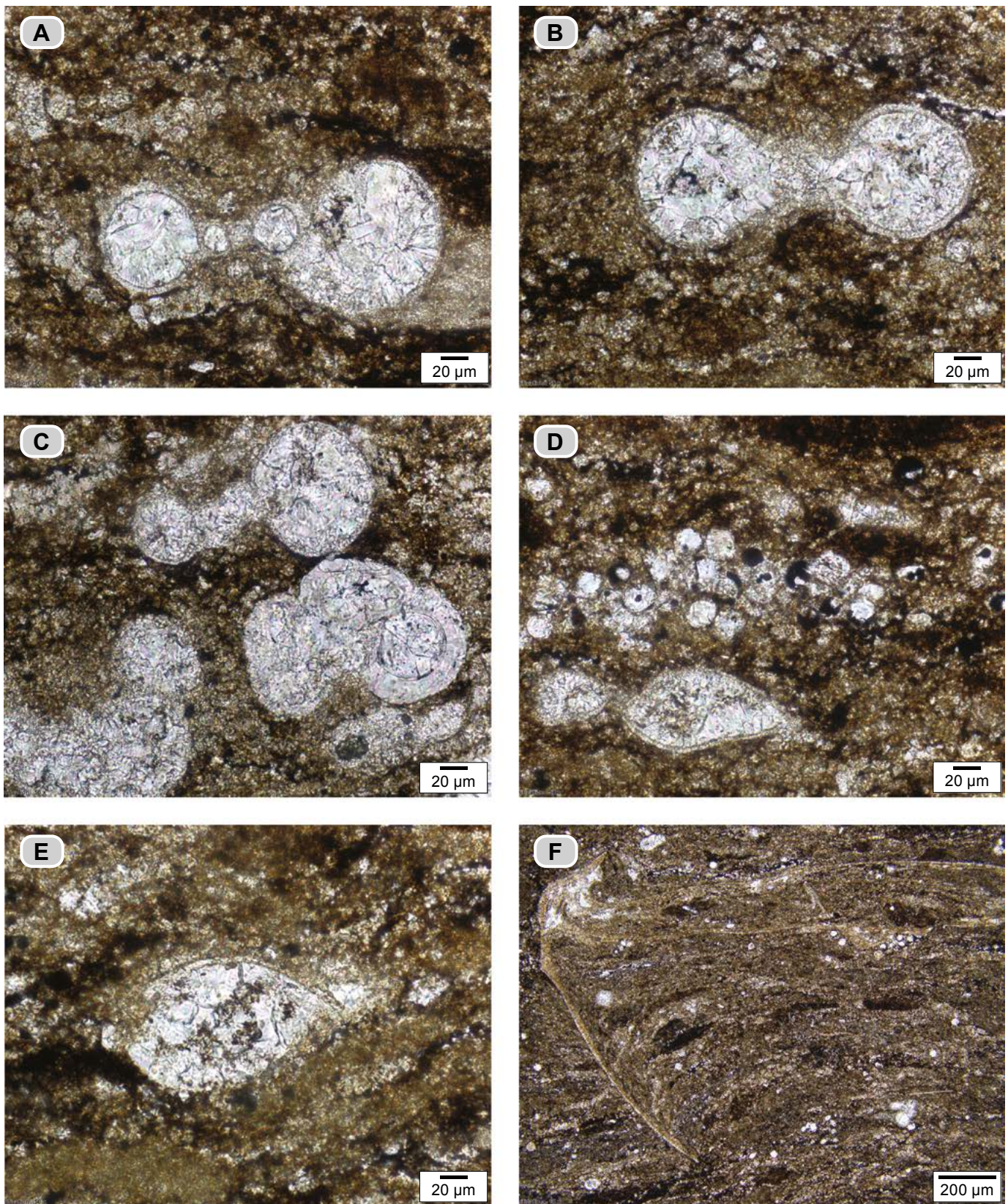


Figura 79. Caliza *mudstone* (dma 4836); en el microscopio se identifica como *bindstone* con recristalización. **A y B)** Conchillas de amonitas recubiertas por tapices microbiales biomineralizados con calcita microcristalina y materia orgánica; nótese el relleno de las cámaras por cristales de calcita. **C)** Conchillas de foraminíferos planctónicos con sus cámaras rellenas por cristales de calcita; en la parte superior de la fotografía aparece una conchilla de amonita. **D)** Tapices microbiales con biomineralización de calcita; hay presencia de cuerpos circulares agrupados con tamaños de hasta 20 µm, rellenos de calcita espar e hidrocarburos, que podrían representar cortes transversales de micelios o elementos reproductores de algas; nótese la presencia de un ostrácodo. **E)** Presencia de ostrácodo relleno con cristales de calcita. **F)** Fragmento fósil que produce deflexión en la laminación original de los tapices microbiales.

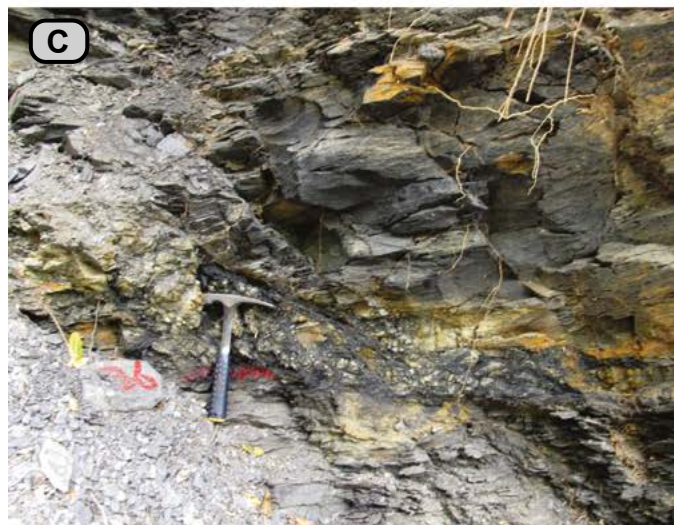


Figura 80. Vistas de afloramientos del intervalo estratigráfico K (metro 255-258). **A)** Aspecto compacto en los metros inferiores de los *mudstone* calcáreos arcillosos con materia orgánica (metro 255-257). **B)** En los *mudstone* arcillosos calcáreos, la meteorización del carbonato de calcio resalta la laminación plano-paralela (metro 258). **C)** *Mudstone* calcáreo arcilloso con una delgada capa de *packstone* (**dma 4883**) y caliza *mudstone* en capa mediana de tono blanco que engrosa y adelgaza (metro 262-265).

Figura 81. *Mudstone* arcilloso calcáreo con deformación localizada: **A)** Deformación señalada por el martillo, se aprecian 30 cm con láminas retorcidas (metro 260). **B)** Segundo tramo deformado; la roca se observa finamente fracturada y deleznable (metro 266). **C)** Brecha en franja oblicua al S_0 ; la roca está triturada en fragmentos angulares de hasta de 3 cm (metro 266).

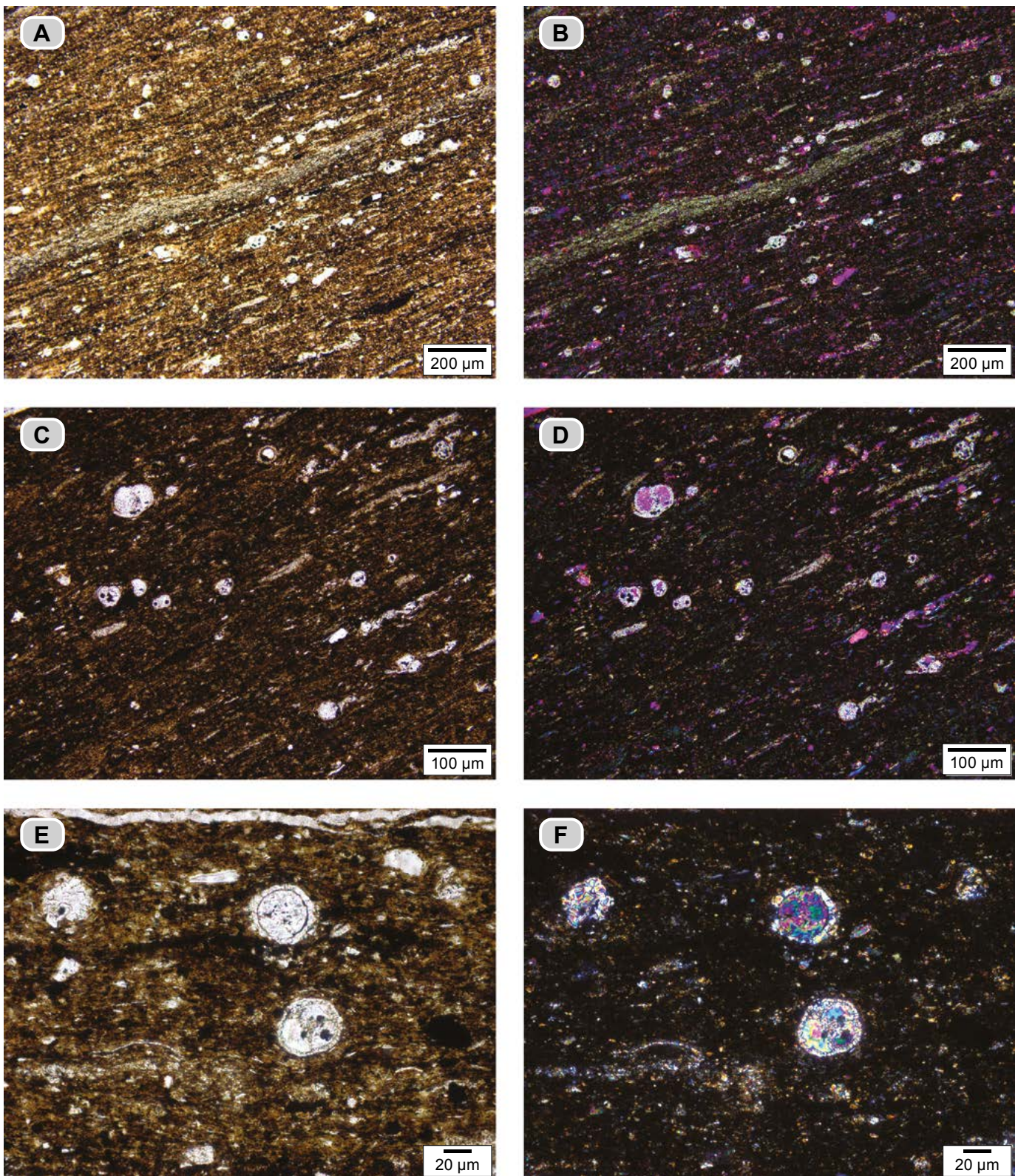


Figura 82. *Mudstone* arcilloso calcáreo (dms 4874); en el microscopio es un *bindstone* con arcillas y materia orgánica. **A)** Láminas de tapices microbiales (tono pardo) con textura pulverulenta, acompañadas por laminillas de materia orgánica y una lámina lenticular de un tapete microbial con biomineralización por calcita microcristalina en el centro de la figura. **B)** Fotografía de **A**, tomada con compensador 1λ y nicoles cruzados, en la que la arcilla con textura de fino hábito micáceo extingue en conjunto y toma tono azul. **C)** Con mayor aumento se distingue la materia orgánica en laminillas y en motas, y conchillas de foraminíferos planctónicos? con dos poblaciones: una de 40-60 µm, y la segunda de 100-120 µm y foraminíferos bentónicos? **D)** Fotografía del mismo sector que en **C**, tomada con compensador 1λ y nicoles cruzados, en donde la presencia de arcillas es resaltada con tono azul. **E)** Detalle de los tapices microbiales que deja ver sus láminas onduladas, la presencia de materia orgánica y conchillas de foraminíferos planctónicos de 40 µm; nótese un cuerpo circular de único cristal con anillo de cristales subrectangulares: quiste de dinoflagelado calcáreo. **F)** La misma fotografía tomada con nicoles cruzados.

pueden distinguirse: **1)** intervalos de láminas levemente onduladas de dos tipos de tapices (**fig. 82**), las microbialitas y los tapices microbiales con arcilla adherida, y **2)** intervalos compuestos por lentes de tapices microbiales con arcilla adherida (**fig. 83**). La materia orgánica se presenta en laminillas interpuestas en los tapices microbiales.

Los fósiles (1%) presentes están representados por cuerpos circulares con dos anillos; el primero es oscuro, y el segundo está conformado por cristales de calcita aciculares (quistes de dinoflagelados calcáreos). También hay presencia de pirita framboidal como mineral traza.

En el microscopio, los *mudstone* calcáreos con materia orgánica se identifican como *bindstone* con materia orgánica (microbialita) (**dma 4886**). Se trata de tapices microbiales con biomineralización de calcita microcristalina (pardo oscuro) que alternan con formas lenticulares de micrita con recristalización incipiente, que por sectores deja ver la textura de tamiz, y se trataría de tapices microbiales (pardo amarillento) (**fig. 84**), acompañados de: **a)** cuerpos circulares con dos anillos: el primero es oscuro y es rodeado por un anillo conformado por cristales de calcita subrectangulares o aciculares (quistes de dinoflagelados calcáreo). Se reconocen cristales rómbicos de carbonato (dolomita), y **b)** foraminíferos planctónicos con tamaños desde 25 μm hasta 60 μm .

La delgada capa de caliza *packstone* (**dma 4883**), ya mencionada, en el microscopio se identifica como biomicrita, está laminada y se reconocen dos láminas: hacia la base es biomicrita empaquetada, y hacia el techo biomicrita rala (**fig. 85**). La lámina inferior presenta textura *packstone*, los bioclastos alcanzan textura de guijos; en general aparecen paralelos al S_0 y entre ellos se reconocen restos de algas filoideas, bivalvos, de restos de amonitas y fragmentos de huesos, estos últimos reemplazados por cristales de espar y pirita. La lámina superior es una biomicrita rala textura *wackestone*, y en general los bioclastos tienen menores tamaños; como en la lámina anterior, los bioclastos más abundantes son fragmentos de algas filoideas. Esta delgada capa se interpreta como una tormentita.

Hay cristales cúbicos de pirita y además materia orgánica e hidrocarburos que rellenan restos fósiles y espacios intergranulares.

Intervalo estratigráfico L (270-288 m). Se localiza entre los puntos $\Delta 48$ - $\Delta 46$ de la poligonal y se caracteriza por el incremento del material calcáreo. Se diferencian tres conjuntos, de los cuales el Conjunto L2 (medio) genera resalte topográfico; está constituido por calizas *mudstone* laminadas, localmente bioturbadas, dispuestas en capas medianas a gruesas. Los conjuntos L1 (inferior) y L3 (superior) forman entrantes en el perfil topográfico, consisten en *mudstone* calcáreos con materia orgánica y *mudstone* arcillosos con materia orgánica, respectivamente.

Conjunto L1 (270-277 m). Genera entrante en el perfil topográfico. Este conjunto se puede subdividir en dos paque-

tes; el inferior es más arcilloso que el superior, calcáreo, y están separados por una capa gruesa de caliza *mudstone* (**fig. 86**). El paquete inferior son *mudstone* arcillosos con materia orgánica (**dma 4888**), mientras que es superior son *mudstone* calcáreos con materia orgánica (**dma 4892**); son de tonos grises oscuros (N3) y forman intervalos de hasta 4 m, con laminación fina, plana paralela. La caliza *mudstone* que separa estos dos paquetes es gris oscura (N3), por meteorización adquiere tono café pálido amarillento (10YR 6/2); muestra adelgazamiento (40 cm) y engrosamiento (70 cm) hasta adquirir apariencia arrosariada.

En el microscopio los *mudstone* arcillosos con materia orgánica (**dma 4888**) corresponden a *bindstone* con arcillas y materia orgánica, que presenta intervalos laminares (**figs. 87 E y 87 F**), diferenciados del modo siguiente:

Intervalos con textura lenticular: son tapices microbiales con arcilla adherida que definen formas de lentes (tono pardo claro), alternan con tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina y enmascarados por materia orgánica (tono pardo oscuro). La materia orgánica también se presenta a modo de laminillas e hilos paralelos a S_0 .

Intervalos con textura laminar, son tapices microbiales con arcilla adherida que definen láminas muy delgadas, alternan con hilos y laminillas de materia orgánica paralelos a S_0 .

Intervalos con textura pulverulenta se observan láminas de tapices microbiales con arcilla adherida con extinción en conjunto, que alterna con lentes de tapetes microbiales biomineralizados por calcita microcristalina.

Hay presencia de terrígenos, representados por fragmentos de cuarzo y mica detrítica con textura limo, que se presentan en diferentes proporciones; en la mayoría de las láminas la proporción es de 1%, y en una lámina alcanzan 7,5%. También se observa glauconita y moscovita detrítica.

En ambos intervalos hay presencia de cristales de calcita con formas rómbicas (1%) y de pirita cúbica dispersa (1%).

En el microscopio, los *mudstone* calcáreos con materia orgánica (**dma 4892**), se identifican como *bindstone* con materia orgánica (microbialita): se trata de tapices microbiales con biomineralización de calcita microcristalina. La materia orgánica forma laminillas que separan los tapices. Los fósiles (7,5%) son conchillas de foraminíferos de texturas muy finas (30-40 μm), quistes de dinoflagelados calcáreos y escasos ostrácodos. Los fragmentos detríticos son cuarzo y mica detrítica con textura limo (**figs. 87 A, B, C y D**).

En la caliza *mudstone* (**dma 4890**) que separa los paquetes superior e inferior ya descritos, el microscopio deja ver textura porfiroide por neomorfismo. Destacan rosetas calcificadas de anhidrita (**fig. 88**) en mosaico de cristales, con tamaños individuales de hasta 120 μm . Las rosetas se interpretan como recristalización de calcita a partir de rosetas de yeso.

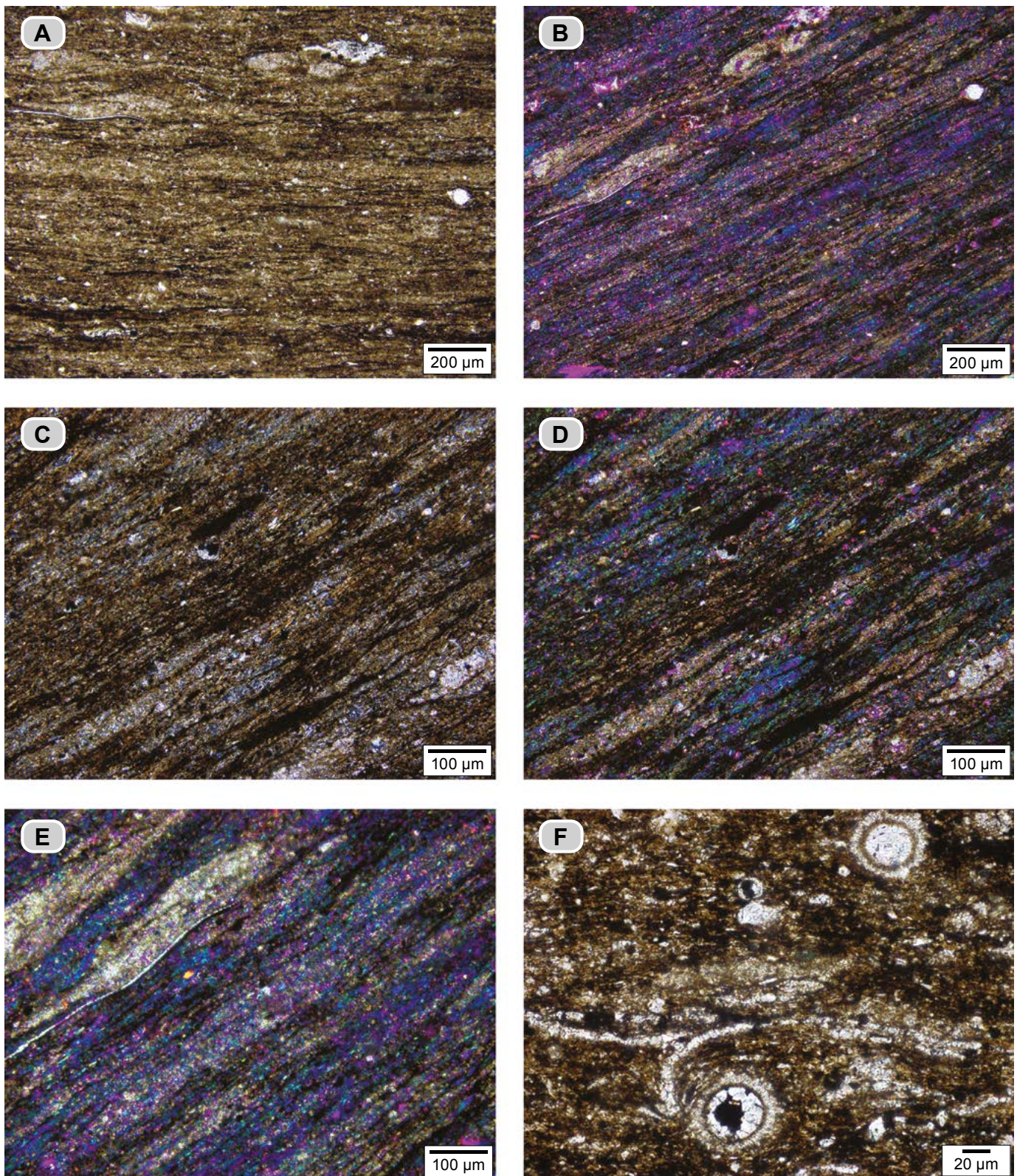


Figura 83. *Mudstone* arcilloso calcáreo (dma 4877); en el microscopio es un *bindstone* laminado. **A)** Se observan láminas de tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina (tono pardo claro) y láminas de tapices microbiales con arcilla adherida (tono pardo oscuro) que definen una textura laminar suavemente ondulosa y lenticular. **B)** Fotografía de **A** tomada con compensador 1λ y nicoles cruzados, en la que se ve claramente la alternancia de tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina y tapices microbiales con arcillas que toman tono azul. **C)** En la misma sección delgada se observa textura lenticular entre láminas de tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina y láminas con arcilla adherida. **D)** Fotografía de **C** tomada con compensador 1λ y nicoles cruzados, donde las arcillas toman tono azul; destaca la laminación por composición. **E)** Detalle para destacar las láminas de tapices microbiales, biomineralizados por calcita microcristalina y con arcilla adherida separadas por materia orgánica en laminillas. **F)** Con mayor aumento se observan las microbialitas y cuerpos circulares con dos anillos; el primero es oscuro, y el segundo está compuesto de cristales de calcita aciculares (quistes de dinoflagelados calcáreos).

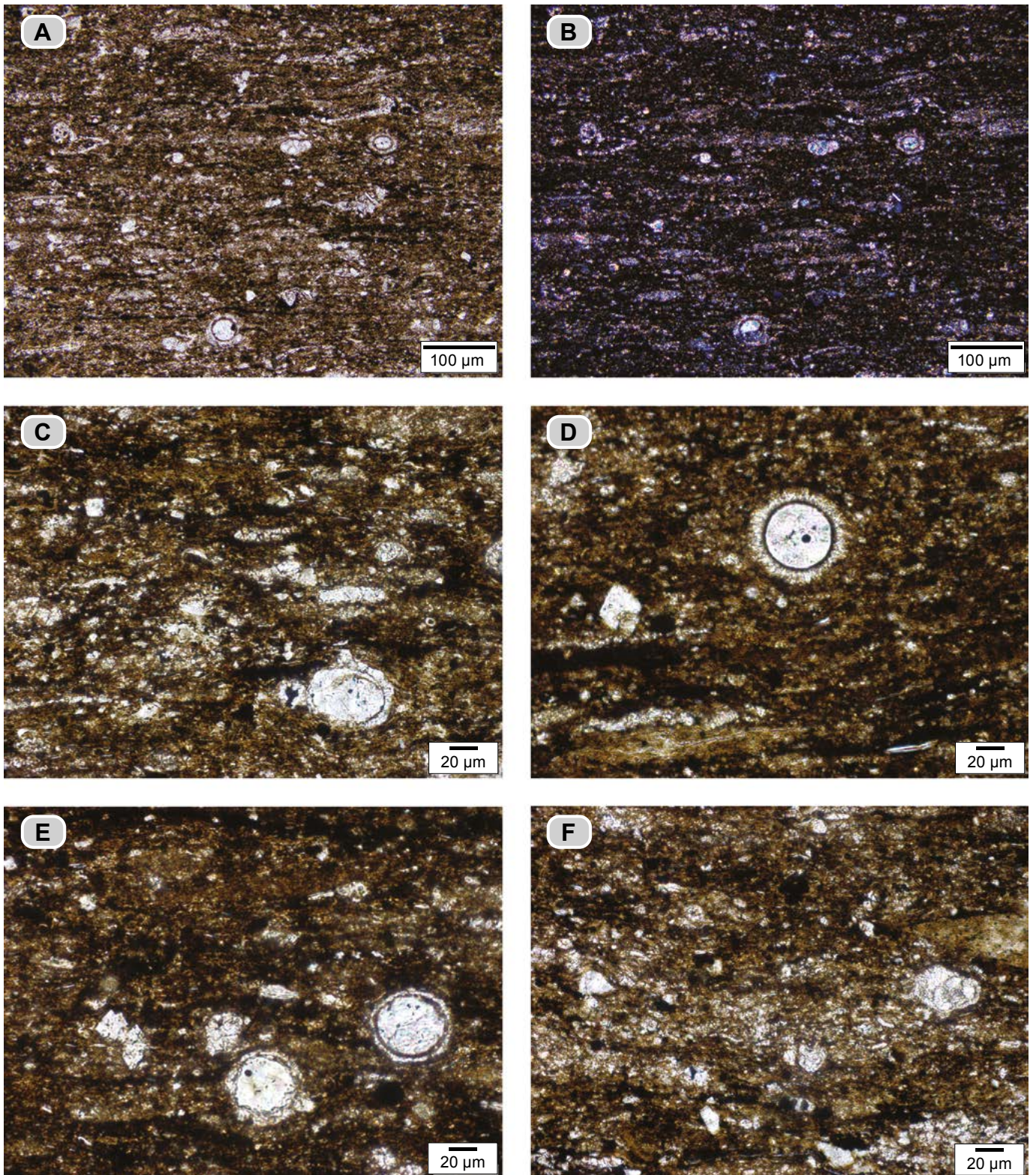


Figura 84. *Mudstone* calcáreo con materia orgánica (dma 4886); en el microscopio identificado como *bindstone* con materia orgánica. **A)** Láminas onduladas de tapices microbiales con biomineralización de calcita microcristalina (tono pardo), alterna con materia orgánica en motas y laminillas, y de lentes de tapices biomineralizados y con recristalización incipiente (tono pardo claro). **B)** La misma fotografía que en **A**, tomada con nicoles cruzados. **C)** Con mayor aumento se observa la textura porosa que semeja un tamiz (tapices microbiales) con motas de materia orgánica y cuerpo circular con una estructura interna concéntrica con prominencias en su periferia (quiste de dinoflagelado calcáreo). **D)** Toma con mayor detalle para ilustrar el cuerpo circular con dos anillos; el primero es oscuro y está rodeado por un anillo de cristales de calcita aciculares (quiste de dinoflagelado calcáreo). **E)** Nótese la presencia de cuerpos circulares similares a **D**, con el anillo exterior de cristales de calcita subrectangulares (quistes de dinoflagelados calcáreos). **F)** Textura porosa o de tamiz de los tapices microbiales; nótese la presencia de una conchilla de foraminífero bentónico.

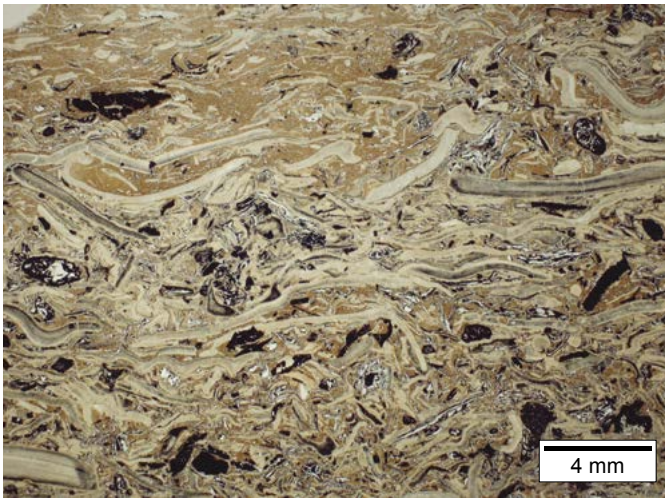


Figura 85. Sección delgada de la caliza (**dma 4883**), interpretada como tormentita, en la que se diferencian dos láminas: la inferior con textura *packstone* y predominio de restos de algas filoideas, y la superior con textura *wackestone*. La matriz en ambas láminas es micrita recrystallizada.

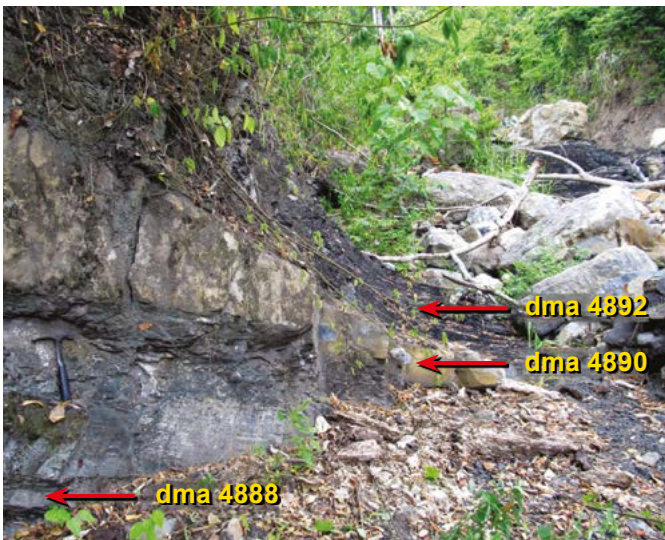


Figura 86. *Mudstone* arcilloso con materia orgánica (**dma 4888**) y *mudstone* calcáreo con materia orgánica (**dma 4892**), de tonos grises oscuros, separados por una caliza *mudstone* (**dma 4890**) dispuesta en capa que se engrosa lateralmente (metro 273-274).

Conjunto L2 (277-283 m). Genera resalte en el perfil topográfico. Muestra en el tramo inferior calizas *mudstone* laminadas, en capas gruesas y medianas, con formas plano paralelas, mientras que en el tramo cuspidal afloran *mudstone* calcáreos con materia orgánica de aspecto macizo que gradan a calizas *mudstone* nodulares (**fig. 89**).

En las calizas *mudstone* la laminación varía de delgada a mediana, plana paralela, continua, resaltada en superficie expuesta por presentar tonos grises oscuros (N2) y grises claros (N6) (**fig. 89**).

En el microscopio las calizas *mudstone* (**dma 4893** y **dma 4897**), dejan ver láminas claras que corresponden a *bindstone* recrystallizados, mientras que las láminas oscuras corresponden a *bindstone* con materia orgánica.

En el microscopio las láminas claras están constituidas por cuerpos laminares ondulados discontinuos; internamente están constituidos por mosaicos de cristales de calcita espar (10-20 μm) interpuestos con hojuelas de tapices microbiales con materia orgánica de tonos oscuros (**fig. 90**).

Las láminas oscuras están constituidas por tapices microbiales con biomineralización de calcita microcristalina (microbialita); hay presencia abundante de cristales de calcita anhedrales (hasta de 12 μm), como resultado de la disgregación de láminas claras preexistentes (**fig. 90**).

Se reconocen los siguientes restos fósiles: **a)** cuerpos circulares con diámetro de 20 μm , que en ocasiones se concentran y dibujan lentes; **b)** cuerpos circulares con un centro de cristal único de calcita rodeado por los siguientes anillos: con un anillo segmentado y constituido por cristales de calcita, por un anillo ocráceo, por dos anillos cada uno constituido por cristales subrectangulares de calcita y por un anillo de cristales de calcita rectangulares que generan bordes rectos; estos cuerpos corresponden a quistes de dinoflagelados calcáreos (Reháková 2000), **c)** conchillas de foraminíferos planctónicos de tamaños de hasta 60 μm , y **d)** restos de ostrácodos y de fragmentos de bivalvos de 150 μm (**fig. 90**). La materia orgánica se observa como motas.

En el microscopio, en las calizas *mudstone* nodulares (**dma 4895**) (metro 281) se observan relictos de laminación como efecto de la bioperturbación. Los sectores claros están constituidos por cuerpos laminares, mientras que en los sectores oscuros se observan tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina, acompañados de materia orgánica (**fig. 91**).

Hay presencia de fragmentos de escamas de peces, ostrácodos y de bivalvos con diferentes orientaciones. Se siguen observando los siguientes fósiles: **a)** foraminíferos planctónicos de hasta 60-70 μm ; **b)** quistes de dinoflagelados calcáreos. Son cuerpos circulares calcáreos con tamaños de 20-40 μm , y varios tipos anillos: unos son segmentados, otros con un o dos anillos constituidos por cristales de calcita; **c)** cuerpos con forma de fríjol con tamaños de hasta 80 μm , reemplazados por cristales de calcita radiales a partir de un semicírculo: *microcodium*, y **d)** cuerpos circulares de hasta 80 μm reemplazados por cristales de calcita espar.

También se presentan granos de cuarzo, peloides de glauconita y moscovita en proporciones menores del 1%; además, cristales rómbicos de calcita.

Los *mudstone* calcáreos macizos con materia orgánica en el microscopio, corresponden a *bindstone* con materia orgánica (**dma 4894**), y los *mudstone* arcillosos con materia orgánica (**dma 4896**) corresponden a *bindstone* con arcillas y materia orgánica.

La muestra **dma 4894** corresponde a tapices microbiales con biomineralización de calcita microcristalina (microbialitas) (**fig. 92**); se reconoce la textura porosa de tamiz, que alterna con algunas laminillas de tapices microbiales con arcilla adherida. Hay presencia de fragmentos de cristales anhedrales de calcita espar de hasta 15 μm , interpretados

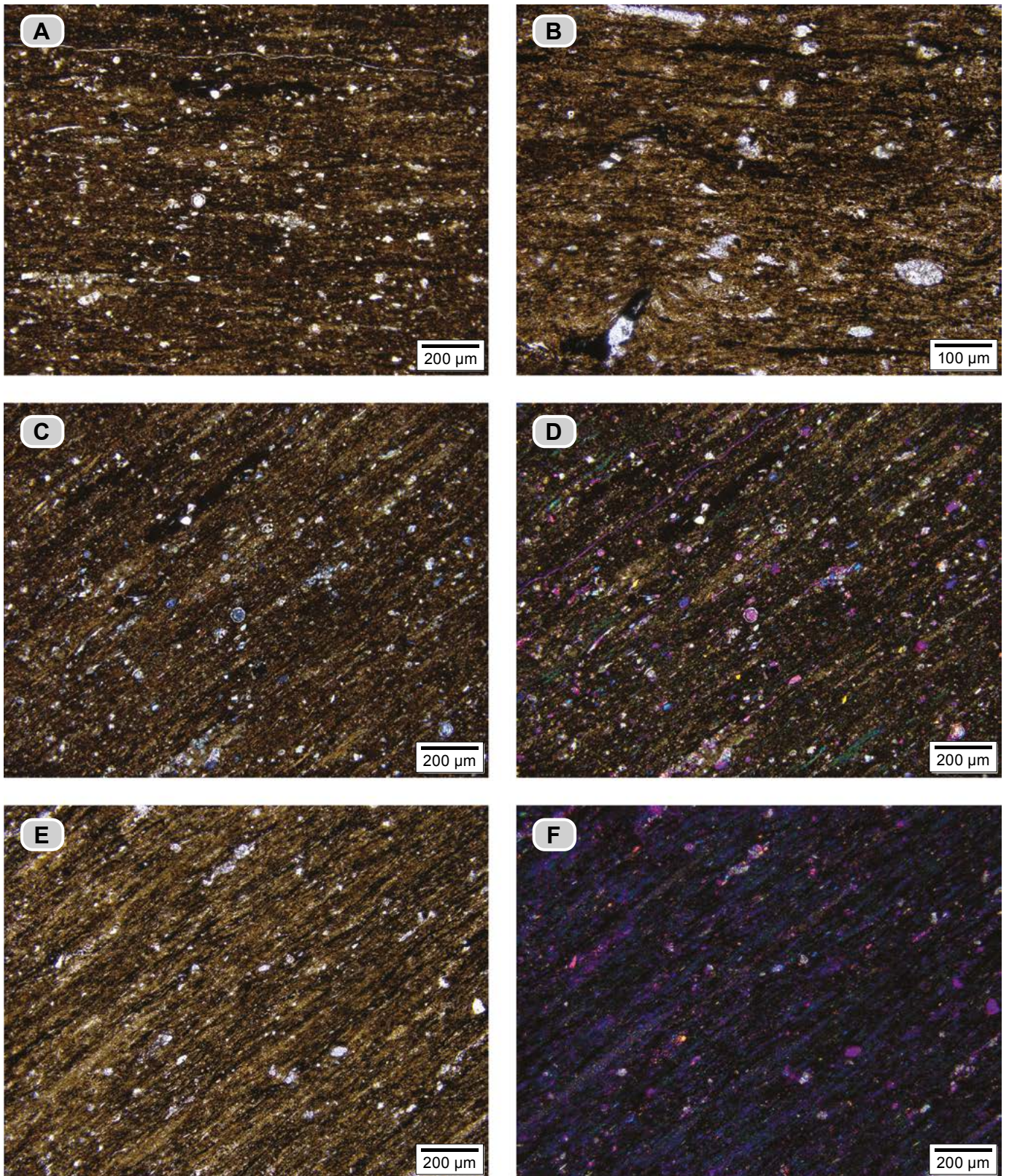


Figura 87. A, B, C y D) *Mudstone* calcáreo con materia orgánica (dma 4892); en el microscopio se identifica como un *bindstone* con materia orgánica. A) Se observan tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina (tonos pardos), materia orgánica en laminillas y motas. B) Ampliación de otro sector de la sección delgada, que muestra en el extremo inferior izquierdo del cuadro la inyección de hidrocarburos y en extremo inferior derecho un foraminífero bentónico. C y D) Se observan tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina (tonos pardos), con materia orgánica en laminillas y como motas (tonos negros); de manera subordinada se presentan lentes, donde la arcilla se adhiere; D) Se toma la fotografía con nicols cruzados y compensador 1λ, y en azul se resalta la presencia de arcilla. E y F) *Mudstone* arcilloso con materia orgánica (dma 4888), en el microscopio es un *bindstone* con arcillas y materia orgánica; se observan tapices microbiales con arcilla adherida de textura lenticular; al girar la platina a 45°, con nicols cruzados y el compensador 1λ, la arcilla toma tono azul.

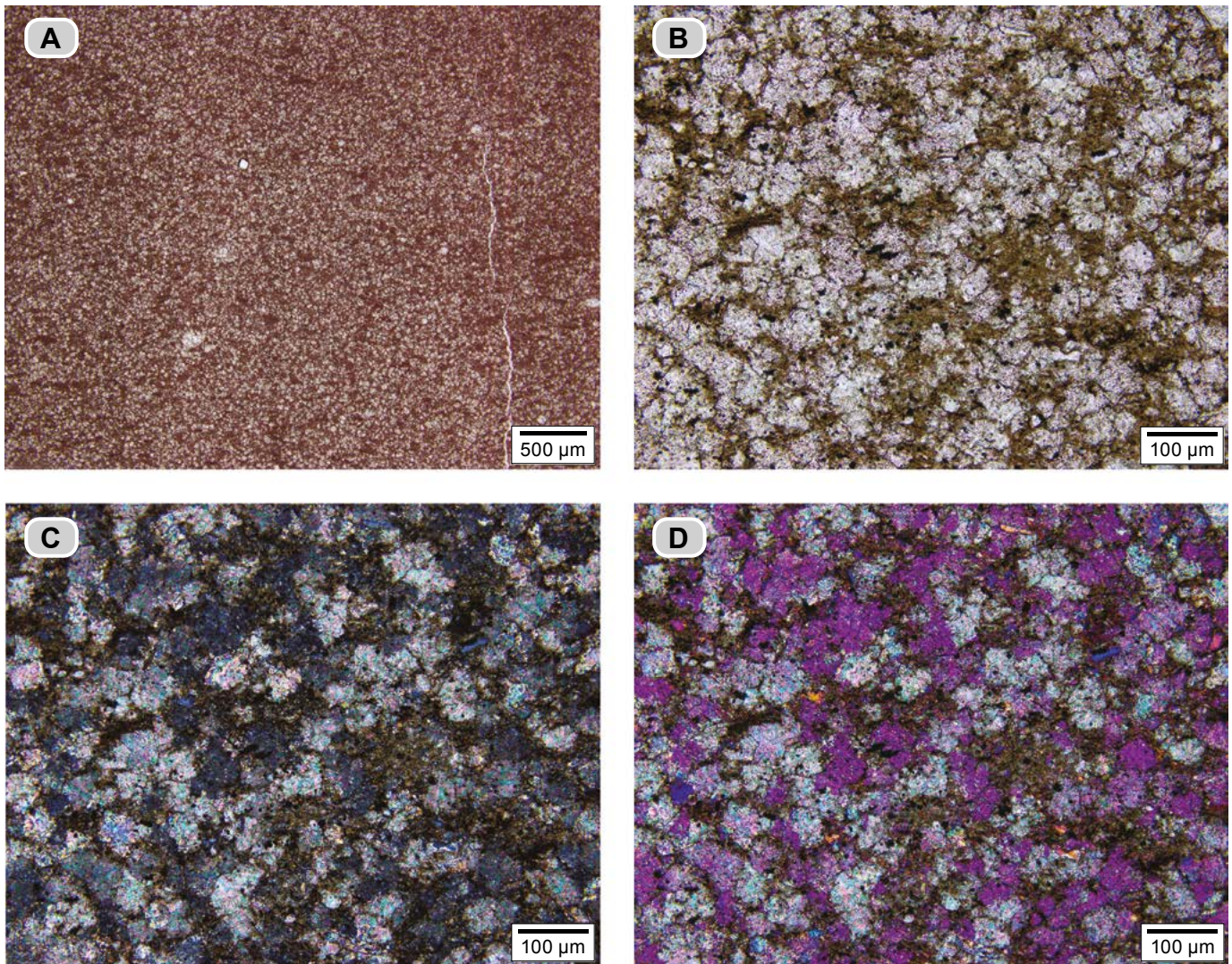


Figura 88. A, B, C y D) Caliza *mudstone* (dma 4890). Está constituida por agregados de cristales conocidos como rosetas calcificadas de anhidritas. Los distintos tonos de color muestran cómo los cristales de calcita tienen diferentes cortes cristalográficos.

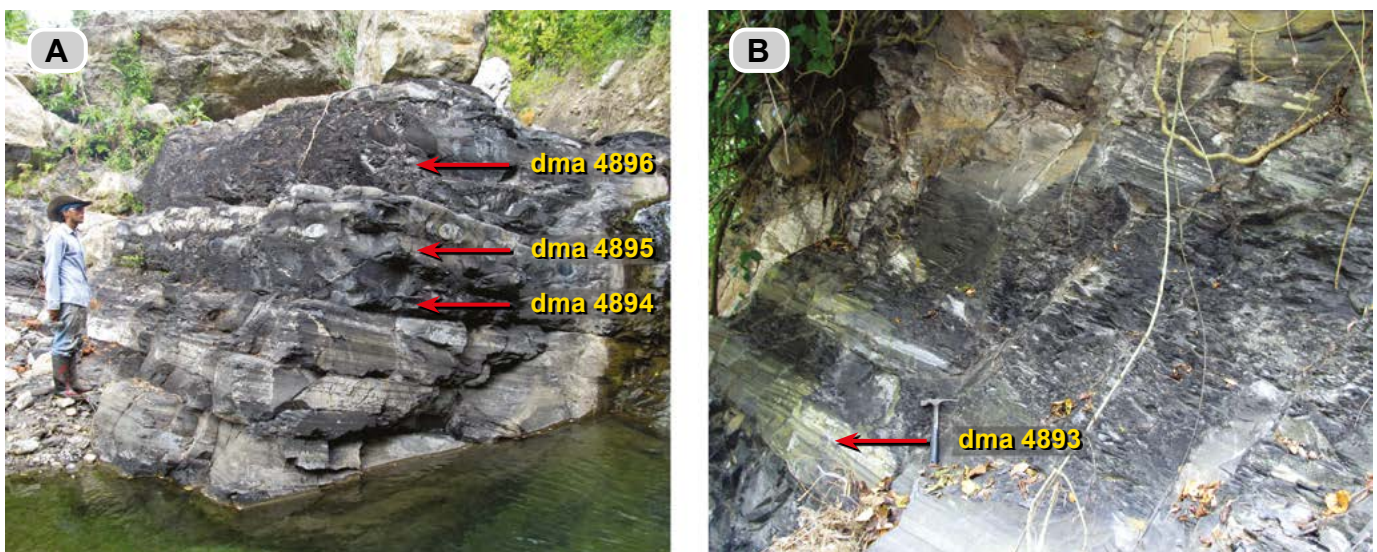


Figura 89. A) Calizas *mudstone* en capas muy gruesas, en las que destaca la laminación plana paralela. En la parte superior del afloramiento, nótese las capas nodulares (dma 4895); las capas que no muestran laminación son *mudstone* calcáreos con materia orgánica (metro 280-284, $\Delta 47-\Delta 46$). **B)** Detalle del intervalo de las rocas laminadas; nótese cómo la meteorización resalta la laminación y la partición en esquirlas de los *mudstone* calcáreos con materia orgánica (metro 277-279, $\Delta 47-\Delta 46$).

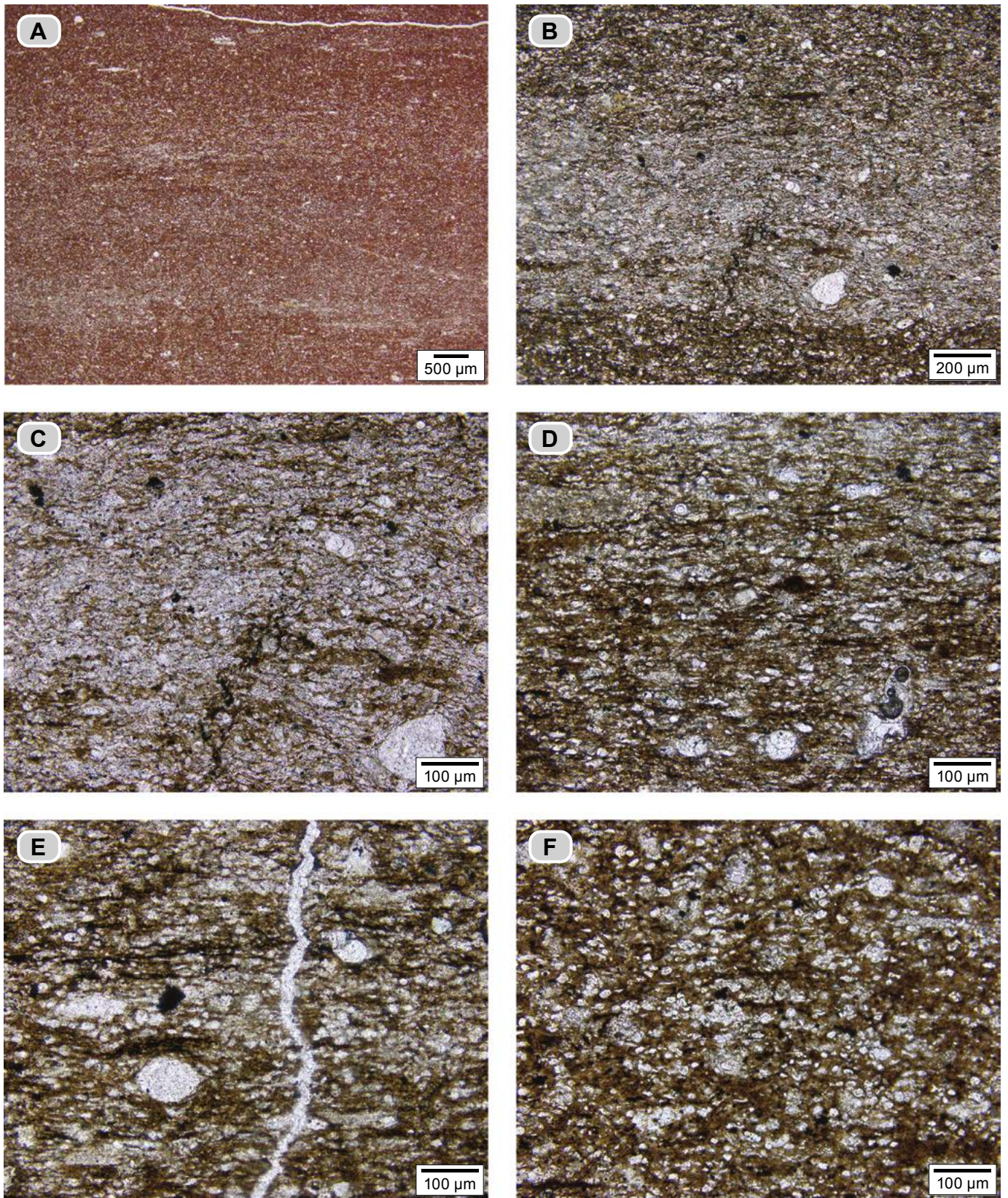


Figura 90. Caliza *mudstone* laminada (dms 4893). **A)** Laminación repetitiva en la que se destacan parejas de láminas clara-oscura; la lámina clara presenta recristalización. **B)** Análisis microscópico de una lámina clara: parte central de la figura formada por cuerpos laminares ondulados, constituidos por cristales de calcita de hasta 20 µm; nótese la inyección de hidrocarburos en forma de hilos. **C)** La misma lámina que en **B**, con mayor aumento para resaltar la inyección contorsionada de hidrocarburos. **D, E y F)** Detalles de una lámina oscura: en **D** nótese la presencia de conchillas de foraminíferos planctónicos paralelos a S_0 y una conchilla de gasterópodo oblicuo a S_0 . **E y F)** Nótese los tapetes microbiales con biomineralización de calcita microcristalina, y los cristales de calcita de hasta 12 µm, disgregados de las láminas claras preexistentes.

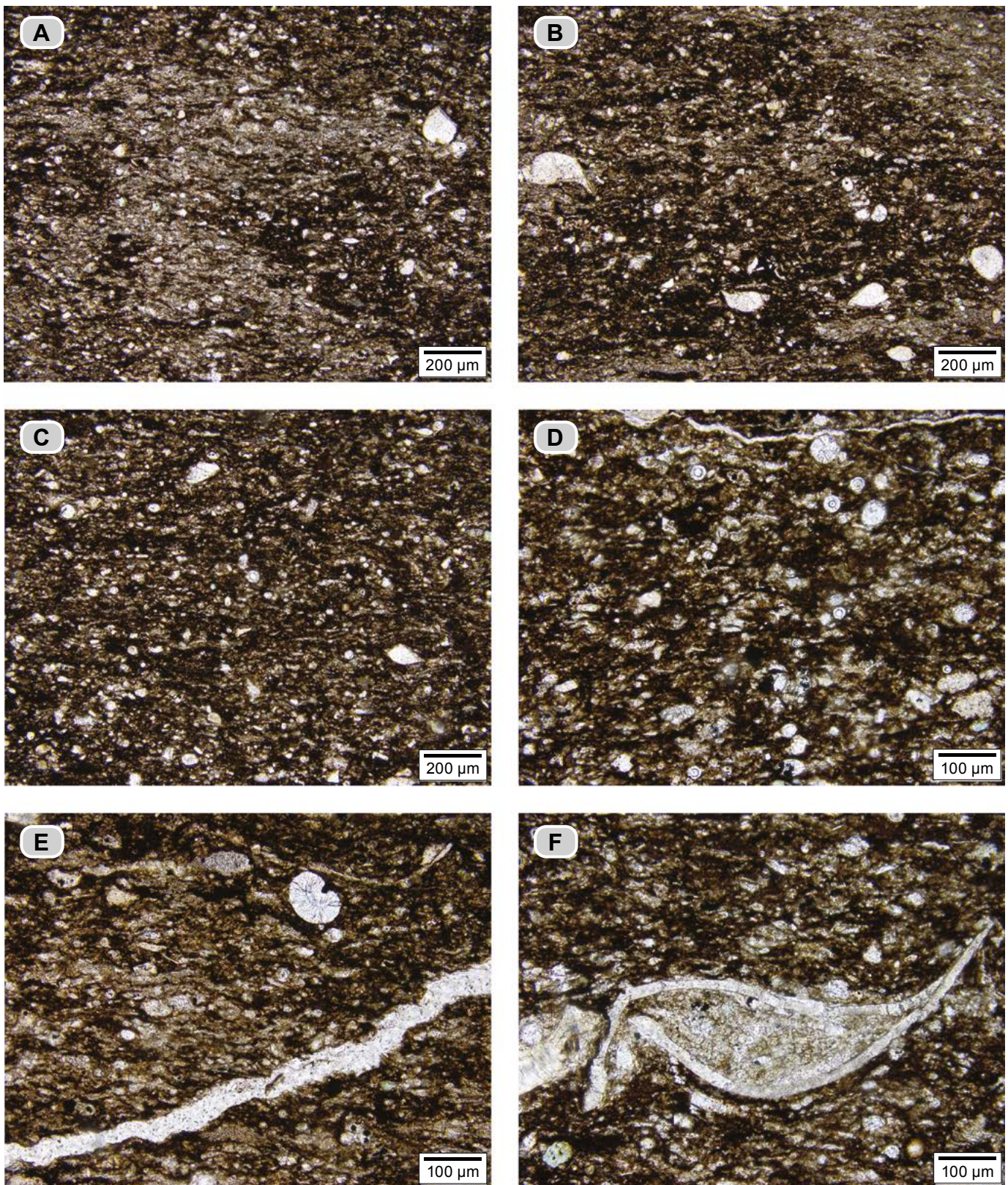


Figura 91. Caliza *mudstone* bioturbada (**dma 4895**); en el microscopio se trata de un *bindstone* bioturbado con materia orgánica. **A y B)** Se observan fantasmas de bioturbación y laminación relictas. Los sectores claros están constituidos por fragmentos laminares y en los sectores oscuros se reconocen tapices microbiales; nótese las conchillas de ostrácodos en varias posiciones. **C)** Sector oscuro: son tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina; hay presencia de materia orgánica en motas y formando caminos. Nótese ostrácodos y quisites de dinoflagelados calcáreos. **D)** Con mayor aumento se observan los tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina con materia orgánica, fragmentos de cristales de calcita interpretados como productos de disgregación de otras láminas, y entre los fósiles se reconocen cuerpos circulares calcáreos: quisites de dinoflagelados calcáreos. **E)** Se observa un cuerpo con forma de frijol reemplazado por fragmentos de cristales de calcita que crecen en forma radial en torno a un centro: *microcodium*. **F)** Nótese la concha de un ostrácodo con relleno de calcita espar.

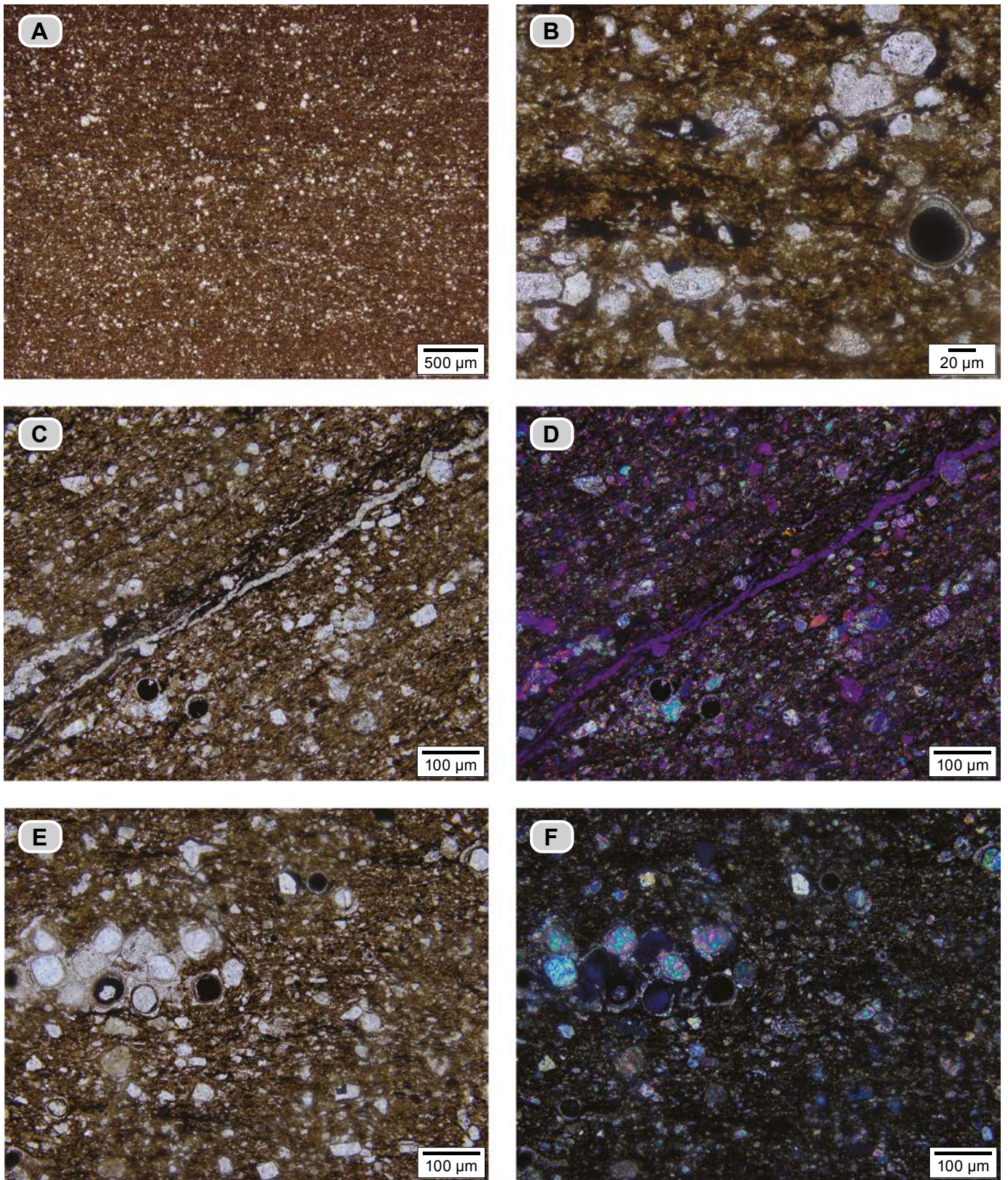


Figura 92. *Mudstone* calcáreo con materia orgánica (dma 4894); en el microscopio se identifica como *bindstone* con materia orgánica (microbialitas). **A)** Aspecto general de los tapices microbiales; los elementos blancos corresponden a fragmentos de cristales de calcita; la materia orgánica se dispone en laminillas discontinuas paralelas a S_0 . **B)** Con mayor aumento se observan los fragmentos de carbonatos, lentes y laminillas de materia orgánica y cuerpo circular achatado relleno de hidrocarburos con anillos compuestos por cristales aciculares de calcita. **C)** Tapices microbiales con biomineralización de calcita microcristalina alternan con laminillas de tapices con arcilla adherida. **D)** La misma fotografía que en **C**, pero tomada con compensador de 1λ y nicoles cruzados: la arcilla resalta y toma un tono azul. **E)** Con mayor aumento se observan cuerpos circulares, en ocasiones achatados agrupados, rellenos de hidrocarburos o calcita como un único cristal, rodeados por anillos constituidos por cristales aciculares de calcita. **F)** Fotografía de **E** tomada con nicoles cruzados.

como producto de disgregación de láminas claras preexistentes. Se observa materia orgánica en láminas muy delgadas discontinuas (asemejan hilos) y en motas.

Entre los bioclastos se identifican: **a)** cuerpos circulares, en ocasiones achatados, con tamaños alrededor de 50 μm , rellenos de hidrocarburos o de cristal único de calcita, con uno o dos anillos de cristales aciculares de calcita; en ocasiones se observan estos cuerpos reunidos a modo de panal y unidos por cemento de calcita espar (**figs. 92 E y F**), y **b)** foraminíferos planctónicos? (30-60 μm). Hay presencia de cristales rómbicos de calcita. Fragmentos de glauconita de hasta 1% y de trazas de cuarzo y moscovita.

En el microscopio, el *mudstone* arcilloso con materia orgánica (**dma 4896**), se identifica como *bindstone* con arcillas y materia orgánica. Está compuesto por láminas de tapices microbiales con arcilla adherida, con textura lenticular y pulverulenta; la materia orgánica se presenta en laminillas y también se observan fragmentos disgregados de cristales de calcita. Entre los fósiles se reconocen foraminíferos planctónicos con tamaños de 40-60 μm , quistes de dinoflagelados calcáreos y entre los fragmentos terrígenos hay presencia de cuarzo y moscovita, como minerales traza.

Conjunto L3 —techo— (284-288 m). De este conjunto solo afloran los dos metros inferiores, representados por *mudstone* calcáreos con materia orgánica, separados por un tramo cubierto de 16 m de espesor, hasta encontrar los primeros afloramientos de la Formación Tablazo en la quebrada La Paja. Al comparar este conjunto con este mismo contacto en la quebrada La Molinilla, localizada 10 km al norte de esta sección, se observa que solo 5 de los 16 metros pertenecerían a la Formación La Paja.

Contactos

El contacto entre las formaciones La Paja y la infrayacente Rosa Blanca es neto, plano paralelo e inconforme en la región de Los Santos (véase Etayo-Serna y Guzmán 2019). En la quebrada La Paja, los metros cuspidales de la Formación Rosa Blanca son calizas *wackestone* y *packstone* de bivalvos *Ceratostreon bous-singaultii* (ORBIGNY, 1842, *sensu* Dietrich 1938), con tamaños desde 2 hasta 6 cm, dispuestas en capas muy gruesas (**fig. 93**). El contacto con la Formación La Paja está cubierto; sin embargo, el cambio brusco de litologías revela el cambio neto entre las dos unidades, ya que en la Formación la Paja las primeras rocas observadas son calizas *mudstone* recristalizadas en alternancia con *mudstone* calcáreos con materia orgánica.

El contacto superior de la Formación La Paja es transicional a la Formación Tablazo (metros inferiores); este contacto corresponde a un rasgo geomorfológico entre el valle que dibuja la Formación La Paja y la cornisa que generan las rocas de la Formación Tablazo. Los metros cuspidales de la Formación La Paja se componen de *mudstone* arcillosos con materia orgánica (conjuntos L1 y L3), entre ellos interpuestos 6 metros de calizas *mudstone* laminadas que constituyen el conjunto L2. El contacto se marca en la base de un paquete estratigráficamente superior de 53 m (Segmento estratigráfico I de la Formación Tablazo), que litológicamente es similar al conjunto L2.

En la vía nueva que parte de la población de Lebrija hacia San Vicente de Chucurí, en el cruce con la quebrada La Molinilla (N:1.279.751, E:1.085.505, Z:527), se observan los 25 m superiores de la Formación La Paja en contacto con la Forma-



Figura 93. Metros cuspidales de la Formación Rosa Blanca: calizas *wackestone* y *packstone* de bivalvos. Río Sogamoso (N:1.269.685, E:1.082.400, Z:211).

ción Tablazo. De la misma manera que en la sección tipo, en la Formación La Paja se presentan tres conjuntos; dos de ellos generan entradas en el perfil topográfico, mientras que el conjunto intermedio genera saliente (**fig. 94**), y la Formación Tablazo se reconoce por el mismo paquete potente de calizas *mudstone* que generan salientes.



Figura 94. Contacto entre las Formaciones La Paja y Tablazo en el puente sobre la quebrada La Molinilla (N:1.279.751, E:1.085.505, Z:527). Nótese en los metros cuspidales de la Formación La Paja un conjunto intermedio que genera resalte (esquina inferior izquierda), similar en litología y presentación a las rocas basales de la Formación Tablazo.

Posición cronoestratigráfica

Por Fernando Etayo-Serna

El segmento estratigráfico I representa parte del piso Barremiano: Zona de *Nicklesia dumasiana* y Subzona de *Gerhardtia provincialis*; las Zonas superiores del Barremiano no están representadas, ni las Zonas basales del Aptiano inferior.

La base del segmento II (Intervalo A) incluye representantes de los géneros de amonitas *Procheloniceras* y *Cheloniceras*, que en la bioestratigrafía conocida del Cretácico de Colombia indicarían la parte alta del Aptiano inferior. Los intervalos B y C representarían la parte superior del Aptiano inferior. El Intervalo E (conjuntos 1 y 2), por registrar la presencia de *Dufrenoyia* se toma como base del Aptiano superior; el resto del intervalo E, así como el segmento III, representaría el Aptiano superior.

El segmento IV y la parte inferior del segmento V (base del intervalo estratigráfico J), por la presencia de *Riedelites* y *Stoyanowiceras*, representarían el techo del Aptiano superior. Los intervalos J, K y L del segmento V representarían el Albiano inferior, por la presencia de *Douvilleiceras* y *Neodeshayesites*.

Ambientes de depósito

En la sección tipo de la Formación La Paja la base misma está cubierta (3 m). Sin embargo, los primeros estratos fueron estudiados en la región de Los Santos (hacia las minas El Carrancho), allí, estos estratos se depositan sobre un paleosuelo reportado en la Formación Rosa Blanca por Etayo-Serna y Guzmán (2019); en el metro basal de la Formación La Paja se reconocen láminas de calizas *mudstone* de tonos grises y rojizos, además de yesos, lo que sugiere hacia el oriente de la sección tipo condiciones tipo *sabkha*. González y Espinosa (2012) reportan la presencia de sales de potasio producidas en un ambiente evaporítico.

En la sección tipo, desde los primeros metros se observa alternancia entre un elemento litológico blando y un elemento litológico duro.

En los diferentes segmentos estratigráficos el elemento litológico blando corresponde a *mudstone* calcáreos con materia orgánica, y en él se reconoce una textura porosa (tamiz), que se interpreta como tapices microbiales que inducen la mineralización por medio de la precipitación de carbonato de calcio. Este proceso se conoce como *biomineralización* (Stal, Gemerden y Krumbein 1985; Krumbein et al. 2003), que permite la litificación de los tapices microbiales —microbialitas— (Burne y Moore 1987; Noffke y Awramik 2013). Según Bose y Chafetz (2009), los tapices microbiales se conservan en ambientes desde intermareales hasta supramareales inferiores.

El elemento litológico duro (genera saliente en el perfil topográfico) corresponde a una caliza *mudstone*, que siempre presenta recristalización en varios grados. El grado más alto no permite diferenciar texturas originales, pero en el grado más bajo se observan interlaminaciones claras y oscuras, estas últimas con las mismas características petrográficas de los *mudstone* calcáreos con materia orgánica, mientras que las láminas claras son cuerpos laminares ondulados y con formas de techos agudos, internamente constituidos por un agregado de cristales de calcita; respuesta a la recristalización.

Esta alternancia de láminas claras y oscuras se ha interpretado de la siguiente manera: las láminas oscuras son tapices microbiales litificados bajo el nivel del agua, mientras que las láminas claras representan la recristalización de los tapices microbiales en condiciones subaéreas, es decir, cuando el nivel del agua retrocede, las superficies quedan expuestas y se recristalizan. Esta situación es frecuente en zonas supramareales (**fig. 95**). Esta interpretación microscópica puede ser similar a las características macroscópicas observadas, es decir, la alternancia de los elementos litológicos blandos y duros, indicarían oscilaciones marginales del nivel del mar.

La presencia abundante de cuerpos con formas de intraclastos, peloidales y láminas discontinuas de estructuras algáceas (*Dasycladaceas*), que pululan a profundidades de aguas

marinas de menos 10 m (Berger 2006), sugieren que los estratos que contienen estas algas se formaron en ambientes someros, de intermareales a supramareales. También se observan cuerpos circulares que se han interpretado como órganos reproductores de grupos de algas?

En la petrografía se observaron cristales euhedrales cúbicos reemplazados por yeso y calcita, así como cristales dispuestos a modo de tolva, lo que recuerda la precipitación de cristales de sal llamados *hopper cristal* en salmueras (Robertson 1991).

En el segmento II continúa la alternancia de los dos elementos litológicos, y entre los *mudstone* es posible reconocer algunas características que permiten inferir ambientes costeros a supramareales:

a) Yesos con dos presentaciones: nodulares resedimentados que conforman láminas muy delgadas, o yeso en láminas que alternan con láminas de materia orgánica (véase Noffke et al. 1996 y Warren 2006).

b) Lentes y láminas de calcita fibrosa que indican exposición de tapices desecados de algas (Horodysky, Bloeser y Vonder Haar 1977), luego reemplazados por calcita fibrosa (Forero y Sarmiento 1984). Al desecarse, los cuerpos microbiales forman pequeños montículos que, al ser cortados, van a producir una forma plano-convexa (lentes).

c) Estructuras centimétricas a modo de cúpulas generadas por el ascenso de burbujas de gases producidos en los tapices microbiales (Bose y Chafetz 2009).

La asociación de las características enunciadas sugiere, para las rocas de los segmentos I y II, medios de depósito supramareales a intermareales-submareales (**fig. 95**).

En los segmentos III y V persisten los *mudstone* (elemento blando) con las siguientes características: **a)** tapices microbiales con materia orgánica; **b)** presencia de elementos reproductores de algas?, y **c)** quistes dinoflagelados calcáreos (Reháková 2000).

La presencia de los minerales del grupo de las arcillas y su fino hábito micáceo sugiere acción eólica que favoreció su adherencia a los tapices microbiales como una superficie abiótica (Konhauser 1998).

Las calizas *mudstone* (elemento duro) son similares a las calizas *mudstone* de los segmentos inferiores, tanto a nivel macroscópico como microscópico. Además, se observan rosetas de anhídrita calcificadas que se producen en depósitos de ambientes supramareales (Flügel 2010).

En el segmento IV, el intervalo I3, destaca porque en su parte inferior presenta laminación plano paralela, las rocas están recrystalizadas, hay presencia de ostrácodos, quistes de dinoflagelados calcáreos y órganos reproductoras de algas, características que sugieren ambientes intermareales a supramareales. En la parte superior la bioturbación se da por raicillas que destruyen la laminación, lo que sugiere ambientes cercanos a la exposición subaérea (Kristensen y Rabenhorst 2015).

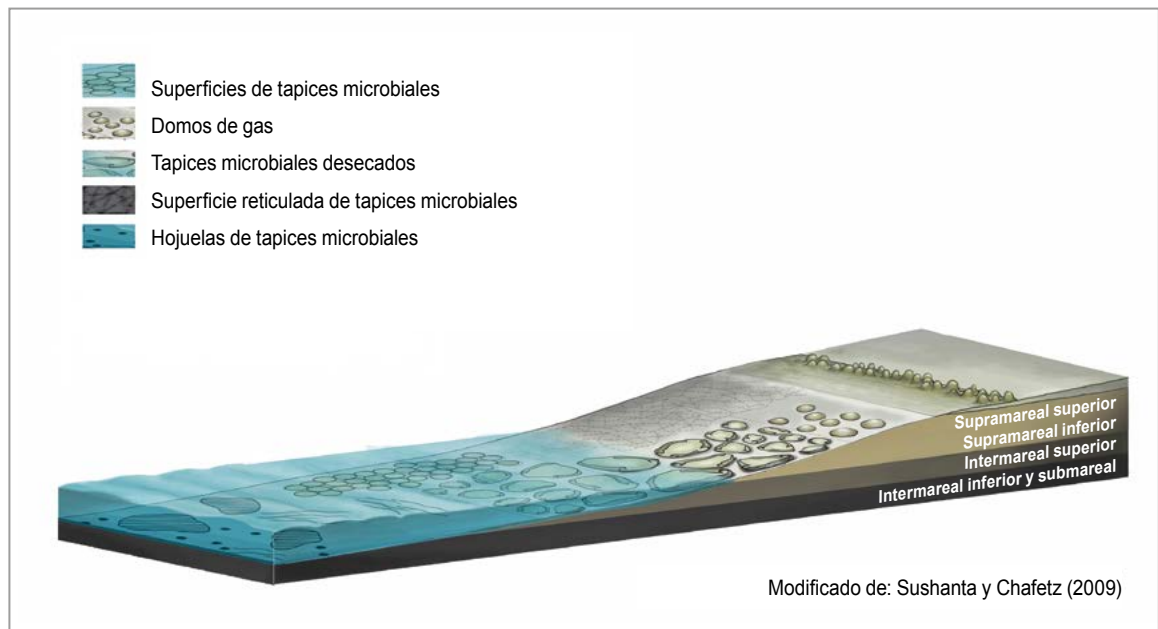


Figura 95. Diagrama esquemático que ilustra el medio de depósito de la Formación La Paja. Los *mudstone* calcáreos con materia orgánica (*bindstone* con materia orgánica) se formarían en la región intermareal superior; la recrystalización de estos para formar calizas *mudstone* (*bindstone* recrystalizados) se haría en las regiones intermareal superior a supramareal inferior. La presencia de lentes y láminas de calcita fibrosa que corresponden a cortes verticales de tapices microbiales desecados (*mat-crack polygon*) y las superficies de domos de gases (*sieve-like surface*) tendrían su desarrollo en las regiones ubicadas desde intermareal superior a supramareal inferior.

En los *mudstone* presentes en la totalidad de la Formación La Paja destaca la presencia de materia orgánica y de hidrocarburos que rellenan espacios intersticiales.

En relación con la materia orgánica para un intervalo Aptiano inferior, Gaona, Florentin y Etayo-Serna (2013) en la región de Curití, con base en isótopos estables de C y O, reportan contenidos altos de materia orgánica asociados al nivel de anoxia denominado *OAE-1a*.

La presencia constante de materia orgánica en las rocas de esta formación y la asociación de esta con los tapices microbiales sugieren que la Formación La Paja es una potencial roca generadora de hidrocarburos.

Sección estratigráfica detallada de la Formación La Paja. Sección tipo (quebrada La Paja)

En orden ascendente.

Espesor (m)..... Espesor acumulado (m)

Formación Rosa Blanca

Capas cuspidales

Wackestone calcáreo de bivalvos con tamaños de 4-6 cm, grises (N7-N8), en capa muy gruesa plana paralela (fig. 96).

1,2 m 1,2 m

Packstone calcáreo de bivalvos con tamaños de 1-2 cm, de color gris (N4), en capas muy gruesas, plana paralela (fig. 96).

1,2 m 2,4 m

Wackestone calcáreo de bivalvos con tamaños de 1-2 cm, de color gris (N7-N8), en capa muy gruesa, plana paralela (fig. 96).

1,6 m 4 m

Formación La Paja. Sección tipo

Véase el anexo 2 (columna estratigráfica)

Segmento estratigráfico I (0-73 m)

Tramo cubierto 1. Incluye las capas basales de la Formación La Paja.

3 m 3 m

Siguen calizas *mudstone* grises oscuras (N3), en capas desde gruesas hasta medianas, planas paralelas; a veces sus bases tienen ondulaciones. Estas rocas generan resalte en el perfil topográfico; se intercalan con *mudstone* calcáreos grises oscuros (N3), en capas medianas que dibujan entradas en el perfil topográfico (fig. 97).

2,4 m 5,4 m



Figura 96. A) Capas cuspidales de la Formación Rosa Blanca. *Packstone* y *wackestone* de bivalvos con textura de guijo. Afloramiento ubicado en la orilla sur del río Sogamoso, a 156 metros al este de la desembocadura de la quebrada La Paja (Δ116). B) El bivalvo corresponde a *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842 *sensu* Dietrich 1938).



Figura 97. Primer afloramiento de la Formación La Paja en la sección tipo. Alternancias de calizas *mudstone* con capas de formas planas paralelas, separadas por *mudstone* calcáreos con materia orgánica (metro 9-11).

Tramo cubierto 2

3,5 m **8,9 m**
 Sigue caliza *mudstone* gris oscura (N3), en capa gruesa con forma plana paralela.

40 cm **9,3 m**

Mudstone calcáreo gris oscuro (N3), con laminación plana paralela, en capa delgada con forma plana paralela.

10 cm **9,4 m**

Caliza *mudstone* gris oscura (N3), con laminación plana paralela, en capa gruesa con su base ondulosa. En el microscopio (**dma 5196**) se ve que está constituida por fragmentos de textura fina de microbialitas. (**fig. 18**).

60 cm **10 m**

Mudstone calcáreo gris oscuro (N3), con laminación plana paralela, en capa delgada con forma plana paralela.

10 cm **10,1 m**

Caliza *mudstone* gris oscura (N3), en capa gruesa con forma plana paralela.

40 cm **10,5 m**

Mudstone calcáreo gris oscuro (N3), con laminación plano paralela, con concreciones calcáreas elipsoidales e irregulares y ϕ máximo de 30 cm, en el que se encontraron amonitas en volumen (**dma 5199**).

70 cm **11,2 m**

Tramo Cubierto 3

39 m **50,2 m**

Siguen *mudstone* calcáreos con materia orgánica, con laminación plana paralela, de color gris oscuro (N3). Se observan fragmentos de material vegetal y hay yeso secundario superficial (**fig. 97**). En el microscopio (**dma 5020**) se identifica como *bindstone* con materia orgánica (microbialitas), con peloides de algas *Dasycladaceas* (**fig. 21**).

40 cm **50,6 m**

Caliza *mudstone* gris oscura (N3), compacta, en capa gruesa, con su base plano paralela y su techo con engrosamientos y adelgazamientos, a modo de montículos unidos (**figs. 98 y 99**). En el techo aparecen fracturas rellenas de calcita dispuestas en echelon con dirección E-W. En el microscopio (**dma 5021**), se identifica como *bindstone* con recristalización (microbialita recristalizada) (**fig. 22**).

1 m **51,6 m**

Mudstone calcáreo gris oscuro (N3), con materia orgánica y laminación plano paralela.

10 cm **51,7 m**

Caliza *mudstone* gris (N3), en capa que muestra en su base y techo adelgazamientos y engrosamientos, y define una capa



Figura 98. *Mudstone* calcáreo con materia orgánica localizado por debajo de la línea amarilla discontinua; por encima de la misma se presenta una caliza *mudstone* en la que el techo tiene engrosamiento y adelgazamiento, lo que define una capa tipo montículo (metro 51-52).



Figura 99. Aspecto general de las formas que presentan las capas de calizas *mudstone*. La 1 y la 2 muestran engrosamiento y adelgazamiento (montículos), y la 3 es una capa con forma plano-paralela (metro 51-53, Δ98).

con forma de nódulos unidos (montículos), con las siguientes dimensiones: largo: 2 m, ancho: 70 cm, y grosor: 2 m.

70 cm **52,4 m**

Caliza *mudstone* maciza, gris oscura (N3), en capa gruesa, con forma plana paralela.

35 cm **52,75 m**

Mudstone calcáreo gris oscuro (N3), con materia orgánica y laminación plano paralela. Hay presencia de bivalvos, amonitas y restos de peces (dientes de tiburón).

1,2 m **53,95 m**

Tramo cubierto 4

19 m **73 m**

Nota: en las figuras, la flecha indica la posición de la muestra con sección delgada.

Segmento estratigráfico II (73-116 m)

Intervalo estratigráfico A (73-80 m)

Mudstone calcáreo con materia orgánica, con laminación plana paralela, color gris oscuro (N3-N4), en capa mediana,

de forma plana paralela, con concreciones calcáreas elipsoidales, redondeadas e irregulares, con ϕ máximo de 20 cm.

40 cm 73,4 m

Caliza *mudstone* gris en paquete de 40 cm que genera resalte en el perfil topográfico (fig. 100), integrada por capas medianas y delgadas, planas paralelas, con laminación plana paralela. Hay amonitas y bivalvos como impresiones sobre las superficies de estratificación (S_0). En el microscopio (dma 5023), se identifica como un *bindstone* (microbialita) con recristalización en un grado bajo, en donde se preserva la laminación original. Alternan conjuntos de láminas claras y oscuras; además, hay peloides e intraclastos con restos de algas *Dasycladaceas* (fig. 26).

50 cm 73,9 m

Mudstone calcáreo con materia orgánica, de color gris, con laminación plana paralela (figs. 100 y 101); se observan

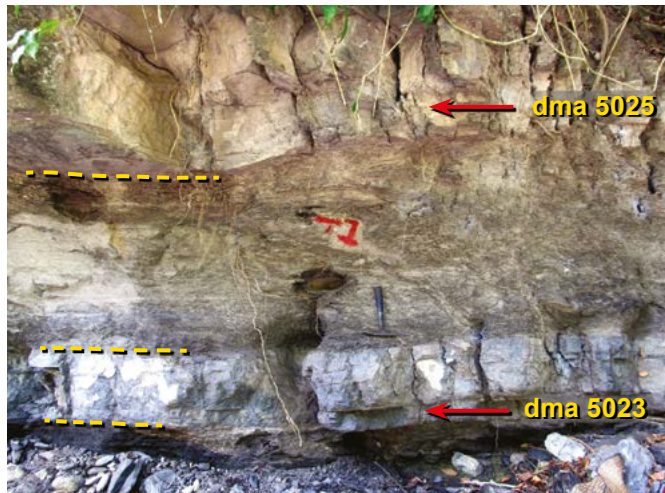


Figura 100. Intercalaciones de calizas *mudstone* en capas gruesas que generan resalte en el perfil topográfico, con *mudstone* calcáreos con materia orgánica en un intervalo de hasta 1.20 m. Se observan espacios dejados por las concreciones calcáreas (metro 73-77).

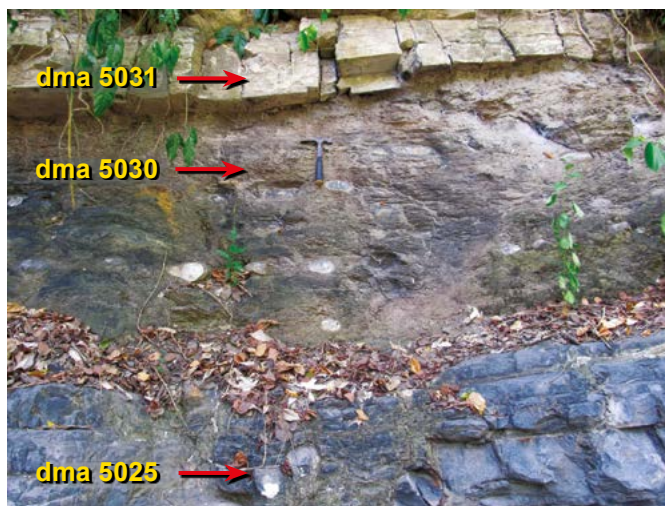


Figura 101. *Mudstone* calcáreo con materia orgánica entre calizas *mudstone*. Nótese en la capa inferior la superficie superior con adelgazamientos y engrosamientos que generan montículos (metro 76-78).

concreciones calcáreas elipsoidales e irregulares, con ϕ máximo entre 20 cm y 25 cm, y suelen contener amonitas. Hay presencia de lentes de calcita fibrosa.

1,20 m 75,1 m

Caliza en capa gruesa; muestra ensanchamiento y adelgazamiento y adquiere un aspecto tipo montículo (fig. 100); tiene laminación muy fina, ondulosa, en ocasiones dentellada. Esta capa varía lateralmente a un *mudstone* calcáreo con materia orgánica (fig. 27). Hay presencia de concreciones calcáreas con ϕ máximo entre 20 cm y 25 cm. En el microscopio (dma 5025) es un *bindstone* recristalizado (microbialita recristalizada) (fig. 28) con grado de recristalización medio.

90 cm 76 m

Mudstone calcáreos con materia orgánica, de tono gris oscuro (N3), con laminación plana paralela. Son ricos en concreciones calcáreas de formas elipsoidales e irregulares (figs. 101 y 102), con ϕ máximo de 20-25 cm; contienen amonitas y bivalvos en volumen, en ocasiones piritizados. Por la variación litológica que tiene la capa infrayacente, de caliza *mudstone* a un *mudstone* calcáreo con materia orgánica, se conforma lateralmente un paquete que alcanza un espesor de 3 m. En el microscopio (dma 5030) se identifica como un *bindstone* con materia orgánica (microbialita) (fig. 23); se observan



Figura 102. (A) *Mudstone* calcáreos con materia orgánica en alternancias con calizas *mudstone* en capas delgadas a medianas (metro 77-82). (B) Detalle donde destacan concreciones calcáreas elipsoidales y subsféricas del techo del intervalo estratigráfico A (metro 78).

láminas irregulares de restos de algas *Dasycladaceas* y cristales de yeso que reemplazan la halita.

1,1 m 77,1 m

Caliza *wackestone* gris oscura (N3), en una capa media con adelgazamiento y engrosamiento (fig. 101), que adquiere forma de montículo. En el microscopio (dma 5031) se identifica como *bindstone* recristalizado —microbialita— (fig. 29) con grado de recristalización medio y lentes de restos de algas *Dasycladaceas*.

40 cm 77,5 m

Mudstone calcáreos con materia orgánica, laminados, tono gris oscuro (N5), compactos. Es notoria la presencia de concreciones calcáreas ricas en amonitas, con ϕ máximo desde 10 cm hasta 30 cm; tienen formas elipsoidales, subesféricas e irregulares (fig. 102). Hay presencia de lentes de calcita fibrosa.

3 m 80,5 m

Intervalo estratigráfico B (80-86 m)

Mudstone arcilloso calcáreo con materia orgánica, en paquetes de hasta 60 cm, con laminación plana paralela y de colores grises oscuros (N5). Alternan con esporádicas calizas *mudstone* gris oscuro (N5), en capas delgadas con formas plano paralelas (fig. 103). La presencia de concreciones cal-



Figura 103. (A) *Mudstone* calcáreos grises con materia orgánica. (B) Detalle de la laminación plana-paralela resaltada por tonos gris oscuro (N3) y gris claro (N5) (metro 83).

cáreas elipsoidales es menor, con ϕ máximo entre 10 cm y 15 cm. En ocasiones, en el núcleo de ellas hay restos de troncos de madera. Hay presencia de lentes de calcita fibrosa.

4,5 m 85 m

Tramo cubierto 5

1 m 86 m

Intervalo estratigráfico C (86-91 m)

Mudstone calcáreos arcillosos con materia orgánica, grises oscuros (N3), con laminación plana paralela; destaca la presencia de lentes y láminas de calcita fibrosa, paralelas a la estratificación, de hasta 3 cm de grosor y con longitudes entre 3 cm y 6 cm (fig. 104).

1,2 m 87,2 m

Caliza *mudstone* gris oscura (N3), con a) lentes y láminas de calcita fibrosa paralelas a la estratificación, y b) concentraciones de nódulos de yesos alineados que conforman una franja de 2 cm de espesor (fig. 104).

30 cm 87,5 m

Mudstone calcáreos arcillosos con materia orgánica, grises oscuros (N3), con lentes y láminas de calcita fibrosa (fig. 104).

40 cm 87,9 m



Figura 104. *Mudstone* calcáreos arcillosos con materia orgánica separados por caliza *mudstone* en capa con adelgazamiento y engrosamiento, que dibujan montículos. Hay presencia de lentes y láminas de calcita fibrosa (señaladas por flechas amarillas superiores) y una franja de yesos nodulares señalada por flechas amarillas inferiores (antigua confluencia del camino que partía del puente El Tablazo hacia la quebrada La Paja, hoy en día inundado) (metro 87-89, Δ85).

Caliza *mudstone* en capa que muestra adelgazamientos y engrosamientos, que producen nódulos unidos a modo de montículos (fig. 105), cuyas dimensiones mayores observadas son estas: largo, 5 m; profundidad, 2,7 m; grosor, 1 m. Está compuesta por alternancias de dos conjuntos: (I) conjuntos de láminas medianas de aspecto homogéneo, de color gris claro (N6), y (II) conjuntos de láminas medianas conformadas por láminas muy delgadas, ligeramente onduladas, de colores gris muy claro (N8), gris rosado naranja (5YR 7/2) y gris oscuro (N3) (fig. 105). En el microscopio, el conjunto de láminas homogéneas (I) (dma 4889) se identifica como



Figura 105. A) Caliza *mudstone* laminada con forma de montículo (metro 88-90). **B)** Detalle de la figura A; nótese el conjunto de láminas homogéneas ligeramente ondulosas de color gris claro (N8) y los conjuntos de lámina de colores grises oscuros (N4) y grises rosado naranja (5YR 7/2).

bindstone recristalizado, y en el conjunto de láminas de varios colores (II) (**dma 4990**) se reconocen *bindstone* con materia orgánica con texturas originales (tonos oscuros) y *bindstone* recristalizados (tonos grises claros) (**fig. 37**).

1 m 88,9 m

Mudstone calcáreos arcillosos con materia orgánica, grises oscuros (N3), laminados (**fig. 106**). Destaca la presencia de lentes y láminas de calcita fibrosa (**fig. 107**); estas formas se han interpretado como tapices microbiales desecados. En vista de planta resaltan cuerpos discoidales a modo de cúpula (domos de gases), acompañados por agregados de cristales de yeso secundarios superficiales que dibujan círculos o rosetas. Las concreciones calcáreas tienen formas elipsoidales y de trompo, con dimensiones de ϕ máximo de 12, 20 y 30 cm, que se presentan hacia la parte superior de esta capa. Con la lupa se observan foraminíferos planctónicos. En el microscopio se identifican como *bindstone* con materia orgánica y arcillas (**dma 4993**) (**figs. 34 y 35**).

2,2 m 91,1 m



Figura 106. *Mudstone* calcáreos arcillosos con materia orgánica (metro 90-93), cuyo espesor corresponde a la altura del geólogo.



Figura 107. A) *Mudstone* calcáreos arcillosos con lentes y láminas de calcita fibrosa (tapices microbiales desecados). **B)** *Mudstone* calcáreos con materia orgánica y lentes de calcita fibrosa rodeando la concreción (metro 90).

Intervalo estratigráfico D (91-92 m)

Calizas *mudstone* grises oscuras (N4), en capas delgadas y medianas, con formas que van desde planas paralelas a suavemente onduladas (**fig. 108**), intercaladas con capas delgadas de *mudstone* calcáreos arcillosos. Forman un paquete que sobresale en el cauce de la quebrada. Son frecuentes las concreciones calcáreas elipsoidales y esferoidales, con diámetro de ϕ mayor, entre 10 y 30 cm (**fig. 109**), y en ellas son comunes las amonitas en volumen. En el microscopio (**dma 4996**) se identifican como *bindstone* con materia orgánica (microbialita), con recristalización incipiente y abundante presencia de foraminíferos planctónicos (**fig. 40**).

1 m 92,1 m

En el metro 92, y restringida a esta parte de la secuencia estratigráfica, la sucesión aparece afectada por una pequeña falla inversa con desplazamiento de 2 m en el eje de una estructura anticlinal.



Figura 108. (A) Intervalo estratigráfico D. Son calizas *mudstone* en capas delgadas separadas por láminas de *mudstone* calcáreos con materia orgánica (metro 90-92). (B) Con mayor detalle se observan las calizas *mudstone* en capas delgadas alternadas con *mudstone* calcáreos con materia orgánica en láminas.



Figura 109. Concreciones calcáreas elipsoidales con ϕ de 30 cm (metro 91-92).

Intervalo estratigráfico E (92-116 m)

Conjunto E1 (92-99 m)

Mudstone calcáreos con materia orgánica, grises oscuros (N3-N5), con laminación plano paralela y presencia abundante de cristales de yeso secundarios superficiales que forman rosetas. Alternan con capas muy delgadas de calizas *mudstone* grises oscuras (N3). Las concreciones calcáreas son elipsoidales con diámetro ϕ de 12 cm.

1,50 m 93,5 m

Tramo cubierto 6

2,5 m 96 m

Mudstone calcáreos con materia orgánica, grises oscuros (N3, N5) (**fig. 110**). Hay presencia de lentes de caliza fibrosa; además, hacia el tope abundan cristales de yeso secundarios superficiales en forma de rosetas. Concreciones calcáreas de formas elipsoidales con ϕ máximo entre 15 cm y 30 cm.

2,8 m 98,8 m



Figura 110. *Mudstone* calcáreos con materia orgánica del Conjunto E (metro 97-100, $\Delta 81-\Delta 79$).

Conjunto E2 (99-102 m)

Caliza *mudstone* que sobresale en el afloramiento por formar saliente. Es una capa gruesa con forma plano paralela, compuesta por un conjunto de láminas gruesas de caliza *mudstone* gris clara (N6) y *mudstone* calcáreo laminado con materia orgánica, gris oscuro (N2); estas estructuras se interpretan como biogénicas de tipo tapices microbiales.

60 cm **99,4 m**

Mudstone calcáreos con materia orgánica grises oscuros (N3) (**dma 5005**). En el microscopio se trata de *bindstone* con materia orgánica (**fig. 42**). En afloramiento hay presencia de **a)** lentes de calcita fibrosa; **b)** laminación plana paralela muy fina de colores grises (N3-N5), amarillos pálidos 10YR 8/6) y verdosos (5GY 7/2) (**dma 5006**) (**fig. 111**); y **c)** cristales de yeso superficiales de color blanco (secundario), asociados a formas de cúpulas (domos de gases) (**fig. 112**). En el microscopio (**dma 5006**), las láminas de colores grises son de materia orgánica asociada a pirita, mientras que las láminas pardas y amarillentas están constituidas por cristales de yeso que crecen de modo perpendicular a S_0 . (**fig. 45**).

1,2 m **100,6 m**

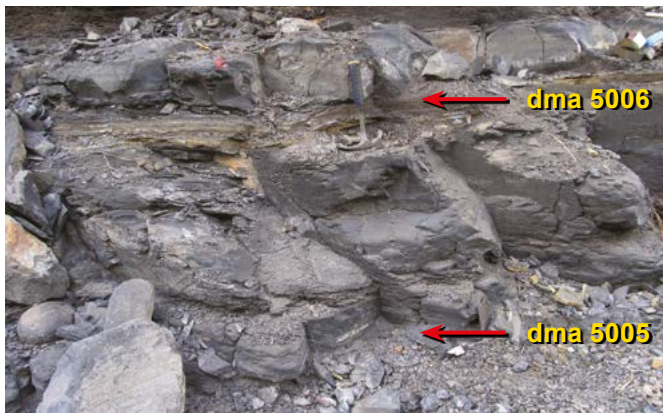


Figura 111. Conjunto E2. Caliza *mudstone* en capa mediana hacia la parte superior. Infrayéndola se observa *mudstone* calcáreo con materia orgánica. Obsérvense en la parte superior láminas de colores grises, amarillos pardos y verdes (metro 99-101, Δ81-Δ79).



Figura 112. Cristales de yeso que recubren cuerpos circulares. Son cúpulas producidas por ascenso de burbujas de gas (metro 100).

Caliza *mudstone* gris clara (N6) en una capa delgada con forma plana paralela (**fig. 113**).

20 cm **100,8 m**

Mudstone calcáreo gris oscuro con láminas plano paralelas y con lentes de calcita fibrosa.

20 cm **101 m**

Caliza *mudstone* gris oscura (N3), en una capa delgada de forma arrosariada.

15 cm **101,15 m**

Mudstone calcáreo arcilloso, laminado, gris oscuro (N3) (**fig. 113**). Hay presencia de lentes y láminas de calcita fibrosa, además de agregados de cristales de yeso secundarios a modo de rosetas, de color blanco, superficiales.

65 cm **101,70 m**

Caliza *mudstone* que sobresale en el afloramiento por formar un resalte en el perfil topográfico: es una capa gruesa con adelgazamientos y engrosamiento, compuesta por conjuntos de láminas ligeramente onduladas, en ocasiones dentelladas, de caliza *mudstone* laminadas de color gris oscuro (N4) y calizas *mudstone* homogéneas de color gris claro (N7). Estas estructuras se interpretan como biogénicas de tipo tapices microbiales (**fig. 113**). Hay presencia de concreciones calcáreas ricas en amonitas, alineadas con la inclinación de la estratificación.

40 cm **102,1 m**



Figura 113. *Mudstone* calcáreos con materia orgánica, grises, laminados, con presencia de lentes y láminas de calcita fibrosa (metro 100-102); alternan con capas delgadas de caliza *mudstone* de forma arrosariada.

Conjunto E3 (102-116 m)

Mudstone calcáreos con materia orgánica, grises oscuro (N5) (**fig. 114**), con láminas y lentes de calcita fibrosa (**fig. 115**). Se intercalan con calizas *mudstone* en esporádicas capas delgadas que en ocasiones se adelgazán y adquieren un aspecto arrosariado. Las concreciones calcáreas son elipsoi-



Figura 114. Conjunto E. Tanto la parte inferior como la superior están compuestas por *mudstone* calcáreos con materia orgánica y presencia de lentes y láminas de calcita fibrosa (señaladas por flechas amarillas); la capa que da resalte en la parte inferior de la fotografía es una caliza *mudstone* con laminación plana-paralela, que destaca por los tonos gris oscuro (N4) y gris claro (N7), similares a capas conformadas por tapices microbiales (metro 101-104 m).



Figura 115. *Mudstone* calcáreos grises oscuros con lentes de calcita fibrosa (metro 110).

dales con ϕ máximo de 30 cm, alineadas, paralelas a S_0 ; al partirlas despiden fuerte olor a hidrocarburos.

6,7 m 108,8 m

Mudstone calcáreos con materia orgánica, grises oscuros (N3), con laminación plana paralela (fig. 116). Hay presencia de lentes y láminas de calcita fibrosa, así como agregados de cristales de yeso secundarios superficiales, de color blanco, a modo de coronas (rosetas). Las concreciones calcáreas son esferoidales, discoidales o irregulares, con ϕ entre 15 cm y 30 cm (figs. 116 y 117). Las amonitas son abundantes en las concreciones calcáreas y en la roca. En el microscopio (dma 4965) se identifican como *bindstone* con materia orgánica. Hay peloides de micrita e hidrocarburos relleno de espacios intersticiales (fig. 51).

3,6 m 112,4 m

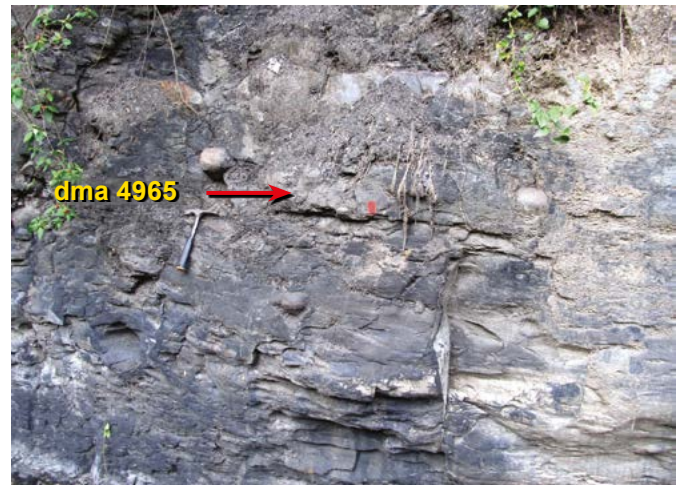


Figura 116. *Mudstone* calcáreos con materia orgánica, grises oscuros (N2), con presencia de concreciones calcáreas elipsoidales (metro 112-114).



Figura 117. *Mudstone* calcáreo con materia orgánica y concreciones calcáreas elipsoidales (metro 112-113). Obsérvese la caliza *mudstone* con contacto inferior dentellado.

Caliza *mudstone* gris (N4) en capa mediana; el techo de la capa es plano paralelo y la base tiene contorno dentellado (fig. 117). Se observan restos de materia vegetal, además de concreciones calcáreas irregulares, en ocasiones ricas en amonitas. En el microscopio, (dma 4967) se identifica como un *bindstone* recristalizado con bioclastos (fig. 54). Los fragmentos están dispuestos en varias orientaciones.

25 cm 112,65 m

Mudstone calcáreos con materia orgánica, con laminación plana paralela (fig. 118). Se observan láminas negras (N1), grises (N3) y blancas (N9); persisten las láminas y lentes de calcita fibrosa, impresiones de amonitas y bivalvos, en ocasiones piritizados. También hay presencia de concreciones calcáreas discoidales con ϕ máximo de 6 cm, que se encuentran alineadas. En el microscopio (dma 4975), los *mudstone* calcáreos se identifican como *bindstone* con materia orgánica, conformados por láminas gruesas y delgadas, con presencia de hidrocarburos y peloides de micrita (fig. 52).

1,20 m 113,85 m

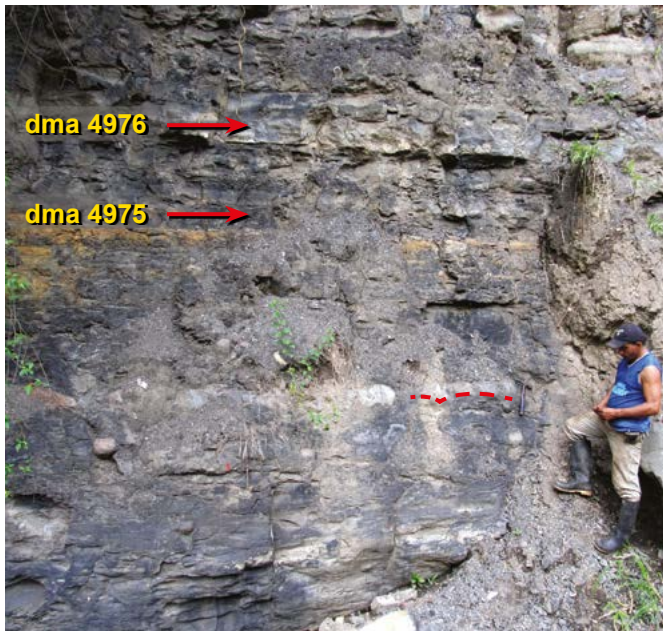


Figura 118. *Mudstone* calcáreos con materia orgánica en intervalos de hasta 1.40 m. Alternan con calizas *mudstone* que resaltan en el perfil topográfico y en ocasiones tienen contacto inferior dentellado (línea roja punteada) (metro 112-114).

Caliza *mudstone* gris oscura (N3), en capa delgada, plana paralela, que por sectores se adelgaza y engrosa y presenta su contacto superior dentellado. Hay concreciones calcáreas irregulares y esferoidales con ϕ entre 9 cm y 30 cm (fig. 119). En el microscopio (dma 4976), es un *bindstone* con recristalización, de tipo bajo, que preserva la laminación (fig. 55).

30 cm 114,15 m

Mudstone calcáreos con materia orgánica, grises oscuros (N3), con láminas y lentes de calcita fibrosa; tiene concreciones calcáreas discoidales con ϕ máximo entre 20 cm y 30 cm.

1,7 m 115,9 m



Figura 119. *Mudstone* calcáreos grises oscuros con laminación plano-paralela. Alternan con capas delgadas a medianas de caliza *mudstone* gris clara (metro 113-117).

Caliza *mudstone* gris oscura (N3), con adelgazamientos y engrosamientos hasta producir una capa arrosariada. En la superficie superior hay concreciones calcáreas con formas entre irregulares y esferoidales (fig. 120).

30 cm 116,2 m



Figura 120. Concreciones calcáreas entre irregulares y esferoidales (metro 116).

Segmento estratigráfico III (116-193 m)

Intervalo estratigráfico F (116-119 m)

Mudstone arcillosos calcáreos con materia orgánica, laminación plana paralela, de color gris oscuro (N3) (fig. 121).

1,2 m 117,4 m

Caliza *mudstone* gris oscura (N3), en capa gruesa, con forma plano paralela, que lateralmente se engrosa y adelgaza hasta adquirir forma de montículos. En el microscopio (dma 4979), se identifica como *bindstone* (microbialita) (fig. 56).

40 cm 117,8 m

Mudstone arcillosos calcáreos de colores grises (N3), con laminación plano paralela, con concreciones calcáreas elongadas cuyo ϕ máximo varía entre 30 cm y 40 cm (fig. 121). En la parte inferior también se presentan concreciones calcáreas esféricas, con formas de peonza e irregulares, con ϕ máximo de 70 cm.

13 m 119,1 m



Figura 121. *Mudstone* arcillosos calcáreos con concreciones calcáreas de gran tamaño. Longitud máxima: 70 cm (metro 116-118 Δ 74- Δ 75).

Intervalo estratigráfico G (119-175 m)

Incluye el *tramo cubierto 7*

56 m 175 m

Intervalo estratigráfico H (175-193 m)

Siguen *Mudstone* arcillosos con materia orgánica, grises (N4), con laminación plana paralela; contienen amonitas y bivalvos enteros o fragmentados, acumulados paralelos a S_0 ; hay cristales de yeso secundarios superficiales. En el microscopio se identifican como *bindstone* con arcilla y materia orgánica (microbialita) (dma 4907), con textura laminada y lenticular (fig. 58).

6 m 181 m

Mudstone arcillosos con materia orgánica, laminados, grises oscuros (N4); presentan yeso en cristales secundarios superficiales y concreciones calcáreas elipsoidales con ϕ mayor de 30 cm.

3 m 184 m

Mudstone arcillosos con materia orgánica grises oscuros (N4), en capas medianas y delgadas, finamente laminadas, deleznales, con presencia de yeso en cristales secundarios superficiales. Las rocas muestran deformación: bloques romboidales, cuya diagonal no es superior a 10 cm.

1,3 cm 185,3 m

Mudstone arcillosos con materia orgánica, calcáreos, grises oscuros (N4-N5), con abundantes amonitas, bivalvos y gasterópodos, en ocasiones piritizados. Se intercalan esporádicamente con calizas *mudstone* que se presentan en capas delgadas de aspecto arrosariado.

3 m 188,3 m

Mudstone arcillosos. Se observa deformación con repliegues y arreglo en bloques romboidales.

1 m 189,3 m

Mudstone arcillosos con materia orgánica grises oscuros (N3), levemente calcáreos, con laminación plana paralela, ricos en amonitas y bivalvos. Las concreciones calcáreas tienen ϕ máximo de 15 cm. También hay presencia de yeso en cristales secundarios superficiales. En el microscopio (dma 4915), es un *bindstone* con arcilla y materia orgánica (microbialita) (fig. 59).

3,7 m 193 m

Segmento estratigráfico IV (193-216 m)

Conjunto I1 (193-196 m)

Caliza *mudstone* de tonos gris oscuro (N3) y gris claro (N5), con laminación plana paralela; por meteorización adquiere tonos blancos (N8) y amarillos (10YR 8/2). Las láminas claras son muy finas, mientras que las oscuras son milimétricas.

30 cm 193,3 m

Caliza *mudstone* gris oscura (N3). En capa tiene adelgazamientos y engrosamientos y adquiere aspecto monticular (fig. 122). En los montículos, las láminas son planas, paralelas, delgadas y se destacan por su color blanco amarillento (10YR 8/2) y gris oscuro (N3). También se observan concreciones piritosas con dimensiones en ϕ máximo de hasta 35 cm. En el microscopio (dma 4918), es un *bindstone* laminado con recristalización incipiente (microbialita) (fig. 61).

30-60 cm 193,9 m



Figura 122. Conjunto I1. Alternancia de calizas *mudstone* laminadas en la parte baja del conjunto I1, mientras que en la margen derecha, aguas arriba, afloran las rocas de los conjuntos I2, I3 e I4 (metro 193-210. Δ 55- Δ 56).

Caliza *mudstone* gris oscura (N3), con laminación plana paralela resaltada por colores blancos (N8), amarillos (10YR 8/2) y grises (N3). Hay presencia de concreciones calcáreas, subesferoidales, con ϕ entre 2 cm y 10 cm. En el microscopio (**dma 4919**), se observa menor recristalización que en la roca que la infrayace. Se reconocen intervalos laminares; los claros se identifican como microbialitas y las láminas oscuras se identifican como tapices microbiales con arcilla adherida (**fig. 61**).

1,8 m 195,7 m

Conjunto I2 (196-201 m)

Tramo cubierto 8

60 cm 196,3 m

Mudstone arcillosos calcáreos con materia orgánica grises oscuros (N3), con laminación plana paralela, que se parten en esquirlas pequeñas. Concreciones calcáreas entre subesféricas y elipsoidales con ϕ máximo de 30 cm (**fig. 123**). En el microscopio (**dma 4927**) se identifican como *bindstone* con arcillas y materia orgánica (microbialita) (**fig. 63**). En este conjunto destacan dos calizas *mudstone* en capas delgadas, una de las cuales es lenticular con base dentellada, mientras la segunda presenta límites planos paralelos.

4,7 m 201 m



Figura 123. *Mudstone* arcillosos con fisibilidad fina en contacto con calizas *mudstone* del Conjunto I3, que se les superponen (metro 198-205).

Conjunto I3 (201-207 m)

Caliza *mudstone* en capa gruesa (35 cm), con forma plana paralela y laminación entre muy delgada y gruesa, acentuada por los colores: láminas gris claro-blancas (N8) y láminas grises (N4), que superficialmente presenta tono amarillo-naranja (10YR 6/6, 10YR 8/6). Pasa gradualmente a *mudstone* arcilloso calcáreo (**fig. 124**). En el microscopio las láminas oscuras (**dma 4931**) se identifican como *bindstone* con recristalización incipiente (microbialita), y las láminas de color claro se identifican como *bindstone* recristalizados (**fig. 65**).

60 cm..... 201,6 m

Mudstone arcillosos calcáreos con materia orgánica, grises oscuros (N2); en el microscopio (**dma 4932**), se identifican como *bindstone* con arcillas (microbialita) (**fig. 66**).

30 cm 201,9 m

Caliza *mudstone* gris oscura (N3), con laminación muy fina, plana paralela. Superficialmente adquiere tono amarillo-naranja (10YR 6/6, 10YR 8/6).

60 cm 202,5 m

Mudstone arcilloso calcáreo con materia orgánica, gris oscuro (N2), con láminas muy finas planas paralelas, que superficialmente toman color amarillo-naranja (10YR 6/6, 10YR 8/6).

60 cm 203,1 m

Caliza *mudstone* en capa gruesa con forma plana paralela, con laminación delgada a gruesa, acentuada por los colores: láminas blancas (N8) y láminas grises (N4). Superficialmente toman tono amarillo-naranja (10YR 6/6, 10YR 8/6) (**fig. 124**).

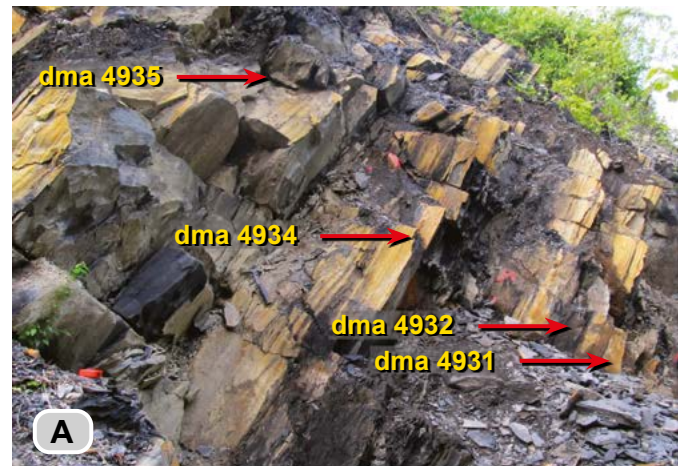


Figura 124. A) Calizas *mudstone* en capas gruesas y medianas separadas por *mudstone* calcáreos arcillosos con materia orgánica en capas medianas. Hacia la parte superior del afloramiento se observa una caliza *mudstone* bioturbada en capa muy gruesa (metro 200-205). **(B)** Detalle del paso de una caliza *mudstone* laminada a un *mudstone* arcilloso calcáreo laminado; la laminación es plano-paralela, está resaltada por tonos gris claro, blanco y gris oscuro; ambas rocas tienen una pátina amarillenta (metro 203).

En el microscopio (**dma 4934**) las láminas claras se identifican como *bindstone* recristalizados (microbialitas recristalizadas), y las láminas oscuras corresponden a *bindstone* con materia orgánica (microbialitas) (**fig. 65**).

90 cm 204, m

Caliza *mudstone* gris oscura (N2), en capa gruesa, con forma plano paralela; se observa bioturbación moderada con moteamiento y relictos de la laminación (**fig. 124**). En el microscopio (**dma 4935**), es un *bindstone* bioturbado con moteamiento indistinto (**fig. 67**).

1,5 m 205,5 m

Mudstone arcilloso calcáreo con materia orgánica, de tono gris oscuro (N2), con láminas muy finas, planas paralelas, que superficialmente tienen color amarillo-naranja (10YR 6/6, 10YR 8/6) y se parten en esquivras finas.

60 cm 206,1 m

Caliza *mudstone* gris oscura (N3). Superficialmente tiene coloración naranja-amarilla (10YR 6/6). Está constituida por tres capas medianas planas paralelas que forman un paquete. Presenta bioturbación entre moderada y alta. Bajo el microscopio (**dma 4936**), es un *bindstone* bioturbado.

90 cm 207 m

Conjunto I4 (207-216 m)

Mudstone arcillosos calcáreos con materia orgánica, de tonos grises oscuros (N2), con láminas muy finas planas paralelas y fina fisibilidad.

1,40 m 208,4 m

Caliza *mudstone* de color gris oscuro (N3), en capa mediana, con forma plana paralela, laminación fina y media, con venillas de calcita que la atraviesan. Bajo el microscopio (**dma 4937**), las láminas claras son *bindstone* con recristalización (microbialita recristalizada) (**fig. 68**), y las láminas oscuras son *bindstone* con materia orgánica y menor recristalización (microbialita).

30 cm 208,7 m

Mudstone arcillosos levemente calcáreos con materia orgánica, de tonos grises oscuros y laminación plana paralela.

1,3 m 210 m

Tramo cubierto 9

6 m 216 m

Segmento Estratigráfico V (216-288 m)

Intervalo estratigráfico J (216-255 m)

Mudstone arcillosos calcáreos, grises oscuros, con presencia de abundantes impresiones y restos de bivalvos y amonitas, además de hojuelas de moscovita de 1 mm.

20 cm 216,2 m

Caliza *mudstone* de color gris oscuro (N3), en capa mediana, plana paralela, que genera resalte en el perfil topográfico. Hay abundantes amonitas, bivalvos y gasterópodos dispuestos paralelamente a S_0 . Las concreciones calcáreas son irregulares, con ϕ de 10 a 60 cm. Superficialmente tiene coloración gris parduzca (5YR 4/1) (**fig. 125**). Bajo el microscopio, en (**dma 4821**), se observan remanentes de los tapices microbiales con arcilla adherida e interpuestos cristales de calcita neoformados a partir de rosetas de yeso (**fig. 78**).

20 cm 216,4 m



Figura 125. A) Capa mediana de caliza *mudstone* en cuya superficie superior se observan concreciones calcáreas de formas irregulares. B) Concreción elipsoidal con amonitas, bivalvos y gasterópodos (metro 216).

Mudstone arcillosos calcáreos con materia orgánica de color gris oscuro (N4-N3). Presentan concreciones calcáreas discoidales con ϕ de 30 cm. Hay presencia abundante de amonitas como impresiones sobre las superficies S_0 (**fig. 126**). Bajo el microscopio (**dma 4822**), se trata de *bindstone* con arcillas y materia orgánica (microbialita). Contiene abundantes fragmentos (hasta 5%) de terrígenos (cuarzo y moscovita) (**fig. 73**).

1,20 m 217,6 m



Figura 126. Intervalo de *mudstone* arcillosos calcáreos con materia orgánica (metros 217 a 225, Δ56).

Mudstone arcillosos calcáreos con materia orgánica, de tono gris oscuro (N4-N3), moscovíticas (menores de 1 mm) ricas en amonitas (**fig. 126**). Bajo el microscopio (**dma 4823**), se trata como *bindstone* con arcillas y materia orgánica (microbialita) (**fig. 71**), con texturas lenticular y pulverulenta.

3 m 220,6 m

Mudstone arcillosos calcáreos con materia orgánica. Se parten en esquiras alargadas, ricas en amonitas. Bajo el microscopio (**dma 4828**) se identifican como *bindstone* con arcillas y materia orgánica (microbialita), con texturas lenticular y pulverulentas.

1,5 m 222,1 m

Mudstone arcillosos calcáreos con materia orgánica, de tonos grises oscuros (N3), con laminación plana paralela (**fig. 127**) y presencia de concreciones calcáreas con formas elipsoidales, discoidales y de trompo, con ϕ de 60 a 20 cm, en ocasiones alineadas y están paralelas a la superficie S_0 . Se observa laminación mediana y gruesa, que está determinada por la composición, debido a la mayor o menor presencia de materia orgánica; así, se destacan láminas oscuras y claras. Cristales secundarios superficiales de yeso forman rosetas. En el microscopio (**dma 4829**), se identifican como *bindstone* con arcilla y materia orgánica (microbialita) con texturas pulverulenta y lenticular.

2,10 m 224,2 m



Figura 127. A) *Mudstone* arcillosos con materia orgánica (metros 220 a 225). **B)** Detalle del recuadro amarillo de la figura A, en donde resaltan las concreciones calcáreas elipsoidales. **C)** Detalle de la laminación y de una concreción calcárea con forma de trompo.

Caliza *mudstone* gris oscura (N3-N4). Por meteorización toma colores pardos (5YR 4/1). Forma una capa con superficies planas paralelas, aunque por sectores muestra engrosamientos y adelgazamientos que configuran montículos (fig. 128). Hay presencia abundante de impresiones de amonitas paralelas a S_0 .

60 cm 224,8 m

Mudstone arcilloso calcáreo con materia orgánica, de tonos grises oscuros (N5), con laminación plano paralela. Hay presencia abundante de amonitas a modo de impresiones. Las concreciones calcáreas son elipsoidales con ϕ de 15 cm. En el microscopio (dma 4833), se trata de *bindstone* con intervalos laminares: a) de tapices con arcilla adherida y textura laminada, y b) de tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina (figs. 75 y 76).

1,8 m 226,6 m



Figura 128. A) Capas de caliza *mudstone* (resaltan en el perfil topográfico) separadas por paquetes de *mudstone* arcillosos calcáreos con materia orgánica. Las capas de caliza se adelgazan, engrosan y adquieren aspecto de montículo. La capa superior de caliza *mudstone* cambia de monticular a plana-paralela (metros 224 a 228, $\Delta 53$). B) Molde de amonita en la superficie superior de la capa inferior con forma de montículo (metros 224 a 225).

Caliza *mudstone* gris oscura (N3) dispuesta en capa mediana a modo de montículos (fig. 128). Bajo el microscopio (dma 4836), es un *bindstone* con recristalización baja (microbilita recristalizada), en el que se reconoce la laminación original. Hay presencia de foraminíferos planctónicos con tamaños entre 100 y 150 μm (figs. 78 y 79).

40 cm 227 m

Mudstone arcillosos con materia orgánica, levemente calcáreos, de color gris oscuro (N4), con laminación delgada plana paralela, parte con forma de lápices y lajas. Hay presencia abundante de amonitas enteras o fragmentadas, y bivalvos sobre las superficies S_0 , que en vista de perfil se observan como lentes dentellados de color blanco (fig. 129). Hay concreciones calcáreas elipsoidales con ϕ de 15 cm. Se presentan cristales de yeso secundario con forma de roseta y pirita en lentes. Bajo el microscopio (dma 4841), se identifican como *bindstone* con arcillas y materia orgánica (microbilita) de textura laminar (fig. 74).

4,5 m 231,5 m



Figura 129. A) *Mudstone* arcillosos con materia orgánica, levemente calcáreos. Los restos de conchas de amonitas en corte se observan como rastros blanquecinos. B) Concentración de fragmentos fósiles de diversos tamaños y grupos, paralelos a S_0 (metro 230).

Mudstone arcillosos calcáreos con materia orgánica, de tonos grises oscuro (N2) (**fig. 130**), con amonitas a modo de impresiones y cristales de yesos superficiales en forma de rosetas. Bajo el microscopio (**dma 4843**), se identifican como *bindstone* con arcillas y materia orgánica (microbialita) con texturas laminar y lenticular.

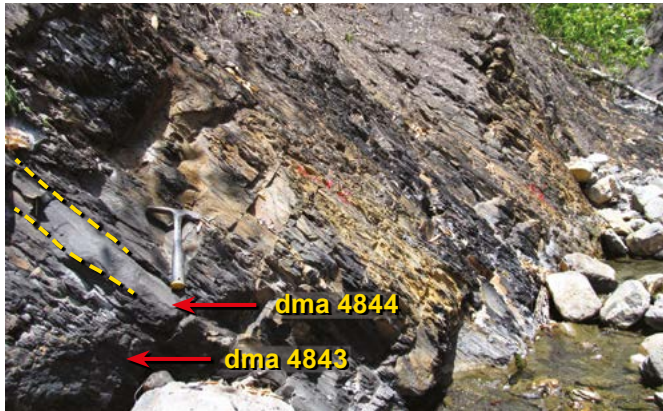


Figura 130. *Mudstone* arcillosos calcáreos con materia orgánica, de tonos grises oscuros que alternan con una capa delgada, plana-paralela, de caliza *mudstone*, resaltada entre líneas amarillas discontinuas (metros 231 a 234, Δ52-Δ53).

2 m 233,5 m

Caliza *mudstone* gris oscura (N4), en capa delgada, plano paralela, que resalta en el perfil topográfico (**fig. 130**). Con el microscopio (**dma 4844**), se observan remanentes de los tapices microbiales con arcilla adherida y cristales de calcita neoformados a partir de rosetas de yeso.

10 cm 233,6 m

Mudstone arcillosos calcáreos con materia orgánica (N3-N5) (**fig. 131**). Presentan restos de bivalvos, gasterópodos y amonitas; en ocasiones, en corte los restos de conchas de amonitas se observan como rastros blanquecinos. Hay presencia de concreciones calcáreas elipsoidales con ϕ de 15 cm y cristales de yeso secundarios en rosetas de 2 a 3 mm.

3,90 m 237,5 m

Mudstone arcillosos con materia orgánica levemente calcáreos, de tonos grises oscuros (N4), con laminación plana paralela (**fig. 131**) y lentes y capas lenticulares de caliza *mudstone*.



Figura 131. *Mudstone* arcillosos calcáreos con materia orgánica, de tonos grises oscuros, entre los que se intercala una capa delgada de caliza *mudstone* (señalada por la base del martillo) (metros 238 a 240).

Abundante presencia de amonitas como impresiones en las superficies de acumulación. También se observan cristales secundarios superficiales de yeso con forma de rosetas de 1 a 2 mm. Bajo el microscopio, los arcillosos (**dma 4848**), se identifican como *bindstone* con arcillas y materia orgánica (microbialita), con textura pulverulenta.

1,5 m 239 m

Caliza *mudstone* gris oscura (N3), en capa delgada plano paralela.

8 cm 239,8 m

Mudstone arcillosos calcáreos grises oscuros (N3-N4), levemente calcáreos, con presencia de yesos secundarios superficiales formando rosetas y concreciones elipsoidales con ϕ de 15 a 20 cm. Hay abundante presencia de amonitas como impresiones en las superficies S_0 (**fig. 131**).

2,4 m 242,2 m

Mudstone arcillosos grises oscuros (N2), afectados por dos sistemas de fracturas que producen bloques entre cuadrangulares y romboidales. Hay presencia de material plástico (salbanda) en una banda de 6 cm paralela a la estratificación (**fig. 132**).

1 m 243,2 m



Figura 132. A) Intervalo de *mudstone* arcillosos; las partes inferior y superior no presentan deformación, mientras que en la parte central la deformación se expresa a partir de bloques entre cuadrangulares y romboidales (metros 241 a 243), ampliados en la figura. B) Nótese la franja de salbanda atravesada por el lápiz (metro 242,5).

Caliza *mudstone* gris oscura (N3), en capa mediana, plano paralela.

30 cm 243,1 m

Mudstone arcillosos grises oscuros (N3), con laminación plana paralela, en que se interponen capas delgadas lenticulares de calizas *mudstone* grises oscuras (N3). Hay presencia de concreciones calcáreas con forma de trompo, con ϕ 40 cm, y cristales superficiales secundarios superficiales de yeso con forma de rosetas de 2 a 3 mm.

1,2 m 244,3 m

Calizas *mudstone* grises oscuras (N3) que conforman un paquete de capas delgadas y medianas, planas paralelas, algunas con adelgazamientos y engrosamientos, separadas por láminas de *mudstone* arcillosos calcáreos con impresiones de amonitas.

90 cm 245,3 m

Mudstone arcillosos con materia orgánica, de tonos grises oscuros (N5), levemente calcáreos (fig. 133). Se observan pirita y cristales superficiales de yeso secundario, que se hacen más abundantes en los 40 cm superiores. Las amonitas y los bivalvos aparecen como impresiones sobre las superficies S_0 .



Figura 133. Aspecto de los *mudstone* arcillosos con materia orgánica (metros 245 a 246).

Bajo el microscopio, la parte inferior del paquete (dma 4856) corresponde a *bindstone* con arcilla y materia orgánica (microbialita). Se observan rellenos de hidrocarburos en espacios irregulares y fragmentos de fósiles. Hacia el techo la roca (dma 4862), presenta menos bioclastos, persisten los hidrocarburos relleno espacios y la materia orgánica en laminillas y motas (fig. 134).

3 m 248,3 m

Caliza *mudstone* gris oscura (N3), forma un paquete de capas delgadas planas paralelas continuas (fig. 134). La presencia de impresiones de amonitas es frecuente sobre las superficies de estratificación. Hay concreciones calcáreas esferoidales con ϕ de 10 a 15 cm.

50 cm 248,8 m

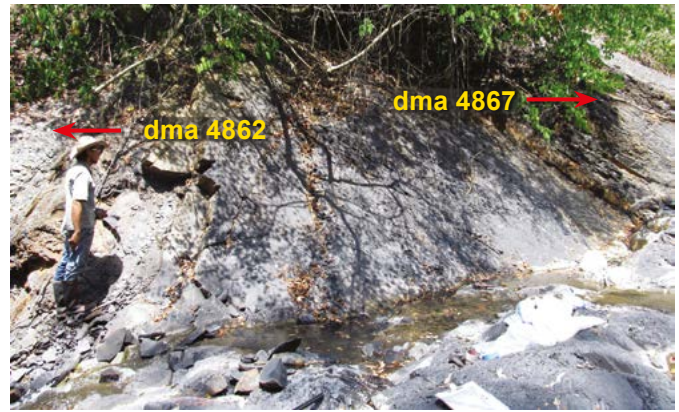


Figura 134. Caliza *mudstone* que desarrolla pendiente estructural hacia la quebrada La Paja. En ella se observa gran cantidad de impresiones de amonitas. Suprayaciendo la capa se presenta un paquete de *mudstone* arcillosos con materia orgánica (dma 4867) (metros 249 a 252, $\Delta 50$ - $\Delta 51$).

Mudstone arcillosos grises oscuros (N5), con laminación plana paralela. Se observan abundantes impresiones de amonitas sobre las superficies de acumulación (S_0), que en ocasiones están piritizadas y deformadas en una dirección preferencial. Bajo el microscopio (dma 4867), se interpretan como *bindstone* con arcillas, materia orgánica (microbialita) e hidrocarburos como relleno. Se presentan dos intercalaciones de caliza *mudstone* en capas delgadas con formas plano paralelas.

2,8 m 251,6 m

Mudstone arcillosos calcáreos grises oscuros (N5), con laminación plana paralela y partición en esquiras pequeñas (fig. 135), ricos en impresiones de amonitas sobre las superficies de acumulación S_0 . Se observan concreciones calcáreas elipsoidales e irregulares, en ocasiones alineadas y paralelas a la superficie S_0 , con ϕ de 35 a 15 cm; con menor frecuencia son piritosas. Localmente se observa deformación a pequeña escala: varios sistemas de fracturas que producen bloques conjugados con forma de rombo y replegamientos (metro 252). Bajo el microscopio (dma 4869), se trata de *bindstone* laminados con intervalos de microbialitas e intervalos de microbialitas con arcilla adherida.

3,0 m 254,6 m

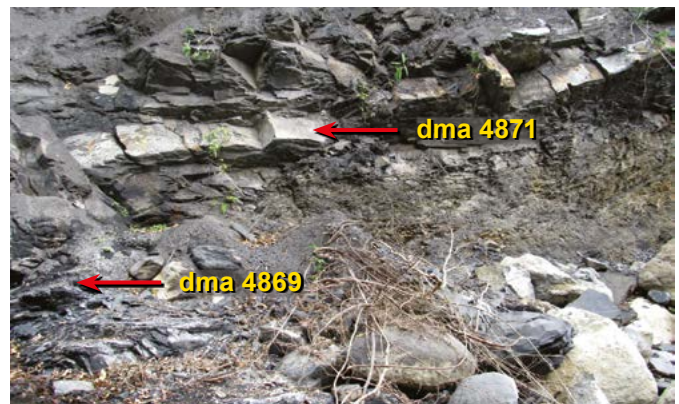


Figura 135. *Mudstone* arcillosos grises oscuros del tope del intervalo estratigráfico J, infrayacentes a la caliza *mudstone*, que resalta en el perfil topográfico. Por debajo de la muestra dma 4869 se observa deformación estructural por repliegues (metros 253 a 256).

Caliza *mudstone* gris oscura en capa mediana plana paralela. Bajo el microscopio (**dma 4871**), se identifica como un *bindstone* en estadio I de recristalización, en el que se reconoce la textura original: alternan microbialitas con láminas recristalizadas y láminas no recristalizadas.

40 cm 255 m

Intervalo estratigráfico K (255-270 m)

Mudstone arcillosos calcáreos con materia orgánica, de tonos grises oscuros (N5), con laminación plana paralela. Abundan las impresiones de amonitas y bivalvos sobre las superficies de estratificación. La roca se vuelve más dura por el aumento de la biomineralización en los tapices microbiales. Las concreciones calcáreas son subesferoidales con ϕ de 15 cm. Bajo el microscopio (**dma 4874**), es un *bindstone* con láminas de: microbialitas con materia orgánica y microbialitas con arcilla adherida (**fig. 82**).

4,9 m 259,9 m

A partir del metro 260 se observa un sector deformado (30 cm) donde la roca pierde cohesión, presenta aspecto retorcido e internamente se rompe en pequeños rombos. Este fenómeno ocurre entre dos capas paralelas no deformadas (**fig. 136**).

30 cm 260,2 m



Figura 136. Sector con deformación de 30 cm entre *mudstone* arcillosos con materia orgánica (flecha amarilla) (metros 259 a 262).

Mudstone arcillosos calcáreos con materia orgánica, de tonos grises oscuros (N4), con laminación delgada plana paralela (**figs. 136 y 137**); se observan algunas concreciones calcáreas de formas esferoidales, elipsoidales, discoidales y de trompo, con dimensiones de ϕ de 45 a 15 cm. Hay venas de calcita que cortan la estratificación. Bajo el microscopio (**dma 4877**), son *bindstone* con texturas laminadas. Hay láminas de tapices microbiales biomineralizados por calcita microcristalina y láminas de tapices microbiales con arcilla adherida. (**fig. 83**).

3,30 m 263,5 m

Caliza *packstone* gris oscura (N3), en capa muy delgada con forma plana paralela. Hay concentraciones de bioclastos (**fig. 137A: dma 4883**). Con el microscopio se la interpreta como una biomicrita empaquetada conformada mayormente

por fragmentos de algas y otros elementos no identificados. Hacia el techo se observa decrecimiento en tamaño y en abundancia de los bioclastos (**fig. 85**).

5 cm 263,55 m

Mudstone calcáreos arcillosos grises oscuros (N4), con laminación plana paralela continua.

90 cm 264,45 m

Caliza *mudstone* gris oscura (N3), con concentraciones locales de restos de bivalvos centimétricos. La capa se engrosa y adelgaza lateralmente (**fig. 137B**).

30 cm 265,25 m

Mudstone calcáreos arcillosos grises oscuros (N3), con laminación plana paralela (**fig. 137**). Bajo el microscopio (**dma 4886**), son *bindstone* con materia orgánica (microbialita) (**fig. 84**).

30 cm 265,55 m



Figura 137. A) *Mudstone* calcáreos arcillosos con laminación plano-paralela y concreciones calcáreas de formas diversas. La capa de caliza, señalada con flecha, y el número (**dma 4883**) es un *packstone*. La capa superior de caliza (**dma 4884**) es un *mudstone* con concentraciones por sectores de bivalvos (flecha amarilla) (metros 261 a 265). **B)** Detalle de la caliza *mudstone* superior para mostrar la concentración local de bivalvos (inocerámidos) y amonitas (**dma 4884**).

Caliza *mudstone* gris oscura (N4), en capa delgada plana paralela.

8 cm 265,63 m

Mudstone calcáreos arcillosos, grises oscuros (N3), con laminación plano paralela.

60 cm 266,23 m

Mudstone calcáreos grises oscuros (N3), deformados en un sector de 4 m, en donde se observan las siguientes características (fig. 138):



Figura 138. A) *Mudstone* calcáreos deformados por fracturas discontinuas con disposición romboidal, que enmascaran la estratificación (metros 268 a 270). B) Ampliación del recuadro amarillo de la figura A (metro 268).

Fracturas discontinuas que se intersetan en arreglo romboidal.

2 m 268,23 m

Situación similar a 1, pero con replegamientos atravesados por venillas de calcita.

1 m 269,23 m

Presencia de una franja de 10 a 40 cm, brechada, dispuesta paralela y oblicua a S_0 .

1 m 270,23 m

Intervalo estratigráfico L (270-288 m)

Conjunto L1 (270-277 m)

Mudstone arcillosos con materia orgánica, de tonos grises oscuros (N3), con laminación plana paralela y partición en lajas, con impresiones de amonitas (fig. 139A). Bajo el microscopio (dma 4888), se trata de *bindstone* con arcilla y materia orgánica, con textura pulverulenta y lenticular.

3,4 m 273,4 m

Caliza *mudstone* gris oscura (N3) que muestra adelgazamientos (40 cm) y engrosamientos (70 cm), y adquiere una forma arrosariada (fig. 139B). Por meteorización adquiere un tono café pálido amarillento y verdoso (10YR 6/2, 10Y 6/2). Hay impresiones de amonitas sobre la superficie de estratificación. Con el microscopio (dma 4890), se observa una textura porfiróide; son rosetas de yeso calcificadas (fig. 87) se interpretan como producto de recristalización a partir de rosetas de anhidritas (Flügel 2010, lámina 125, figs. 1-2).

60 cm 274 m

Mudstone calcáreos grises oscuros (N3), con laminación plana paralela y partición en lajas (fig. 139B). Con el microscopio

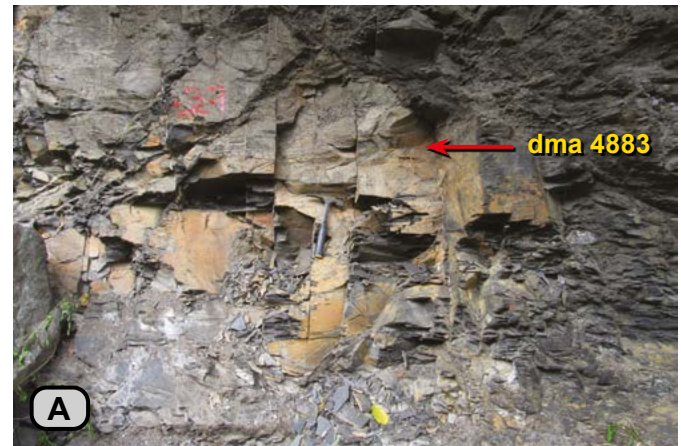


Figura 139. A) *Mudstone* arcillosos laminados (metros 270 a 272). B) Caliza *mudstone* con tono superficial café pálido-verde oliva pálido; la capa se adelgaza y engrosa; resalta en el perfil topográfico. Se presenta entre *mudstone* calcáreos con materia orgánica, laminados, grises, y *mudstone* arcillosos con materia orgánica (metros 273 a 275).

pio (**dma 4892**) se identifican como *bindstone* con materia orgánica (microbialita) (**fig. 86**).
 2,7 m 276,7 m

Conjunto L2 (277-283 m)

Caliza *mudstone* gris oscura (N4), que por meteorización desarrolla pátina de color gris amarillento (5Y 8/1); laminación entre fina y mediana, plano paralela, resaltada por los colores: láminas grises oscuras (N4) y láminas grises claras (N6) (**fig. 140**). Con el microscopio (**dma 4893**), las láminas oscuras se identifican como *bindstone* con materia orgánica, mientras que las láminas claras son *bindstone* recristalizados (**fig. 89**).
 25 cm 276,95 m

Mudstone calcáreos con materia orgánica, de tonos grises oscuros (N4). Dibujan un valle en el perfil topográfico (**fig. 140**).
 15 cm 277,10 m

Caliza *mudstone* gris oscura (N4). Por meteorización toma color gris amarillento (5Y 8/1). Presenta laminación entre muy delgada y mediana, plano paralela, resaltada por la alternancia de tonos grises oscuros (N4) y claros (N6) (**fig. 140**).
 25 cm 277,35 m

Mudstone calcáreos con materia orgánica, de tonos grises oscuros (N4) (**fig. 140**: vértice superior izquierdo).
 90 cm 278,15 m

Caliza *mudstone* gris oscura (N4), por meteorización toma color gris amarillento (5Y 8/1). Es competente, tiene laminación entre muy delgada y mediana, plano paralela continua, resaltada por los colores: láminas grises oscuras (N4) y láminas grises claras (N6).
 30 cm 278,45 m

Mudstone calcáreos ricos en materia orgánica, de tonos grises oscuros (N4), menos competente, pobres en amonitas
 20 cm 278,65 m

Caliza *mudstone* gris oscura (N4). Por meteorización toma un color gris amarillento (5Y 8/1). Es competente. Tiene laminación muy entre delgada y mediana, plano paralela continua, resaltada por los colores: hay láminas de color gris oscuro (N4) y grises claras (N6) (**fig. 140**).
 70 m 279,55 m

Mudstone calcáreos con materia orgánica, de tonos grises oscuros (N4), en capa mediana (**fig. 141**: al nivel del agua).
 30 cm 279,85 m

Caliza *mudstone*. Por meteorización toma color gris amarillento (5Y 8/1). Presenta laminación entre muy delgada y mediana, plano paralela, resaltada por los colores: hay láminas grises oscuras (N4) y grises claras (N6).
 80 cm 280,65 m

Mudstone calcáreos con materia orgánica gris oscura (N4), en capa gruesa que se adelgaza lateralmente (**fig. 88A**), con laminación plano paralela. Bajo el microscopio (**dma 4894**), se identifican como *bindstone* con materia orgánica (microbialita).
 50 cm 281,15 m

Caliza *mudstone* nodular de tonos grises (N4-N2). Banco formado por tres horizontes de concreciones separados por delgadas interposiciones de *mudstone* calcáreos (**fig. 141**). Bajo el microscopio (**dma 4895**), es un *bindstone* bioturbado con vestigios de la laminación (**fig. 90**).
 60 cm 281,75 m

Mudstone arcillosos calcáreos con materia orgánica, de tonos grises oscuros (N4), con laminación plano paralela (**figs. 141 y 142A**). Bajo el microscopio (**dma 4896**), se trata de *bindstone* con arcillas y materia orgánica (microbialita) (**fig. 91**).
 1,5 m 283,25 m

Caliza *mudstone* gris oscura (N3), laminada. La laminación de la parte basal es plana paralela, pero a medida que se asciende hacia el techo de la capa, dicha laminación se hace



Figura 140. Calizas *mudstone* de tonos grises oscuros. Por meteorización toman color gris amarillento (5Y 8/1). La estructura interna se manifiesta por la laminación plano-paralela. Alternan con caliza *mudstone* con materia orgánica de color gris oscuro (N4) (metros 277 a 279).



Figura 141. Capas superiores de la Formación La Paja. Conjunto L2, que genera resalte. Se trata de calizas *mudstone* bien laminadas interpuestas por *mudstone* calcáreos con materia orgánica (metros 280 a 283). Aguas arriba afloran *mudstone* arcillosos.

ondulosa, paralela con las láminas recrystalizadas más gruesas (figs. 141 y 142). Bajo el microscopio (dma 4897), se trata de *bindstone* con laminación. Las láminas claras son *bindstone* recrystalizados (microbialita recrystalizada), y las oscuras son *bindstone* con materia orgánica.

60 cm 283,85 m

Conjunto L3 (284-288 m)

Mudstone calcáreos con materia orgánica, de tonos grises oscuros (N4) (fig. 142). En la base de este intervalo se presentan concreciones con restos de amonitas gigantes con ϕ de 60 cm.

80 cm 284,65 m

Tramo cubierto 10

.....hasta encontrar los primeros afloramientos de la Formación Tablazo.

Por la continuidad litológica-cartográfica (Moreno-Sánchez 2019) de la base de la Formación Tablazo y la parte superior de la Formación La Paja, se describen las capas cuspidales de esta en los afloramientos existentes debajo del puente sobre la quebrada La Molinilla (vía Lebrija-San Vicente de Chucurí): *mudstone* arcillosos con materia orgánica, de tonos grises oscuros (N3) con laminación plano paralela.

4 m 288,65 m



Figura 142. A) Aspecto de los *mudstone* calcáreos con materia orgánica que se alternan con calizas *mudstone* (metros 282 a 283). B) Restos de una amonita en su largo de 60 cm (metro 283).


AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos al Servicio Geológico Colombiano, al señor director, Oscar Paredes Zapata, y a los directores técnicos del Servicio Geológico por el apoyo a la realización de este proyecto; al equipo de trabajo (Giovanni Moreno Sánchez, Roberto Terraza Melo, Adrián Pérez Rico y José Arenas Mosquera) por su cooperación constante en las actividades de campo; a los geólogos Juan Alejandro Numpaque y Victoria Elena Corredor por la realización de figuras, y al Dr. Fernando Etayo-Serna, director de este proyecto, por su asesoría permanente, discusión y profundización de conceptos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berger, Sigrid. 2006. *Photo-atlas of living Dasycladales*. Brest: Association Carnets de Géologie. <https://doi.org/10.4267/2042/5831>.
- Bose, Sushanta y Henry Chafetz H. 2009. "Topographic control on distribution of modern microbially induced sedimentary structures (MISS): A case study from Texas coast". *Sedimentary Geology* 213 (3-4): 136-149. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2008.11.009>.
- Bundeleva, Irina A., Liudmila S. Shirokova, Pascale Bénézeth, Oleg S. Pokrovsky, Elena I. Kompantseva y Stéphanie Balor. 2012. "Calcium carbonate precipitation by anoxygenic phototrophic bacteria". *Chemical Geology* 291: 116-131. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2011.10.003>.
- 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 or microbial mats". *Palaaios* 7 (3): 227-293. <https://doi.org/10.2307/3514973>.
- Cornée, Annie, Mike Dicman, M. y Georges Busson. 1992. "Laminated cyanobacterial mats in sediments of solar salt works: Some sedimentological implications". *Sedimentology* 39 (4): 599-612. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1992.tb02139.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>.
- Dupraz, Christophe, Pamera Reid, Olivier Braissant, Alan Decho, Sean Norman y Pieter Visscher. 2009. "Processes of carbonate precipitation in modern microbial mats". *Earth Science Reviews* 96 (3): 141-162. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.10.005>.
- 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 y Georgina Guzmán-Ospitia. 2019. "Formación Rosa Blanca: subdivisión de la Formación y propuesta de Neoestratotipo. Sección laguna El Sapo, vereda El Carrizal, municipio de Zapato-ca, 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.

- 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. 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. 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).
- Forero, Hugo y Luis Fernando Sarmiento. 1982. "Ambiente de depósito del miembro de arcillolitas abigarradas, Formación Paja, área de Villa de Leiva". Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.
- Gaona-Narváez, Tatiana, Florentin J.-M.R. Maurrasse y Fernando Etayo-Serna. 2013. "Geochemistry, palaeoenvironments and timing of Aptian organic-rich beds of the Paja Formation (Curití, Eastern Cordillera, Colombia)". En *Isotopic Studies in Cretaceous Research*, edited by Ana Voica Bojar, Mihaela C. Melinte-Dobrinescu and Jan Smit, 31-48. Special Publications 382. London: Geological Society. <https://doi.org/10.1144/SP382.6>.
- Gerdes, Gisela. 2010. "What are microbial mats?". En *Microbial Mats: Modern and Ancient Microorganisms in Stratified Systems, Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrogeology*, editado por Joseph Seckbach y Aharon Oren, 3-25. Dordrecht: Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3799-2>.
- González Oviedo, Leopoldo y Armando Espinosa Baquero. 2012. "Hallazgo de yacimientos de sales de potasio en Colombia". *Boletín de Geología* 34 (1): 57-65.
- Horodyski, Robert, Bonnie Bloeser y Stephen Vonder Haar. 1977. "Laminated algal mats from a coastal lagoon, Laguna Mormona, Baja California, México". *Journal of Sedimentary Research* 47 (2): 680-696. <https://doi.org/10.1306/212F7220-2B24-11D7-8648000102C1865D>.
- Ingram, Roy. L. 1954. "Terminology for the thickness of stratification and parting units in sedimentary rocks". *Geological of American Association Bulletin* 65 (9): 937-938. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1954\)65\[937:TFTTOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1954)65[937:TFTTOS]2.0.CO;2).
- 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).
- Kristensen, Erik y Martin C. Rabenhorst. 2015. "Do marine rooted plants grow in sediment or soil? A critical appraisal on definitions, methodology and communication". *Earth-Science Reviews* 145: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.02.005>.
- Krumbein, Wolfgang, Ulrike Brehm, Gisela Gerdes, Ana Gorbushina, George Levit y Katarzyna Palinska. 2003. "Biofilm, biodictyon, biomat, microbialites, oolites, stromatolites geophysiology, global mechanism, parahistology". En *Fossil and Recent Biofilms: A Natural History of Life on Earth*, editado por Wolfgang Elisabeth Krumbein, David Maxwell Paterson y Georgii Aleksandrovich Zavarzin, 1-27. Dordrecht: Springer.
- 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 sections: Nomenclature and description guidelines". *Journal of Sedimentary Research* 85 (3): 230-246. <https://doi.org/10.2110/jsr.2015.11>.
- Mertie, John B. Jr. 1922. "Graphic and mechanical computation of thickness of strata and distance to a stratum". *USGS Professional Paper* 129, 39-52. <https://doi.org/10.3133/pp129C>.
- 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
- Noffke, Nora, Gisela Gerdes, Thomas Klenke y Wolfgang Krumbein. 1996. "Microbially induced sedimentary structures - examples from modern sediments of siliciclastic tidal flats". *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie* 1 (1-2) 1995: 307-316.
- Noffke, Nora, Gisela Gerdes, Tomas Klenke y Wolfgang Krumbein. 2001. "Microbially induced sedimentary structures: A new category within the classification of primary sedimentary structures". *Journal of Sedimentary Research* 71 (5): 649-656. <https://doi.org/10.1306/2D-C4095D-0E47-11D7-8643000102C1865D>.
- Noffke, Nora y Stanley M. Awramik. 2013. "Stromatolites and MISS-differences between relatives". *GSA Today* 23 (9): 4-9.
- Noffke, Nora, Daniel Christian, David Wacey y Robert M. Hazen. 2013. "Microbially induced sedimentary structures recording an ancient ecosystem in the ca. 3.48 billion-year-old Dresser Formation, Pilbara, Western Australia". *Astrobiology* 13 (12): <https://doi.org/10.1089/ast.2013.1030>.
- Pettijohn, Francis John. 1975. *Sedimentary rocks*. New York: Harper & Row.
- 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>.
- Riding, Robert. 1991. "Classification of microbial carbonates". En *Calcareous Algae and Stromatolites*, 21-51. Berlin: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-52335-9>.
- Riding, Robert. 2000. "Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilms". *Sedimentology* 47 (1): 179-214. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.2000.00003.x>.
- Robertson, Charley. 1991. "Marginal marine halite: Sabkhas and Salinas". En *Evaporites, petroleum and mineral resources*, editado por Judith Melvin, 1-66. New York: Elsevier Sciences Publishing.
- 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>.
- Stal, Lucas, Hans van Gemerden y Wolfgang Krumbein. 1985. "Structure and development of a benthic marine microbial mat". *FEMS Microbiology Ecology* 1 (2): 111-125. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1985.tb01138.x>.
- Stinnesbeck, Wolfgang, Eberhard Frey y Zell Patrick. 2016. "Evidence for semi-sessile early juvenile life history in Cretaceous ammonites". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 457: 186-194. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.06.019>.
- Warren, John K. 2006. *Evaporites: sediments, resources and hydrocarbons*. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/3-540-32344-9>.
- 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.
- Wolf, Karl H. 1965. "Gradational sedimentary products of calcareous algae". *Sedimentology* 5 (1): 1-37. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1965.tb01556.x>.



**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 μm , internamente constituidos por cristales subrectangulares de calcita espar e interpretados como *fungus fruiting bodies*; **b)** cuerpos circulares con tamaños entre 120 y 200 μm , con una estructura interna concéntrica; **c)** quistes de dinoflagelados calcáreos, son cuerpos circulares cuyo diámetro varía entre 30 y 40 μm , 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 μm , y cuerpos ovalados con tamaños entre 50 y 70 μm , que son reemplazados internamente por cristales de calcita espar radiales y corresponden a *microcodium*; **d)** cuerpos circulares cuyo diámetro varía entre 30 y 40 μm , 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 *fungus 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 μm , 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 μm , 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 (α): 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 (β): 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 (Ω). 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 (δ). 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 μm . 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 (ϵ), en general tanto las limolitas como las arenitas presentan estadios de bioturbación desde muy alto hasta completo (π). Los fósiles son fragmentos de bivalvos con tamaños entre 100 y 150 μm , 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 (ϕ); 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 μm), 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 μm 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, biserials (*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 μm), 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 (π). 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 onduladas, y culmina en caliza *packstone* de grifeidos con diámetro up de hasta 10 cm.

Conjunto J1: sucesión de arenitas (ϵ) dispuestas en capas delgadas con formas onduladas, 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 (**π**). 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 (**π**) 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 (**ρ**), 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 (**μ**) y arenitas de cuarzo de textura entre muy fina y fina (**π**). 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 μm , con formas alargadas que semejan sables, como también cristales de calcita espar equidimensionales de 20 μm 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 relenos 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 μm) 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 intemperismo, 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 serpulidos, 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 μm ; 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 μm), 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 μm), 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 μm , que se observa de color pardo; mientras que

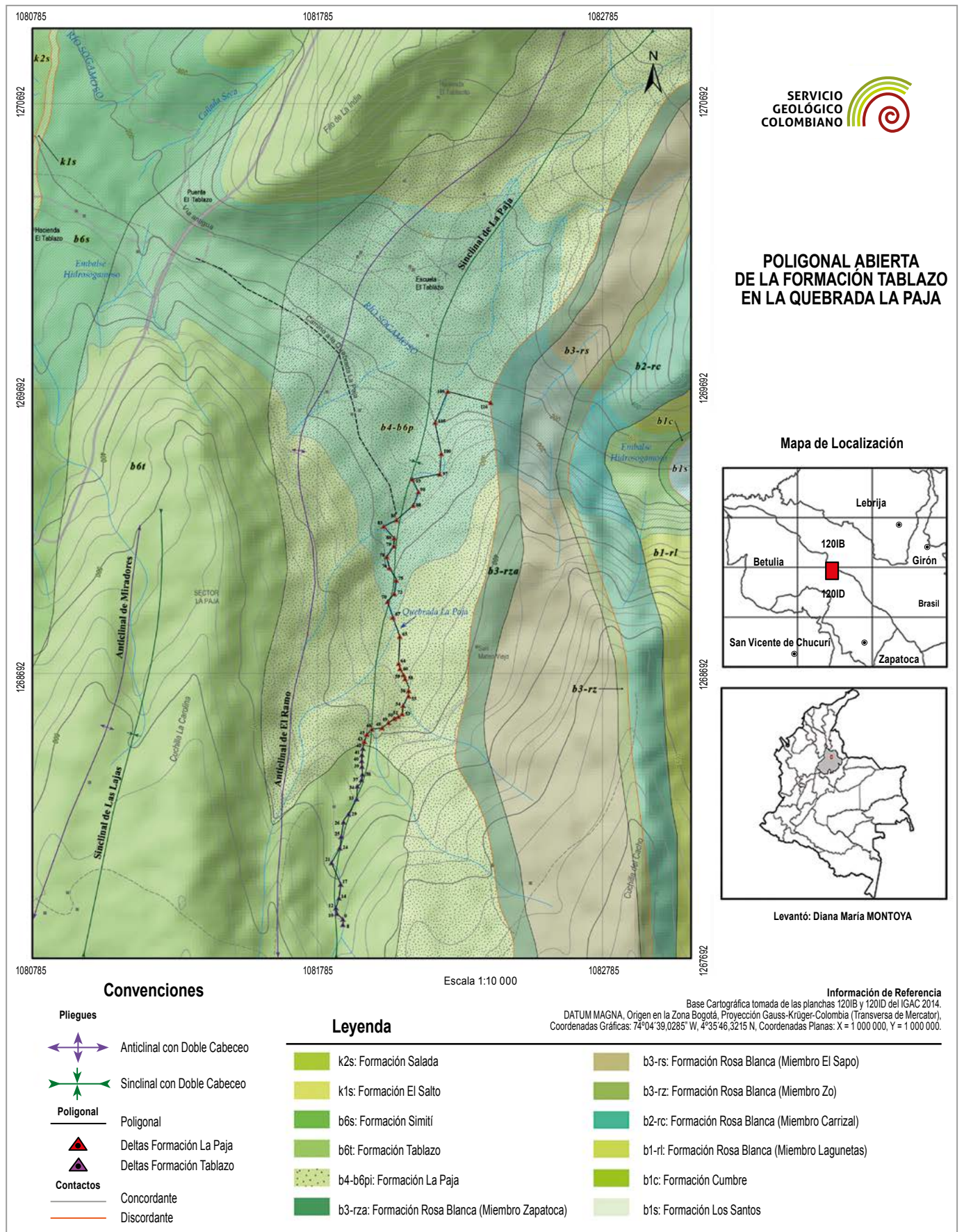


Figura 2. Localización y poligonal (mapa tomado de Moreno-Sánchez, 2019).

el cemento esparítico (*sparry calcite cement*) es el tipo de calcita que forma granos o cristales con diámetro de 10 μm 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 μm , que no deben ser tratados como cemento esparítico. La calcita microcristalina con diámetros entre 5 y 20 μm , 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

μm , 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 μm ; internamente están constituidos por cristales de calcita espar, dispuestos en anillos concéntricos; **c)** cuerpos circulares con diámetro entre 20 y 40 μm , 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 μm , y cuerpos ovalados con tamaños entre 50 y 70 μm , 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 μm , 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 μm ; 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 μm . 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 μm . **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 μm . 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 μm ; **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.

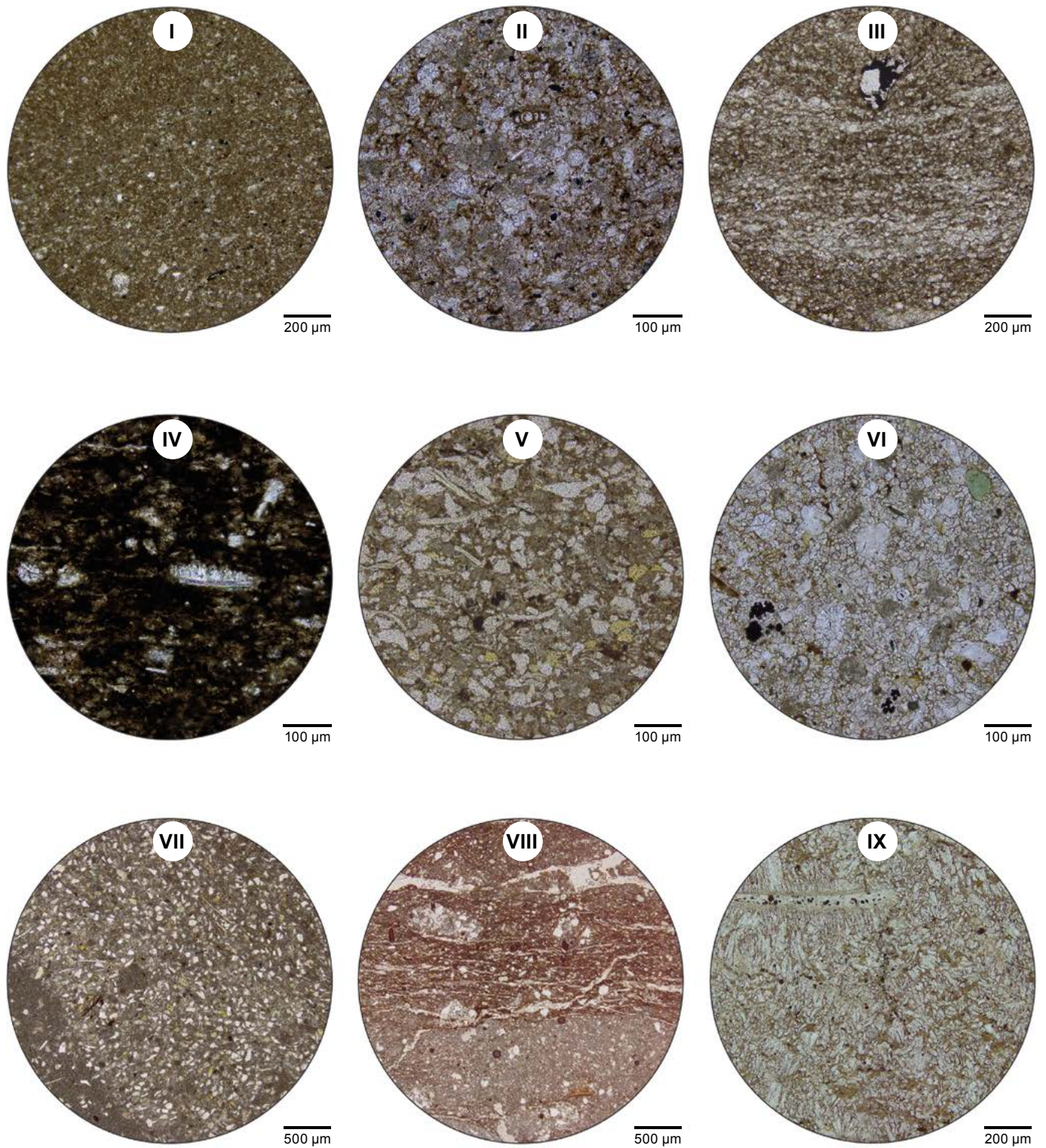


Figura 3. Microfacies en las calizas *mudstone*. (I) Micrita y micrita fosilífera con recristalización incipiente (**dma 4814**). (II) Pelmicrita y biopelmicrita con recristalización (**dma 4808**). (III) *Bindstone* con recristalización (**dma 4799**). (IV) Micrita y micrita fosilífera con materia orgánica (**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 μm , por recristalización. Los fósiles son: **a)** cuerpos circulares de hasta 50 μm , 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 μm , desarrolladas perpendiculares a S_0 , y **II)** radiales alrededor de restos fósiles con dimensiones entre 50 y 80 μm . 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 α : *bindstone* con materia orgánica (microbialitas) (**fig. 4- α**); 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 μm ; 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 μm , 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 β : pelmicrita con cuarzo y materia orgánica (**fig. 4- β**), 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 δ : micrita y micrita fosilífera con materia orgánica (**fig. 4- δ**). 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**):

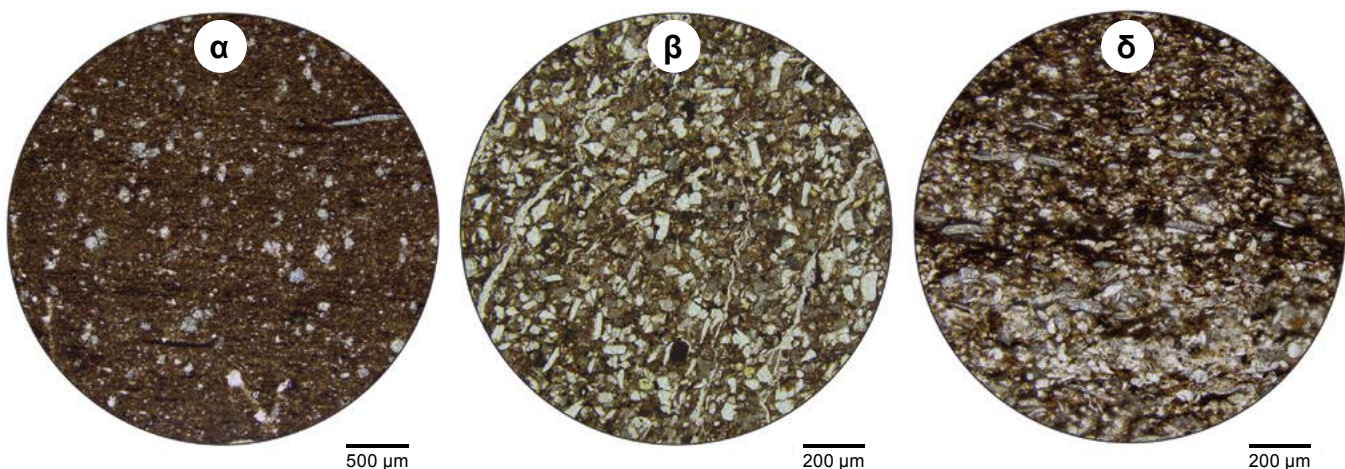


Figura 4. Microfacies en los *mudstone* calcáreos. (**α**) *Bindstone* con materia orgánica (**dma 4800**). (**β**) Pelmicrita con cuarzo y materia orgánica (**dma 4811**). (**δ**) Micritas y micritas fosilíferas con materia orgánica, pueden estar laminadas (**dma 5368**).

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 μm , de forma ovoide, con diámetro de hasta 80 μm ; 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 μm ; espículas de espongiarios (Schoelle y Ulmer-Schoelle 2003, 95; Flügel 2010, *plate* 78); **c)** fragmentos de bivalvos con tamaños de hasta 200 μm . 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 μm y cuerpos ovalados calcáreos de tamaños entre 80 y 95 μm (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 μm ; 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 μm ; 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 μm . 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.

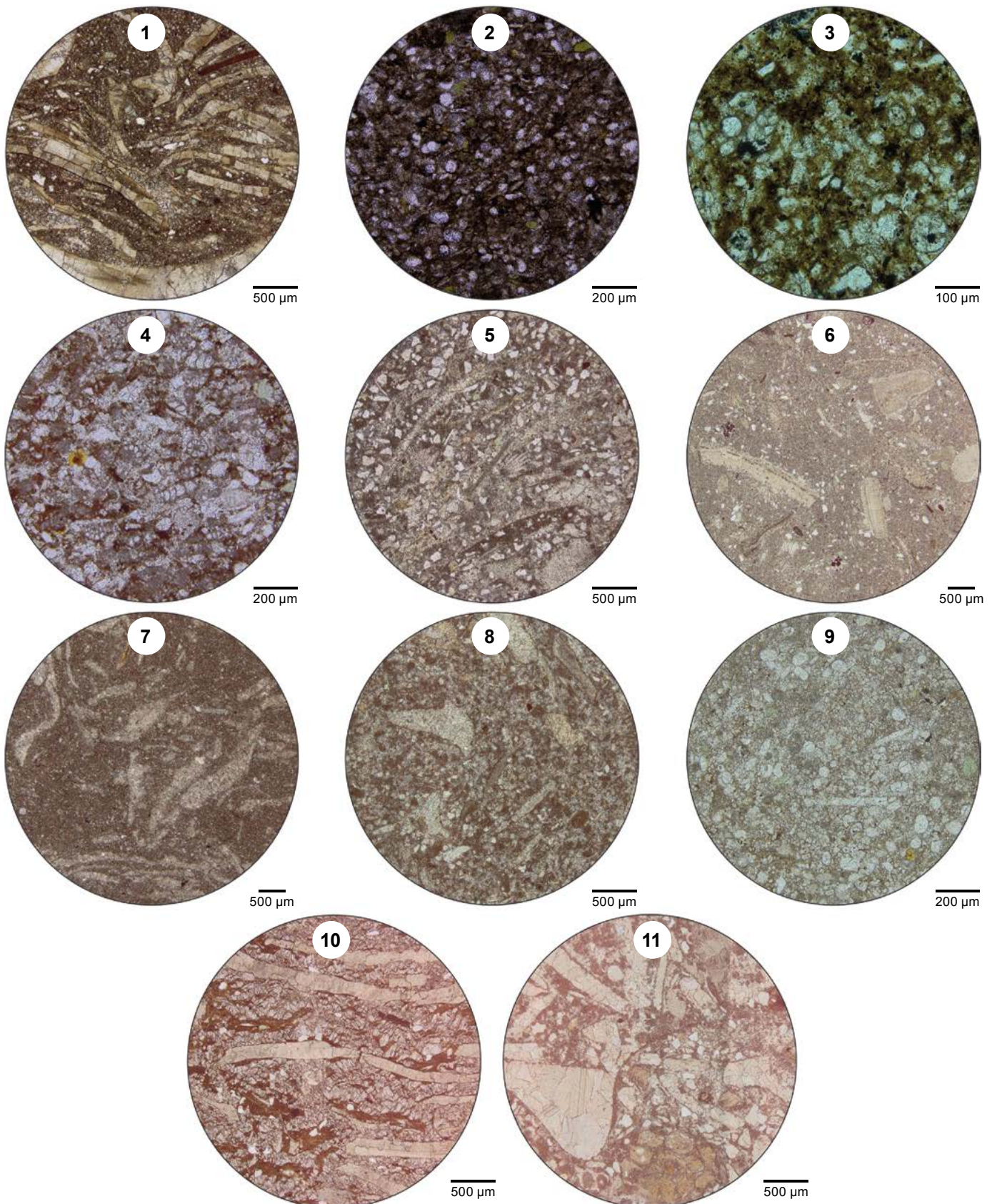


Figura 5. Microfacies en las calizas *wackestone*. (1) Biomicrita rala con conchas de bivalvos (**dma 5376**). (2) Biomicrita rala con espongiarios, materia orgánica (**dma 5384**). (3) Biomicrita rala de foraminíferos bentónicos *Praeulimina* sp. y materia orgánica (**dma 5383**). (4) Biopelmicrita 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 μm , 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

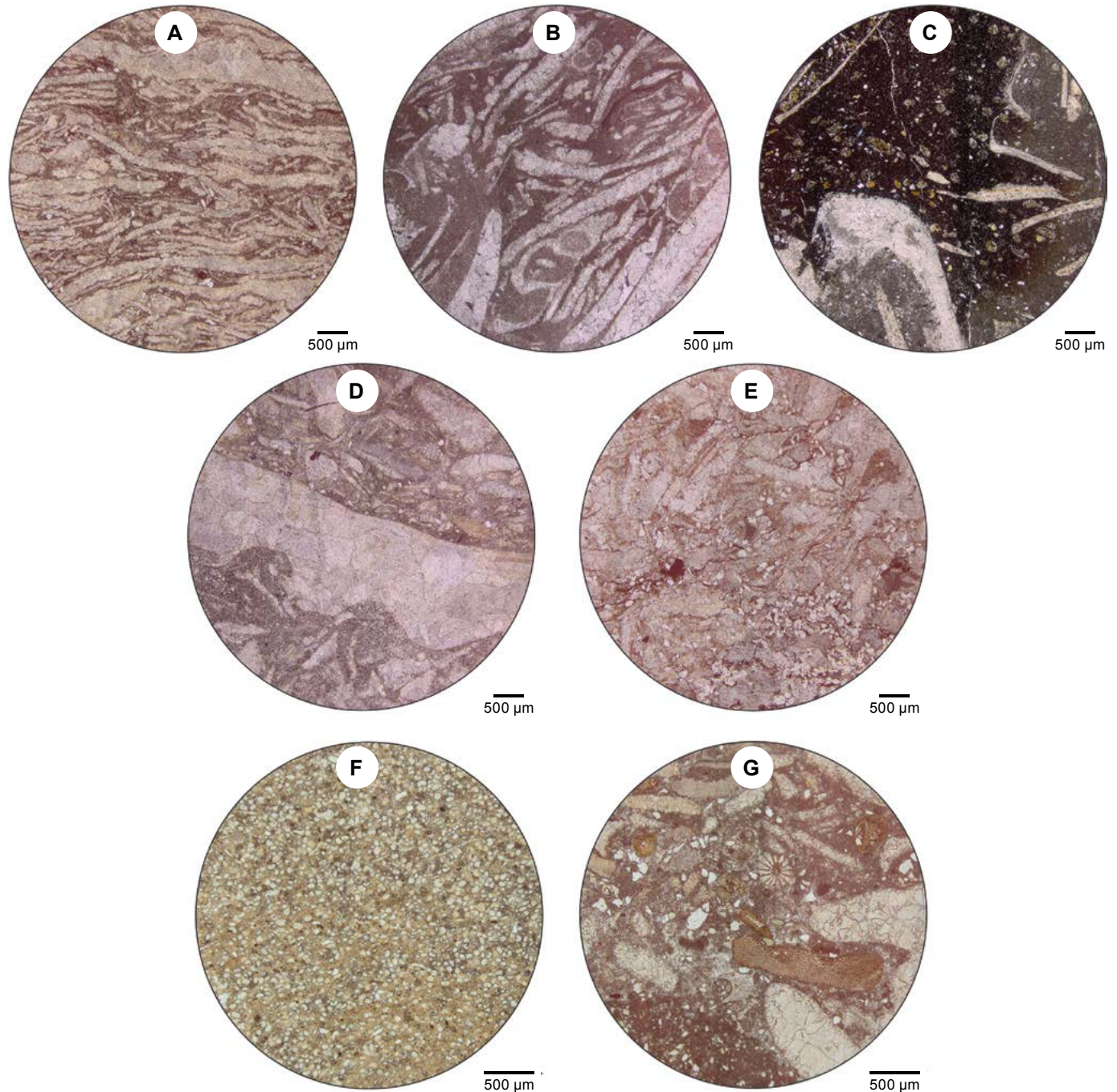


Figura 6. Microfacies de las calizas *packstone*. (A) Biomicrita empaquetada con bivalvos (**dma 5102**). (B) Biomicrita empaquetada con bivalvos y gasterópodos en varias disposiciones (**dma 5156**). (C) Biomicrita empaquetada con bivalvos y hematite (**dma 5083**). (D) biomicrita empaquetada con bivalvos 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 μm .

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 μm . Los fósiles son conchas y fragmentos de bivalvos de varios tamaños: 300 a 450 μm , 640 a 700 μm , 1.400 a 3.200 μm y > 5.100 μm , con disposición oblicua o paralela a S_0 . Algunas conchas presentan reemplazamiento por esparita, y otras conservan la estructura original.

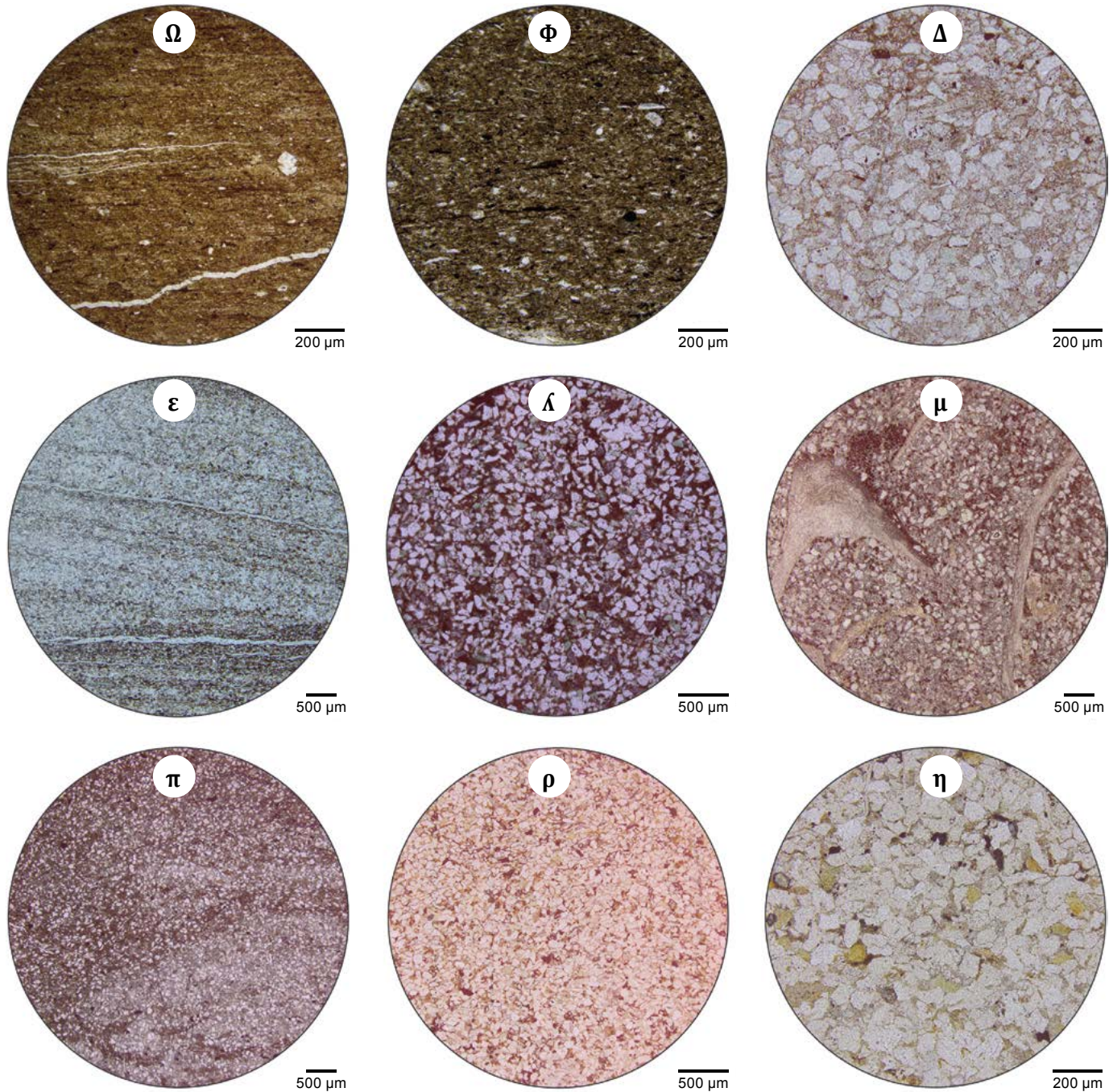


Figura 7. Microfacies en las rocas siliclásticas. (Ω) *Bindstone* con materia orgánica y arcilla adherida (**dma 4806**). (Φ) *Mudstone* arcillosos con materia orgánica (**dma 5374**). (Δ) Arenita de cuarzo con textura arena muy fina, con cemento calcáreo, bioturbada (**dma 5101**). (ϵ) Limolitas de 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 siliclásticas (*mudstone* arcillosos, limolitas de cuarzo y arenitas de cuarzo) se han diferenciado nueve microfacies (**fig. 7**):

Microfacies Ω : *bindstone* con materia orgánica y arcilla adherida (microbialitas) (**fig. 7- Ω**); 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 Φ : *mudstone* arcillosos con materia orgánica (**fig. 7- Φ**). Se observa arcilla de fino hábito micáceo, con motas de materia orgánica. El cuarzo puede estar presente.

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

Microfacies ϵ : 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- ϵ**).

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

Microfacies μ : 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- μ**). Pueden presentar bioperturbación.

Microfacies π : 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- π**).

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

Microfacies η : 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- η**).

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 form 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.

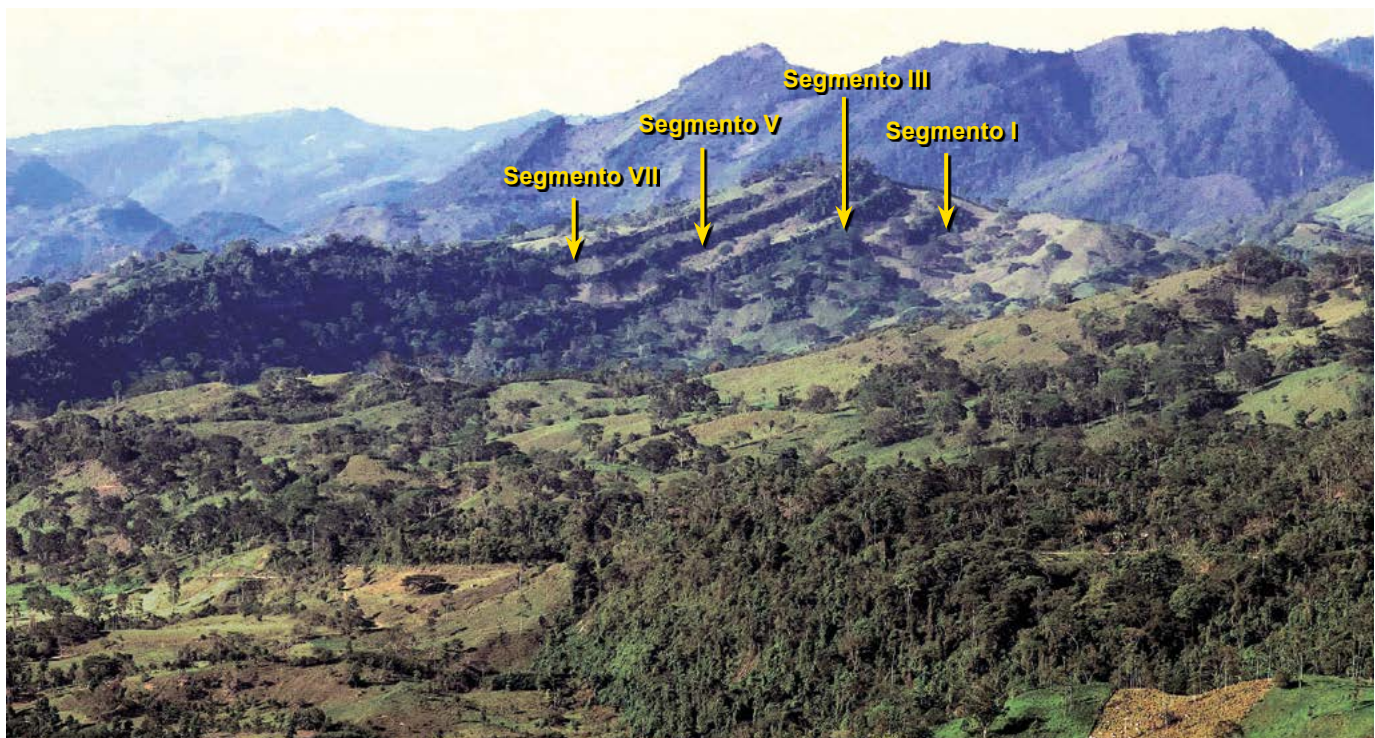


Figura 8. Panorámica de la Formación Tablazo en el sector de La Plazuela (120-ID). Nótese los cuatro segmentos que generan cornisas (I, III, V y VII), separados por tres segmentos que generan valles (II, IV y VI). Fotografía tomada desde el punto con coordenadas N:1.263.550, E:1.079.870 y azimut 350°.

FORMACIÓN TABLAZO

Columna Generalizada Valle Medio del Magdalena

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

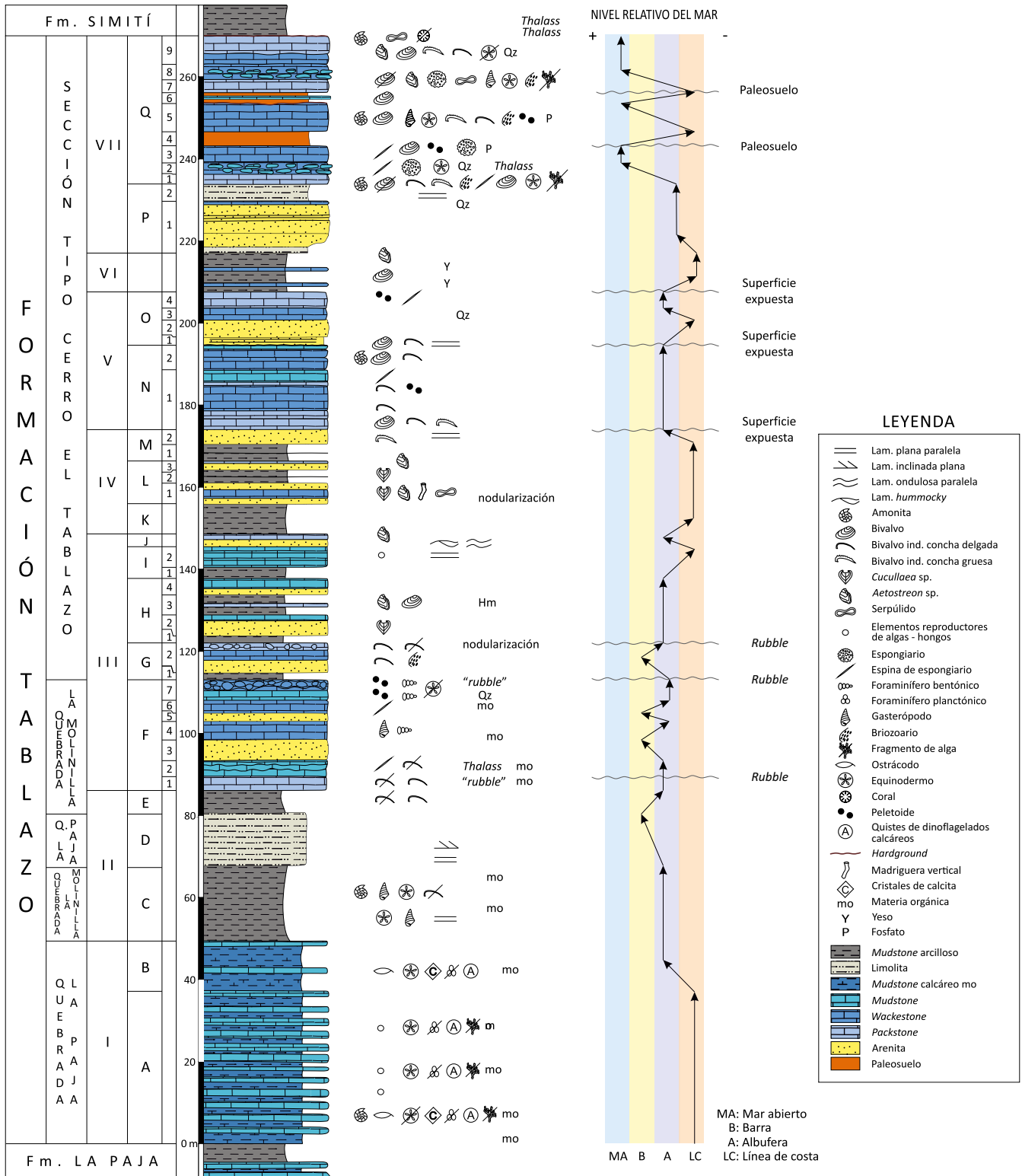


Figura 9. Columna generalizada de la Formación Tablazo.

El contacto con la formación infrayacente La Paja se encuentra cubierto por depósitos coluviales desde el Δ46 hasta Δ42. 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 Δ46 (N:1.268.497, E:1.081.973, Z:403) y el Δ21 (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 Δ10 (N:1.267.870, E:1.081.847, Z:531) hasta el Δ0 (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 (Noramya) 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 (Δ) 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,

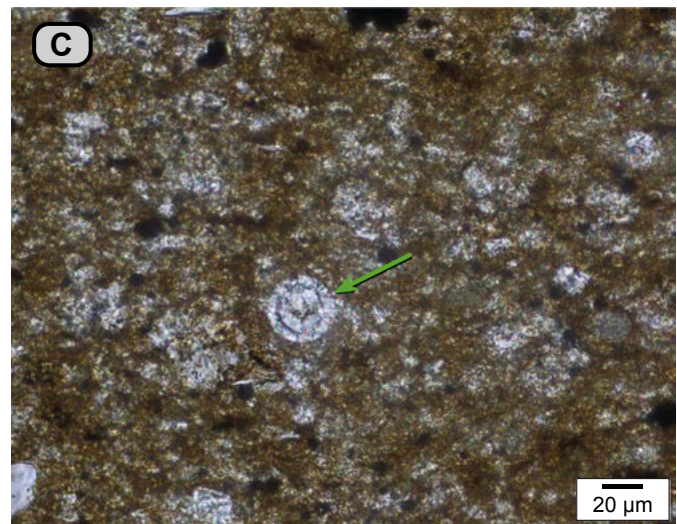
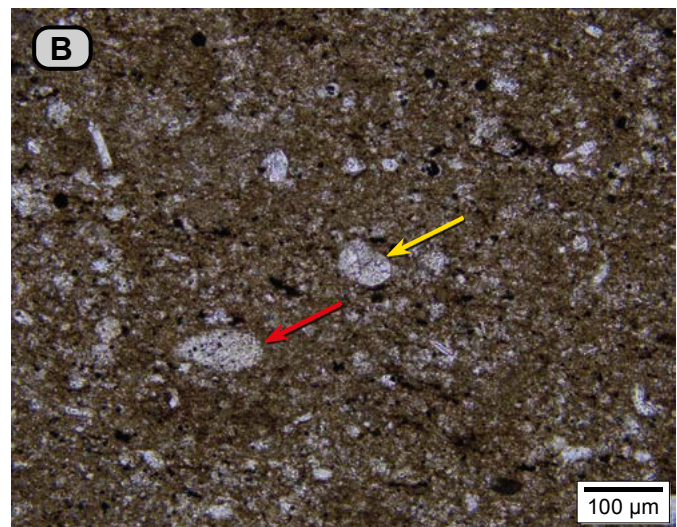
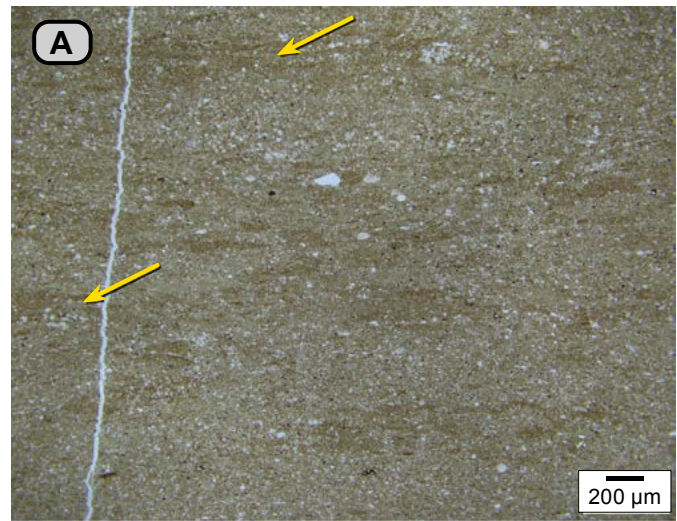


Figura 13. Caliza *mudstone* de aspecto macizo (dma 4818). En el microscopio se identifica como micrita con recristalización incipiente y generalizada. **A)** Las flechas amarillas señalan la laminación relictas en tonos oscuros; en tonos claros se observa la recristalización incipiente generalizada. **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.

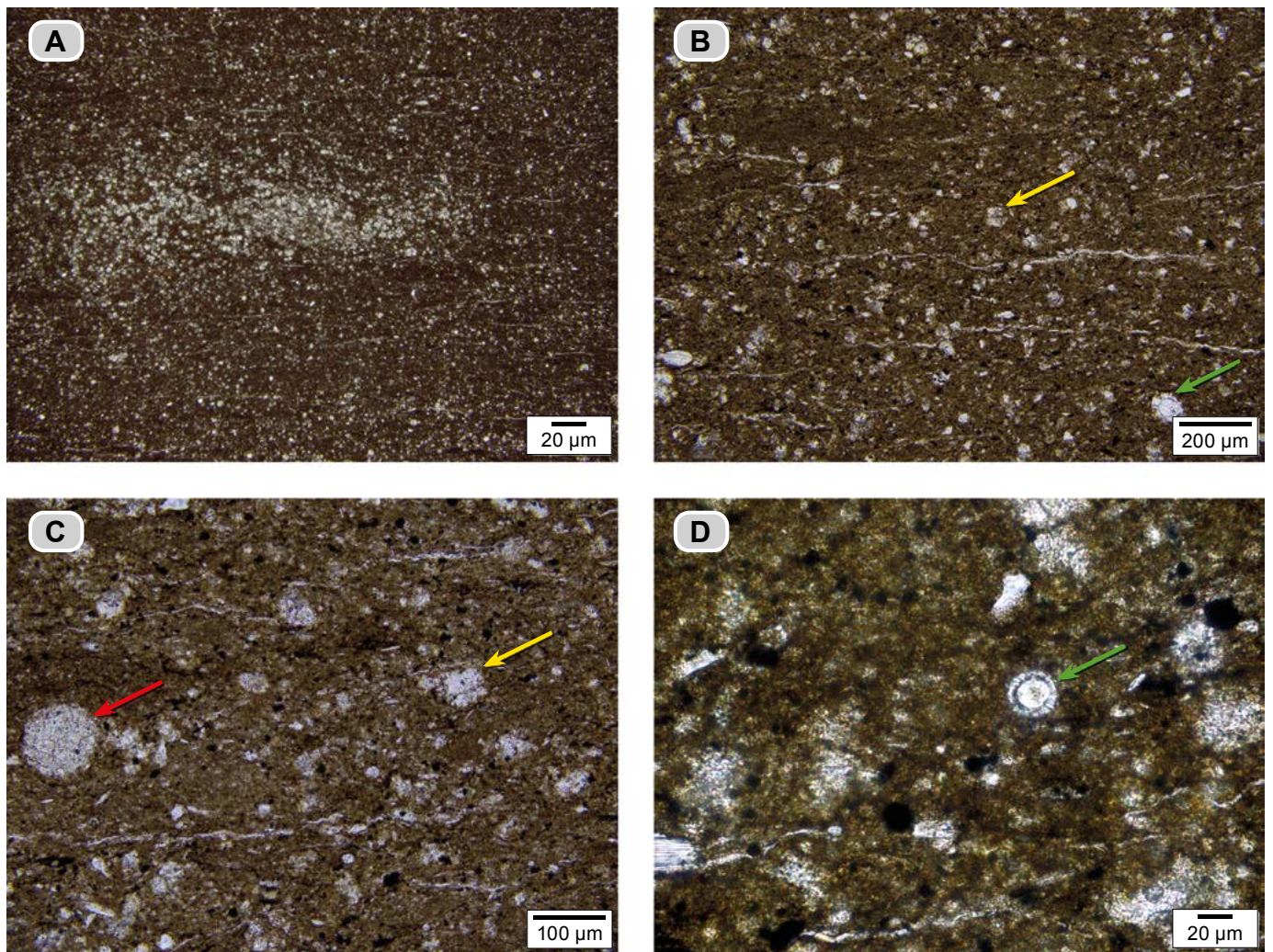


Figura 14. A) Aspecto general de los *mudstone* calcáreos con materia orgánica que parten en astillas (**dma 4817**); en el microscopio se identifica como *bindstone* con materia orgánica. Obsérvese la concentración de cristales rómbicos y cúbicos de calcita. B) Con mayor aumento se observan cristales 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).

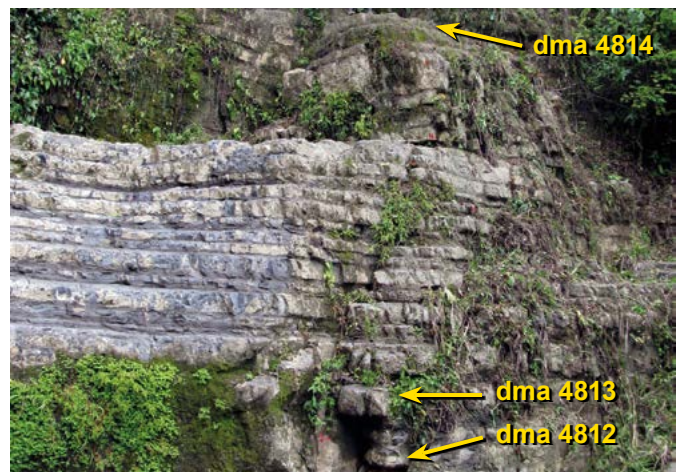


Figura 15. Intervalo estratigráfico A. Calizas *mudstone* de aspecto macizo, superficialmente de color gris claro, en capas planas paralelas de espesores medianos a gruesos, resaltantes y en alternancia con *mudstone* calcáreos con materia orgánica, de tonos grises oscuros, en capas delgadas (metros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

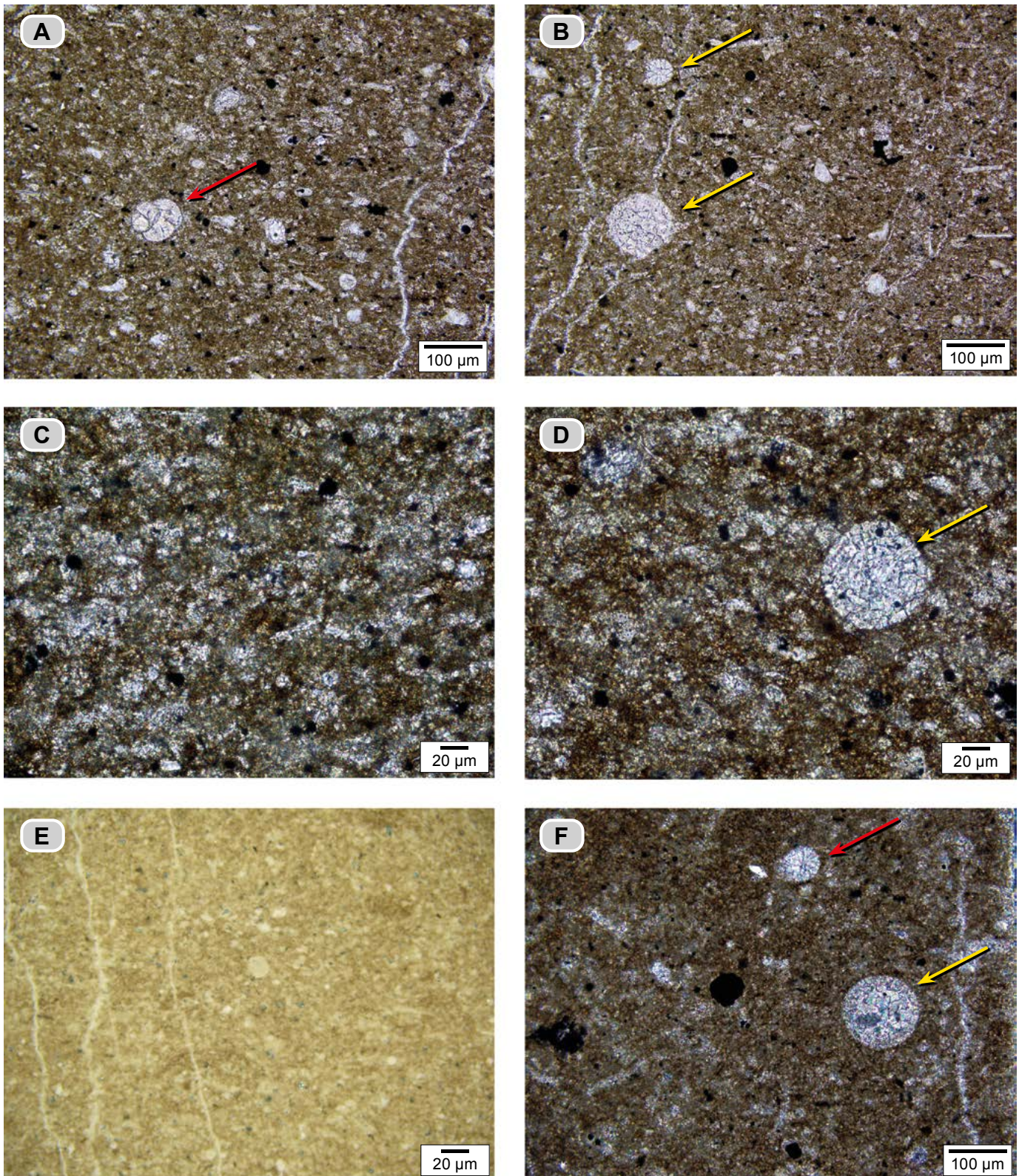


Figura 16. Calizas *mudstone* de aspecto macizo. **(A y B)** Micrita con recrystalización incipiente (**dma 4812**). **A)** Se resalta un foraminífero planctónico? (flecha roja). Nótese la presencia de pirita de color negro. **B)** Cuerpos circulares de diámetros diferentes: el cuerpo de diámetro de 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 μm hasta 150 μm , reemplazados por cristales rectangulares de calcita espar, internamente con arreglo en espiral; **c)** cuerpos circulares con diámetro de hasta 150 μm , constituidos por cristales de calcita espar, interpretados como *fungus fruiting bodies* (Goldstein 1988, fig. 8B); **d)** cuerpos circulares con diámetro de hasta 50 μm , 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 μm . 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

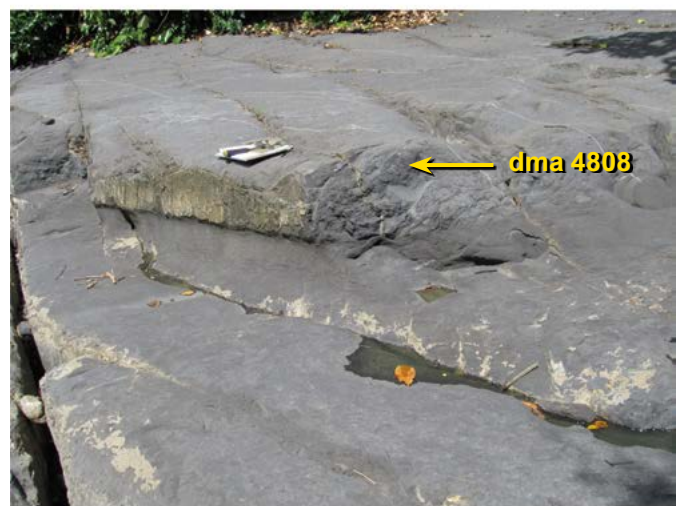


Figura 17. Conjunto B1. Alternancia de calizas *mudstone* de aspecto macizo, de tono gris claro (N8), que dan resalte en el perfil topográfico (**dma 4808** y **dma 4810**), y *mudstone* calcáreos con cuarzo que generan entrantes en la morfología (**dma 4809**). El cambio de entrantes a salientes en 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 μm , 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 μm de diámetro; en su interior hay cristales de calcita espar interpretados como *fungus fruiting bodies* (Goldstein 1988); **b)** cuerpos circulares de 40 a 60 μm de diámetro, con varios tipos de anillos, identifica-

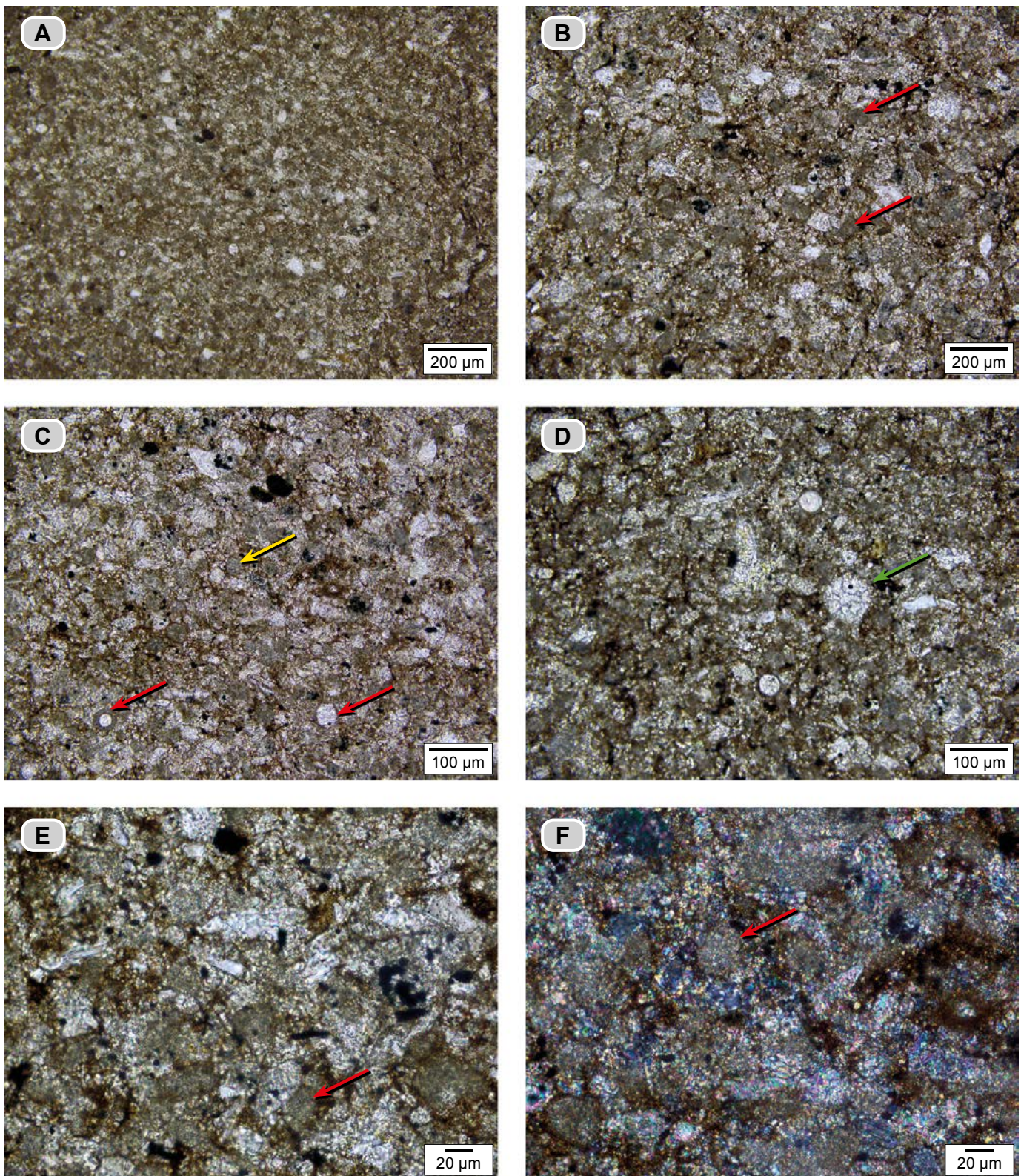


Figura 18. Caliza *mudstone* de aspecto macizo (dma 4816) con el microscopio se identifica como pelmicrita con recrystalización. **A)** Aspecto general de la roca; nótese las formas redondeadas de tono gris claro: peletoides de micrita (Flügel 2010, fig. 4.12). **B)** Con mayor aumento se observan peletoides 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 *fungal 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.

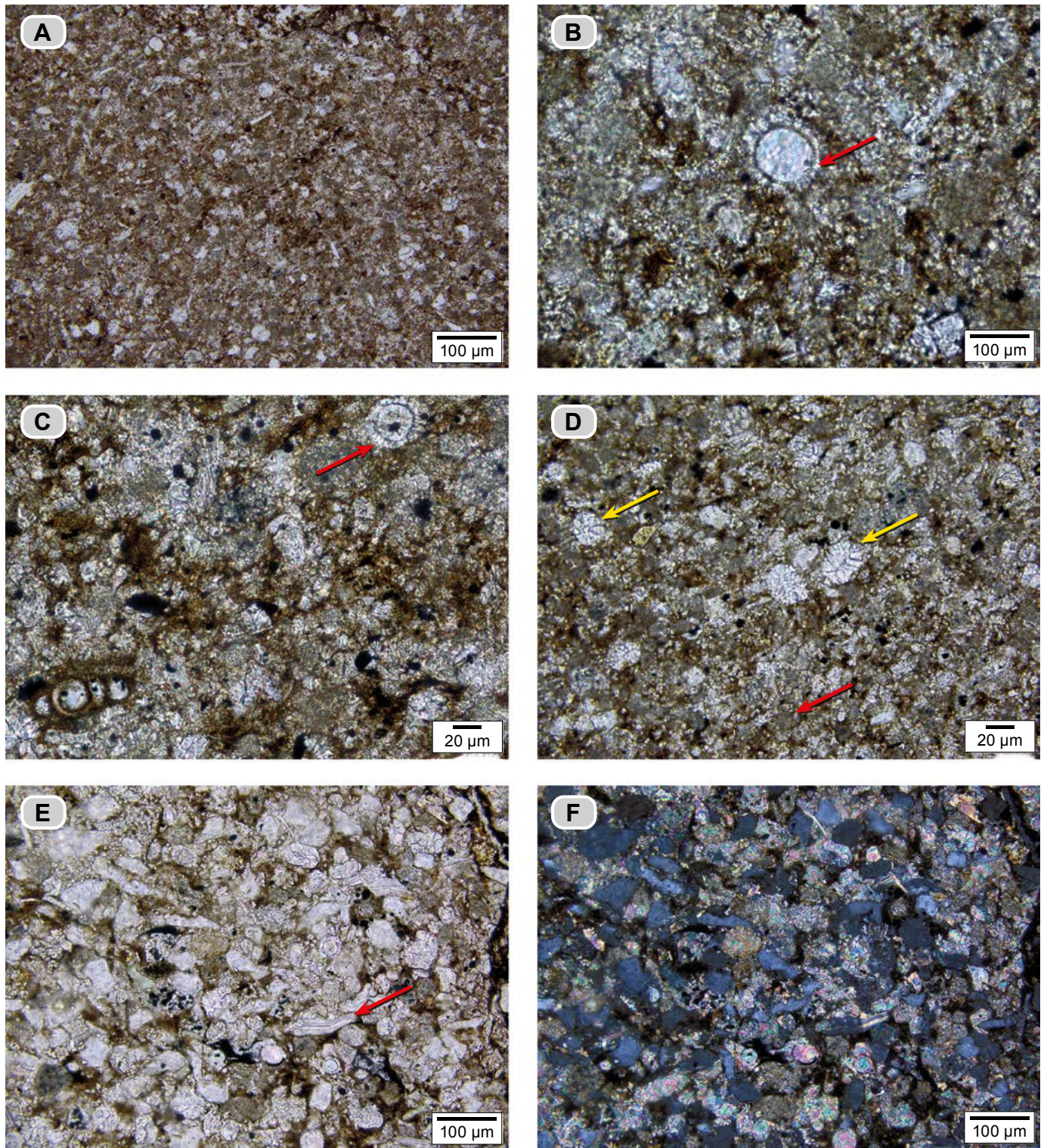


Figura 19. Calizas *mudstone* de aspecto macizo (**dma 4808**). Con microscopio se identifican como pelmicritas con recrystalización (**A, B, C y D**). **A)** Aspecto general de la roca; nótese el contraste de tonos entre los peletoides de micrita de tonos grises, micrita de tono pardo oscuro, además 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), micrita de tono pardo oscuro y un mosaico de cristales de calcita, por recrystalización. **D)** Presencia de cuerpos circulares con diámetro de 20 µm 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 pelecitoide 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 μm , reemplazados por cristales de calcita alargados, interpretados como *microcodium* (Kořir 2004.); **d)** escasas conchillas de foraminíferos bentónicos con tamaños entre 30 y 50 μm ; **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 β**). 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 μm ; **c)** fósiles (2-3%): cortes de espículas de equinodermos, cuerpos circulares rodeados por un anillo oscuro (quistes de dinoflagelados calcáreos), con tamaños de 40 μm , 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 ϕ (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 μm (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 μm ; **c)** quistes de dinoflagelados calcáreos, y **d)** cuerpos circulares de 40 a 60 μm de diámetro y formas ovaladas de tamaños entre 50 y 70 μm , 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%), feldespato (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 μm 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

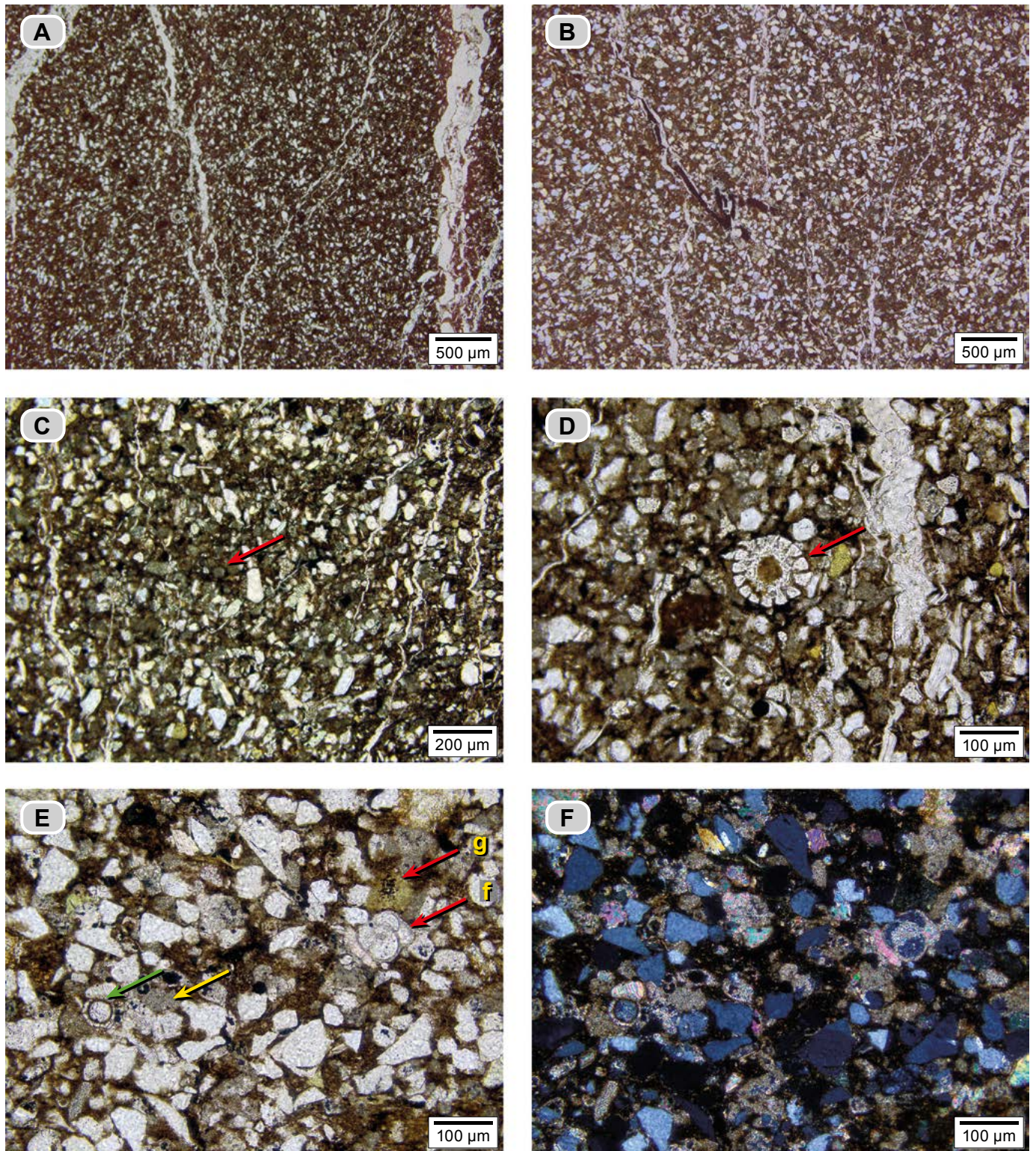


Figura 21. *Mudstone* calcáreos con materia orgánica y cuarzo, que parten en astillas y generan entrantes en el perfil topográfico. Con el microscopio se identifican como pelmicritas con cuarzo de textura limo y materia orgánica. **A)** Aspecto general de la muestra **dma 4809**: en tonos blancos destacan 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 nicoles cruzados.

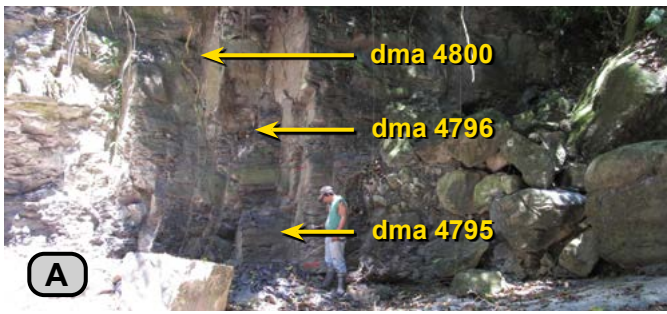


Figura 22. A) Conjunto B2. Calizas *mudstone* con cuarzo en capas gruesas que alternan con intervalos de hasta de 2,4 m de *mudstone* calcáreos con cuarzo y materia orgánica (dma 4795, 4976 y 4800). B) Ampliación de la capa que aparece en la parte inferior de la figura A, y representa el techo del intervalo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

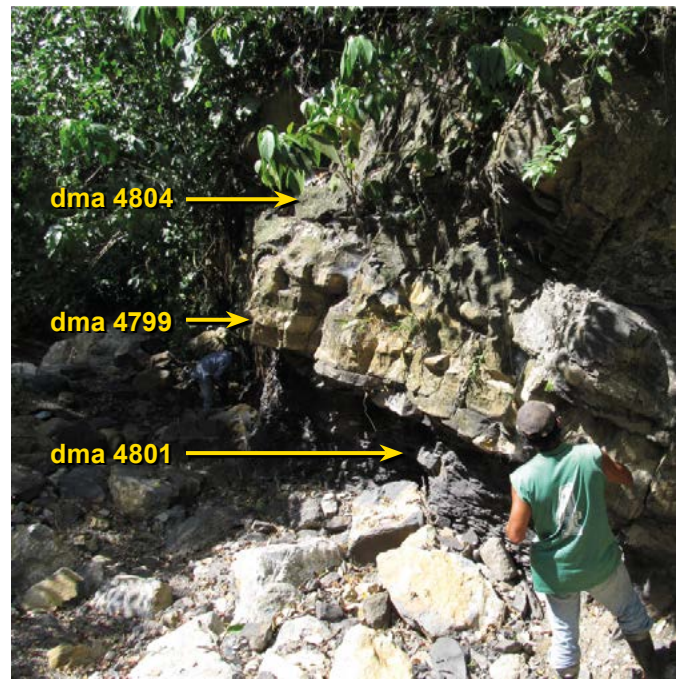


Figura 23. Conjunto B2. Calizas *mudstone* (dma 4799), en capas gruesas y concreciones calcáreas de diámetro Φ de hasta 30 cm, que alternan con *mudstone* calcáreos con cuarzo (dma 4801 y dma 4804), también en capas gruesas (metros 49 a 51).

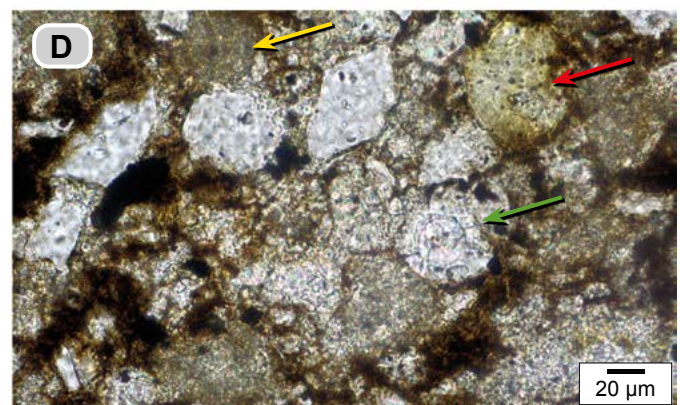
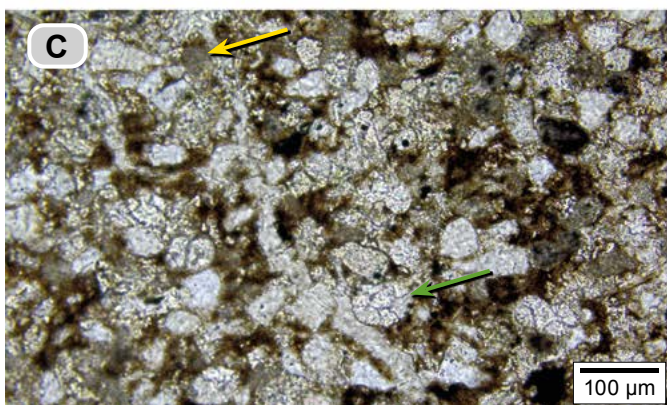
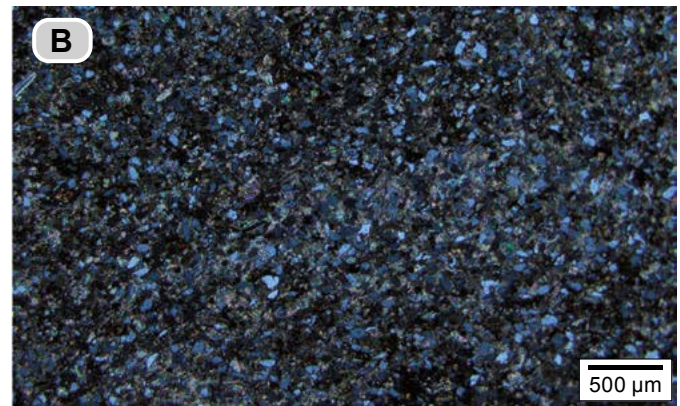
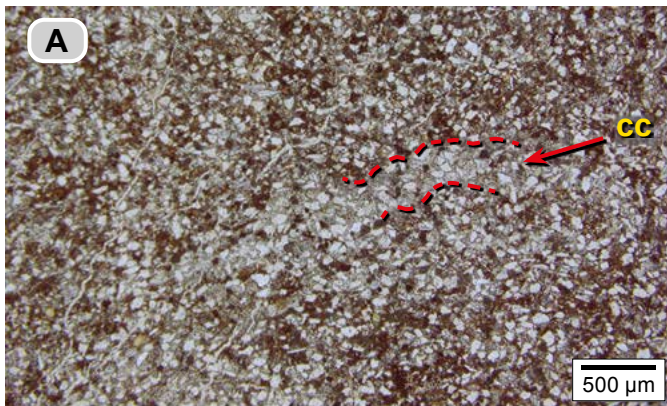


Figura 24. Caliza *mudstone* con cuarzo (dma 4794). Con el microscopio es una biopelmicrita con recrystalización y cuarzo. A) Aspecto general de la roca: las líneas rojas punteadas encierran sectores bioturbados de color claro, en donde el material entre el armazón corresponde a mosaicos de cristales de calcita espar (cc). B) Fotografía de la misma sección delgada hecha con nicóles 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).

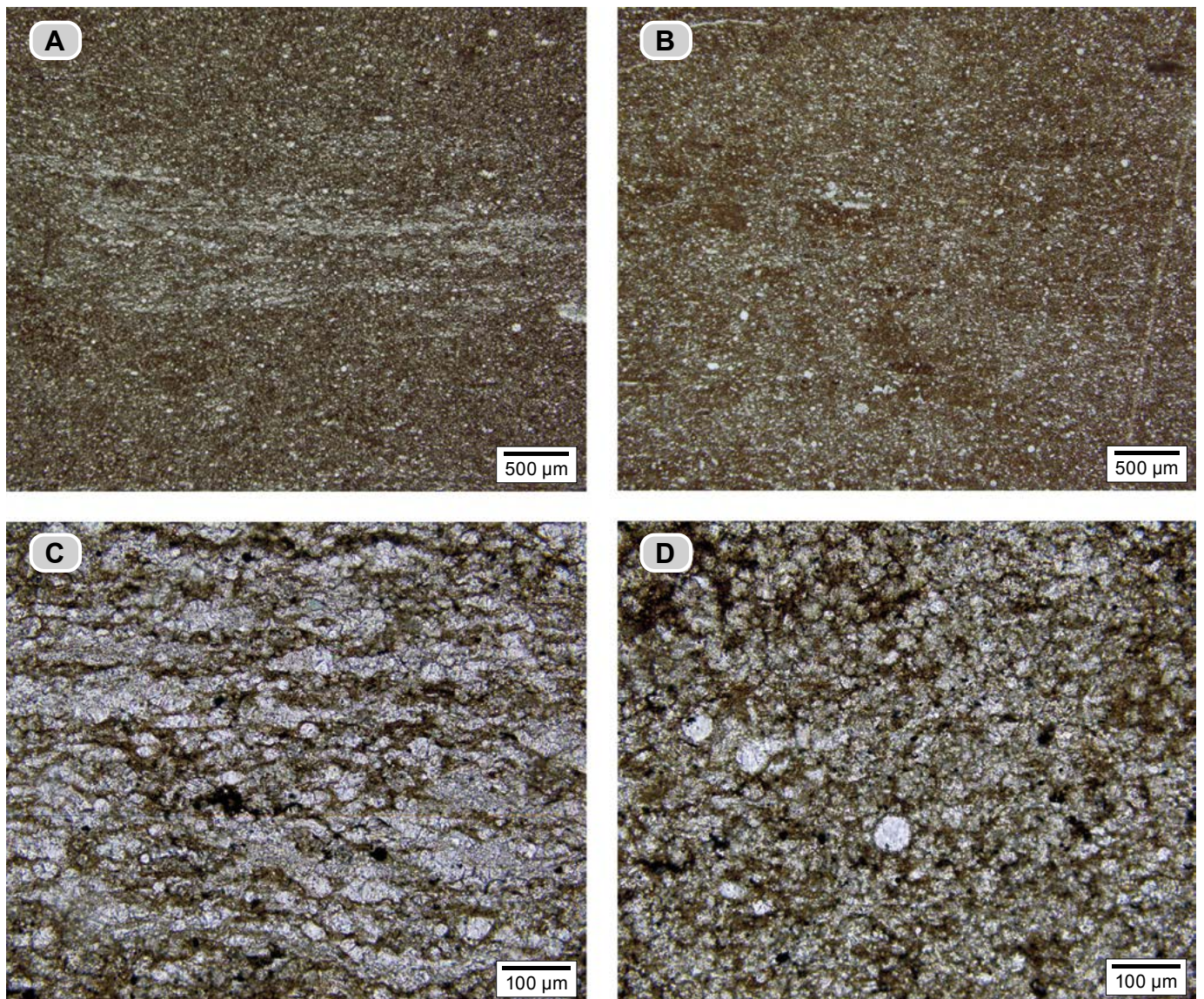


Figura 25. Caliza *mudstone* (dma 4799), que en el microscopio se identifica como un *bindstone* recristalizado con bioturbación. **A)** Láminas claras, relictos por la bioturbación, y láminas oscuras más gruesas. **B)** Otro sector de la sección delgada con bioturbación moderada (distinta) y fragmentos 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.

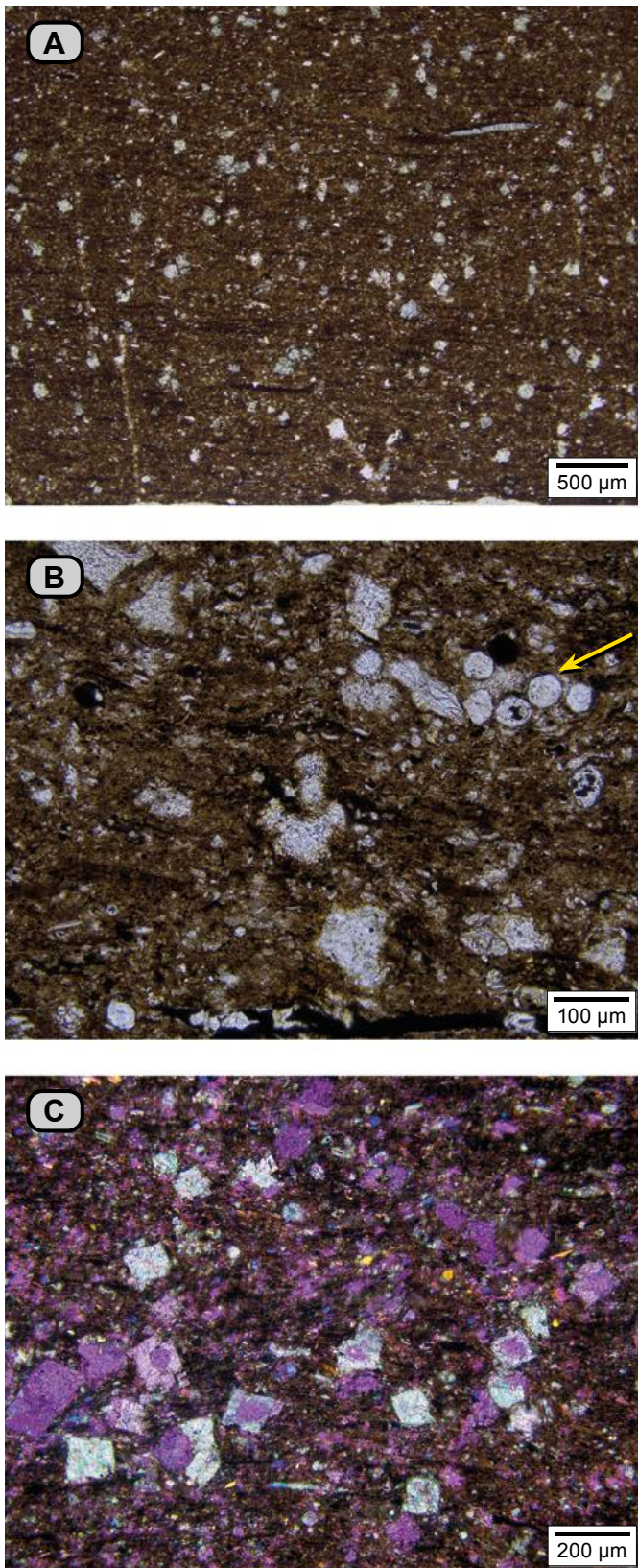


Figura 26. *Mudstone* calcáreos con materia orgánica, con el microscopio se identifican como un *bindstone* con materia orgánica (**dma 4808**). **A)** Aspecto general: se observan láminas de micrita con laminillas de materia orgánica. **B)** Nótese las concentraciones de cuerpos circulares de 20 a 25 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 λ).

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 rectangulares, 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.

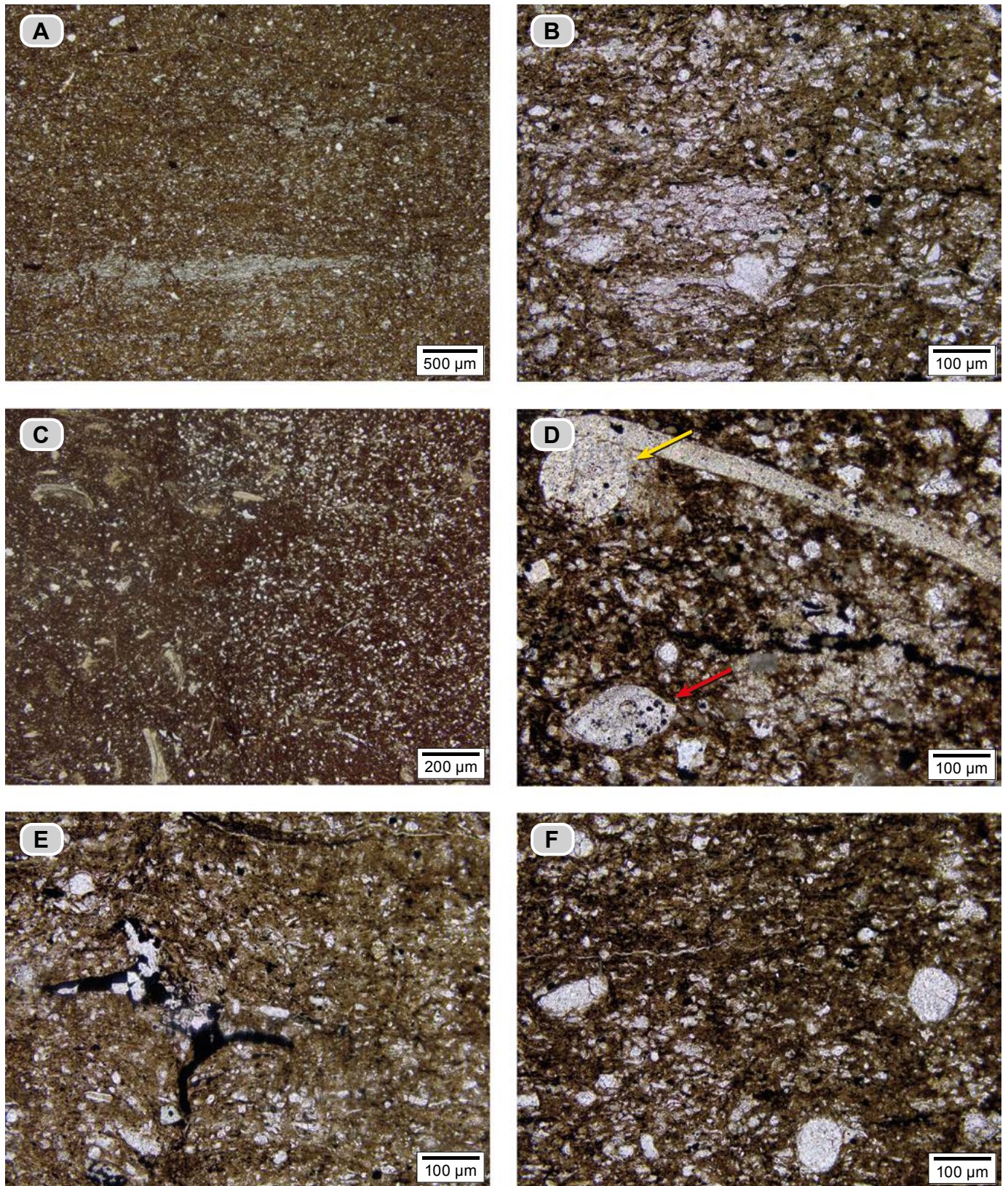


Figura 27. *Mudstone* calcáreos con materia orgánica (**dma 4801** y **dma 4804**); en el microscopio se identifican como *bindstone*. **A**) Nótese los relictos de láminas claras (**dma 4801**). **B**) Detalle del extremo SW de la figura **A**, para mostrar la bioturbación y los restos de láminas recristalizadas 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.

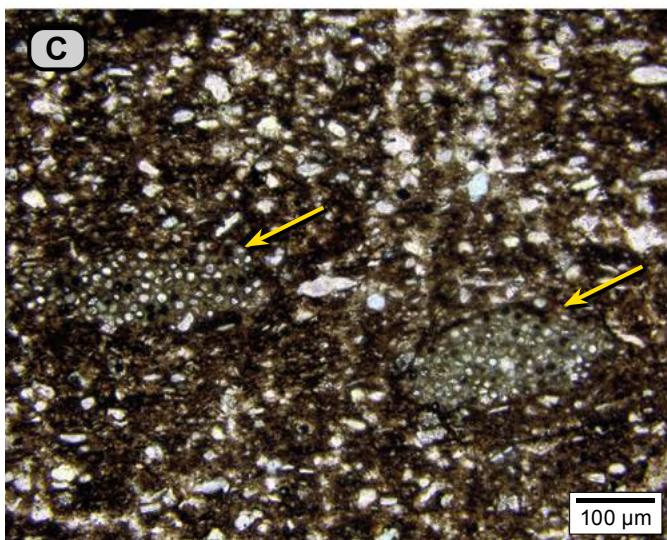
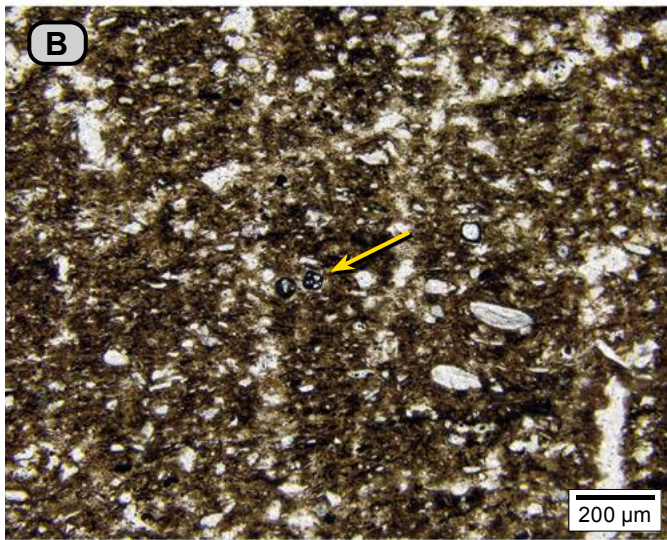
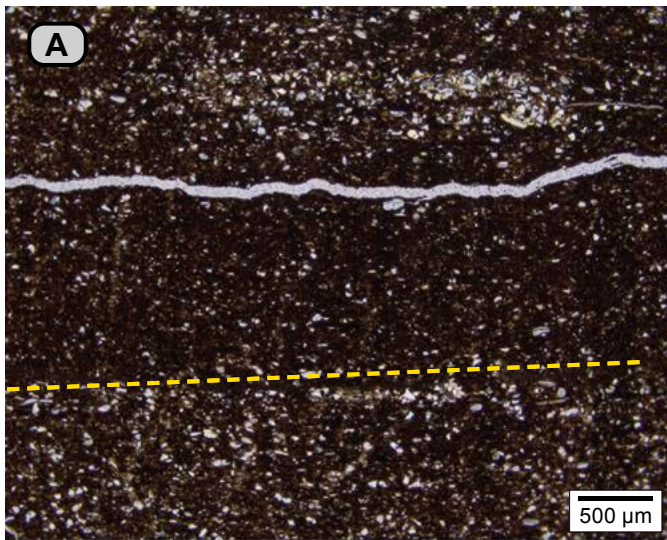


Figura 28. *Mudstone* de carbonatos con materia orgánica; en el microscopio se identifica como un *bindstone* con materia orgánica (**dma 4796**). **A)** Láminas diferenciables con base en el porcentaje de terrígenos (límite destacado por la línea punteada amarilla). **B)** La flecha señala posible coprolito 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 lascas. Se observan mardigueras 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).

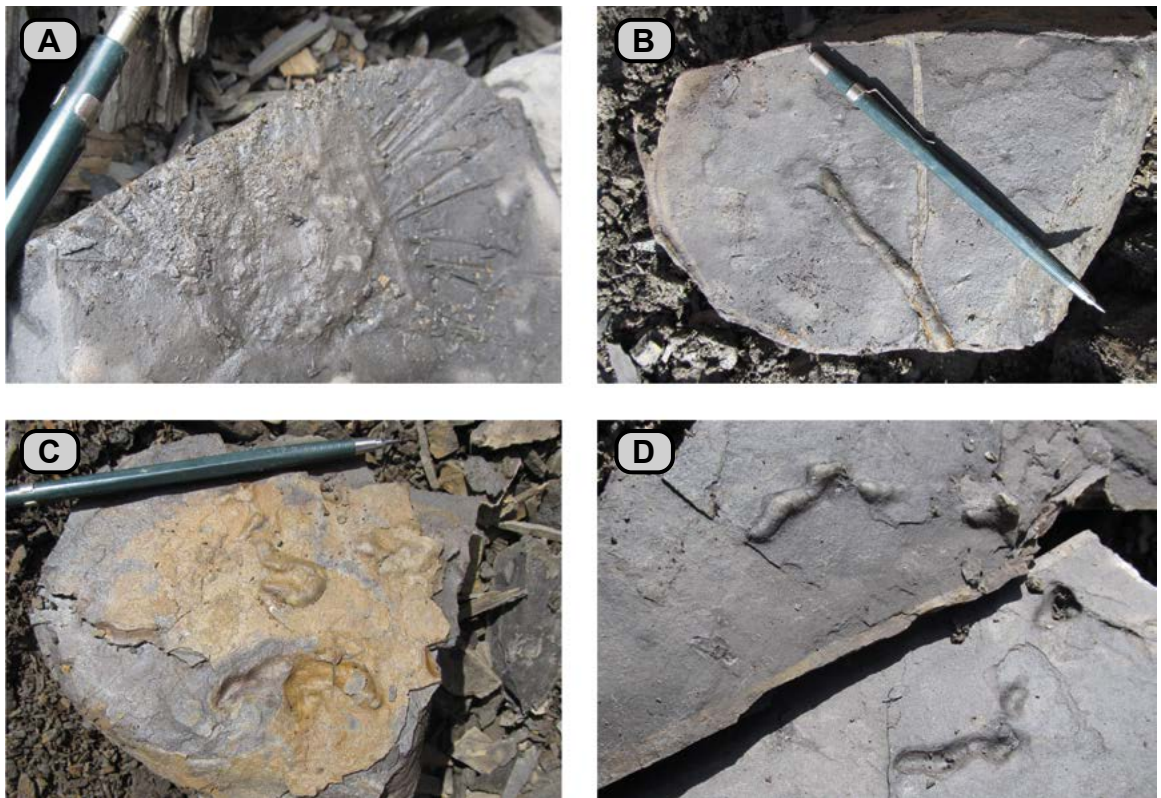


Figura 32. A) Impresión en vista de planta de caparazón de equinodermo con sus espículas aún adheridas (metro 60). B, C y D) Rasgos de bioturbación identificados como madrigueras (metros 63 a 65, sección La Molinilla).

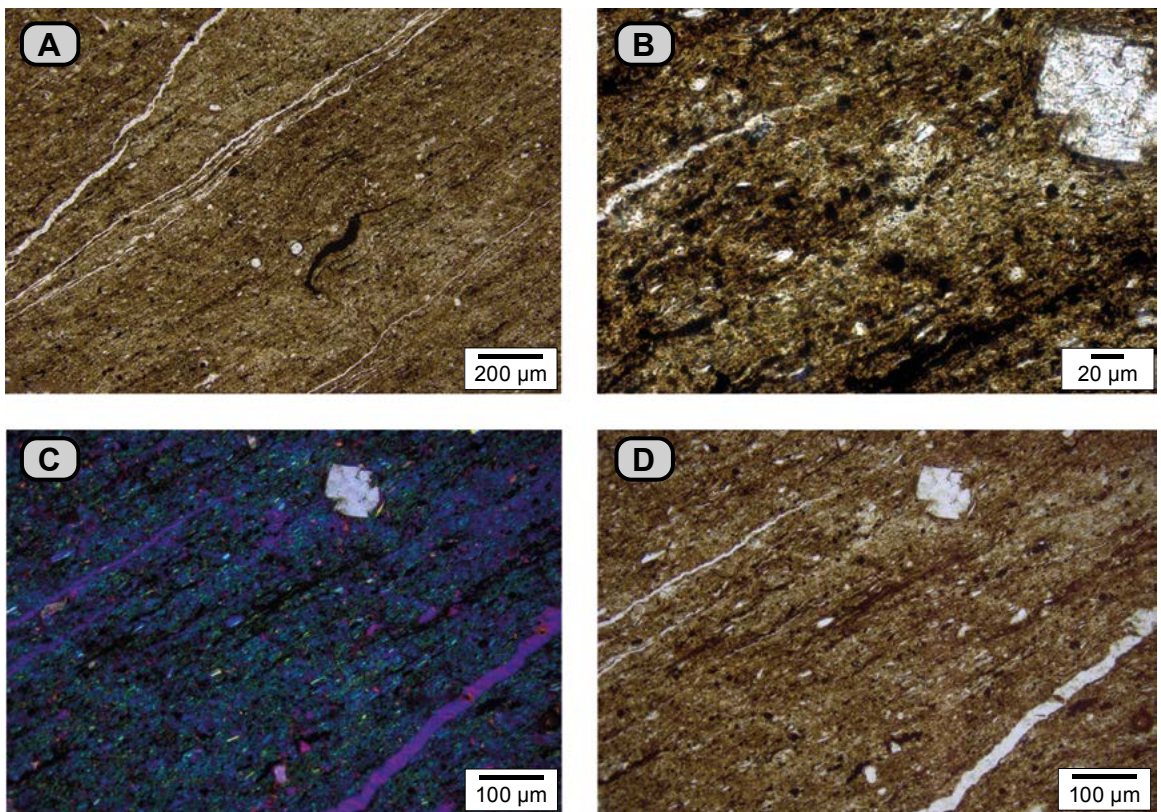


Figura 33. *Mudstone* arcilloso con materia orgánica (dma 4806), con el microscopio se identifica como un *bindstone* con arcillas. A) Obsérvense las láminas de los tapices microbiales con arcilla adherida y las laminillas de materia orgánica con estructura ondulada recostada (Porada, Ghergut y Bouougrí 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.

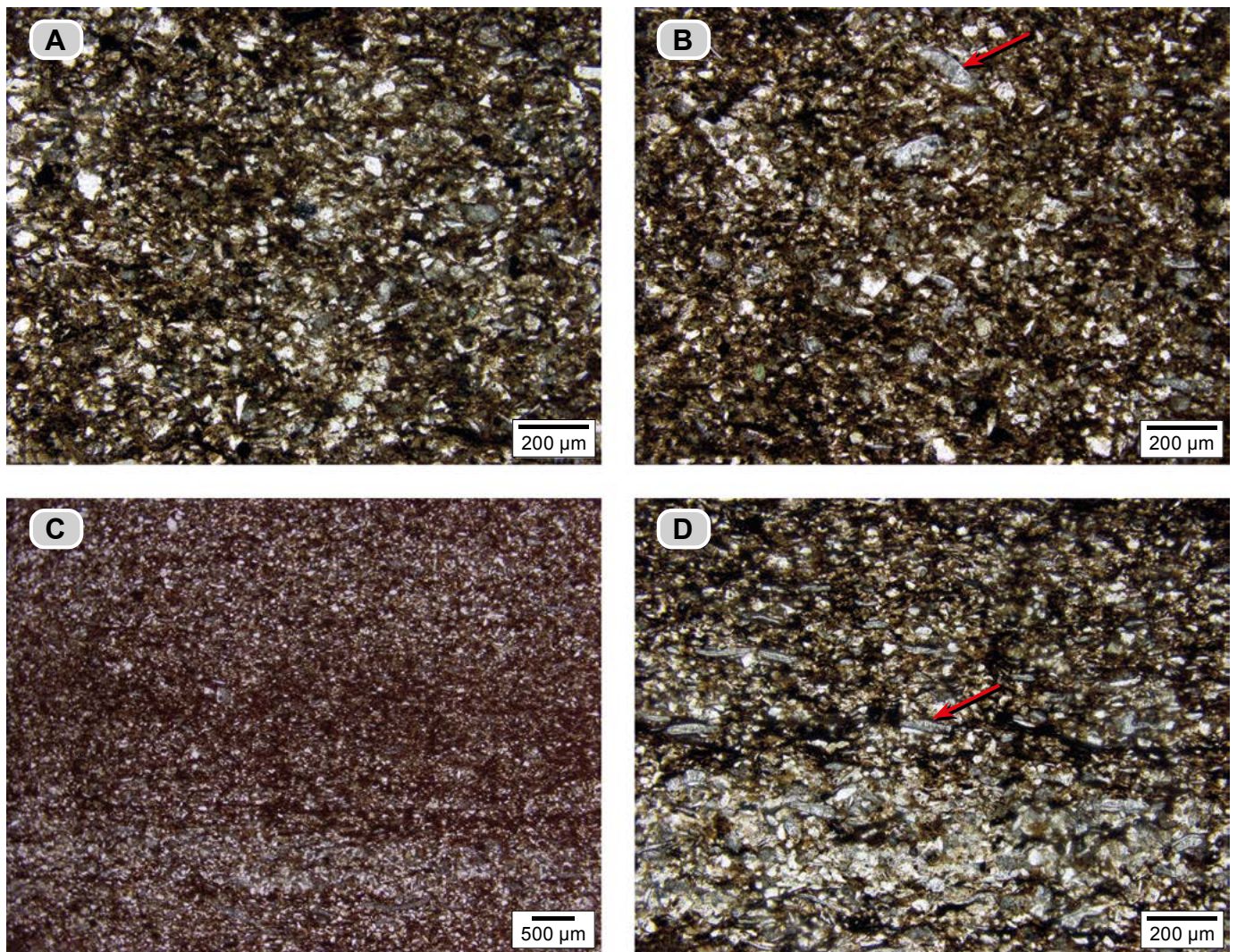


Figura 34. A y B) *Mudstone* calcáreo con materia orgánica (dma 5363), con el microscopio se identifica como una micrita fosilífera con cuarzo. Nótese el moteamiento indistinto por bioturbación. Los constituyentes son: lodo calcáreo pardo oscuro, fragmentos de cuarzo blancos, fragmentos de bivalvos (flecha 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 Φ 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 ϵ**). 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 μm , 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).

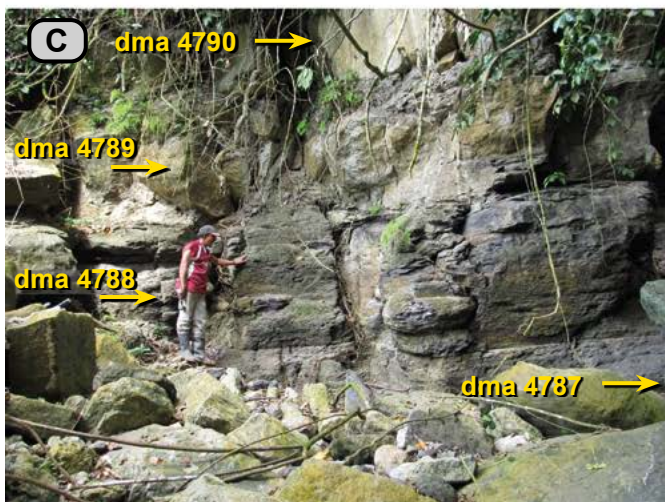


Figura 35. A) Conjunto D1, conformado por limolitas de cuarzo con láminas entre delgadas y medianas (metro 69, Δ10). B) Se observan limolitas laminadas hacia la base (conjunto D1), y bioturbadas hacia el techo (conjunto D2, metros 72 a 75, Δ8). C) Conjunto D2, limolitas del techo; obsérvese la forma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

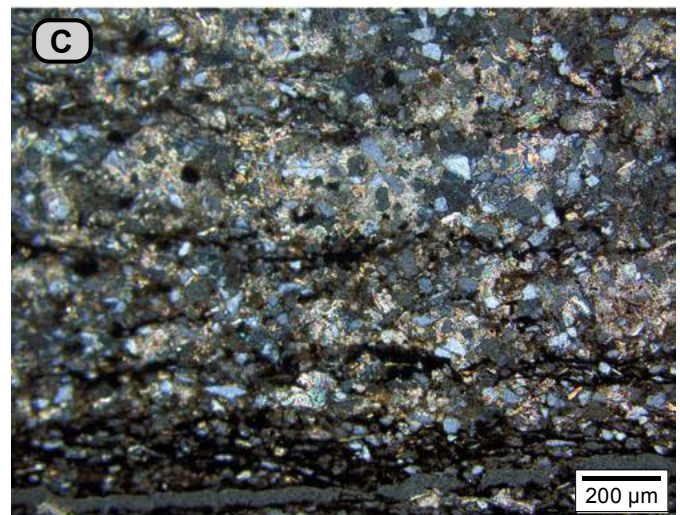
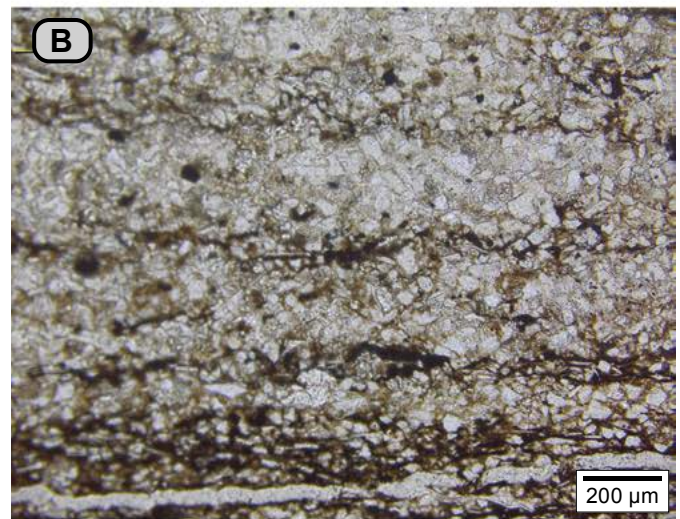
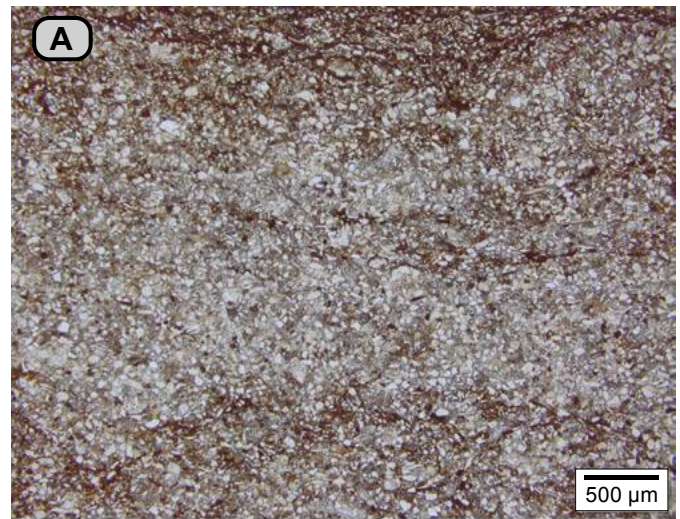


Figura 36. Limolitas de cuarzo (dma 4781). A) Aspecto general; se observan láminas en tonos claros y oscuros con límites difusos (bioturbación). B) Otro sector de la placa observado con mayor detalle, que deja ver los constituyentes de las láminas; en las láminas claras el material entre granos es cemento 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 nicules cruzados; nótese los contactos ondulosos entre las láminas y el cemento esparfítico.

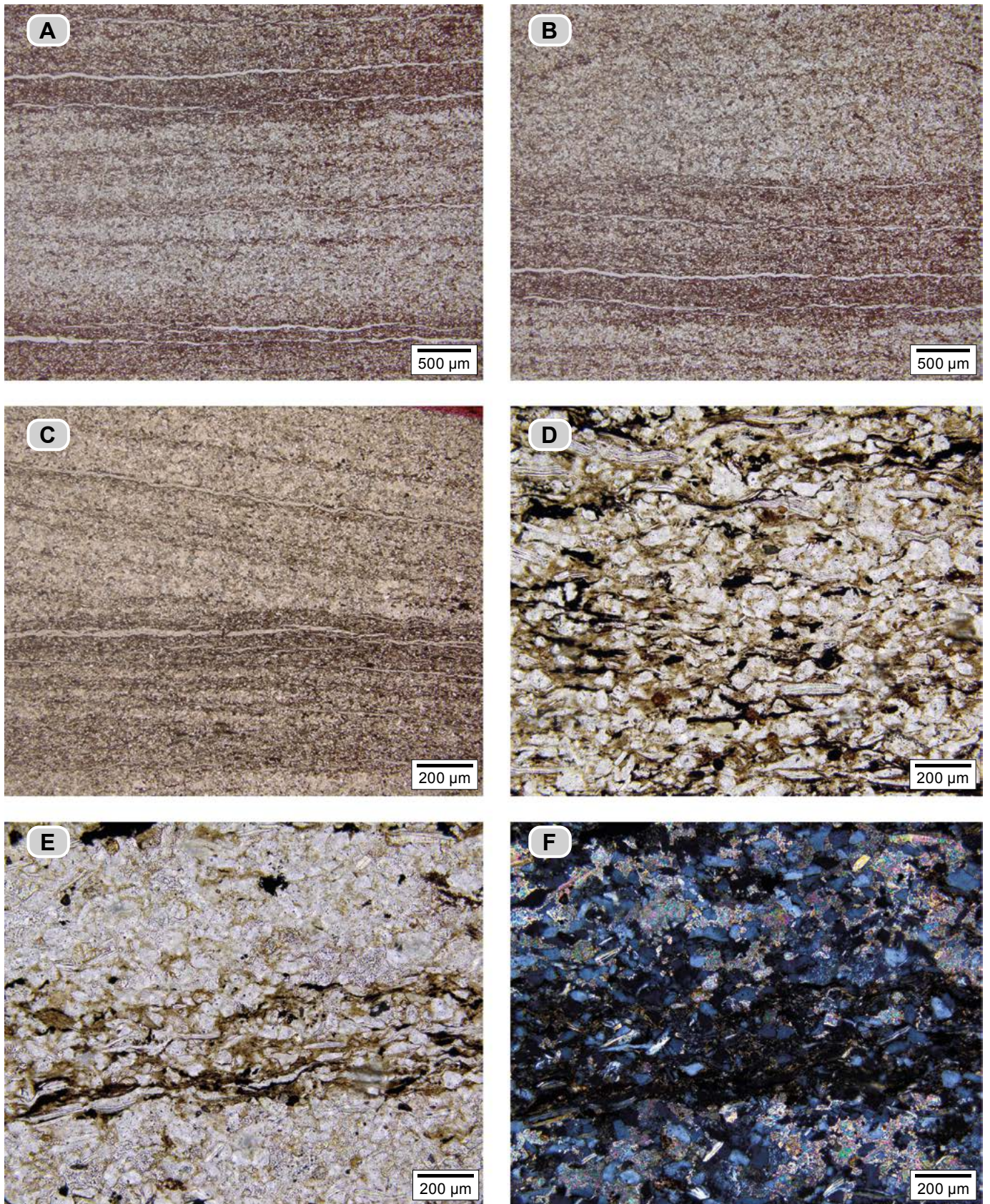


Figura 37. Limolitas de cuarzo laminadas (dma 4793). En **A**, **B** y **C** se observan láminas entre muy delgadas y delgadas, planas paralelas e inclinadas, resaltadas por color y composición (presencia de matriz arcillosa y materia orgánica). **D**) Lámina oscura constituida por cuarzo y moscovita 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 π**); 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 μm ; 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 μm 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 π**) (fig. 39):

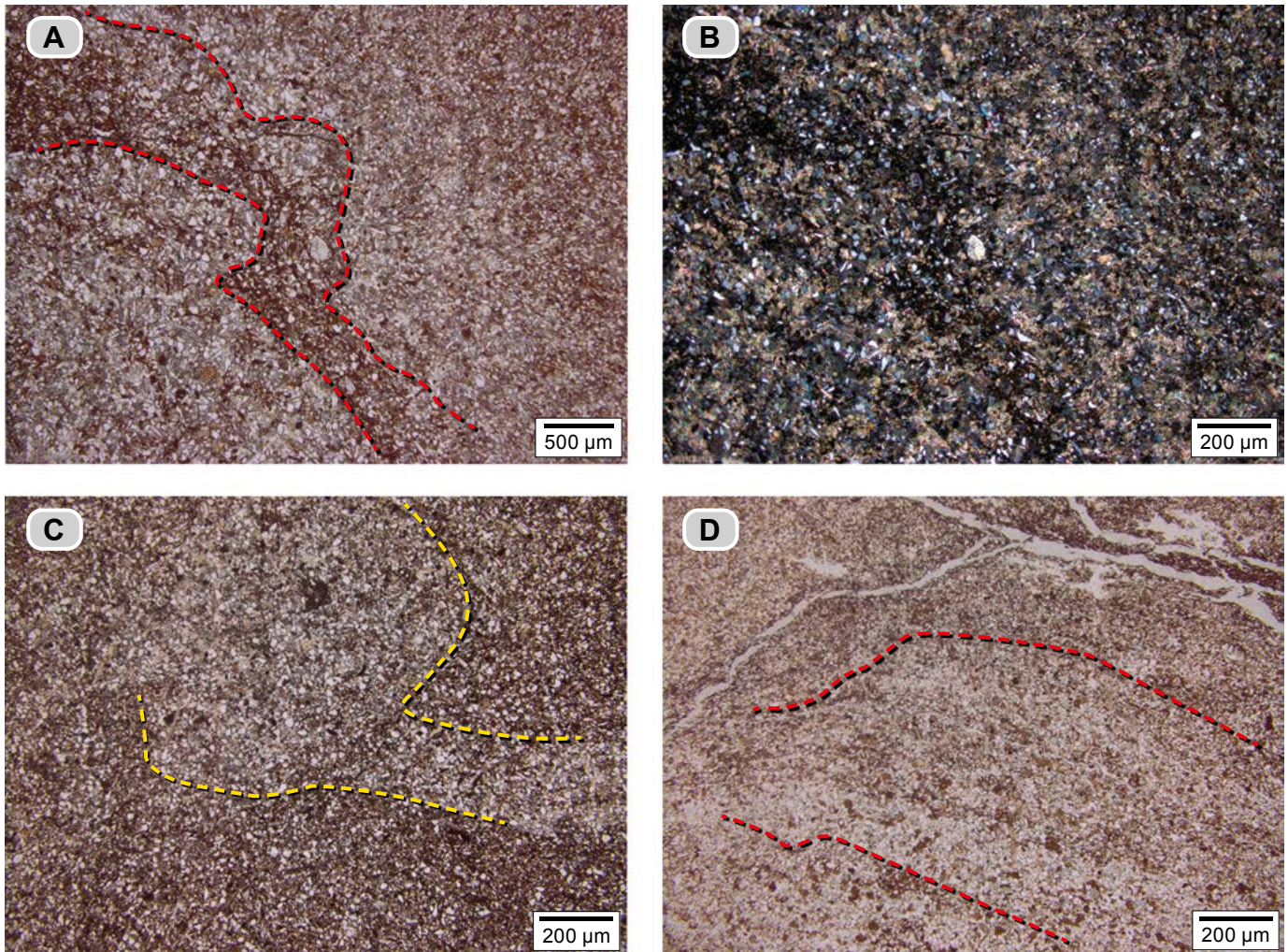


Figura 38. Limolitas bioturbadas (alta a moderada). **A y B)** Limolita de cuarzo (**dma 4782**). Se observa moteado indistinto: las líneas rojas punteadas trazan los límites entre sectores claros y oscuros, producto de bioturbación; en el sector oscuro, el porcentaje de matriz arcillosa es mayor, mientras 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.

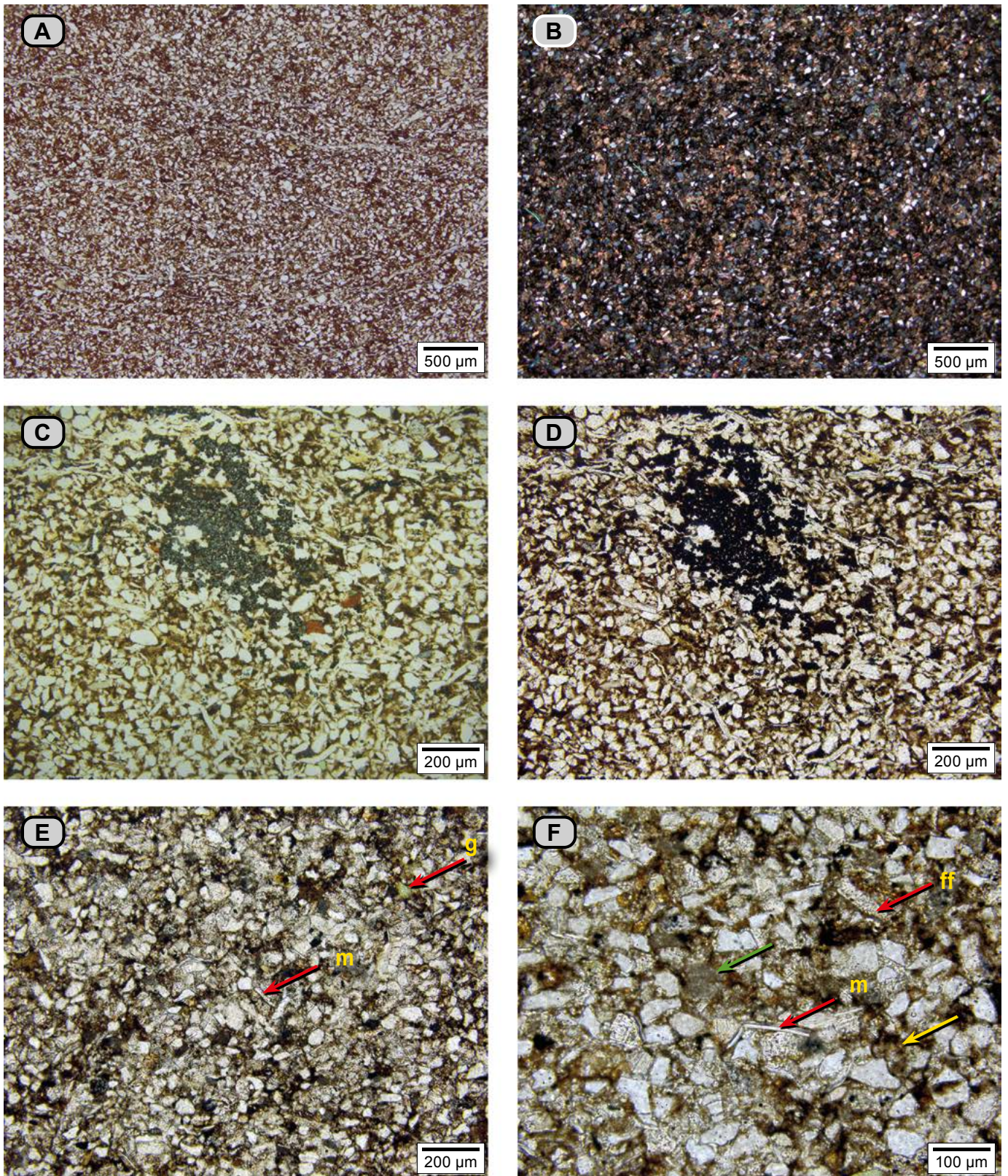


Figura 39. Limolitas con bioturbación entre muy alta y completa. **A, B, C y D)** Limolita de cuarzo con bioturbación alta (**dma 4788**). **A)** Aspecto homogéneo de la roca, y **B)** fotografía anterior hecha con nicoles cruzados. **(C)** Otro sector de la sección delgada y fotografía hecha con luz 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 μm . 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).

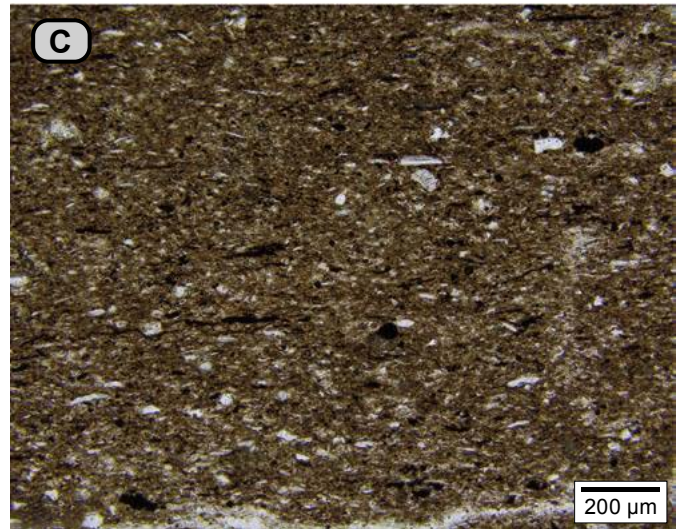
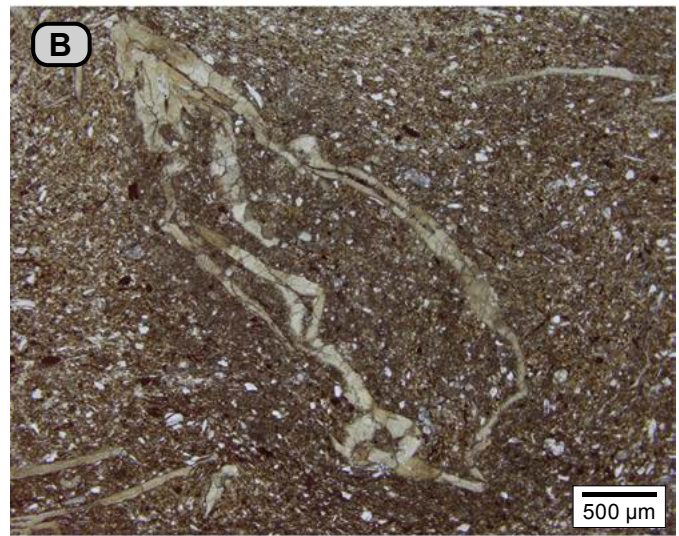
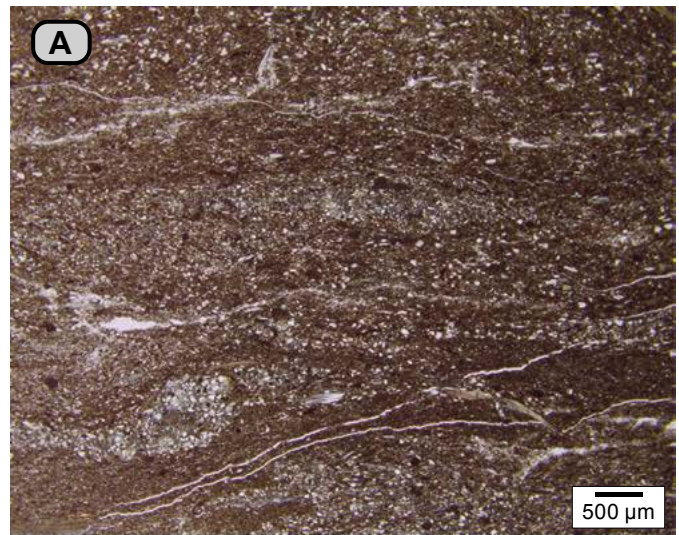


Figura 41. Mudstone arcilloso (**dma 5374**). **A)** Aspecto general: en tonos claros se observan láminas irregulares y madrigueras de limolitas, y en tonos oscuros, *mudstone* arcillosos y *mudstone* arcillosos con cuarzo con tamaño limo. **B)** Otro sector de la sección delgada; nótese la presencia 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 pirita.

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 Φ**), 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

aflorescimientos 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).

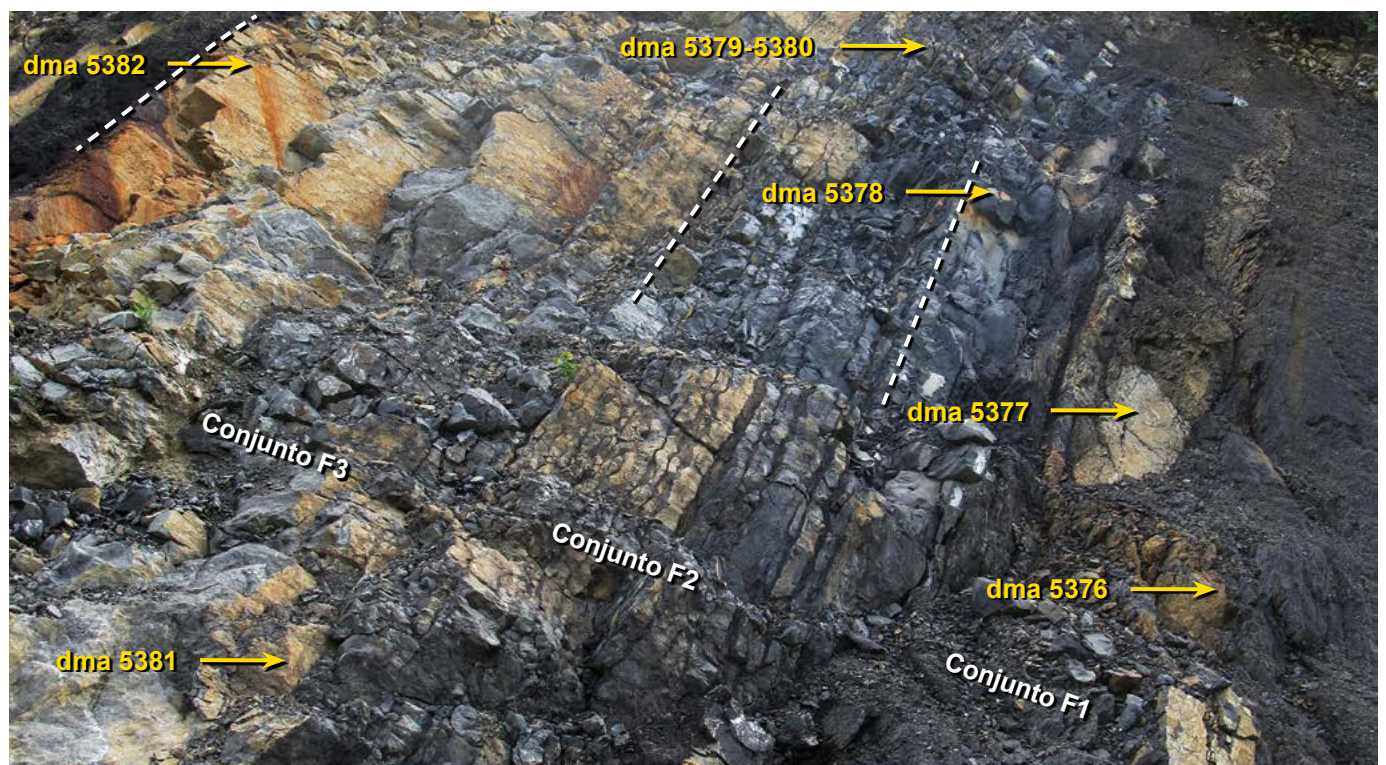


Figura 42. Fotografía de la mitad inferior del intervalo estratigráfico F: el conjunto F1 (87-91 m) corresponde a un *wackestone* de bivalvos (**dma 5376**), *packstone* de bivalvos (**dma 5377**), y termina en un *packstone* de bivalvos (**dma 5378**). En las partes inferior y superior del conjunto 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.

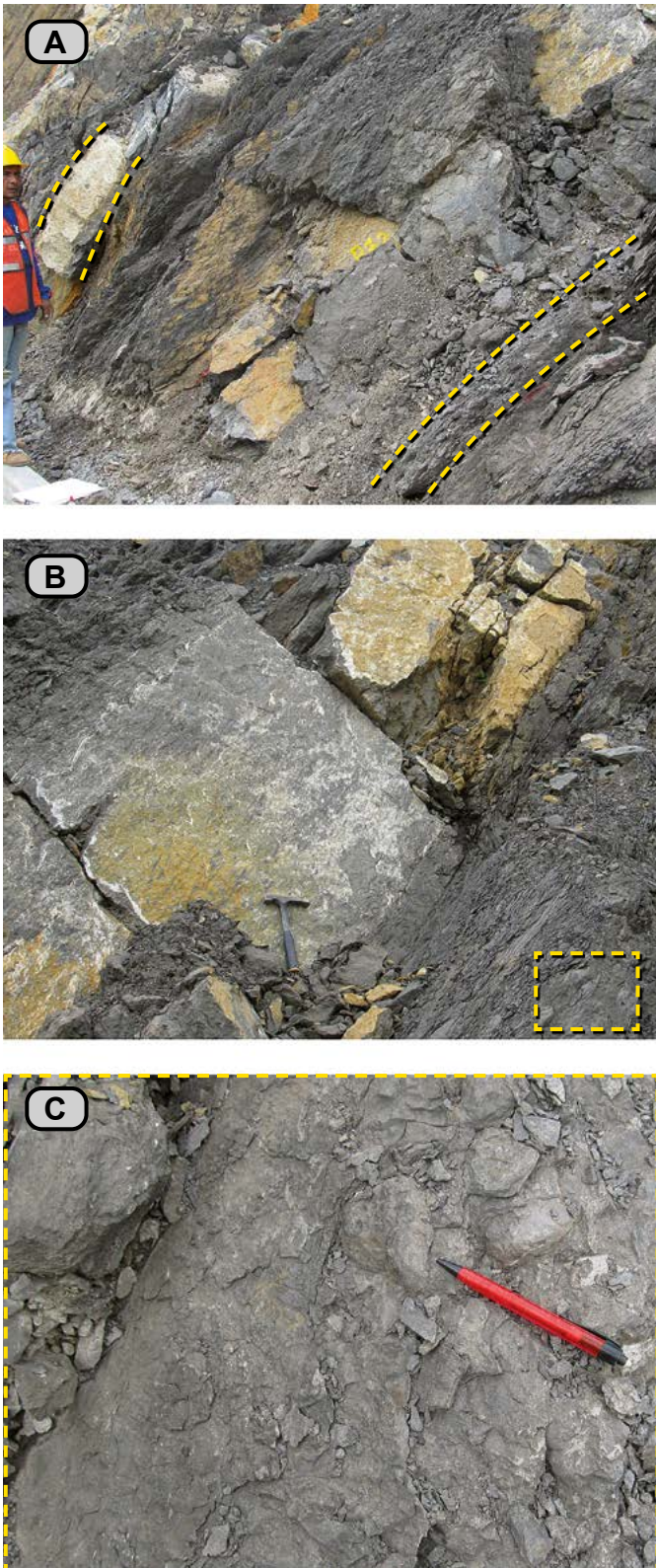


Figura 43. Conjunto F1. Calizas con texturas de *wackestone* y *packstone*, con bivalvos cuyos tamaños varían desde 5 mm hasta 2 cm, dispuestos en capas gruesas (metros 94 a 96). **A)** Afloramiento donde se observan tres capas: la inferior, de color gris (N4), muestra nodularización; la intermedia, 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 madrigueras (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 calibrado 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 μm , 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 μm (12%); se observa cómo es-

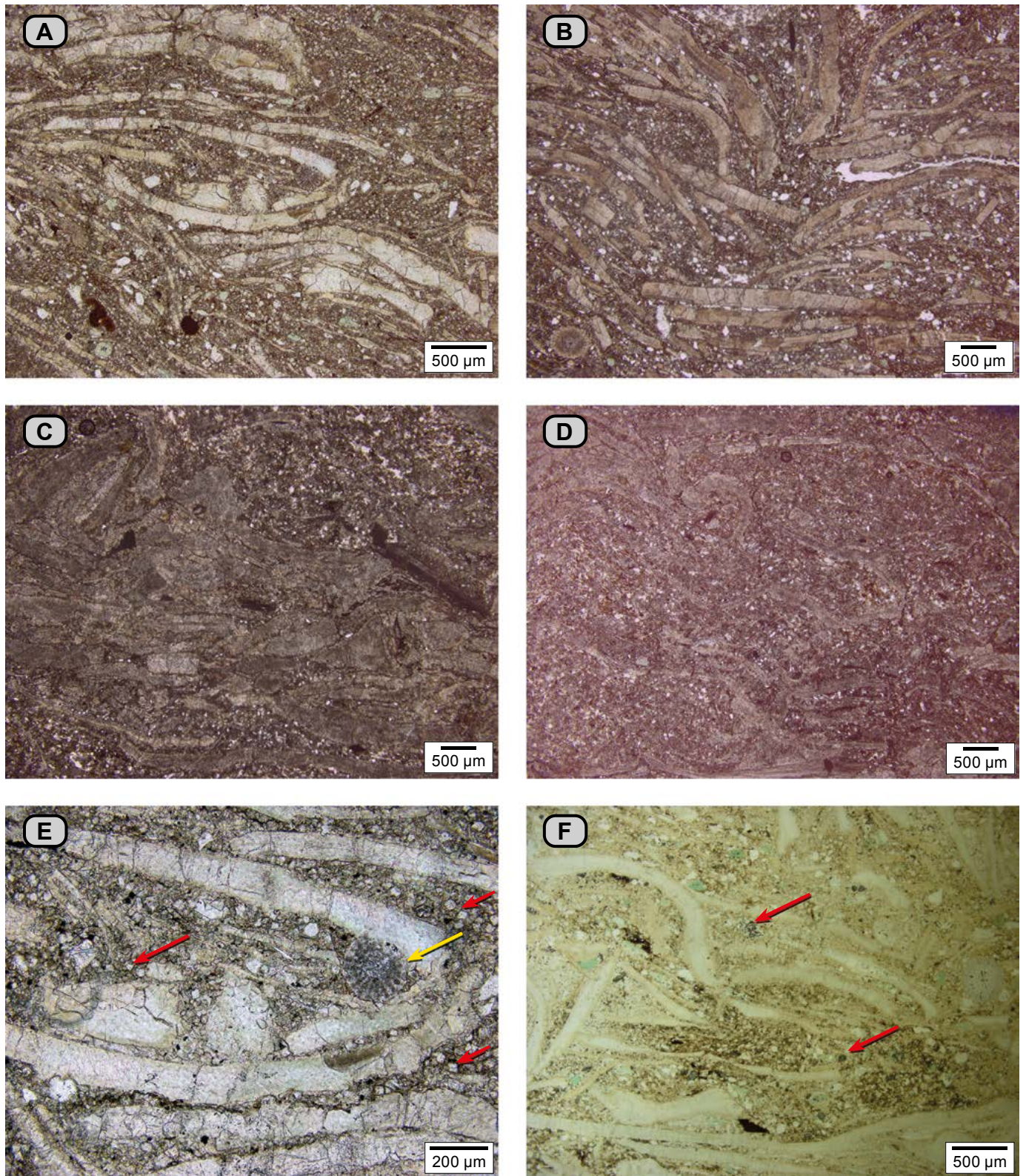


Figura 44. Diferentes gamas texturales en las calizas del conjunto F1. **A)** *Wackestone* (**dma 5376**), en el microscopio se identifica como biomicrita rala; nótese la disposición de las conchas paralelas a S_0 y el buen calibrado; entre los fósiles por neomorfismo se aprecian cristales rómbicos de 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 μm (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).

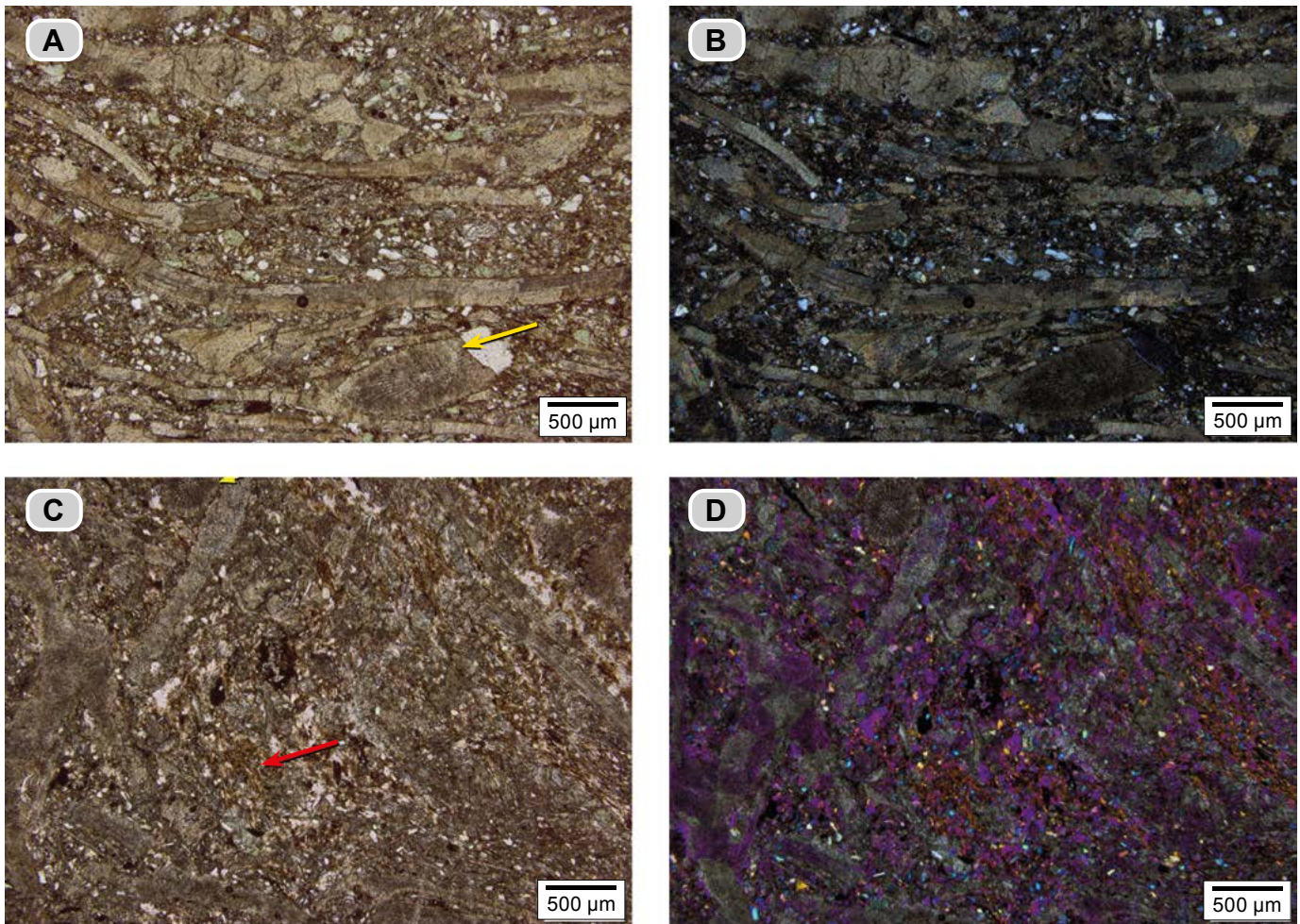


Figura 45. A y B) Caliza *packstone* (**dma 5377**). **A)** Se observan fragmentos de conchas de bivalvos y escasos restos de espículas de equinodermos (flecha amarilla); nótese la presencia de cuarzo y glauconita. **B)** Fotografía de **A** hecha con nicoles cruzados; el tono pardo oscuro entre las 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 μm . **D)** La misma fotografía de **C**, hecha con nicoles cruzados y el compensador 1 λ ; 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 μm , y **b)** cuerpos circulares

con diámetro de 40 μm y ovalados, con tamaños de 60 μm , 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

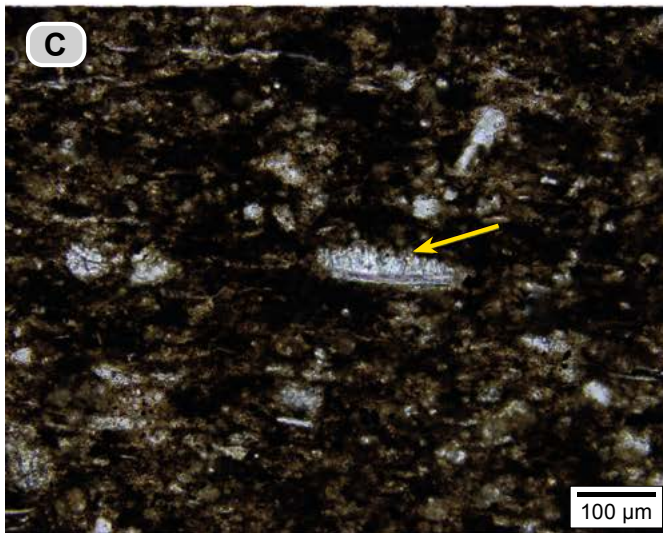
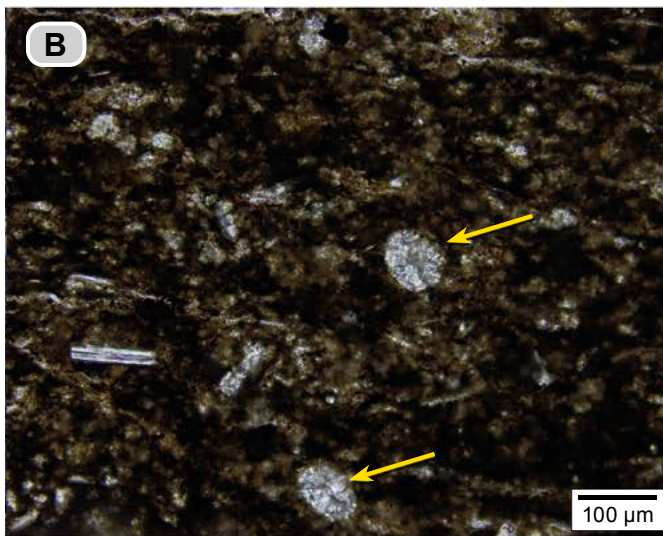
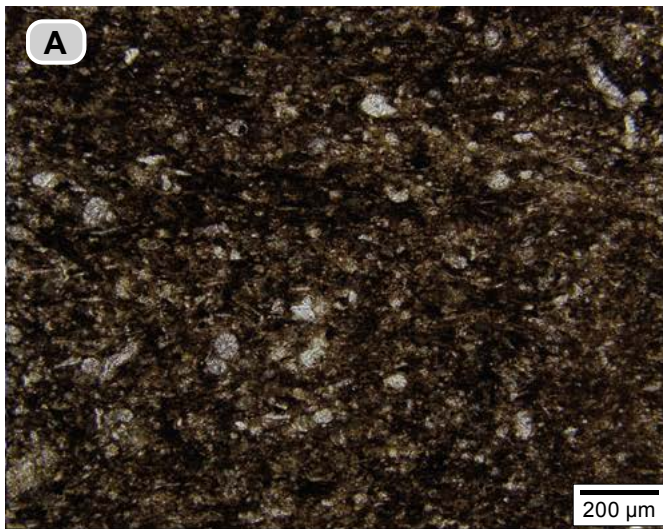


Figura 46. Caliza *mudstone* con materia orgánica (**dma 5379**). En el microscopio se identifica como una micrita fosilífera con materia orgánica. **A)** Aspecto general: se observa micrita y materia orgánica en motas negras; nótese la presencia de fósiles. **B)** Nótese cortes de espinas de espongiarios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

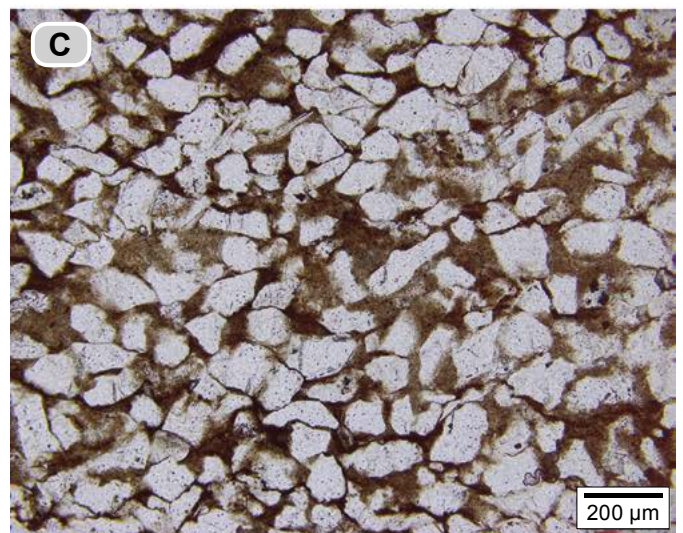
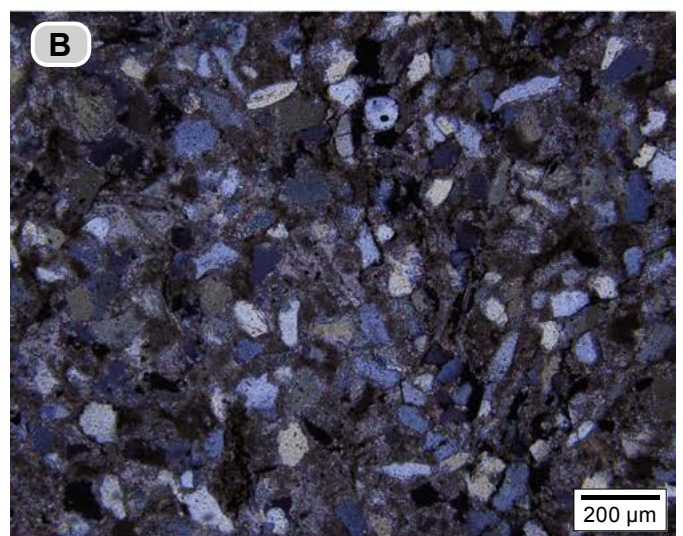
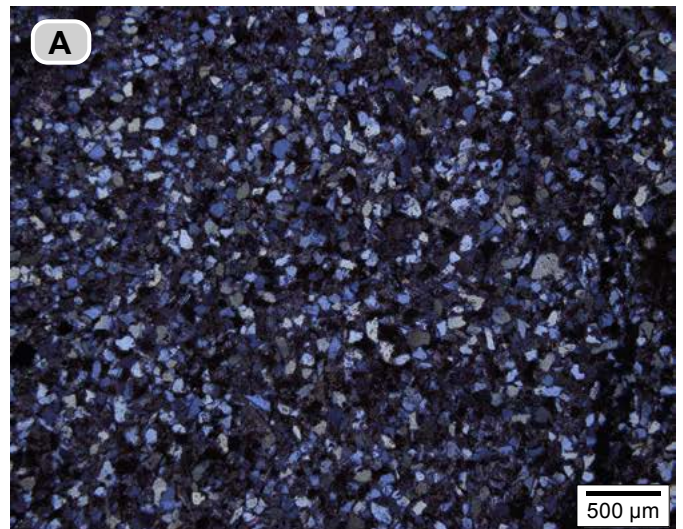


Figura 47. A y B) Arenita de cuarzo de grano muy fino con matriz de lodo calcáreo, con recrystalización incipiente (**dma 5381**). **A)** Aspecto general de la roca; nótese la bioturbación homogénea. **B)** Detalle de la figura **A**; se observan los granos de cuarzo y lodo calcáreo con recrystalización incipiente (fotografía hecha con nicoles 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 μm ; **b**) cuerpos calcáreos circulares con diámetro de hasta 40 μm y cuerpos ovalados calcáreos de tamaños de 80 a 95 μm , 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 μm (cortes de espículas de espongiarios); **b**) cuerpos de formas ovoides, calcáreos, con extinción única, con diámetro de hasta 80 μm (cortes de espículas de espongiarios); **c**) cuerpos calcáreos, alargados, con forma de agujas, con extinción única y tamaños de hasta 500 μm (espículas de espongiarios), y **d**) fragmentos de bivalvos con tamaño de hasta 200 μm . 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 μm (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 μm ; **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 μm , y ovalados tipo fríjol, de tamaños que varían de 60 a 80 μm , constituidos por un único cristal central de calcita (cortes transversales de espículas de espongiarios), y **b**) cuerpos calcáreos alargados (100 μm), 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**).

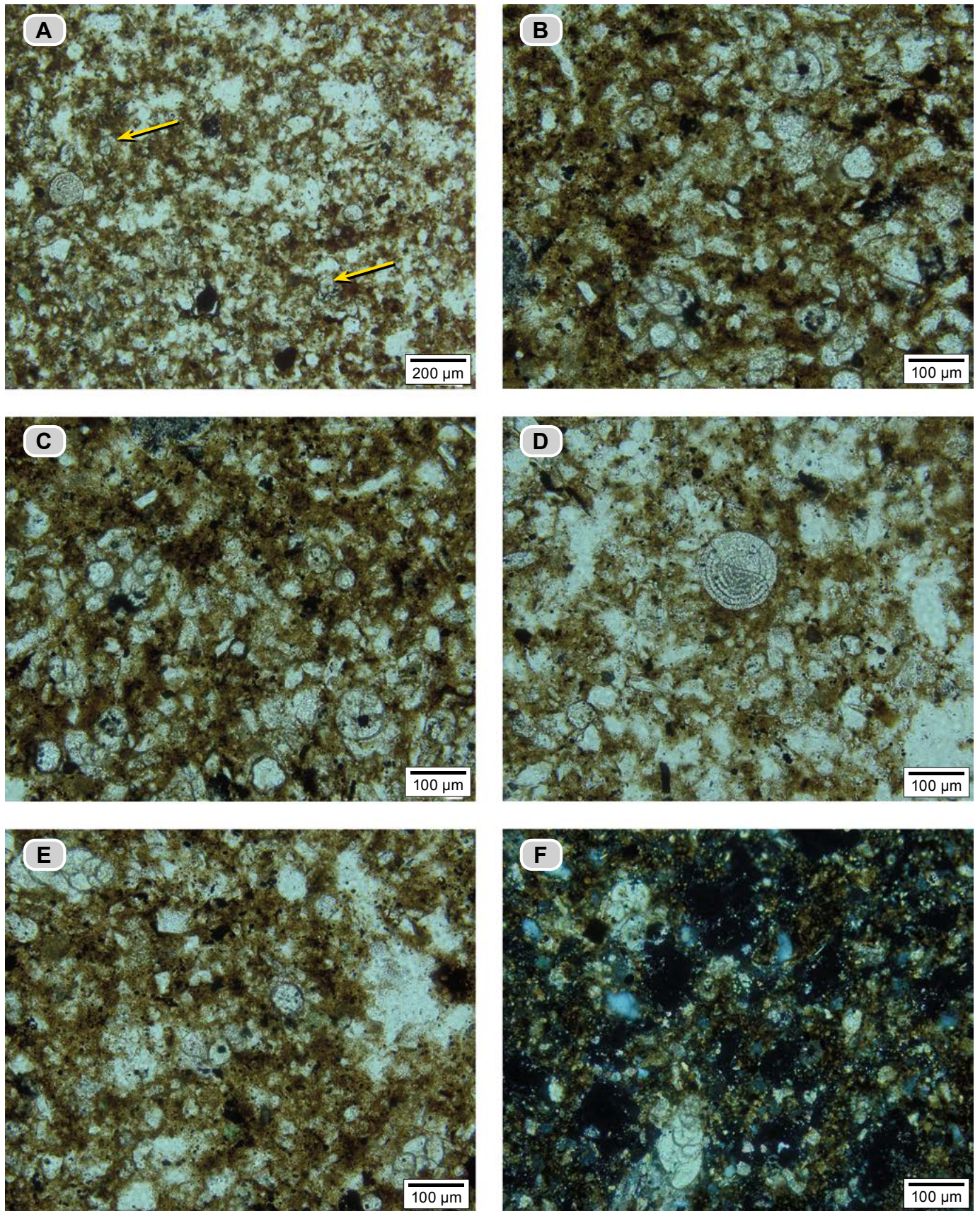


Figura 48. Caliza wackestone con textura arena muy fina (dms 5383), que bajo el microscopio se identifica como una biomicrita rala con foraminíferos bentónicos *Praebulimina* sp. **A)** Aspecto general de la roca: nótese la presencia de *Praebulimina* sp., algunas indicadas por flechas amarillas. **B, 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?

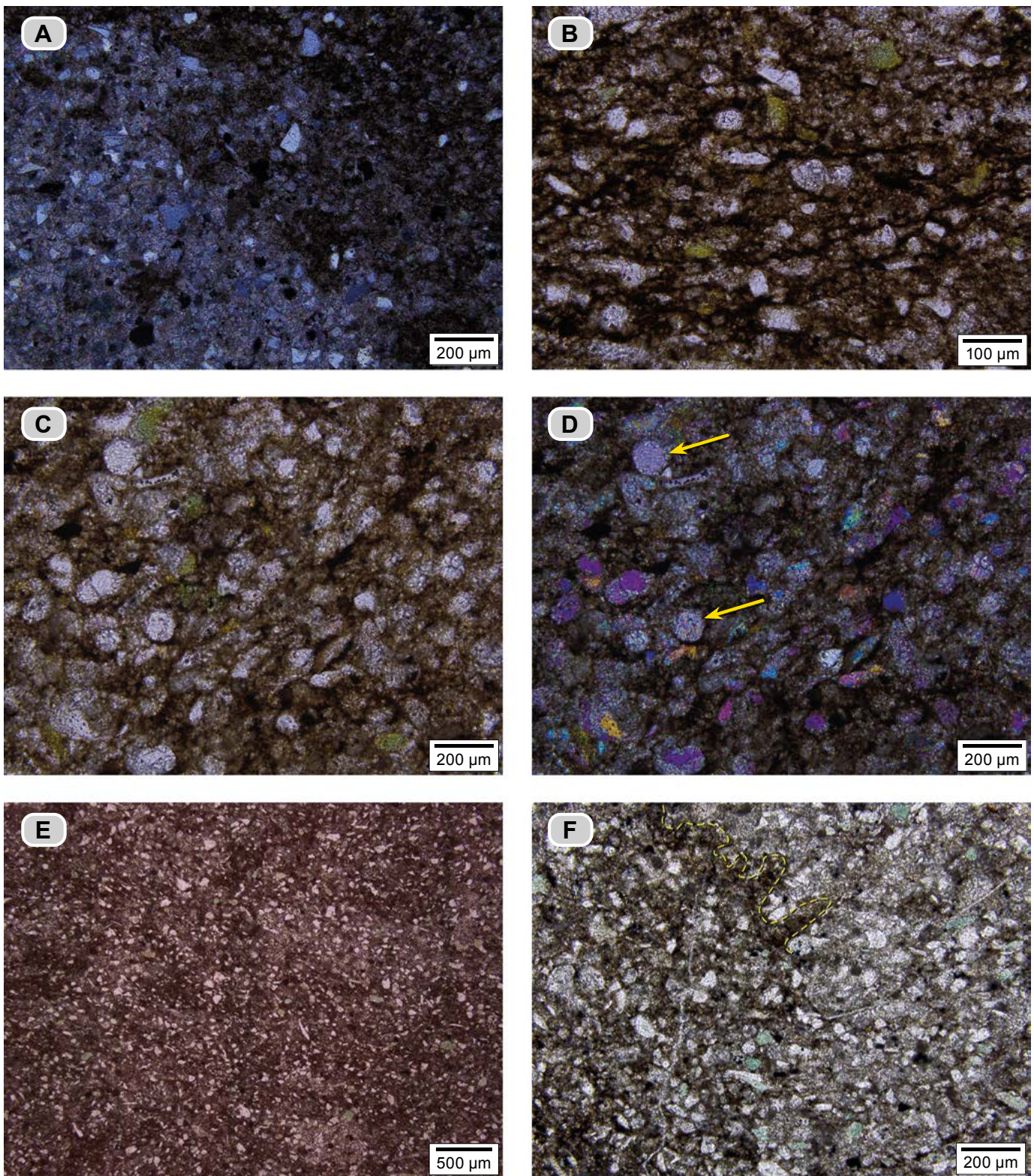


Figura 49. Caliza *wackestone* con textura arena muy fina (**dma 5384**); en el microscopio se identifica como biomicrita rala con espongiarios, materia orgánica y bioturbada (**A, B, C y D**). **A)** Se observa bioturbación: el tono claro manifiesta ausencia de materia orgánica, y el tono pardo oscuro, 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.

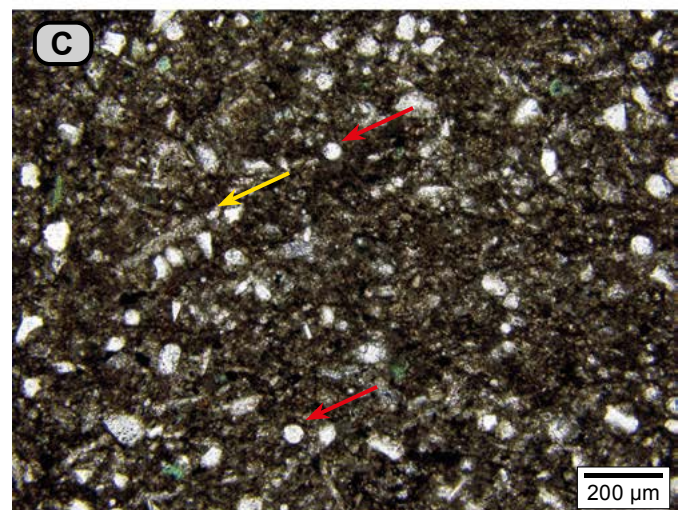
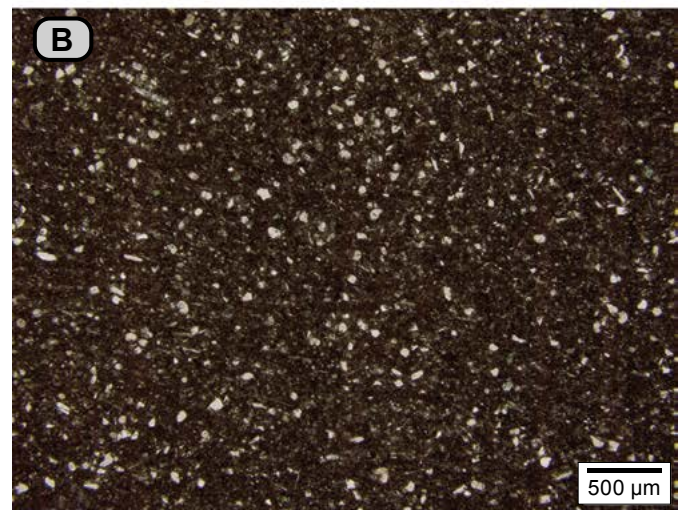
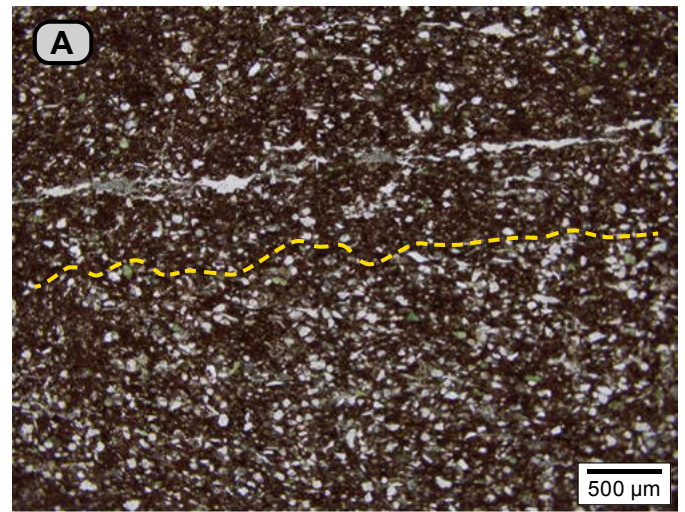


Figura 51. A y B) Aspecto general de un *wackestone* con textura arena muy fina con cuarzo (dma 5387); con el microscopio se identifica como una biomicrita rala con espongiarios, cuarzo y materia orgánica. A) Se observa en la parte inferior de la placa mayor abundancia de fragmentos de cuarzo. B) En 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 μm), 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 μm ; 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.

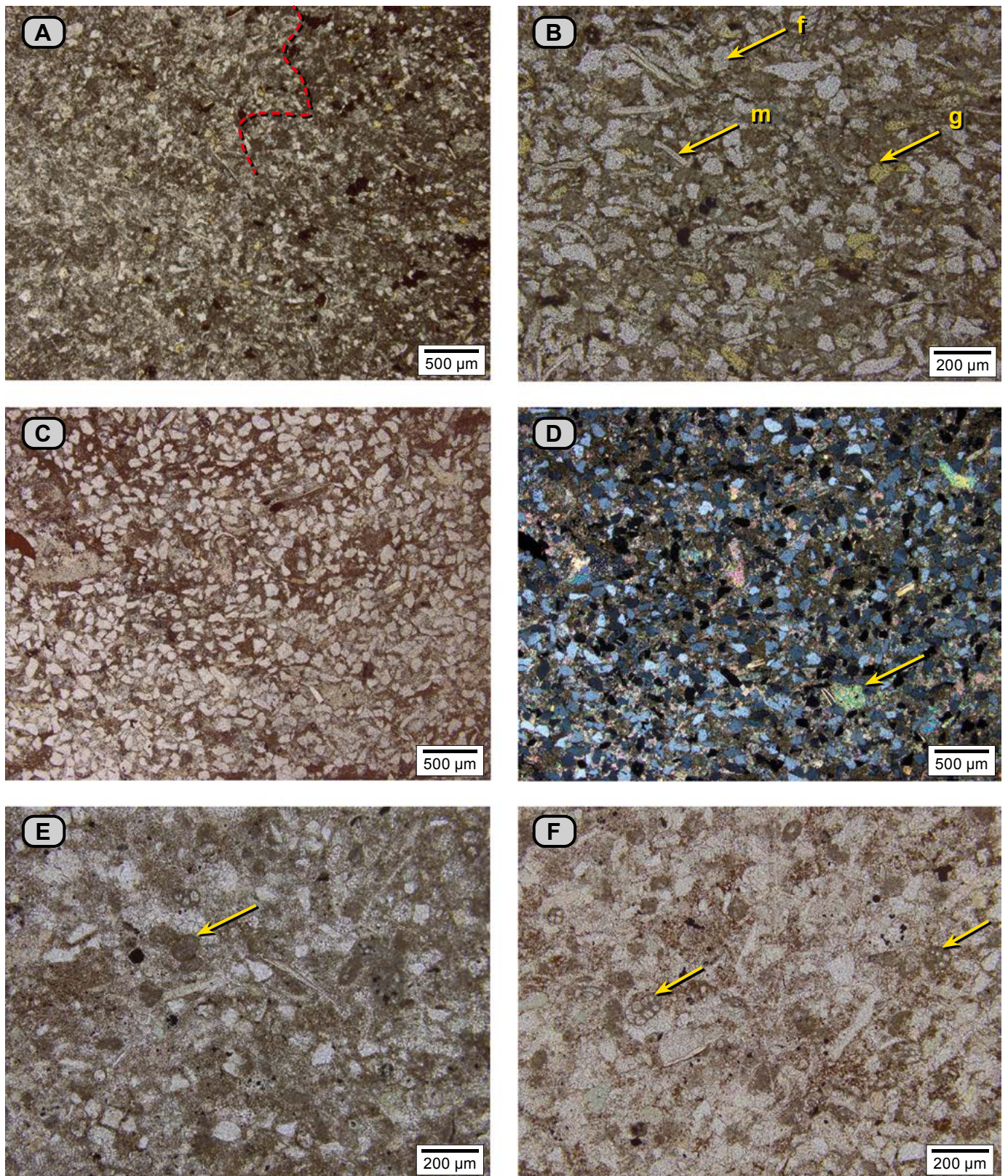


Figura 53. Caliza *mudstone* con cuarzo de textura arena muy fina (**dma 5071**); en el microscopio se identifica como pelmicrita con cuarzo. **A)** La línea roja demarca el moteamiento indistinto; el tono pardo oscuro se debe a la presencia de micrita, mientras que el sector de tono claro corresponde 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.

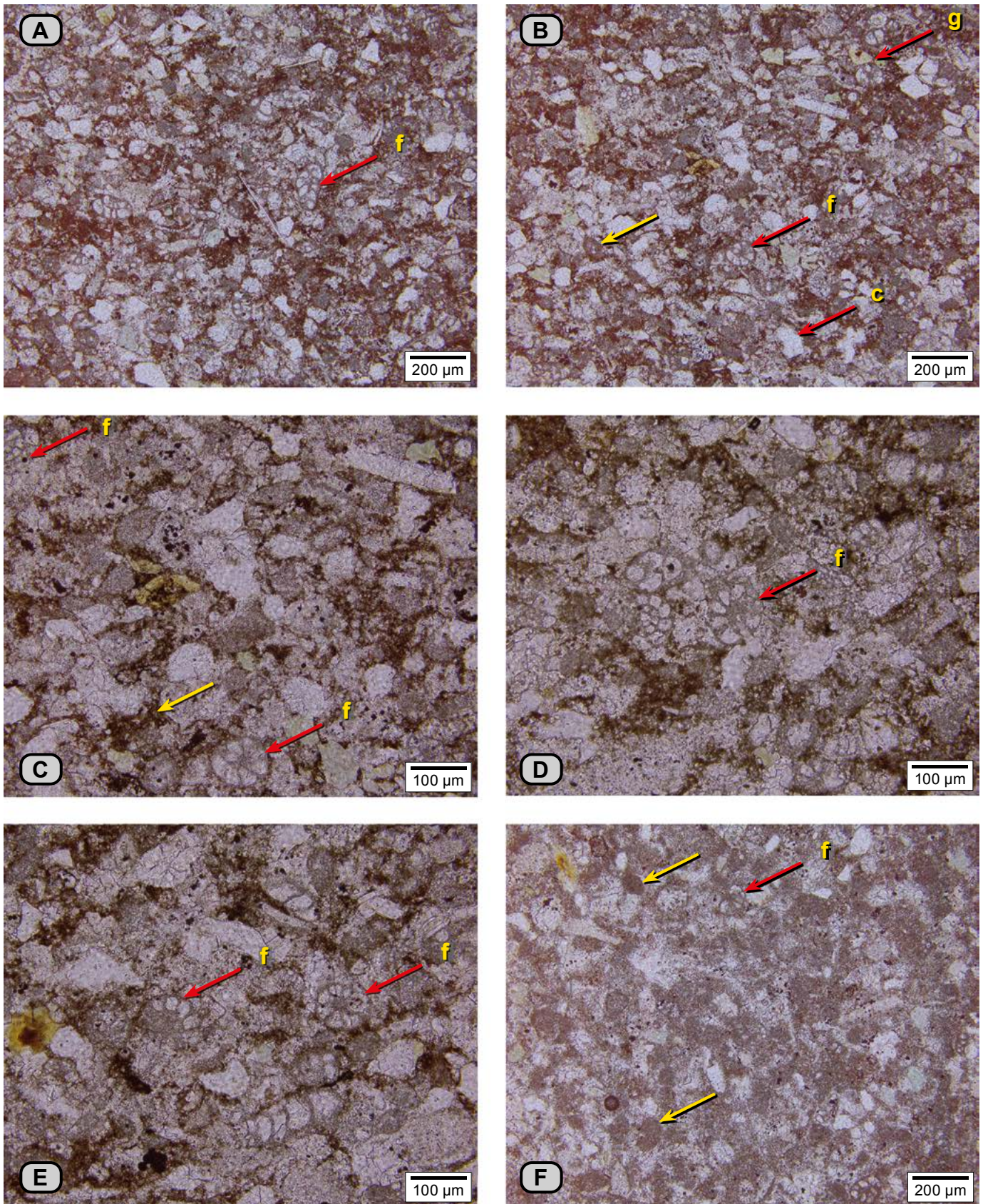


Figura 54. Caliza *mudstone* (dma 5072-1), que se identifica como biopelmicrita con foraminíferos bentónicos. **A y B)** Aspecto general de la roca: se reconoce micrita en tono pardo rojizo, peletoides de micrita (flecha amarilla), foraminíferos bentónicos (f), cuarzo (c) y glauconita (g). **C, D y E)** 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 μm ; 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 μm (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 μm (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 μm , constituidos por cristales de calcita alargados (*microcodium*); **b)** foraminíferos bentónicos (*Epistominas sp.*?, 2%), con diámetros entre 48 y 84 μm ; **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 μm , 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).

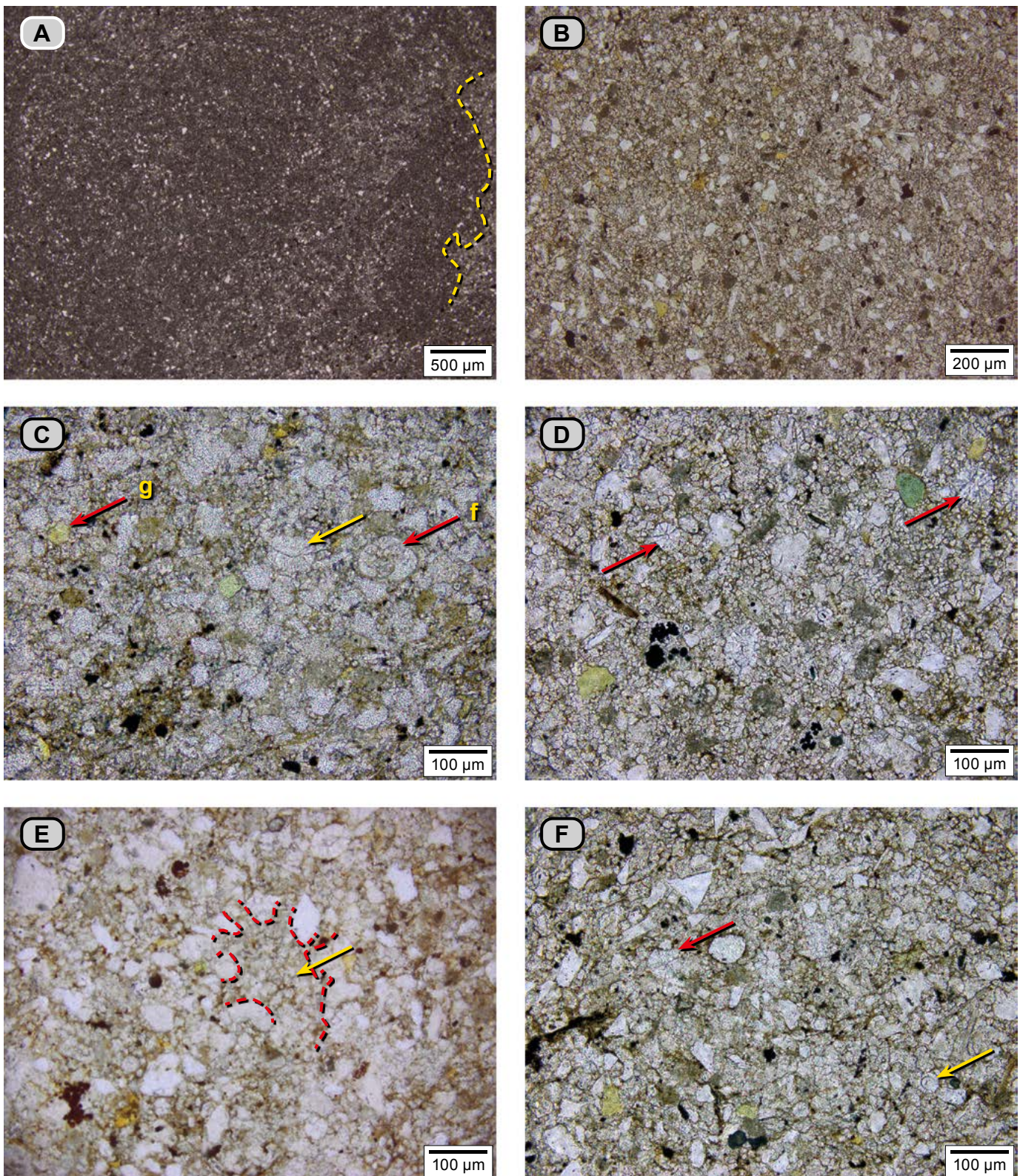


Figura 56. Caliza *mudstone* (dma 5073); en el microscopio se identifica como micrita fosilífera con recristalización. **A)** Bioturbación distinta; se observan parches en tonos oscuros y claros (la línea amarilla punteada resalta uno de los límites). **B)** Detalle de un sector claro: se identifica 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 calcícos (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).

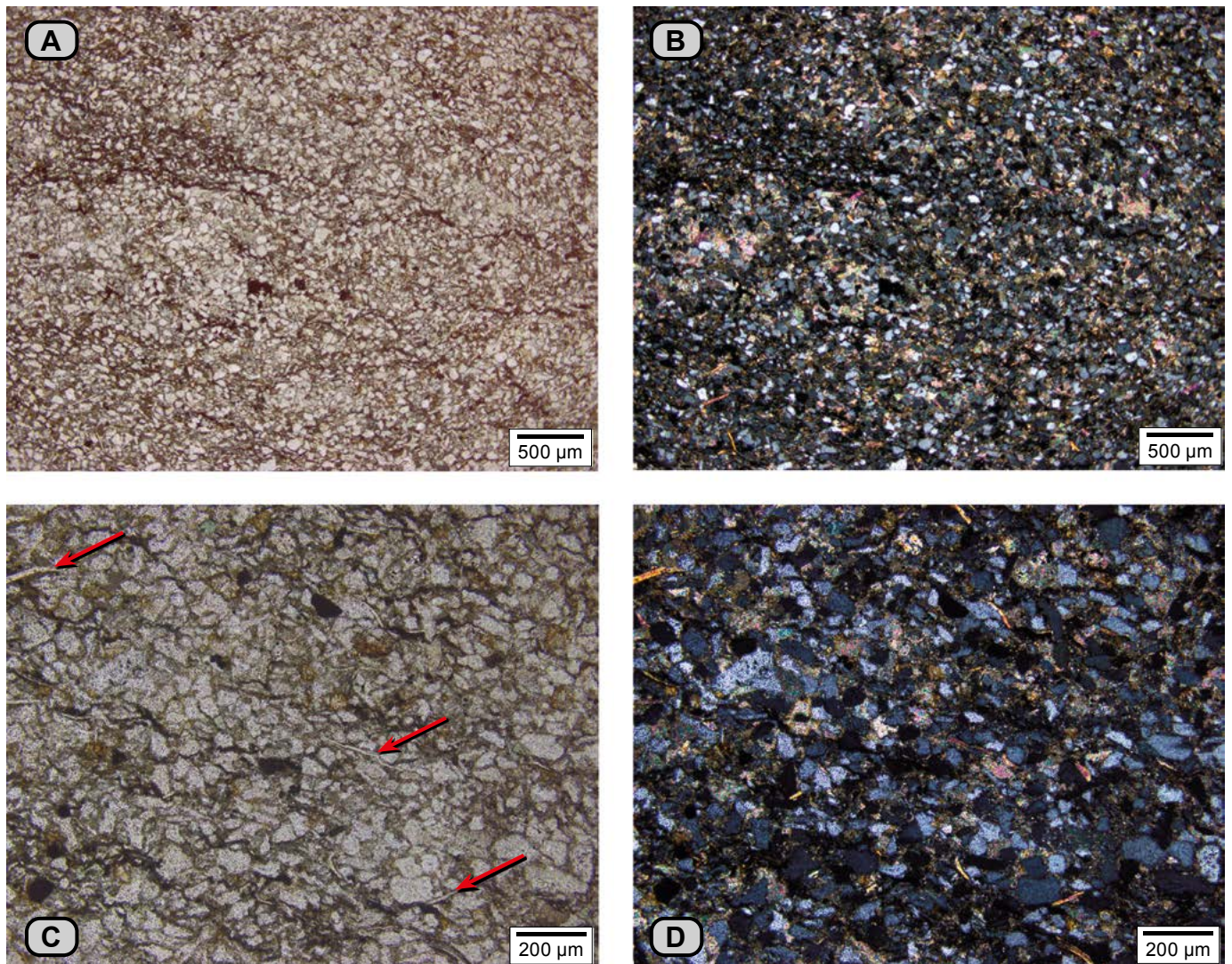


Figura 57. Arenita de cuarzo cuya textura varía de muy fina a limo (**dma 5076**). **A**) Aspecto general de la roca: se observan sectores claros y oscuros debido al moteado indistinto; en los sectores oscuros la micrita está acompañada por materia orgánica. **B**) Misma imagen de **A** hecha con nicols 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 pirita.

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-

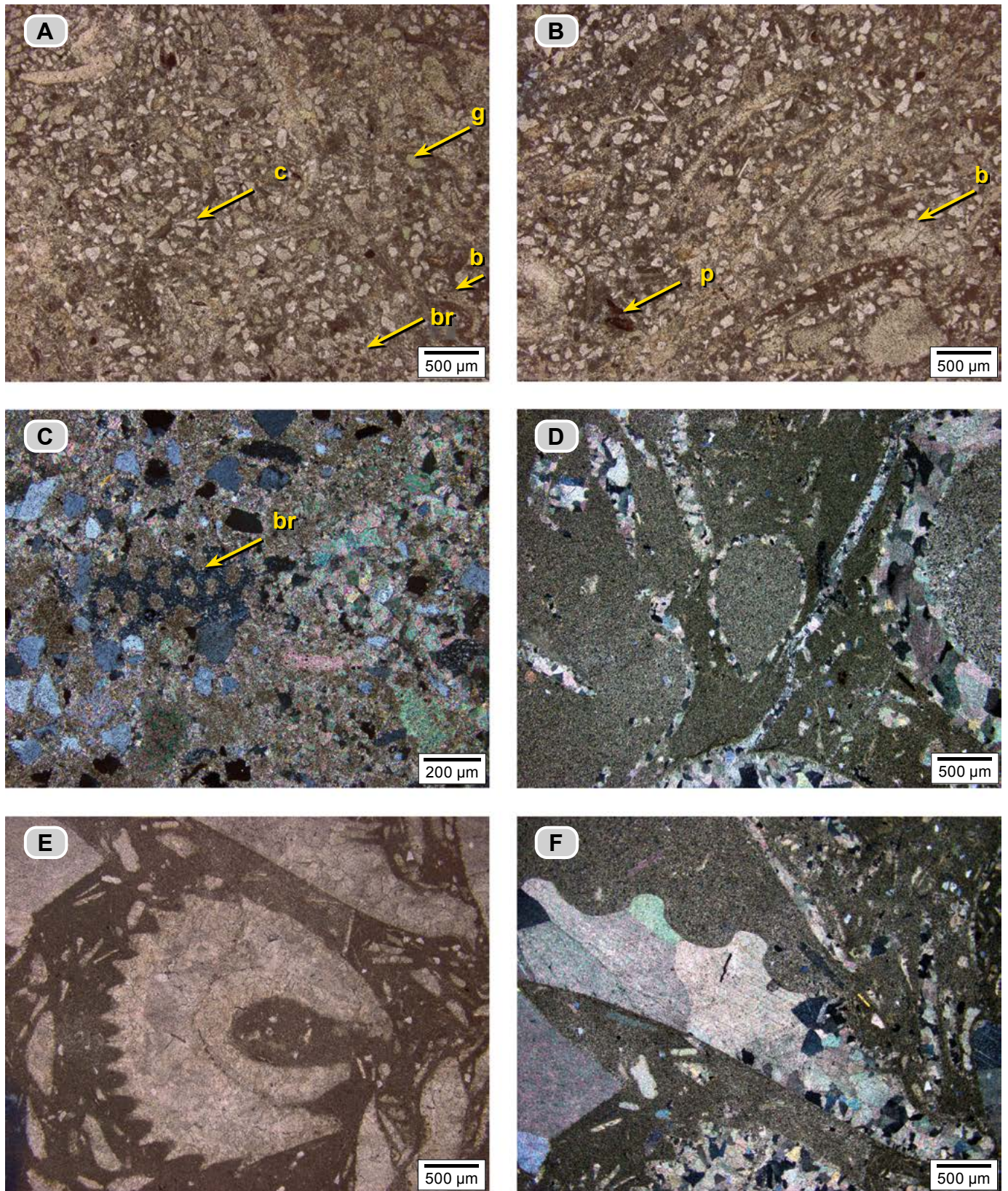


Figura 59. (A, B, C) Caliza *wackestone* (dma 5077), en el microscopio se identifica como biomicrita rala con cuarzo. A y B) En tonos pardos se reconoce el lodo calcáreo con recristalización incipiente, además de cuarzo (c), glauconita (g), conchas de bivalvos y fragmentos de briozoarios (br). B) En 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 esparitizados, 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 relicta, 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 π**): 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 π**). 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 π**), 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 μm ; **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

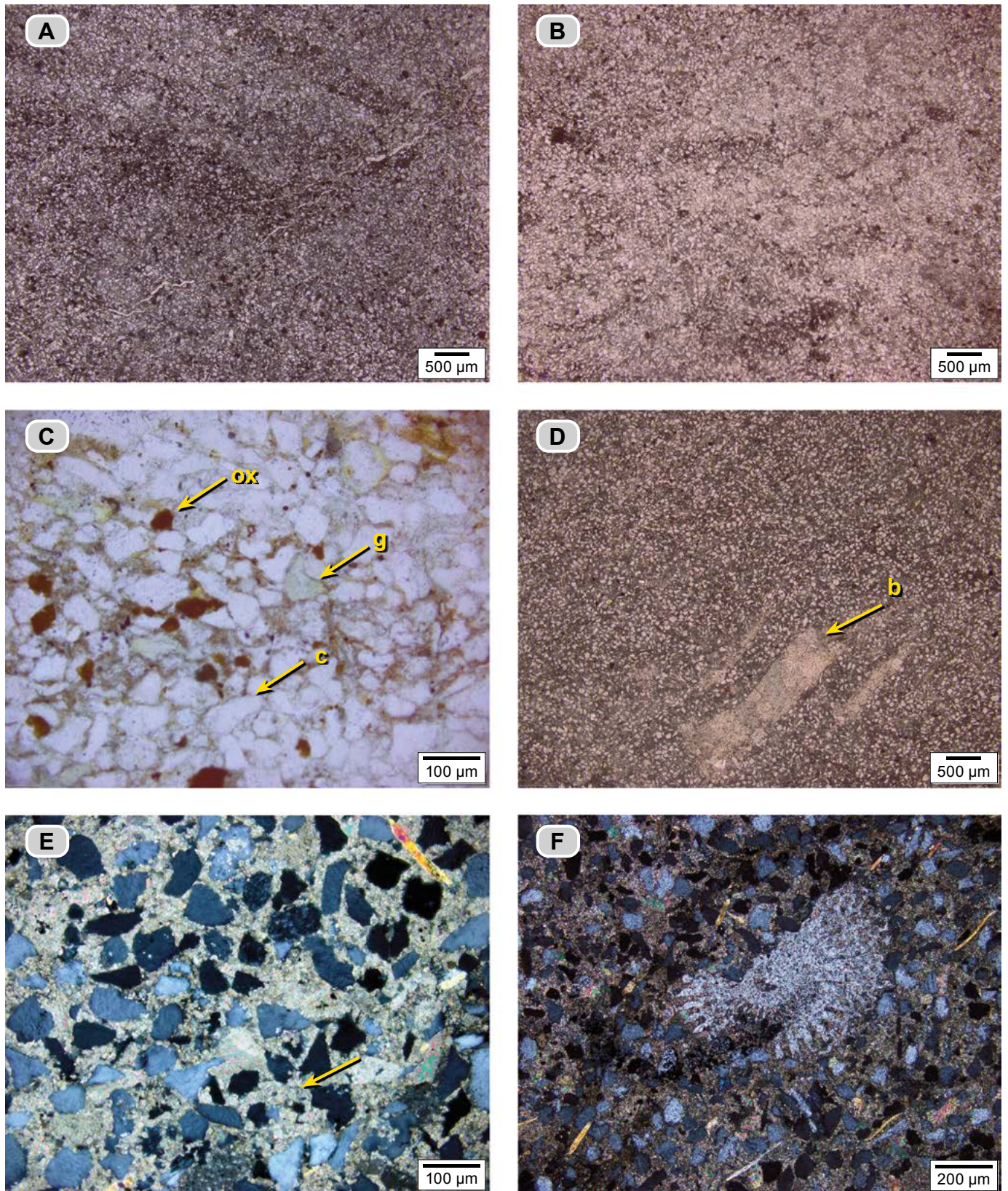


Figura 61. Arenitas de cuarzo con textura muy fina del conjunto H2. Las figuras **A**, **B** y **C** corresponden a la muestra **dma 5080**, mientras que las figuras **D**, **E** y **F** pertenecen a la muestra **dma 5081**. **A** y **B**) Bioturbación indistinta: se observan sectores de tonos claros 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 .

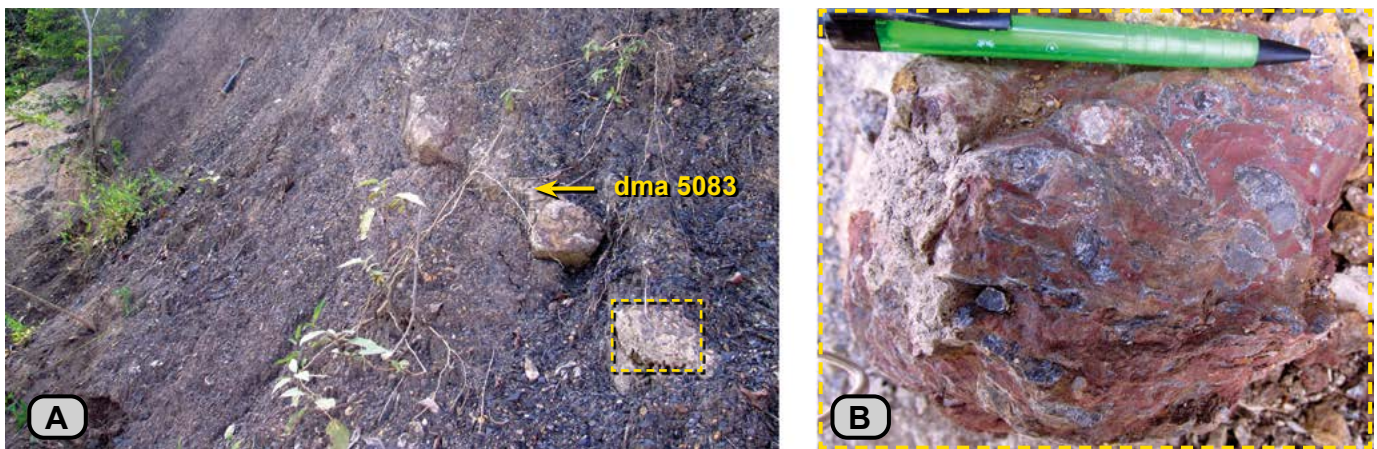


Figura 62. A) *Mudstone* arcillosos grises intercalados con una capa delgada de *packstone* de bivalvos. El recuadro amarillo se amplía en B, donde se observan conchas de bivalvos de hasta 5 cm, parcialmente reemplazadas por hematita (metros 132 a 136).

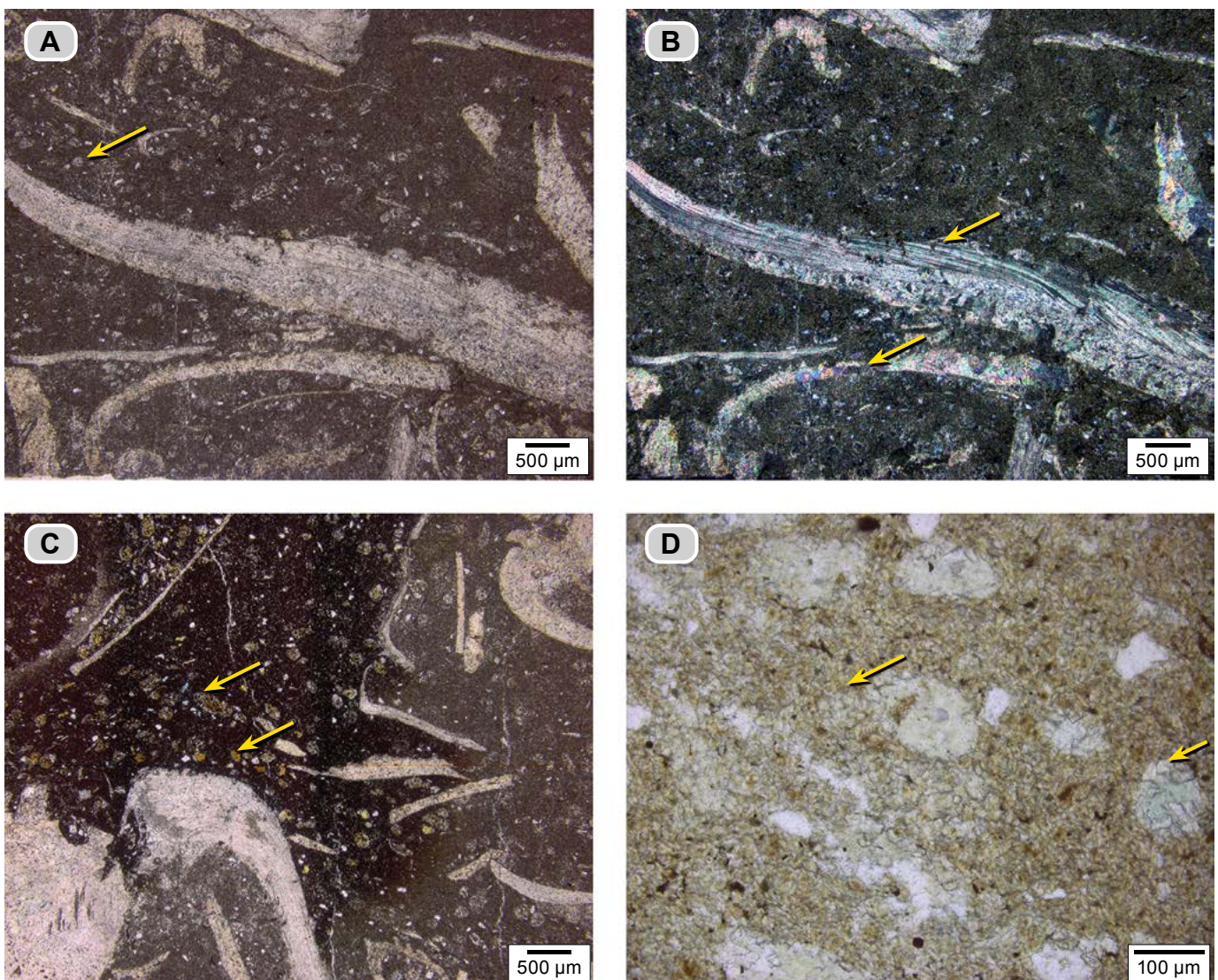


Figura 63. Caliza *wackestone* (dma 5083), en el microscopio se identifica como una biomicrita rala con recristalización. **A)** Aspecto de un sector de la sección delgada: se observan fragmentos y conchas desarticuladas de bivalvos; los cuerpos ovoidales son producto de procesos pedogénicos (flecha 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 sobreimposición 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 μm . 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 μm ; 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.

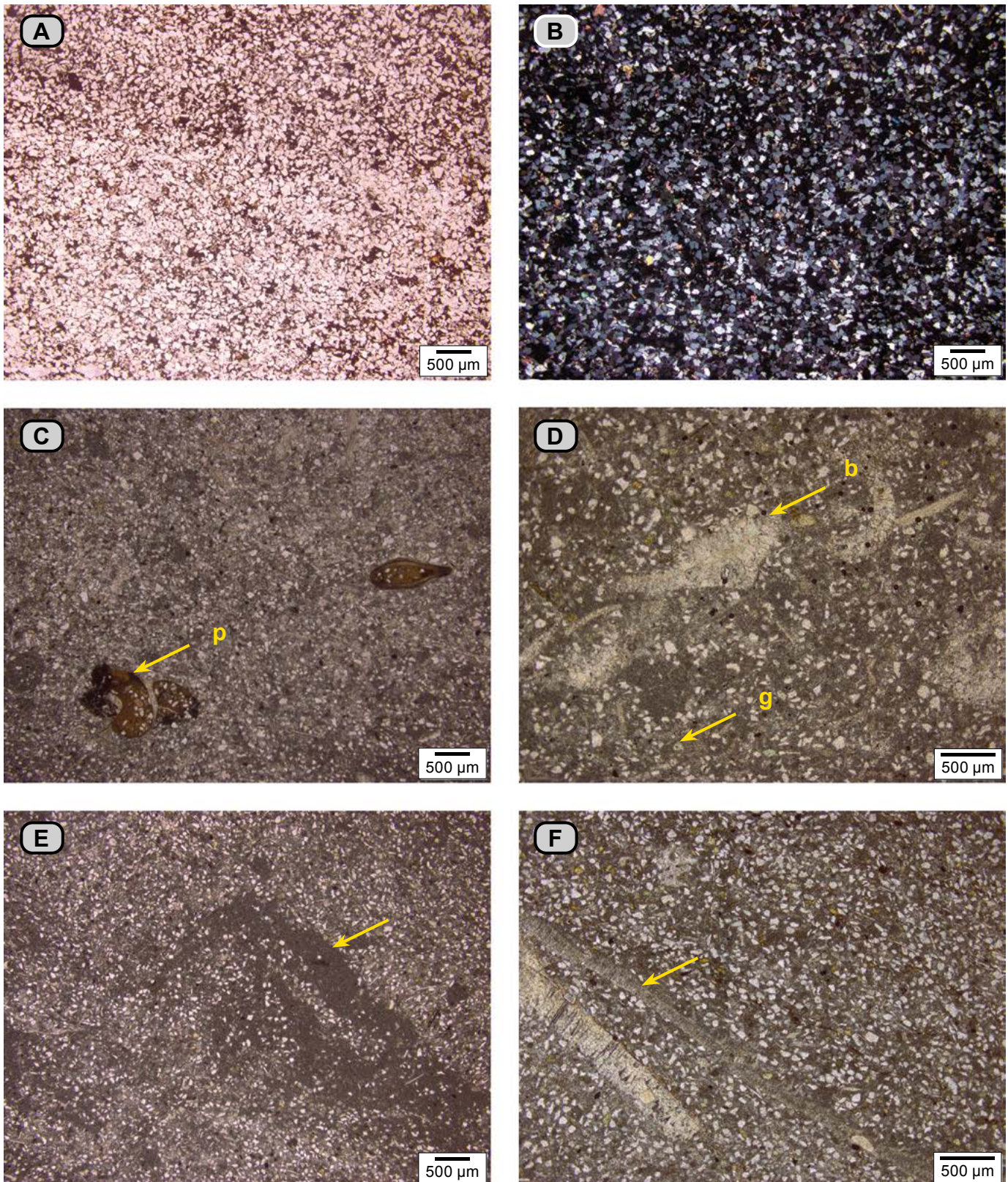


Figura 65. A) Arenitas de cuarzo cuya textura varía de fina a muy fina, con matriz arcillosa-ferruginosa (tono pardo oscuro) (dma 5084). B) La misma fotografía que en (A), hecha con nicoles cruzados. C, D, E y F) Calizas *mudstone*. C y D) Caliza *mudstone* (dma 5085), que en el microscopio se identifica 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 μm . Estos cuerpos laminares se superponen y conforman láminas onduladas, domos y picos; están acompañados por cuerpos circulares de hasta 25 μm , 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 μm , 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 grifeidos 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 ϵ**) 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 subelongado 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

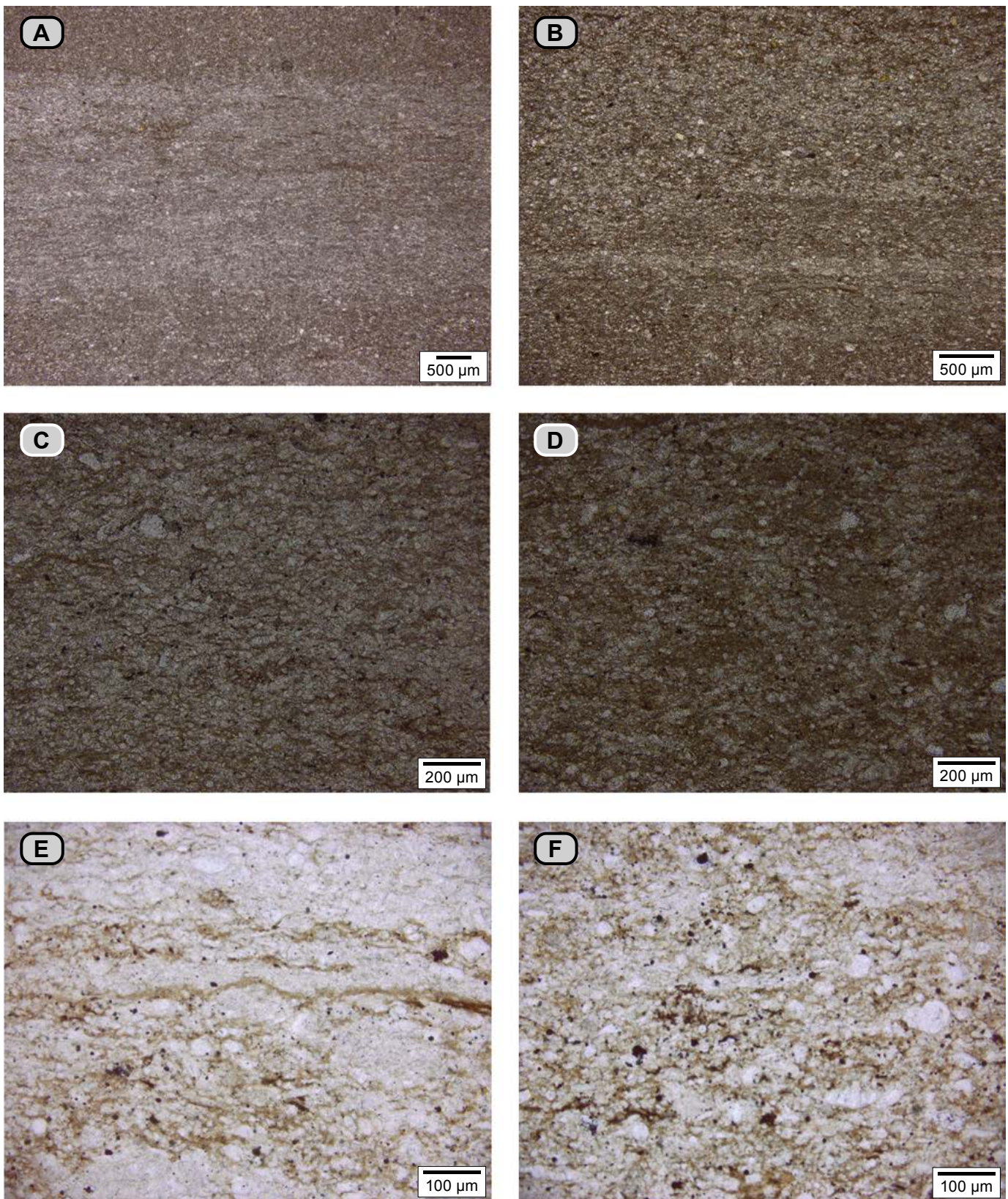


Figura 67. Caliza *mudstone* (dma 5089); en el microscopio se identifica como un *bindstone* recristalizado (microbialita recristalizada). **A** y **B)** Láminas muy finas y gruesas, claras y oscuras. **C)** Detalle de una lámina clara; se observa un agregado de fragmentos laminares con formas onduladas, 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 conosκόptica 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*.

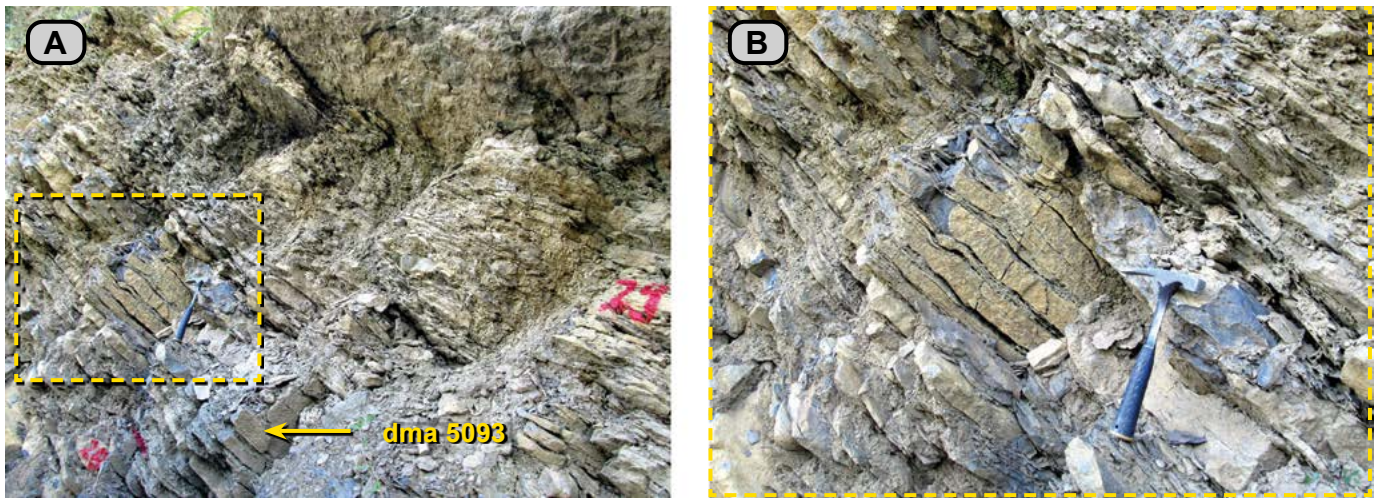


Figura 68. Conjunto J1. **A)** Arenita de cuarzo con texturas que varían desde arena muy fina a limo grueso, en capas delgadas; hacia el techo del conjunto las capas son muy delgadas y presentan mayor bioturbación. **B)** Detalle de las capas delgadas (recuadro amarillo); en ocasiones los contactos son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

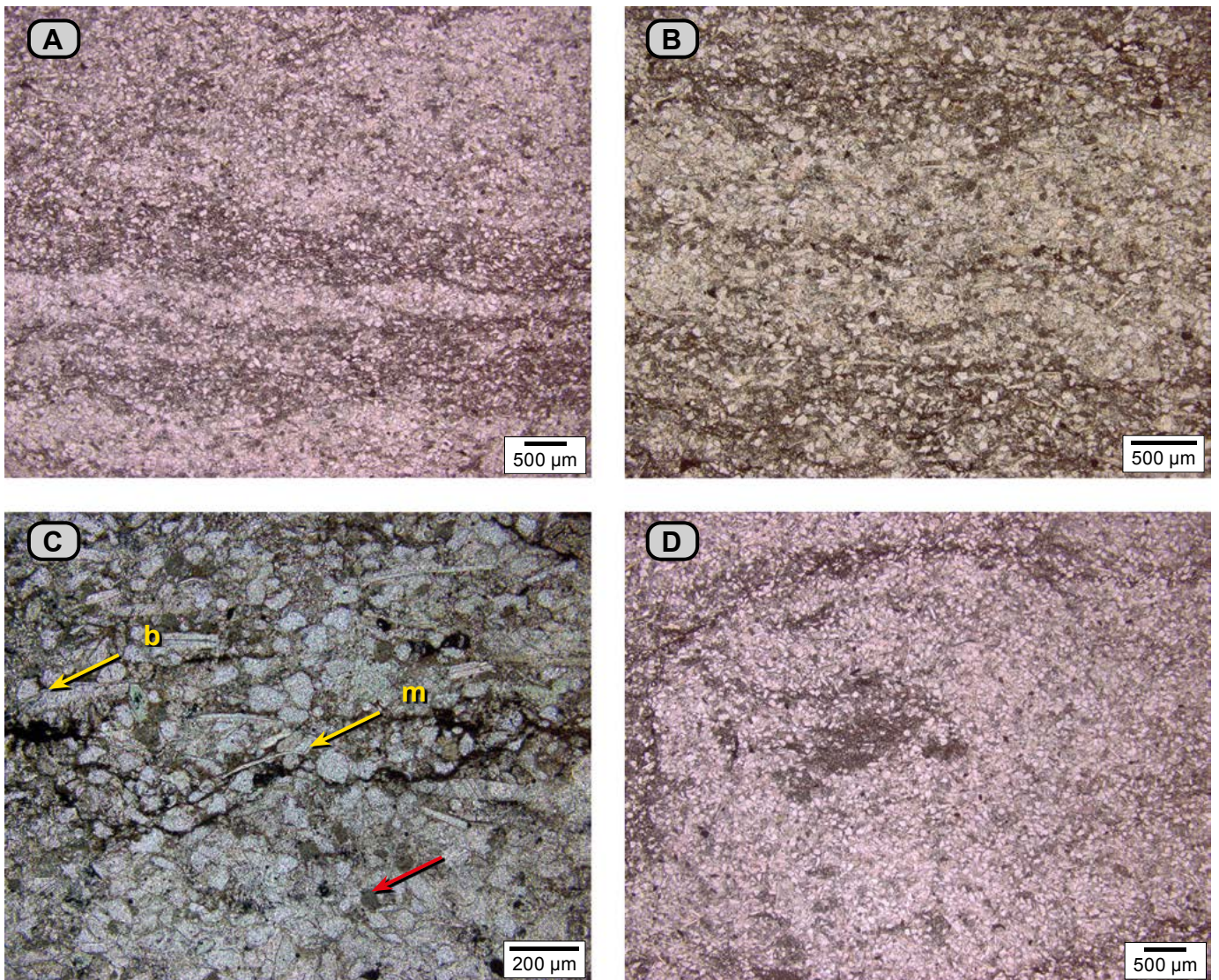


Figura 69. Arenita de cuarzo con textura de arena muy fina (**dma 5093**). **A y B)** Láminas claras y oscuras; las láminas claras tienen cemento calcáreo, mientras que en las láminas oscuras, entre el armazón se observa matriz arcillosa, que les imprime el tono oscuro. **C)** En las láminas oscuras 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 π**); 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.

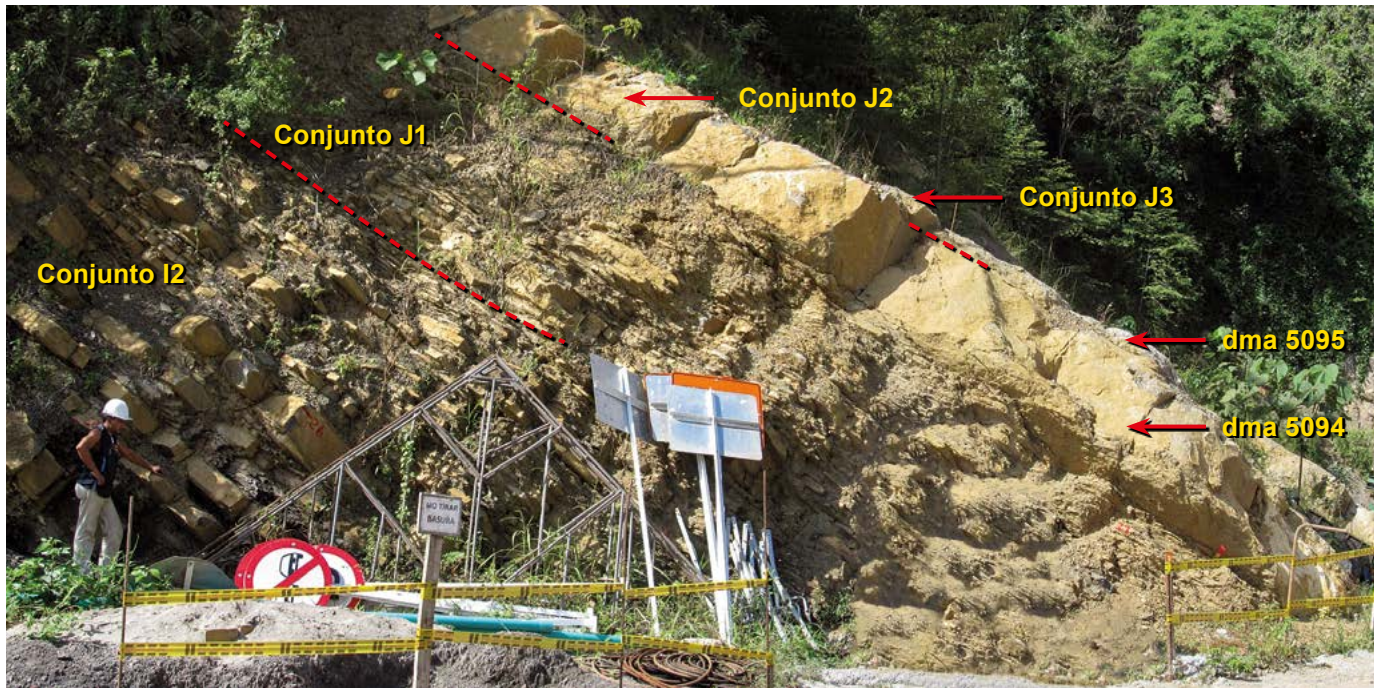


Figura 70. Se observan los conjuntos I2, J1, J2 y J3. En el conjunto I2 alternan calizas *mudstone* (*bindstone* recristalizados) en capas medianas planas paralelas con *mudstone* calcáreos que contienen materia orgánica en capas delgadas. En el conjunto J1 alternan capas delgadas onduladas de arenitas 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).

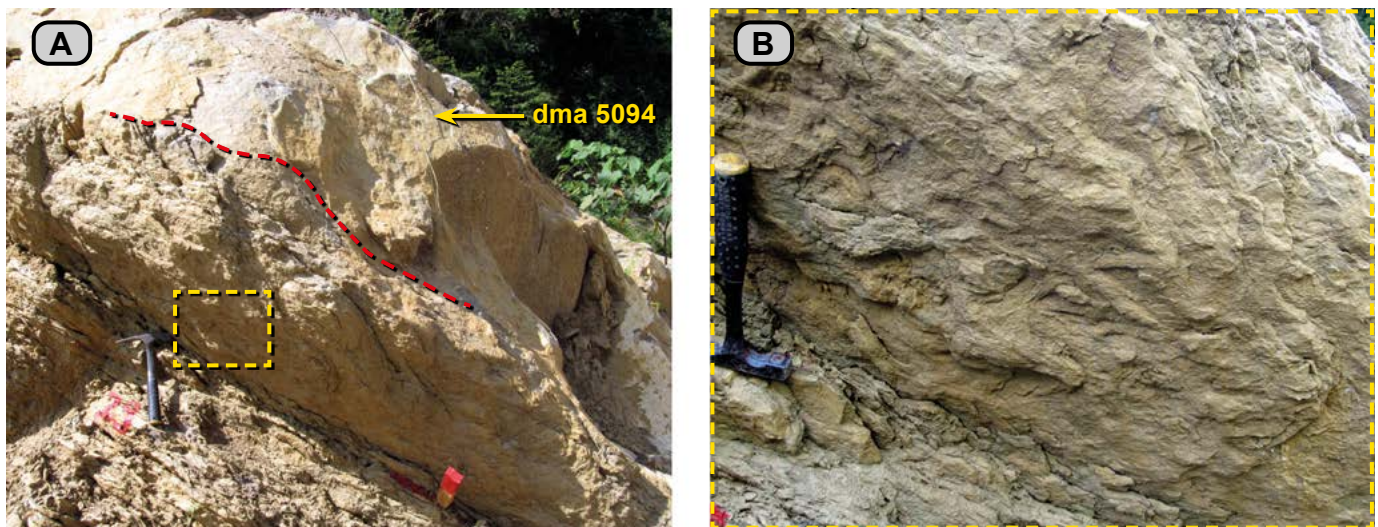


Figura 71. A) Conjunto J2. Bioturbación generada por madrigueras bifurcadas horizontales con diámetro de 5 cm, observadas en la base de la capa de arenita de cuarzo. B) Ampliación del recuadro amarillo de la fotografía A: se observan las madrigueras con mayor detalle (metro 149).

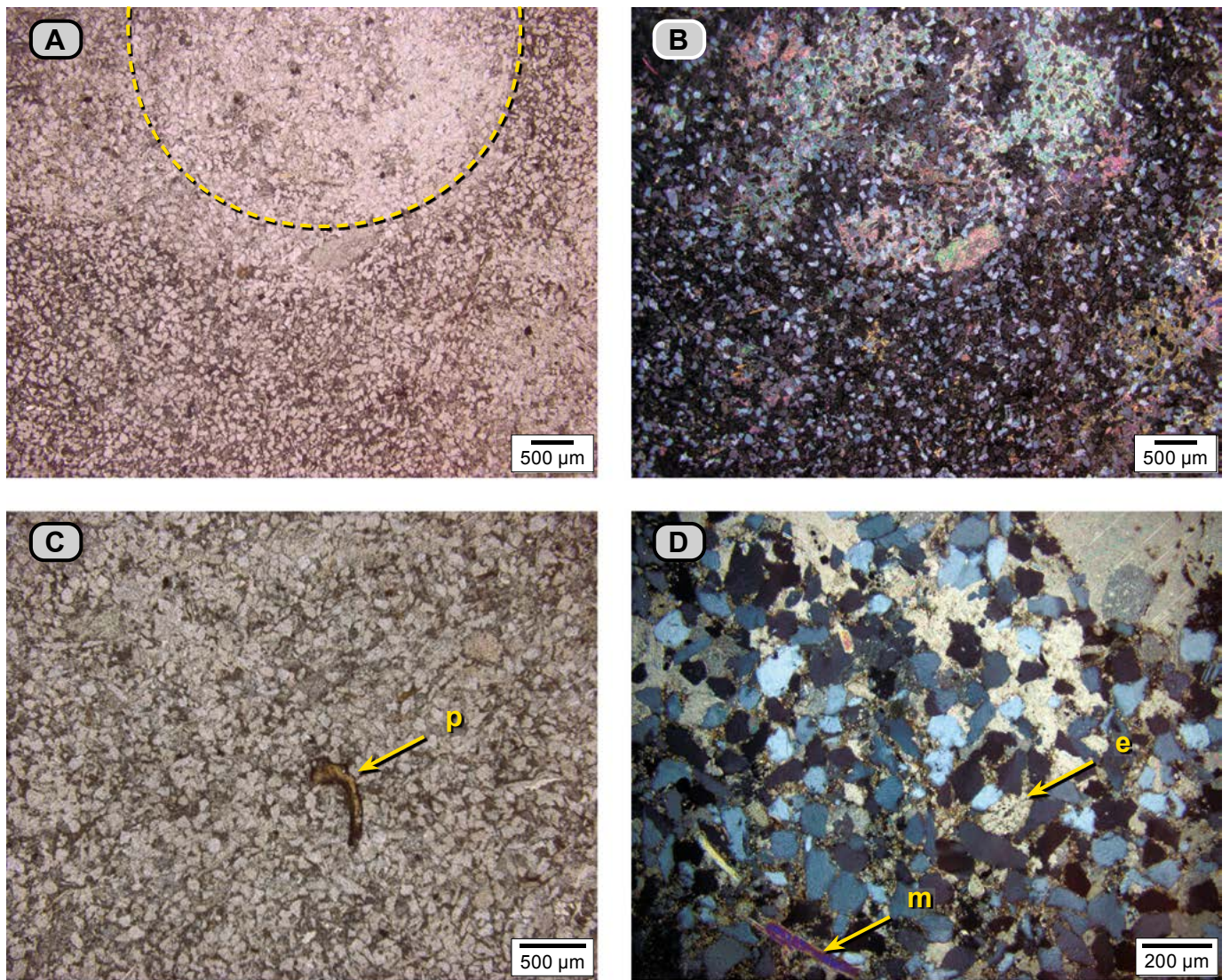


Figura 72. Arenita de cuarzo con textura de arena fina (**dma 5094**). **A**) Madriguera (línea amarilla punteada); el material cementante es esparita; en el resto de la fotografía el material entre el armazón tiene un tono más oscuro, debido a la presencia del lodo calcáreo. **B**) Misma imagen que en **A**, fotografiada con nicoles 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 nicoles 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 μm (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.

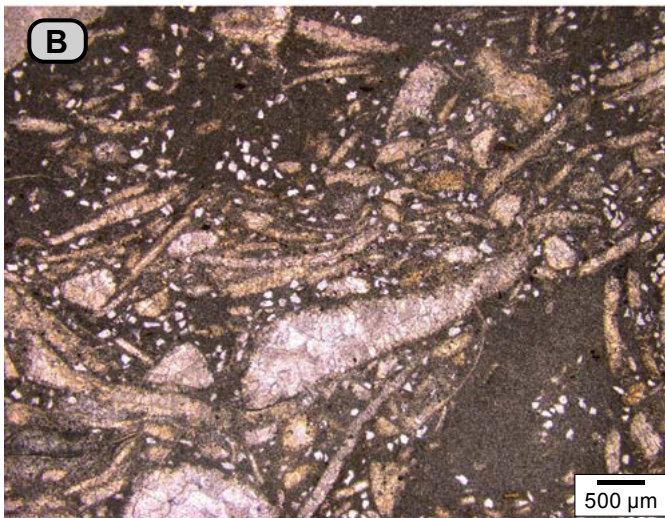


Figura 74. Caliza *packstone* (dma 5095), que en el microscopio se identifican como una biomicrita rara. Se observan las conchas de bivalvos de diferentes tamaños rodeadas por micrita con neomorfismo incipiente (tono pardo oscuro), acompañadas por cuarzo. **A)** Nótese una concha centimétrica con perforación 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 Churcurí, 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 η**) (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 caolinítico (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 grifoides 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).

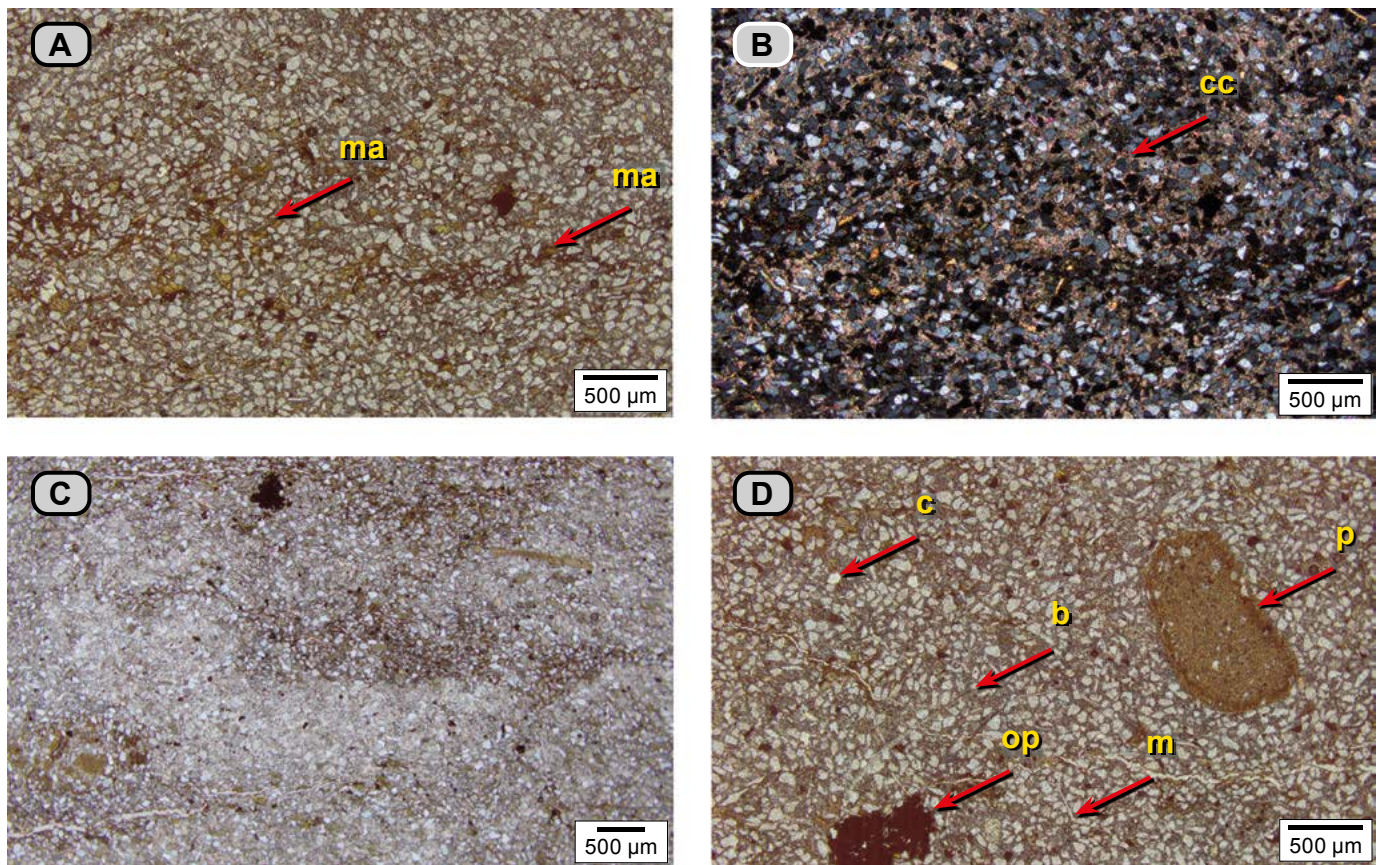


Figura 76. Arenita de cuarzo de textura muy fina (**dma 5096**). **A)** Aspecto general de la roca: algunos granos de cuarzos son equidimensionales, tienen bordes subangulares y angulares; están envueltos por cemento calcáreo de tono pardo claro, mientras que la matriz arcillosa (**ma**) presenta tonos 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-

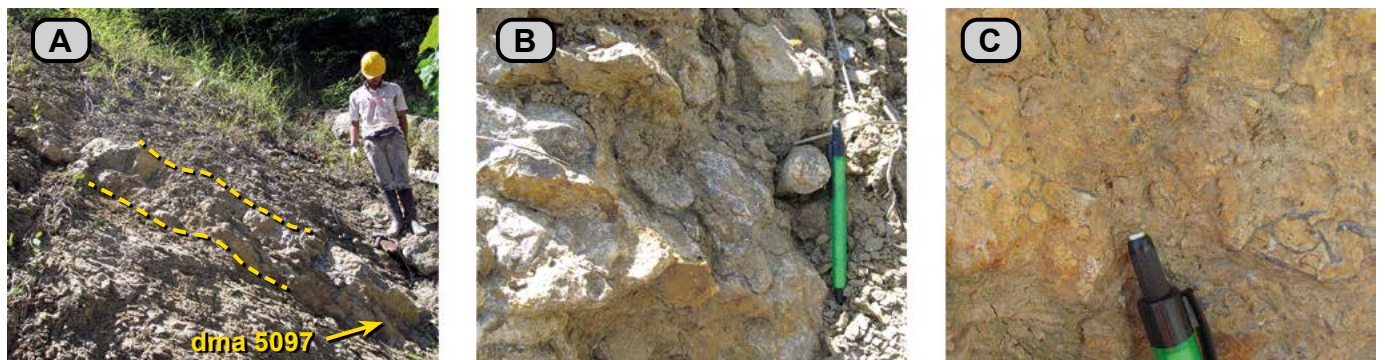


Figura 77. **A)** Vista de la parte media y superior del conjunto L1. Entre arenitas de cuarzo se observa el *wackestone* (entre líneas amarillas punteadas) (**dma 5097**) (metros 164 a 166). **B)** Detalle del *wackestone* para mostrar rasgos de bioturbación, la presencia de bloques irregulares y tubos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

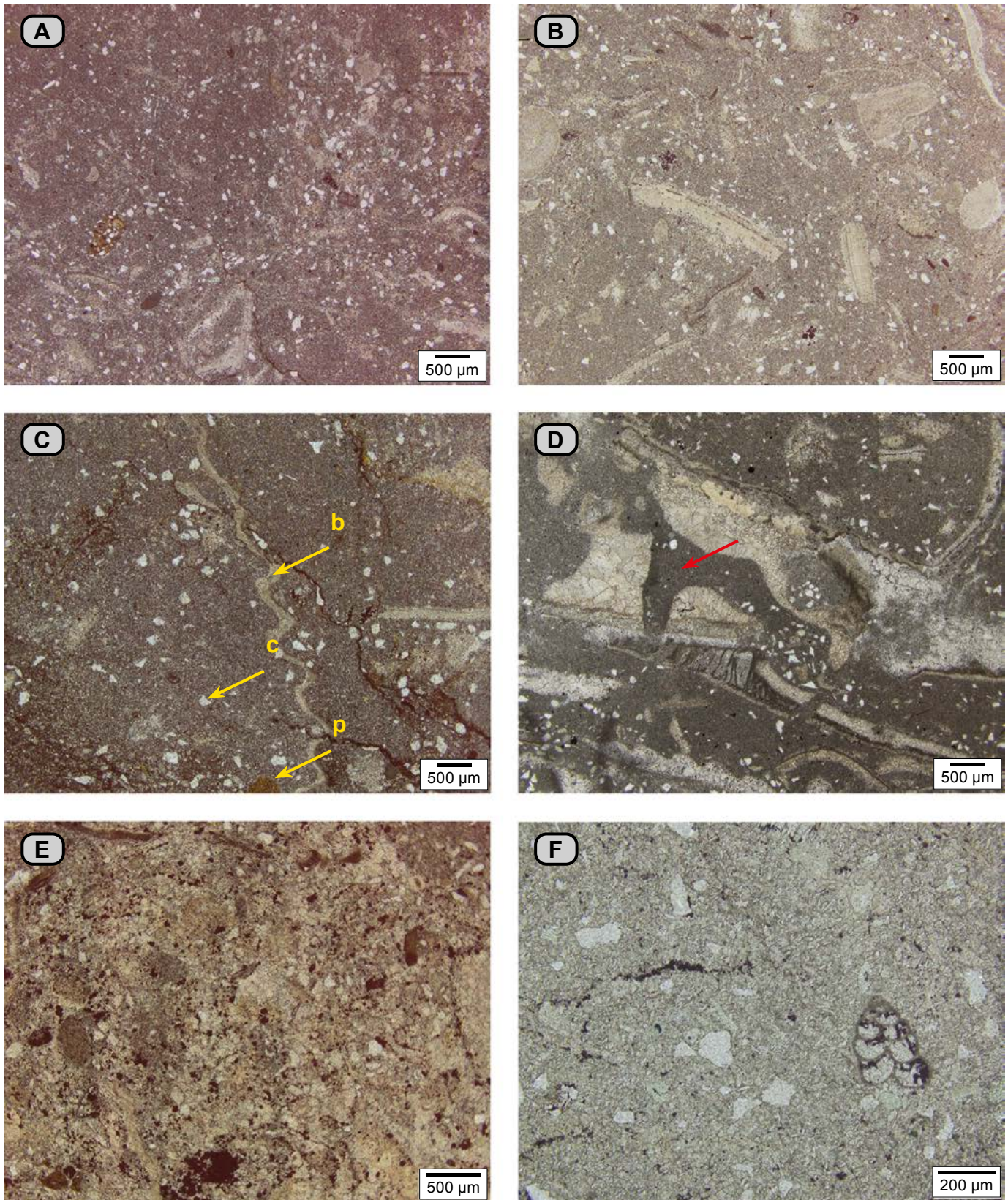


Figura 78. Caliza *wackestone* (dma 5097), se identifica en el microscopio como biomicrita rala bioturbada. **A y B)** Aspecto general de la roca: se observa lodo calcáreo con recristalización; fragmentos de cuarzo, conchas de bivalvos y restos fosfatizado. **C)** Se observa un sector bioturbado; hacia 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 μm ; 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).

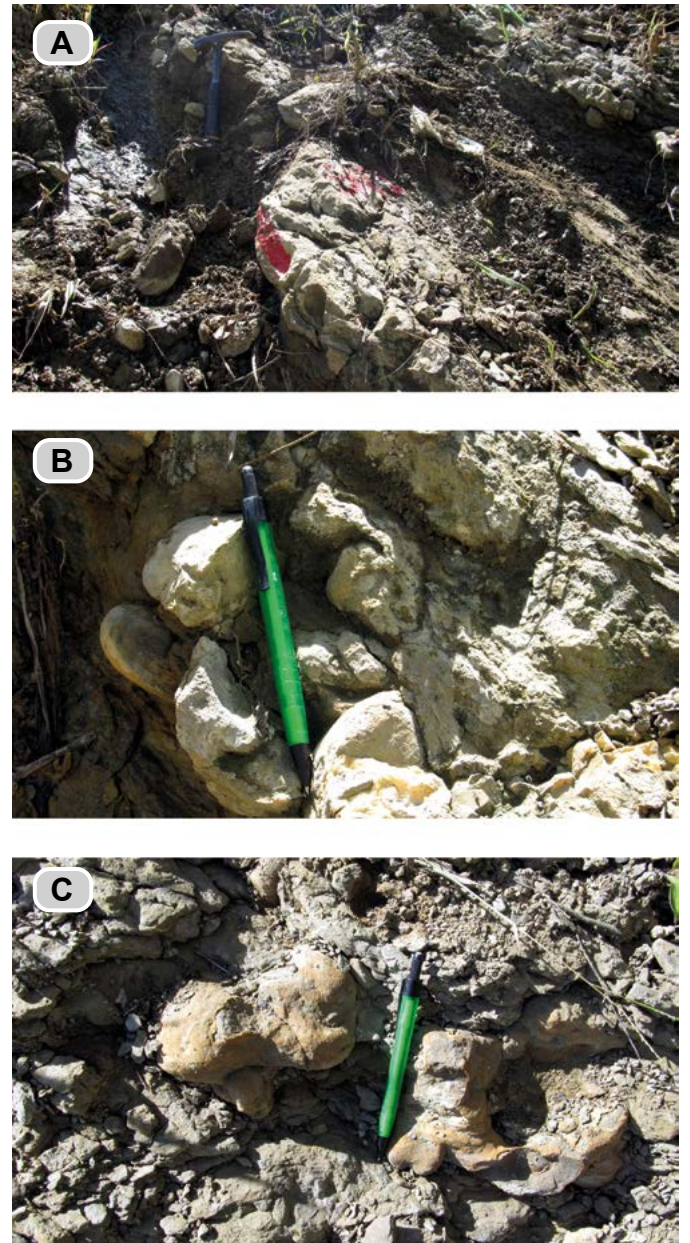


Figura 80. A) Afloramiento del conjunto L2. Son *mudstone* arcillosos-arenosos, grises, intercalados con dos horizontes con concentraciones de bivalvos articulados. B) Detalle de la acumulación de bivalvos articulados con diámetro up de 9 cm. C) *Mudstone* arcillosos con presencia de madrigueras con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

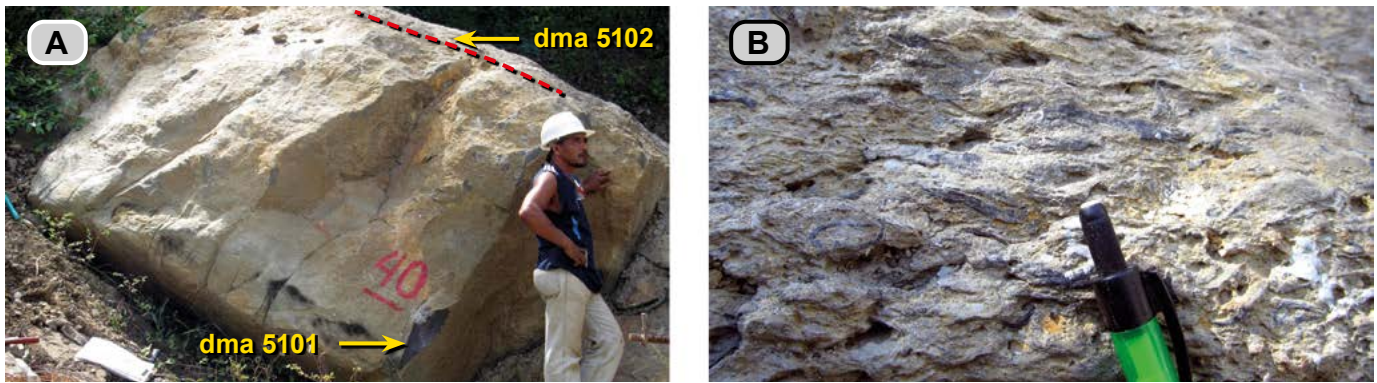


Figura 81. A) Metros superiores del conjunto L3 (metro 174). De manera neta sobre un paquete de *mudstone* arcillosos aflora una arenita de cuarzo de textura muy fina que es suprayacida por una caliza *packstone* de bivalvos. **B)** Detalle de la caliza *packstone* (**dma 5102**); se observan conchas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

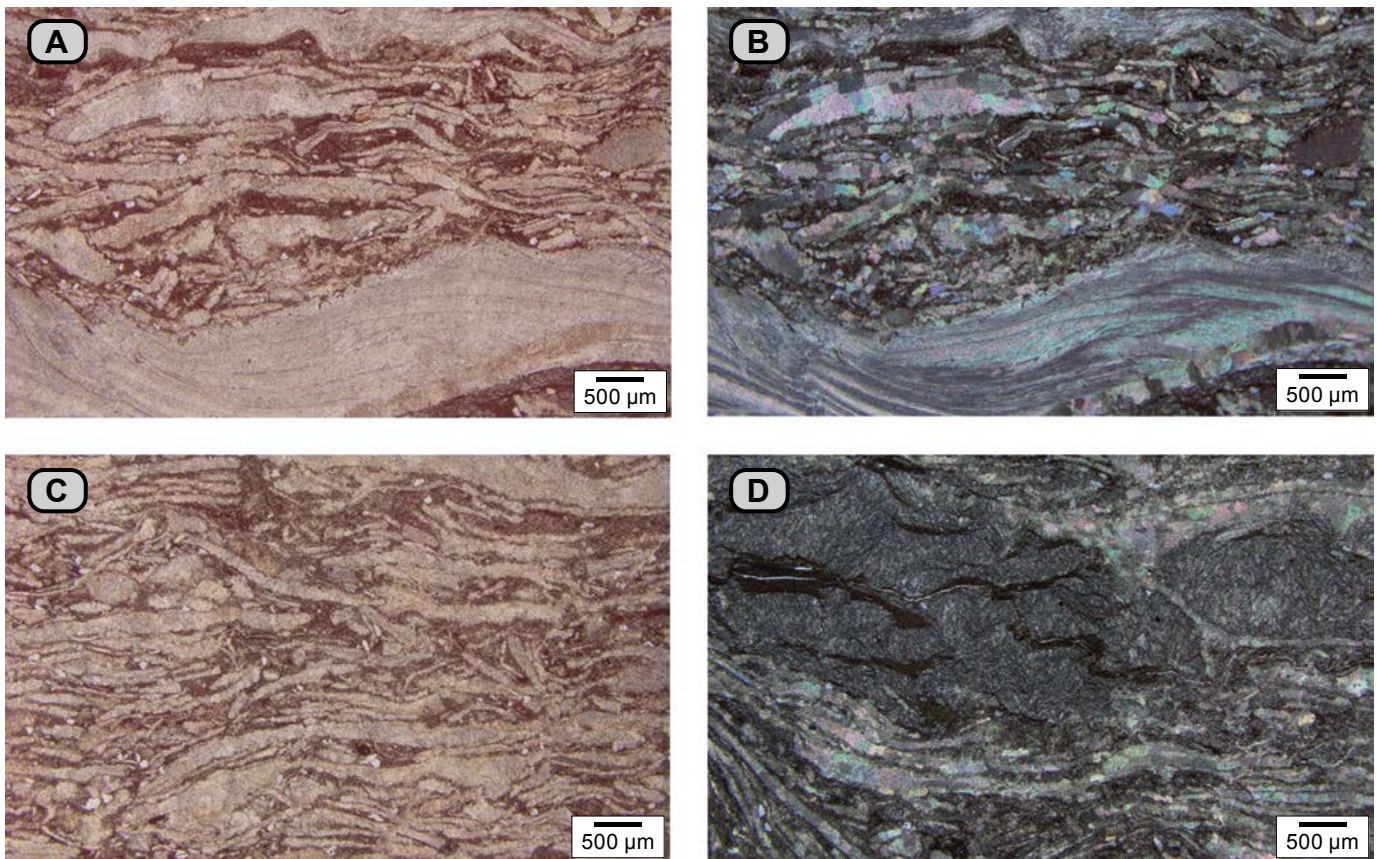


Figura 82. Packstone de bivalvos (**dma 5102**), en el microscopio se identifica como una biomicrita empaquetada. **A)** Acumulación de conchas de bivalvos dispuestas paralelamente a S_0 ; entre ellas se observa, en tono rojo pardo, arcilla. **B)** Misma fotografía de **A** hecha con nicols cruzados; 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 μm .

siguiente manera: **a)** en láminas constituidas por cristales de calcita alargados con tamaño de 60 μm , que forman estructuras como en cono; **b)** láminas constituidas por cristales de calcita, con tamaños de hasta 12 μm , 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 ϵ**). En otros sectores de la roca, la laminación está destruida por la bioturbación (moteamiento distinto) (**fig. 84**).

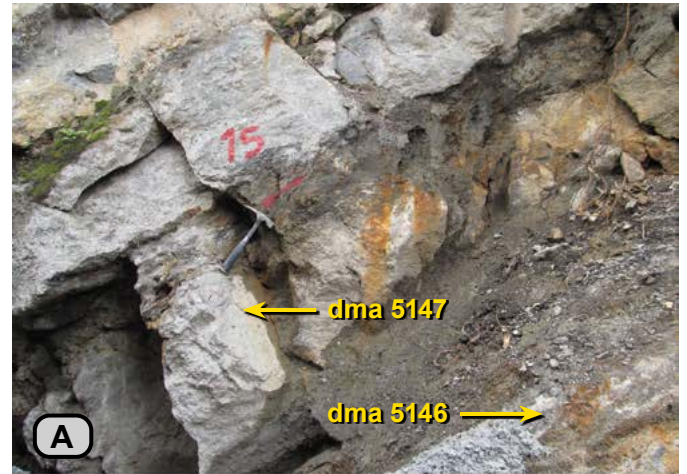


Figura 83. Conjunto M2. **A)** En la parte inferior del afloramiento se observan arenitas de cuarzo en capas gruesas (metros 175 a 177). **B)** Arenita de cuarzo con bioturbación; se observa moteado indistinto en tonos verdosos (señalados por la flecha amarilla) y tonos grises claros. **C)** Arenita 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.

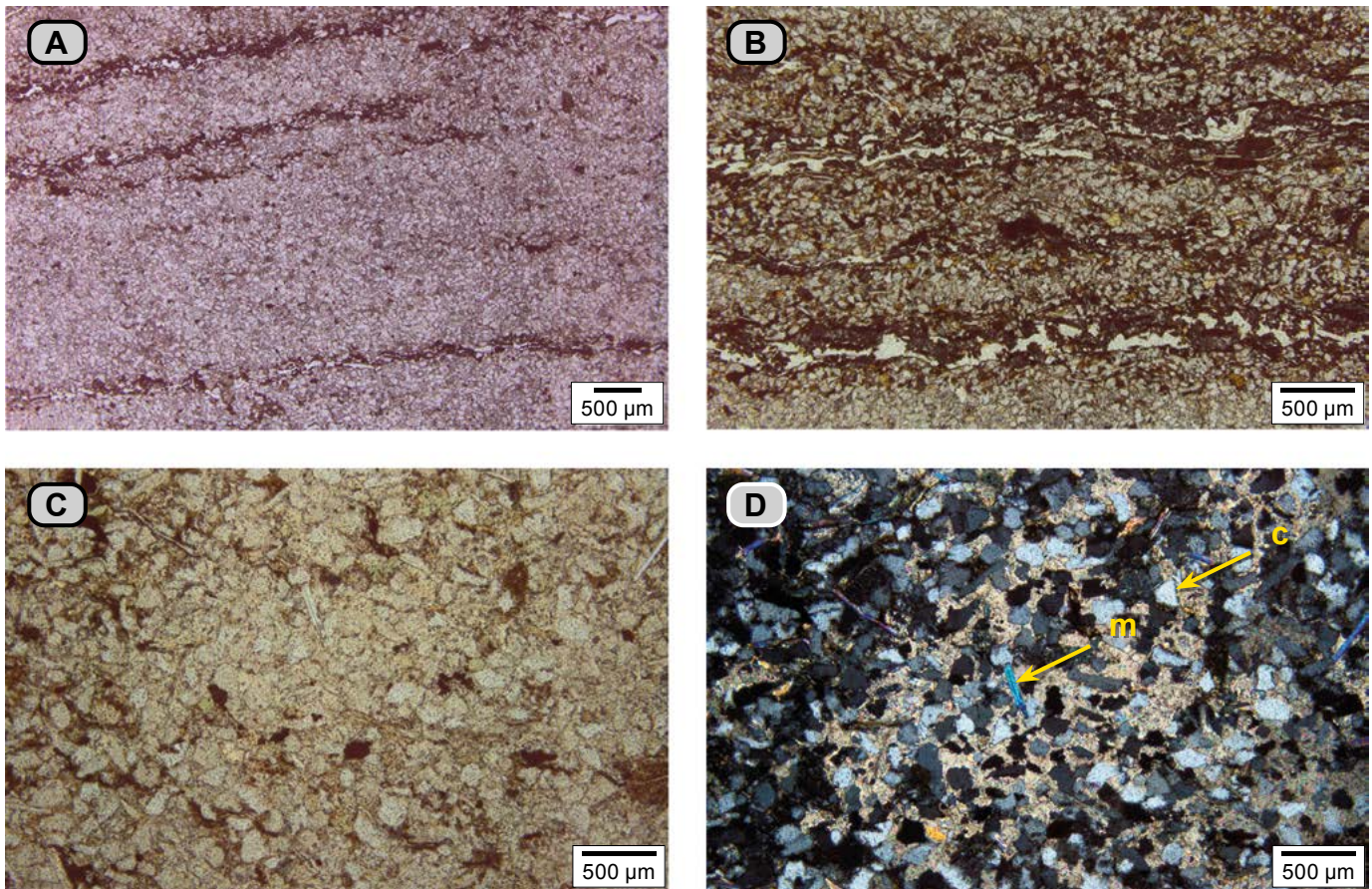


Figura 84. Arenitas de cuarzo con cemento calcáreo (**dma 5146**). **A)** Láminas inclinadas de tonos claros por presencia de cemento calcita espar, y láminas oscuras más delgadas cuyo color se debe a la presencia de arcilla y materia orgánica. **B)** Con mayor aumento se observan láminas plano- paralelas; 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 μ**); 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**).

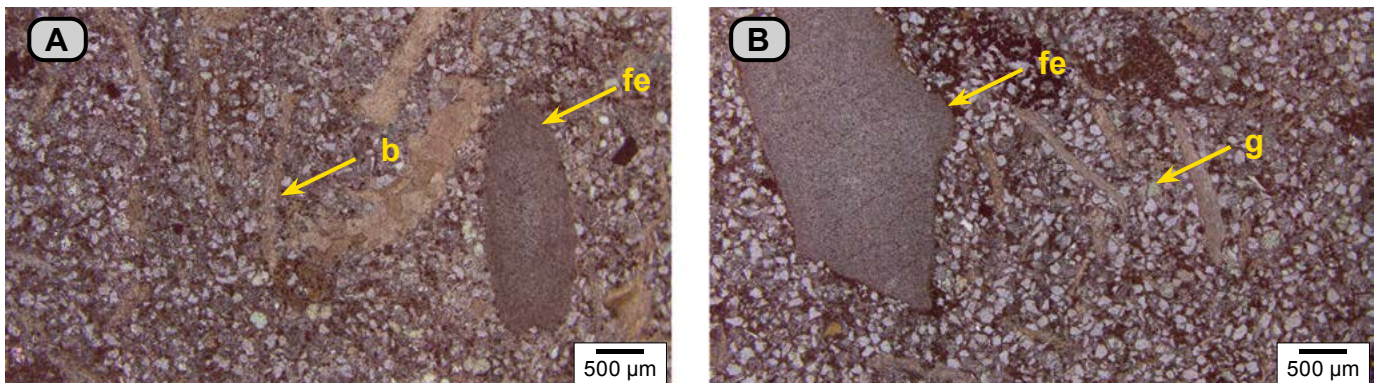


Figura 85. Arenitas de cuarzo fosilíferas de textura fina con cemento calcáreo (**dma 5147**). **A)** Se observan, en el armazón, cuarzo y fósiles, en este caso, fragmentos de equinodermos (**fe**) y de conchas de bivalvos (**b**), y pirita. **B)** En otro sector de la sección delgada se muestra la presencia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

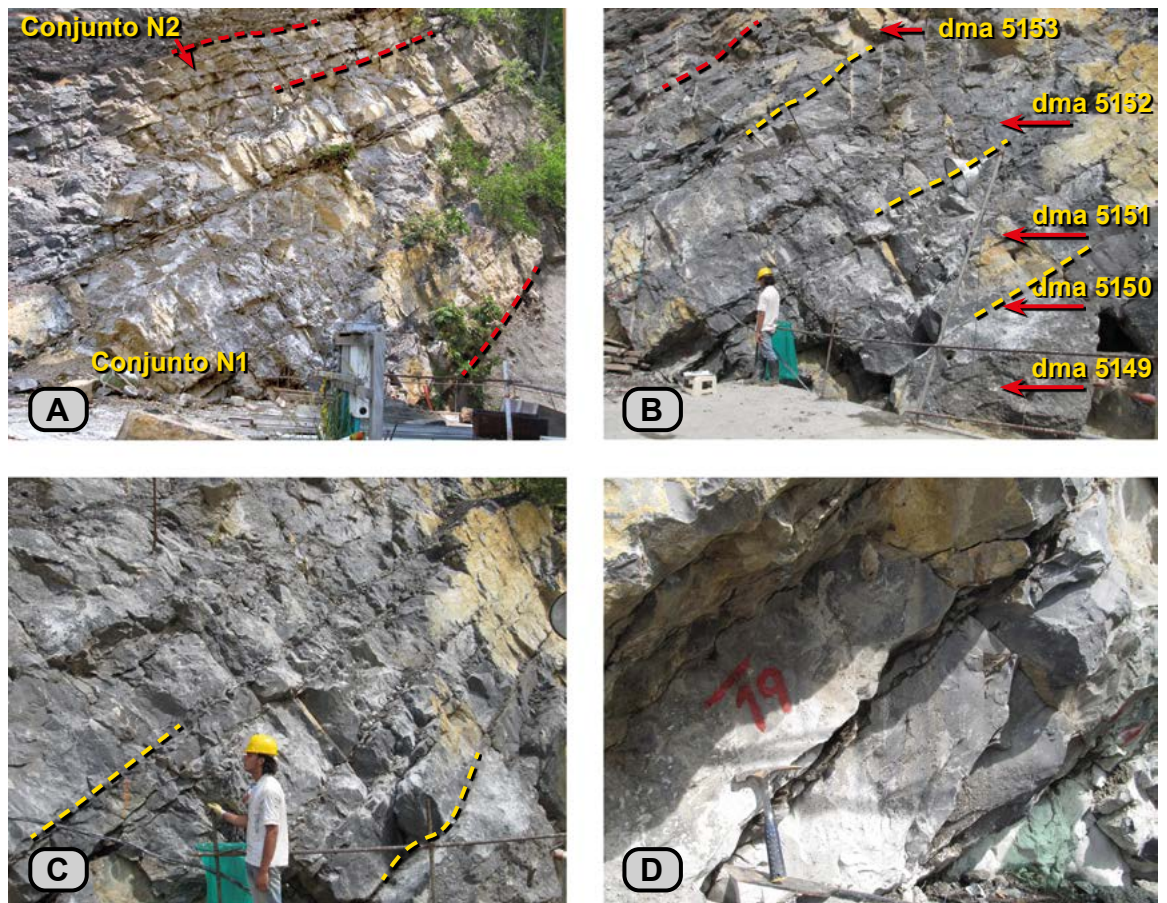


Figura 86. A) Se observan dos conjuntos, el N1 y N2, limitados por líneas rojas punteadas. En el conjunto N1 se observan tres paquetes conformados por capas muy gruesas, constituidos por *packstone* y *wackestone* (metros 176 a 200). En el conjunto N2 se presentan capas gruesas, plano-paralelas. B) Conjunto 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 μm , que crecen a partir de los bioclastos, el tamaño de los cristales varía entre 12 μm y 7 μm . 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 μm , 640-718 μm , 1.400-3.200 μm y > 5.100 μm (**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 μm .

Se observan estilolitos con un ancho de hasta 1.000 μm , 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

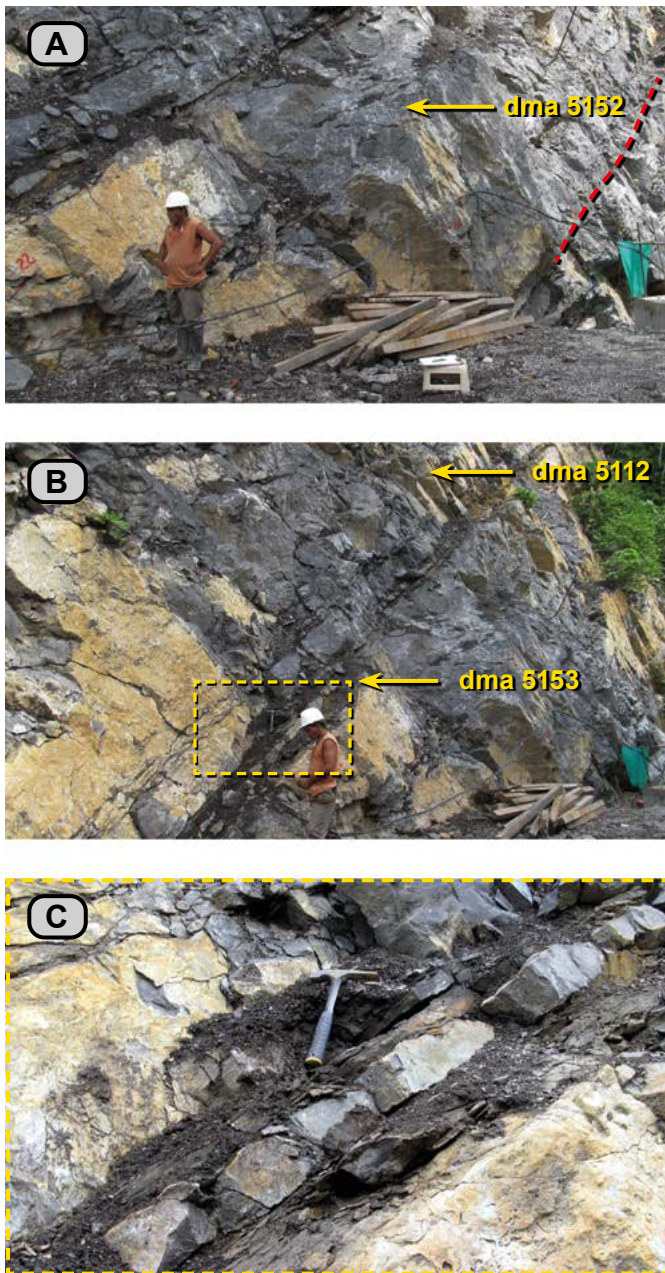


Figura 87. Conjunto N. **A)** Se observa el tercer paquete, constituido por una capa muy gruesa de *wackestone*, con esporádicas superficies discontinuas paralelas a S_0 , interpretadas como superficies resultado de la presión (metros 184 a 189). **B)** Tercero y cuarto paquete, separados por 40 cm de *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).

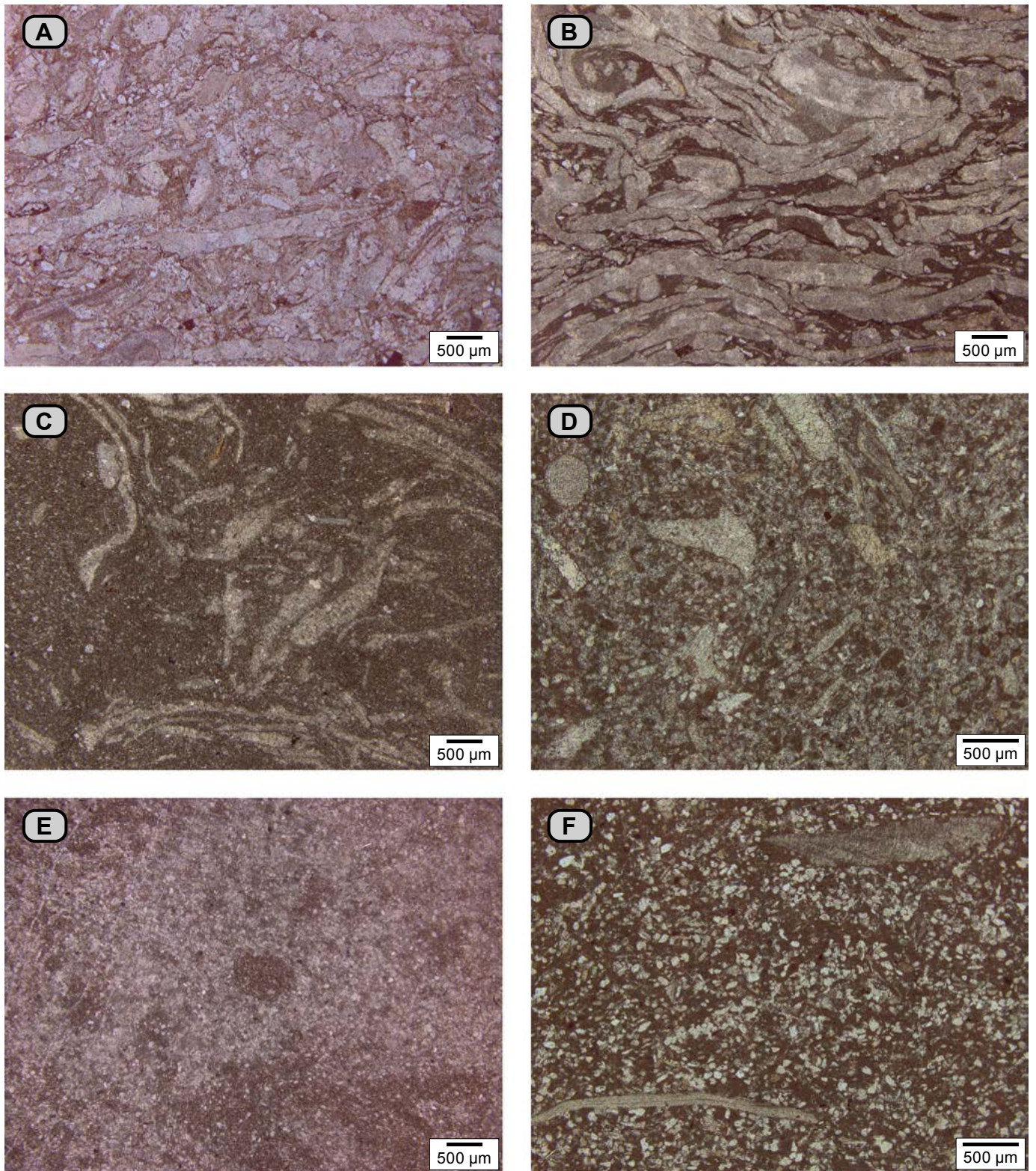


Figura 88. Espectro textural de las calizas del conjunto N1. **A)** *Packstone* (**dma 5149**). Es una bioesparita pobremente lavada mal sorteada con bivalvos (**microfacies E**); obsérvense los tamaños de los fragmentos de conchas de bivalvos y de equinodermos, que abarcan desde 300 µm hasta 3 cm; su 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 con fragmentos 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.

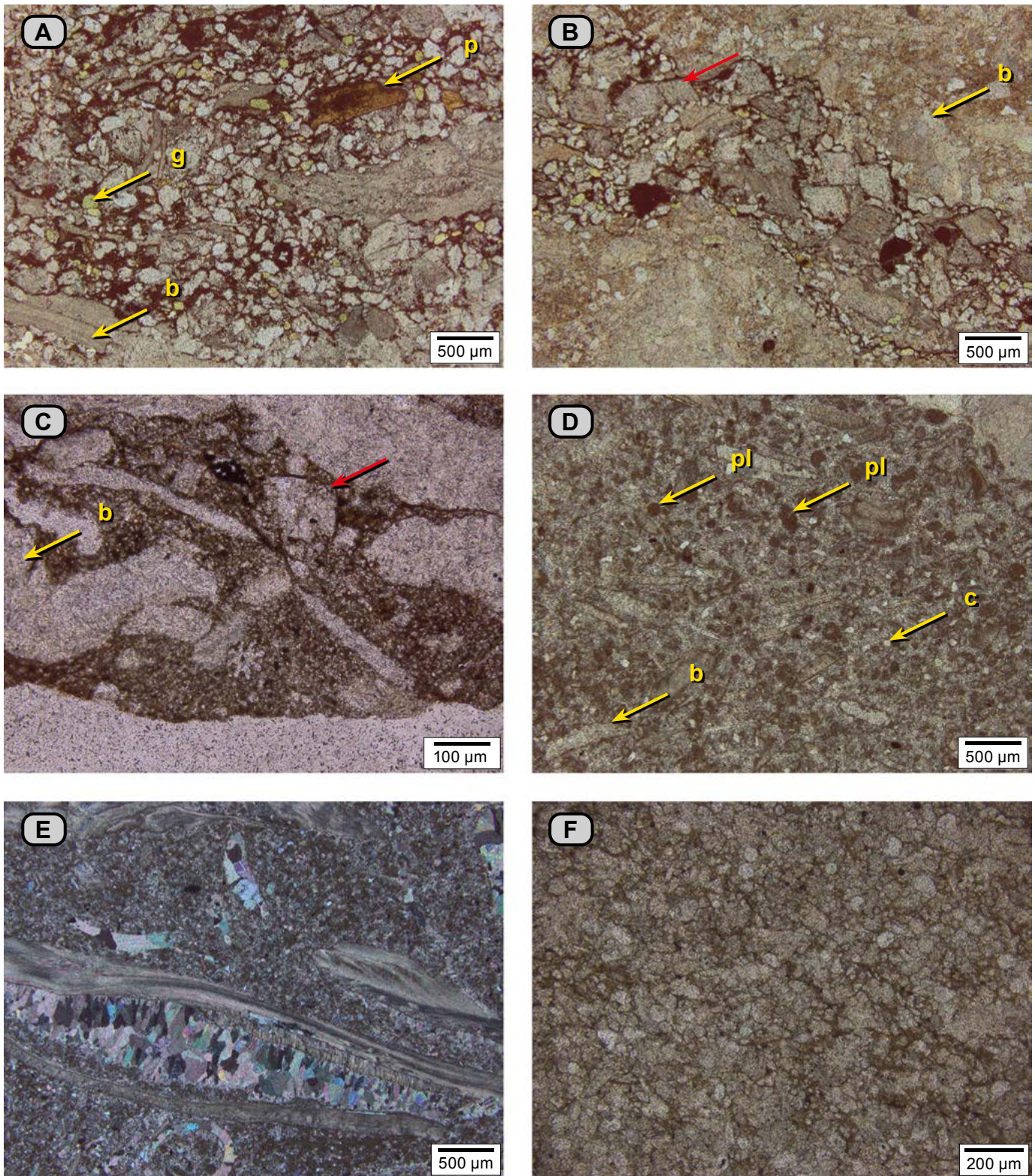


Figura 89. A) *Packstone* (dma 5149, microfacies E). Sector de la sección delgada, donde los óxidos de hierro son el material cementante; el armazón está constituido por conchas de bivalvos (b) y cuarzo; hay restos de fragmentos fosfatizados (p) y glauconita (g). **B)** *Packstone* (dma 5149, microfacies 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 μm . 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 μm) 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 μm . 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 λ de 30 cm, y asociadas a ellas hay concreciones con ϕ 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):

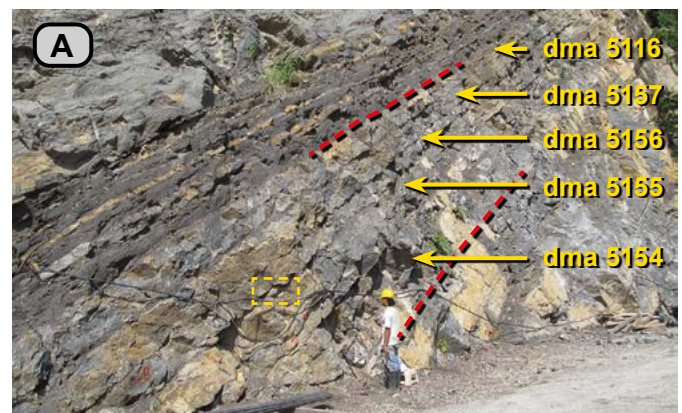


Figura 90. A) El conjunto N2 (entre líneas rojas punteadas) suprayace al conjunto N1 e infrayace al intervalo estratigráfico O (de tono gris oscuro). En el conjunto N2 alternan calizas con texturas de *packstone* y *wackestone* de capas gruesas. **B)** En la figura se observa cómo la base de la capa 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 μm (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-

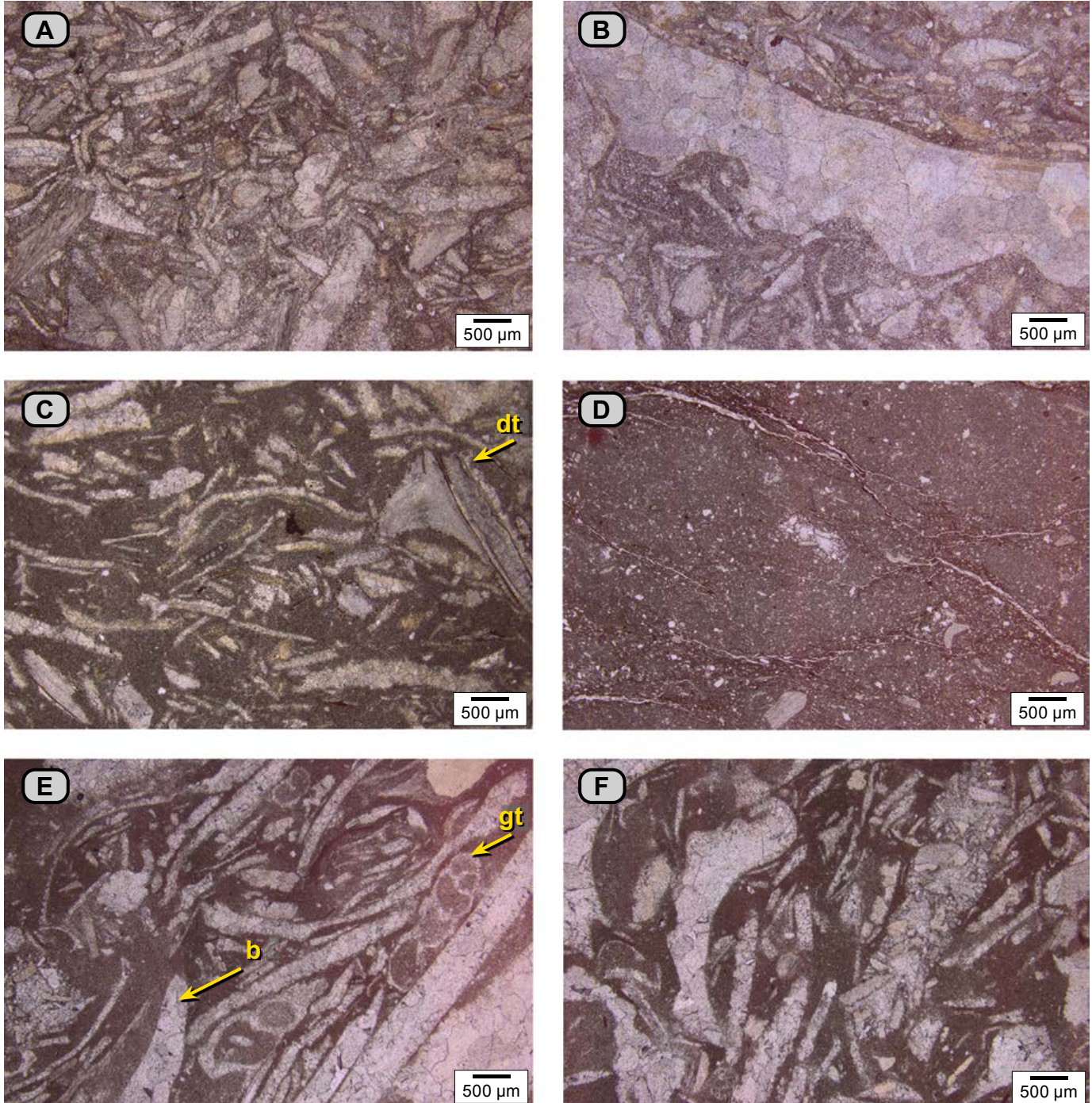


Figura 91. Diferentes tipos texturales de calizas del conjunto N2. **A y B)** *Packstone* con bivalvos cuya textura varía de arena gruesa a centimétrica. Se identifica como biomicrita empaquetada, con mal calibrado (**dma 5154**). Los fósiles son conchas de bivalvos y fragmentos de bivalvos, con orientación 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**).

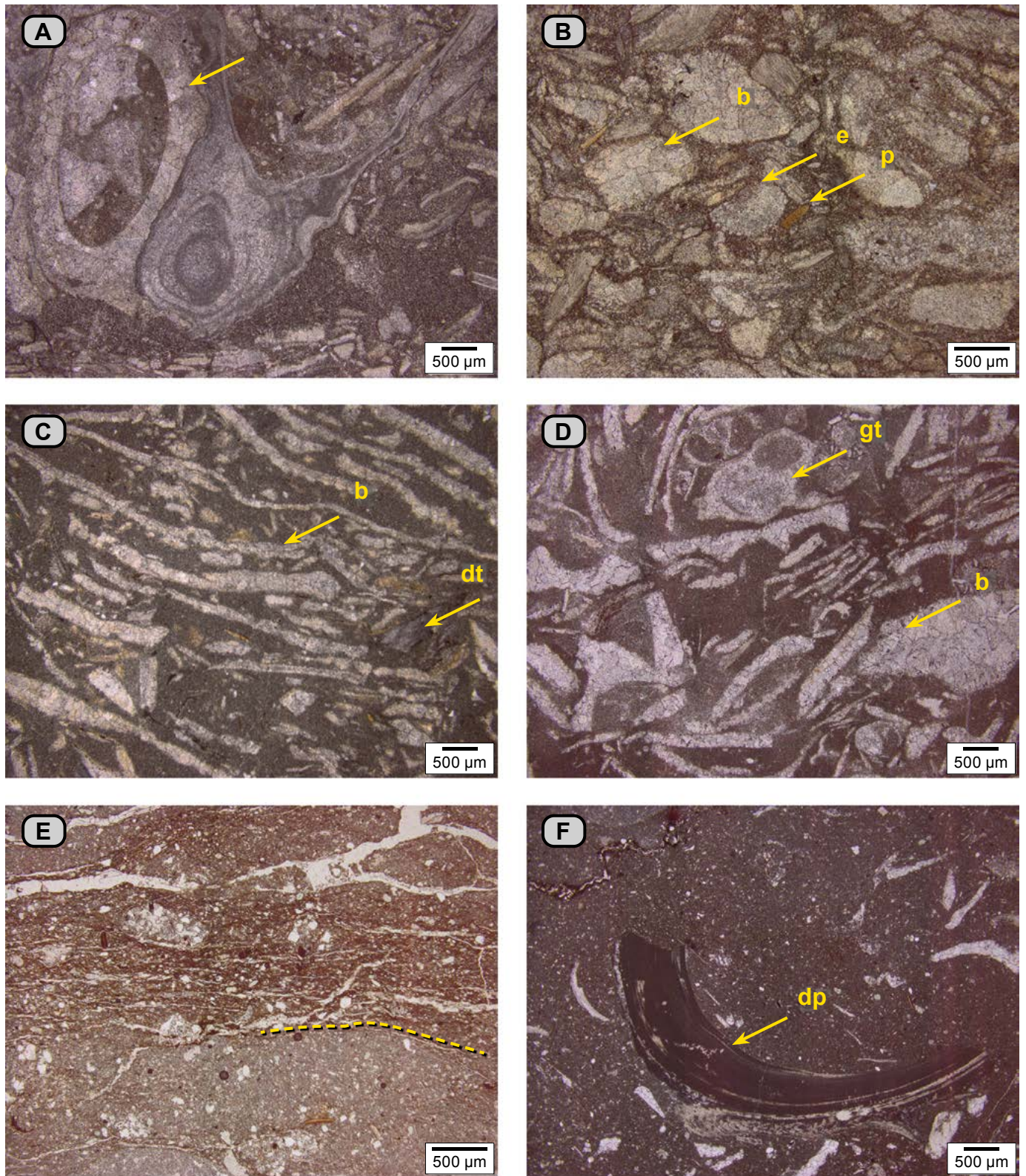


Figura 92. Rasgos texturales del conjunto N2. **A)** Biomicrita empaquetada (**dma 5154**); las flechas amarillas señalan los restos de bivalvos, algunos de concha gruesa. **B)** Nótese los fragmentos de conchas de bivalvos de texturas similares (**b**), espículas de equinodermos (**e**) y fosfato (**p**), 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 recrystalizada a un agregado de cristales de calcita con un tamaño máximo de 8 μm .

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 recrystalización. 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 μm (**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**).

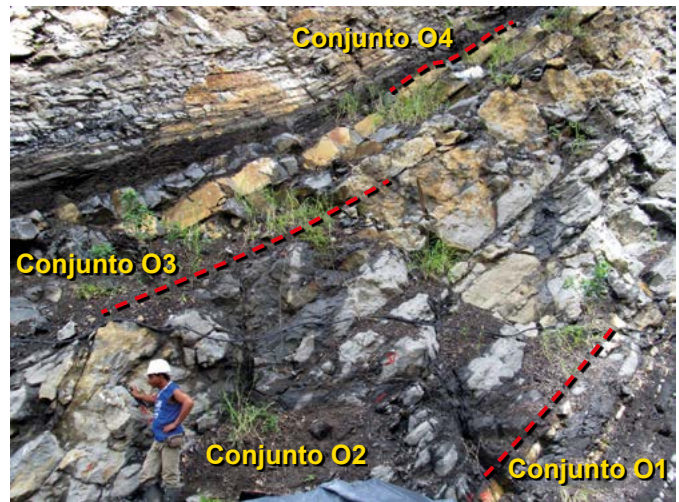


Figura 93. Intervalo estratigráfico O (metros 197 a 210). El conjunto O1 se compone de arenitas de cuarzo laminadas con arenitas arcillosas de cuarzo en capas medianas y gruesas que alternan con calizas *mudstone* en capas delgadas. El conjunto O2 es una capa muy gruesa de arenita de cuarzo. El conjunto 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 π**) (**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

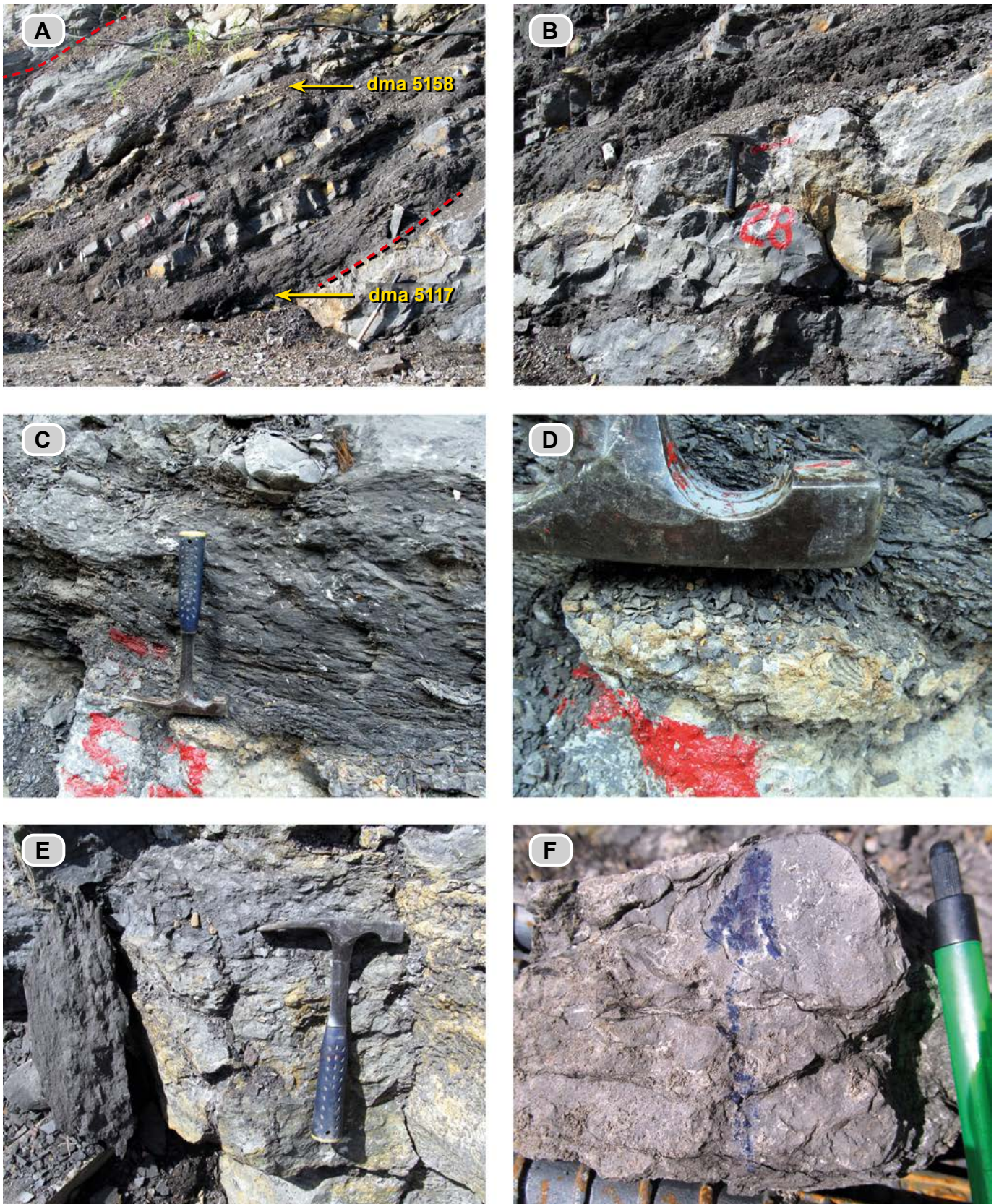


Figura 94. Conjunto O1. **A)** Alternancia de arenitas grises con textura muy fina y calizas *mudstone* grises claras (metros 197 a 200). **B)** Contacto entre las calizas del conjunto N2 (inferior, bastón 28) y las arenitas arcillosas del conjunto O1 (superior), marcado por una superficie irregular 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.

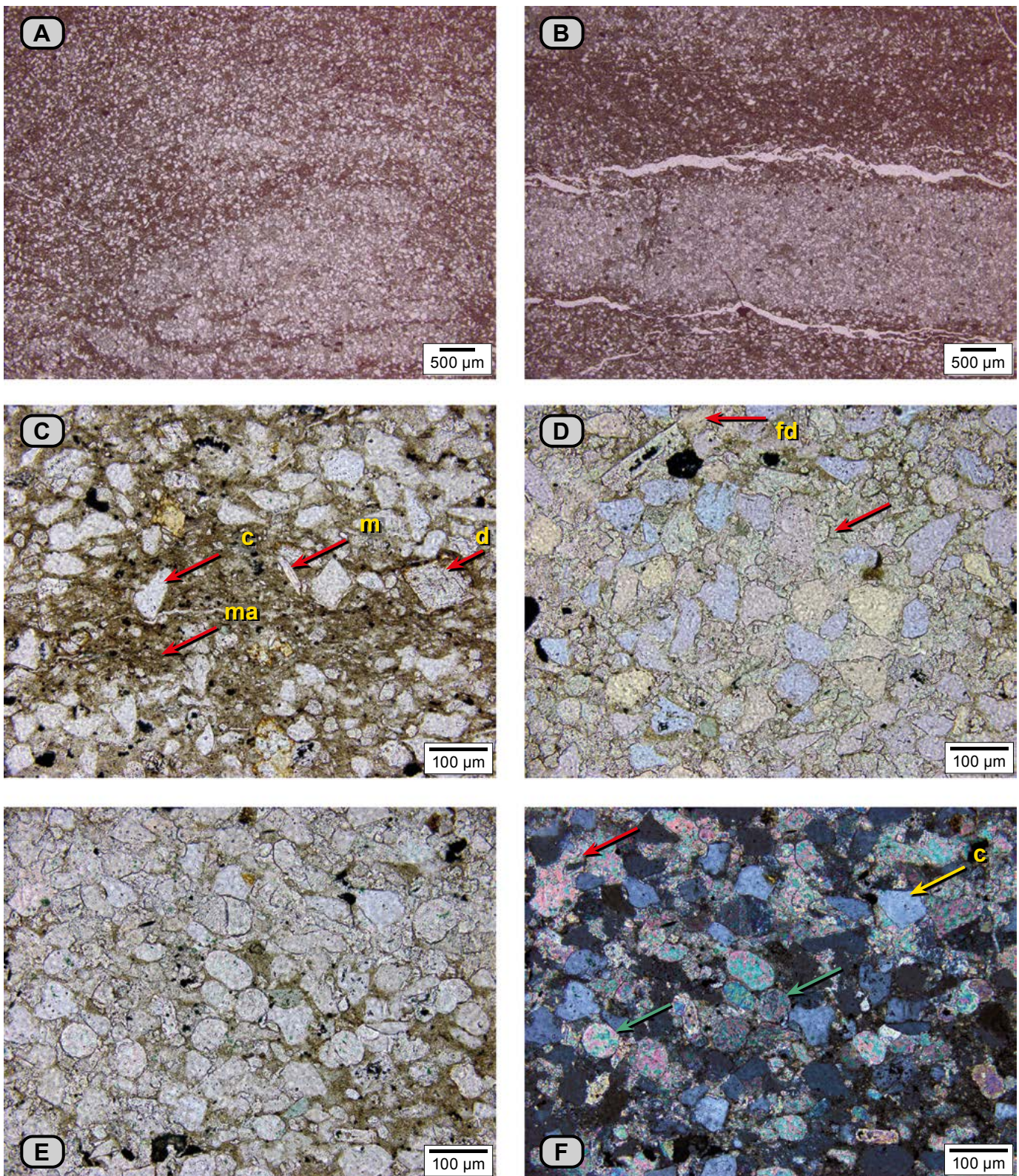


Figura 95. A, B, C, D) Aspecto general de la arenita laminada (dma 5117) del conjunto O1. **A)** Sector de la sección delgada, con laminación relicta; el tono claro corresponde a una arenita de cuarzo con cemento esparítico y limolitas de cuarzo con lodo calcáreo. **B)** Otro sector de la misma sección 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.

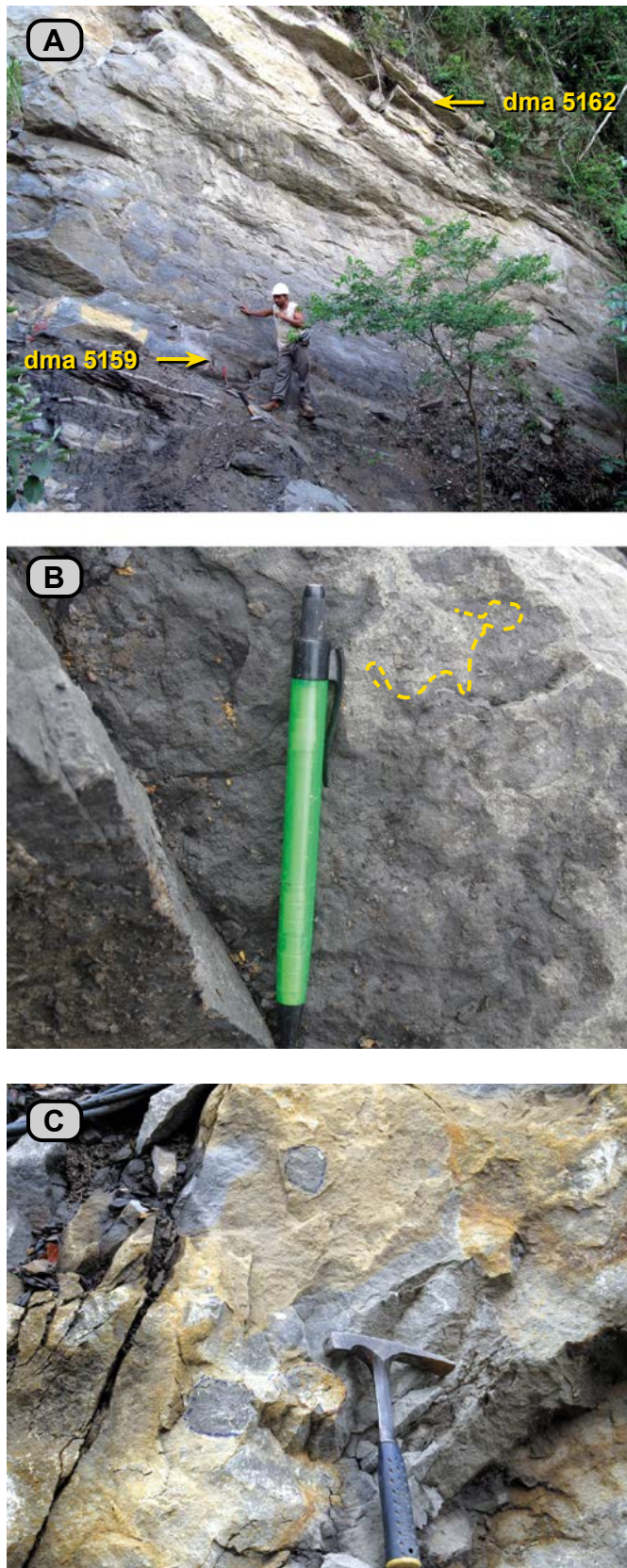


Figura 96. Conjunto O2. **A)** Arenita de cuarzo de textura muy fina, en capa muy gruesa (5,5 m), en su afloramiento, en la ribera sur del río Sogamoso, cuando corta el cerro La India o Tablazo. **B)** Bioturbación indistinta a modo de parches de tonos grises claros (N6) y grises oscuros (N3). **C)** 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 π**) 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 ρ**). 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 biomicrocristalita rala con cuarzo (**microfacies 5**). La microcristalita (69%) tiene recristalización y produce un mosaico de cristales con tamaños de hasta 10 μm . El armazón está constituido así: **a)** fósiles (13%), representados por conchas de bivalvos, que están dispuestos de modo perpendicular

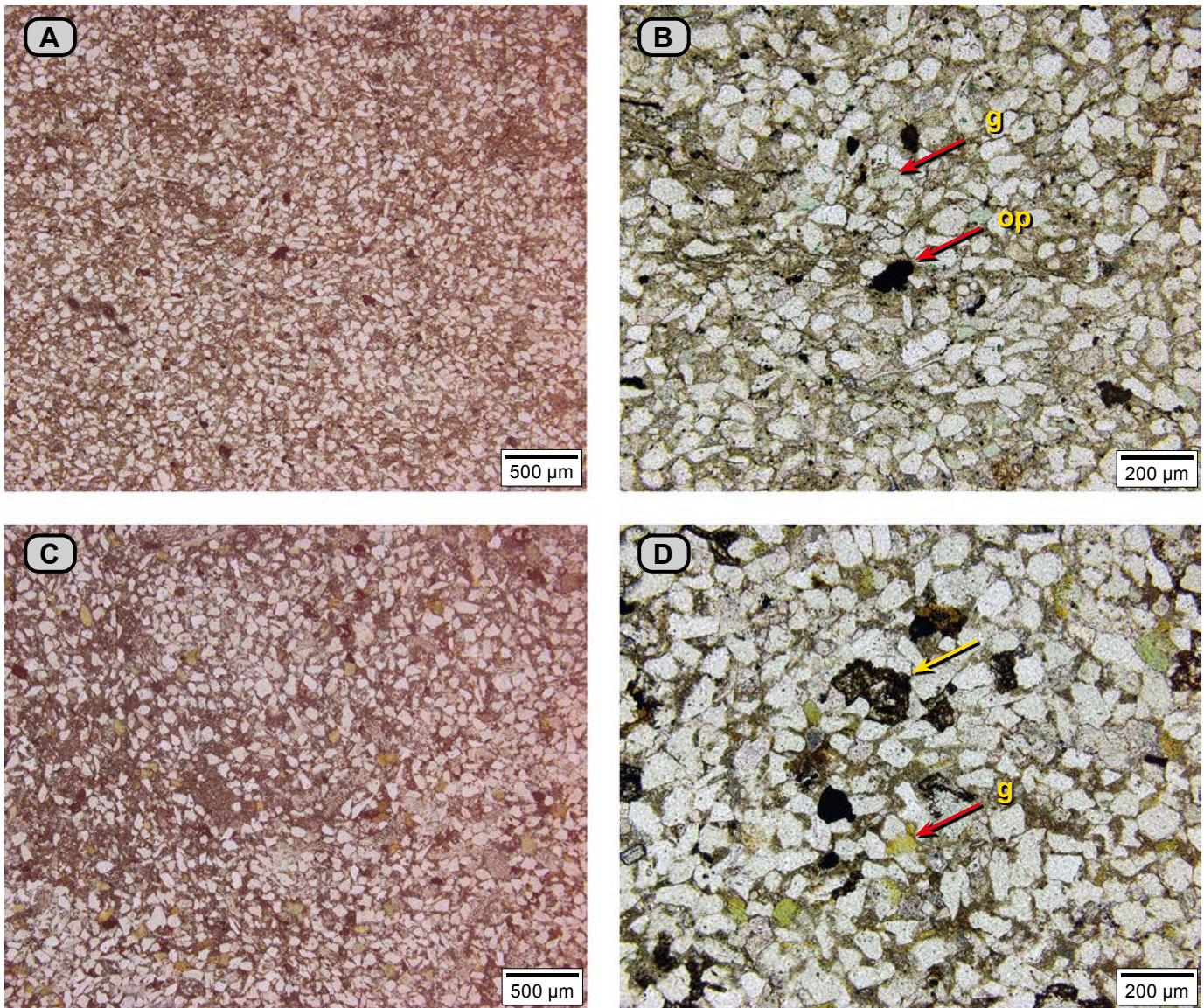


Figura 97. A) Arenita de cuarzo de textura muy fina con matriz de arcilla (tonos pardos) y cemento calcáreo (tonos claros) (dma 5159). B) Detalle de la figura A para observar a mayor detalle claridad la matriz arcillosa de tonos pardos y el armazón constituido por cuarzo; además, se observa presencia 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 μ). 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 μm (fig. 99).

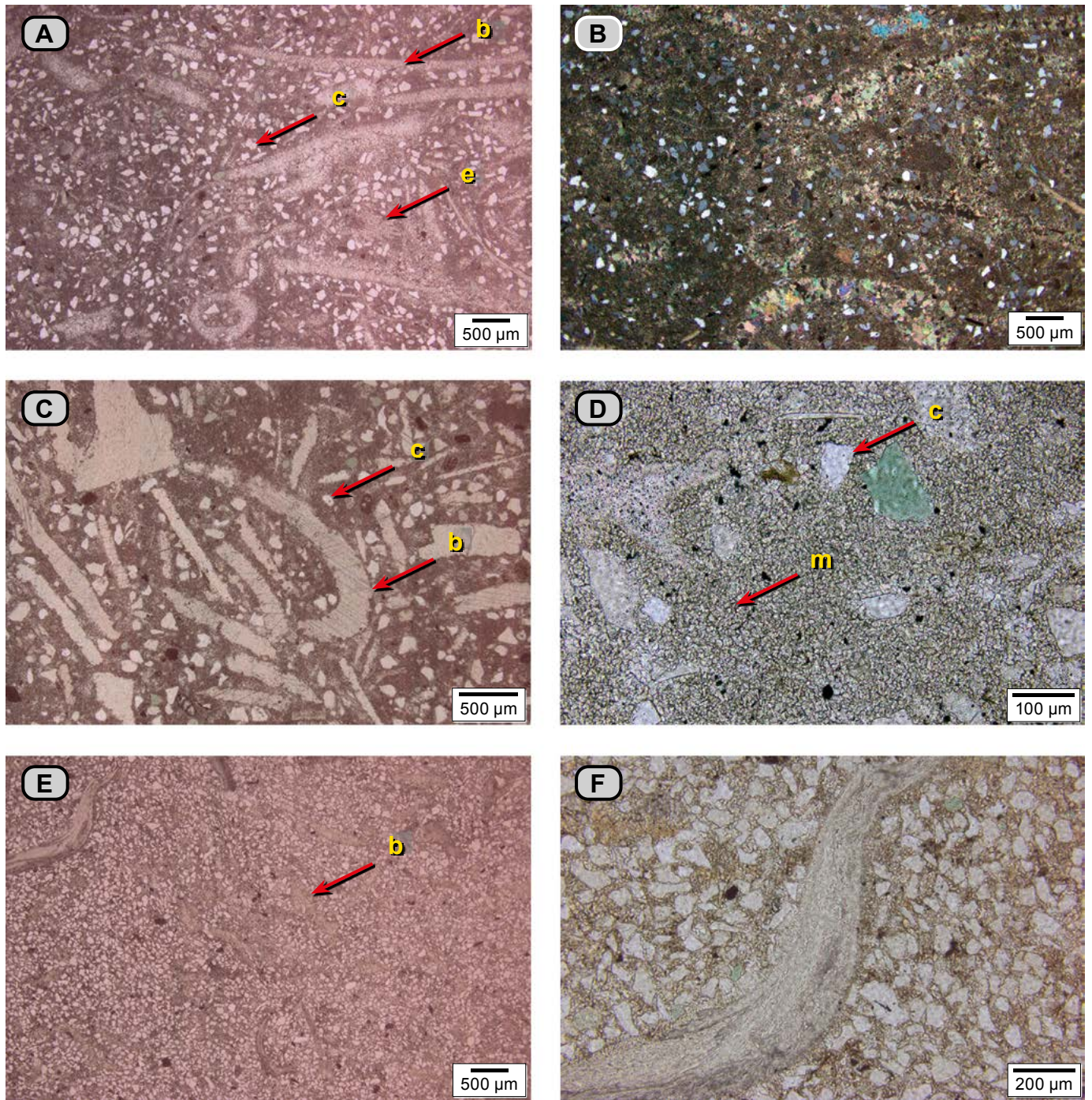


Figura 99. Caliza *wackestone* con cuarzo (**dma 5163**), que se identifica como biomicrita rala con cuarzo. **A)** Textura general: el material oscuro es micrita con neomorfismo; se observan fragmentos de cuarzo (**c**) y bioclastos: conchas de bivalvos (**b**) reemplazados por cristales de esparita 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 μm . **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 O4 (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-

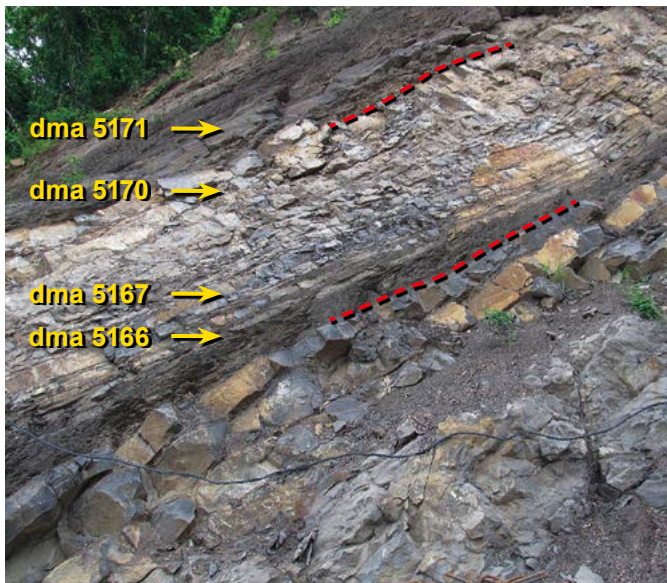


Figura 100. Conjunto O4 (metros 204 a 213). Entre líneas rojas punteadas se señalan los contactos del conjunto O4. Se observan varios paquetes: el inferior, de color gris oscuro, corresponde a *mudstone* de arcillas; el segundo paquete es una alternancia de calizas *packstone*, con texturas entre limo 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 ondulosos, 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 μm , 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 μm ; hay presencia de arcilla (tonos pardos oscuros) y fósiles esporádicos, entre los que se reconocen

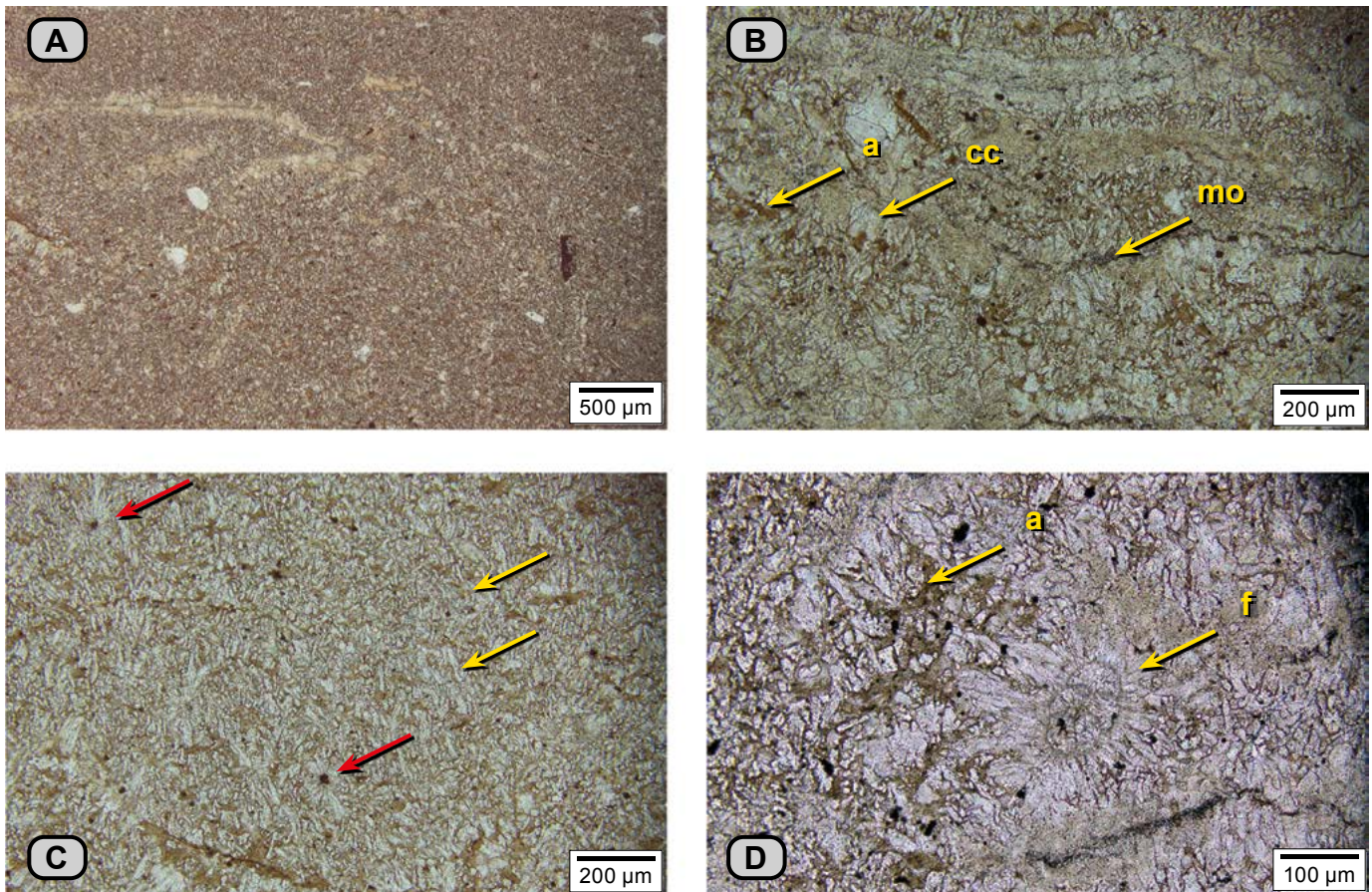


Figura 101. Caliza *mudstone* (**dma 5166**). **A**) Lámina de cristales de calcita con forma de espada que crecen perpendiculares a S_0 ; nótese el desarrollo de cristales a partir de las conchas de bivalvos. **B**) Se observan algunas conchas de bivalvos y laminillas de arcilla (**a**) y materia orgánica (**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 μm (**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 frijol; **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 silíceo, 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 frijol 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.

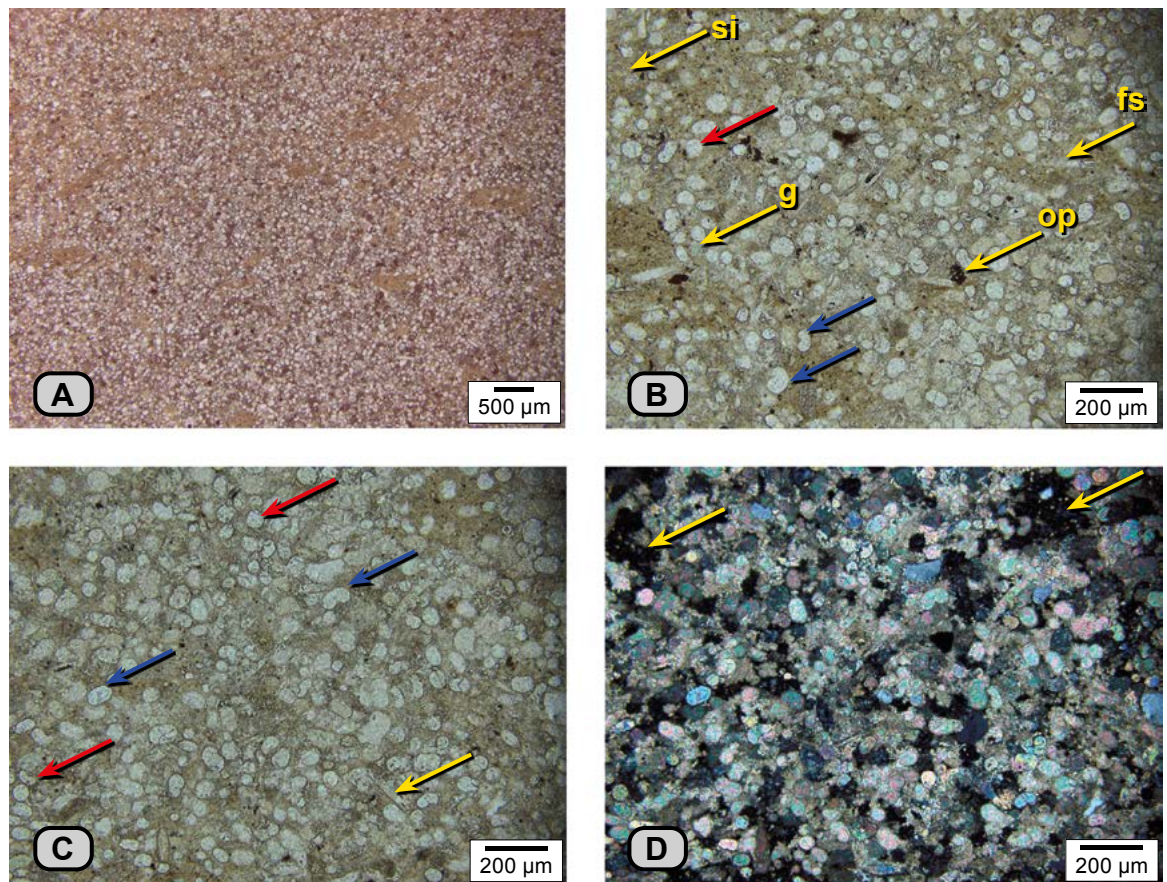


Figura 102. Caliza *packstone* (**dma 5167**) del paquete II. **A**) *Packstone* con textura de arena muy fina. Aspecto general de la roca: se reconocen sectores de tono pardo amarillo que corresponden a sílice hidratada. **B**) Un sector de la placa visto con mayor aumento; se observan cuerpos circulares (flecha roja) y cuerpos con formas de frijol (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 frijol; 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 nicols cruzados; las flechas amarillas señalan sílice hidratada.

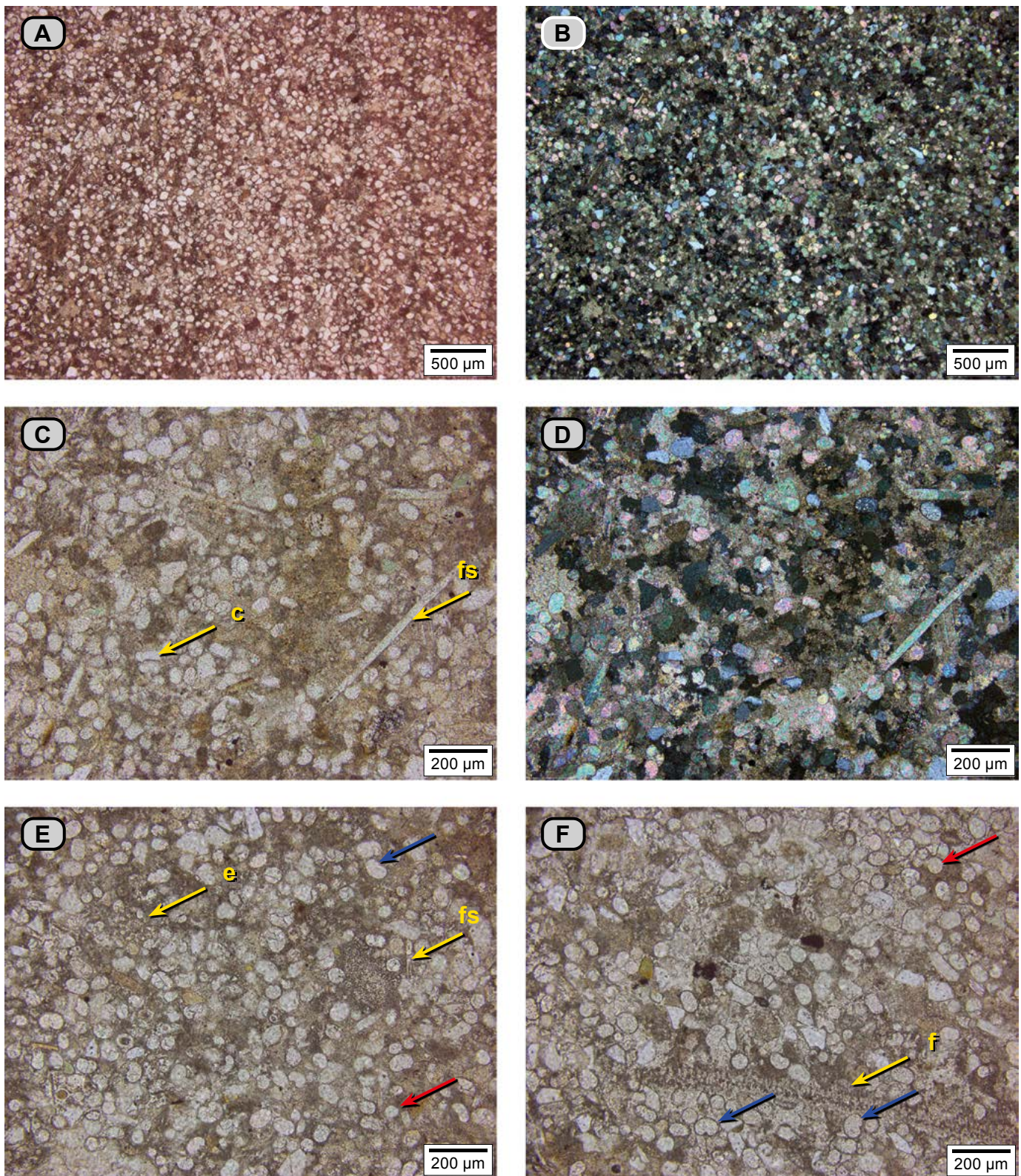


Figura 103. *Packstone* del paquete III del conjunto O4 (*dma 5170*). **A)** Se observa la textura general; el armazón está constituido por fósiles de textura limo - arena muy fina, representados por espículas de espongiarios; nótese la presencia de peletoides de micrita. **B)** La misma fotografía de la figura **A)** hecha con nicóles 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 nicóles 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 μm) se observan láminas blanquecinas, contorsionadas, constituidas por: **a)** un agregado de cristales de calcita con tamaño de 20 μm , y **b)**

cristales de calcita alargados con tamaño de hasta 120 μm , 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 μm , 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).

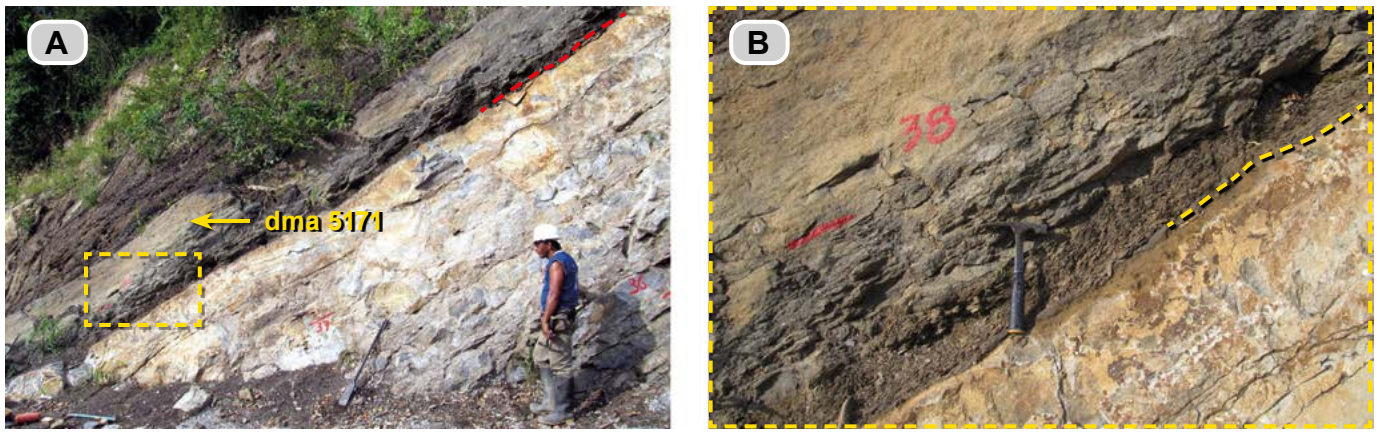


Figura 105. A) Se observa el último paquete del conjunto O4, de tono gris claro, en contacto (línea roja punteada) con la primera capa del segmento estratigráfico VI, de tono gris oscuro, representado por un *mudstone* arcilloso seguido por un *packstone* de bivalvos (metros 210 a 213). B) Recuadro amarillo 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.

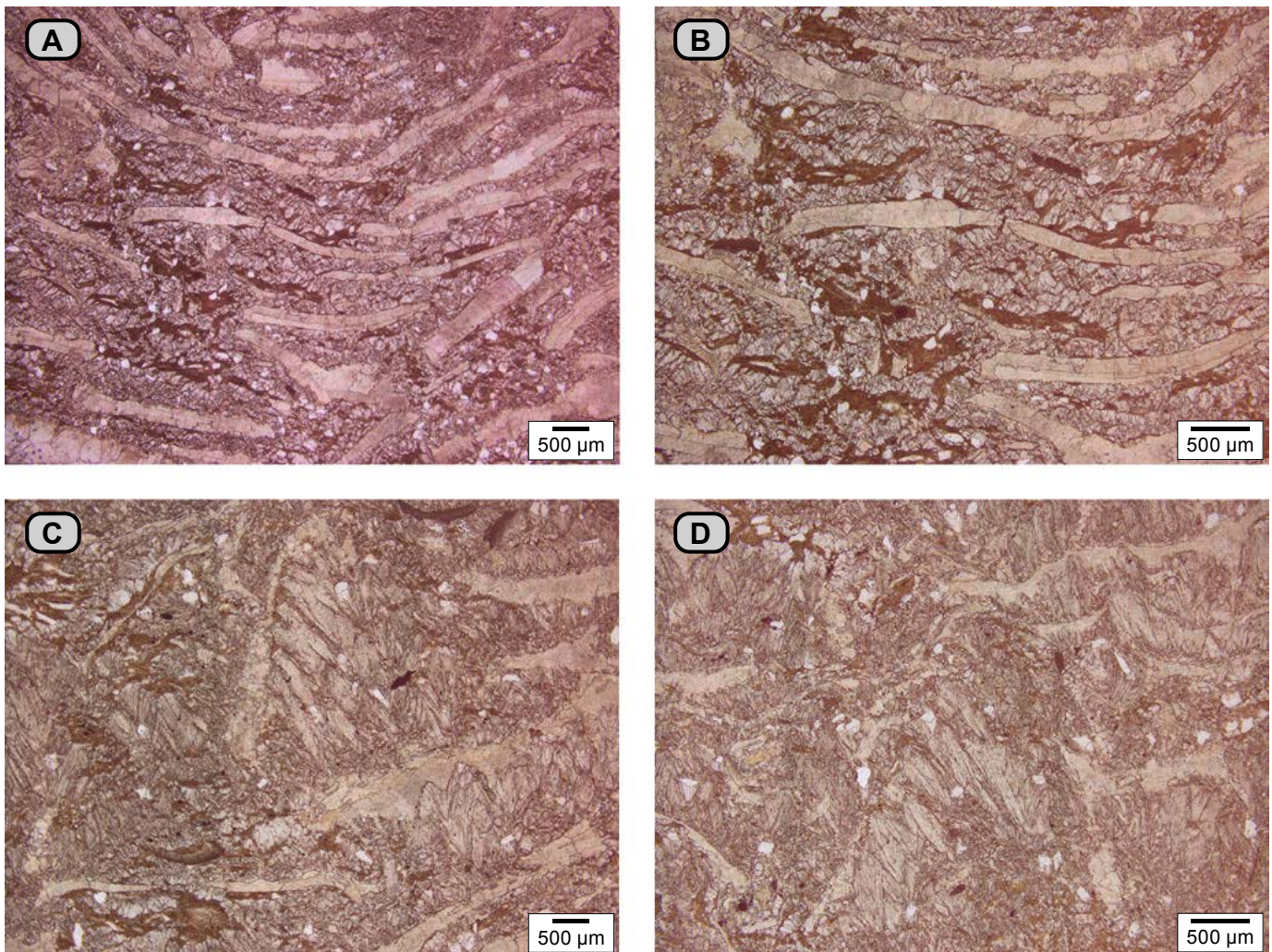


Figura 106. *Packstone* con bivalvos (dma 5171). En la sección delgada se distinguen dos láminas. A y B) Lámina inferior. En A se observan las conchas de bivalvos con disposición preferencial paralela a S_0 , reemplazadas por calcita espar; entre ellas se observan lentes y láminas discontinuas de cristales 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 μm en agregados (flechas amarillas).

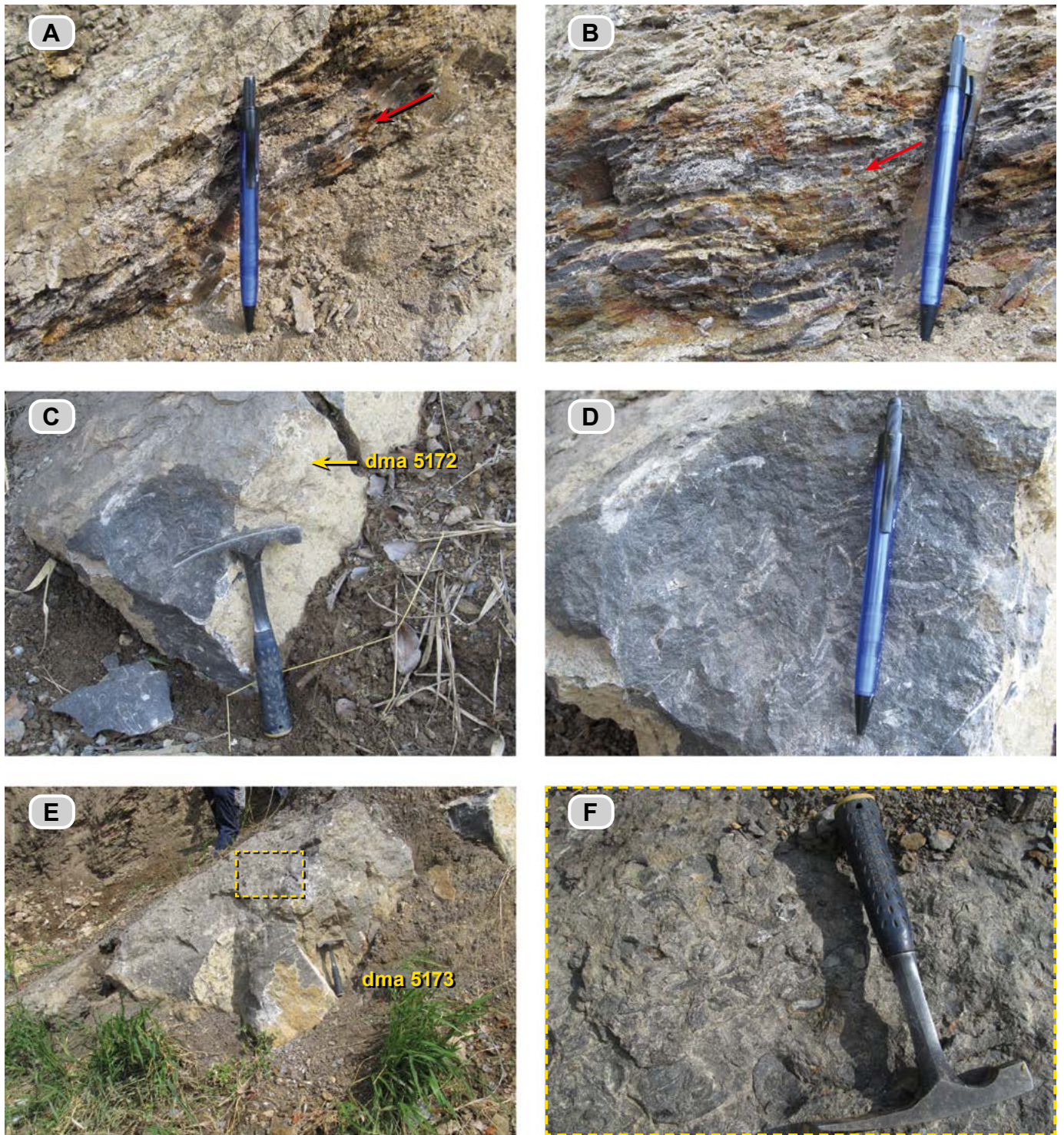


Figura 107. Segmento estratigráfico VI. *Mudstone* arcilloso. **A)** Los *mudstone* toman colores pardos naranjas y presentan láminas discontinuas de yeso (metro 217). **B)** Se muestran con detalle los *mudstone* arcillosos de colores grises (N6) en superficie fresca, y pardos amarillentos en superficies 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 μm y 2 cm; dichos cuerpos están rodeados por: **a)** cristales de calcita a modo de *popcorn*, con tamaños entre 90 y 130 μm ,

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 μm , que semejan estructuras como en cono; **c)** arcilla en parches, estrujada por las estructuras como en cono.

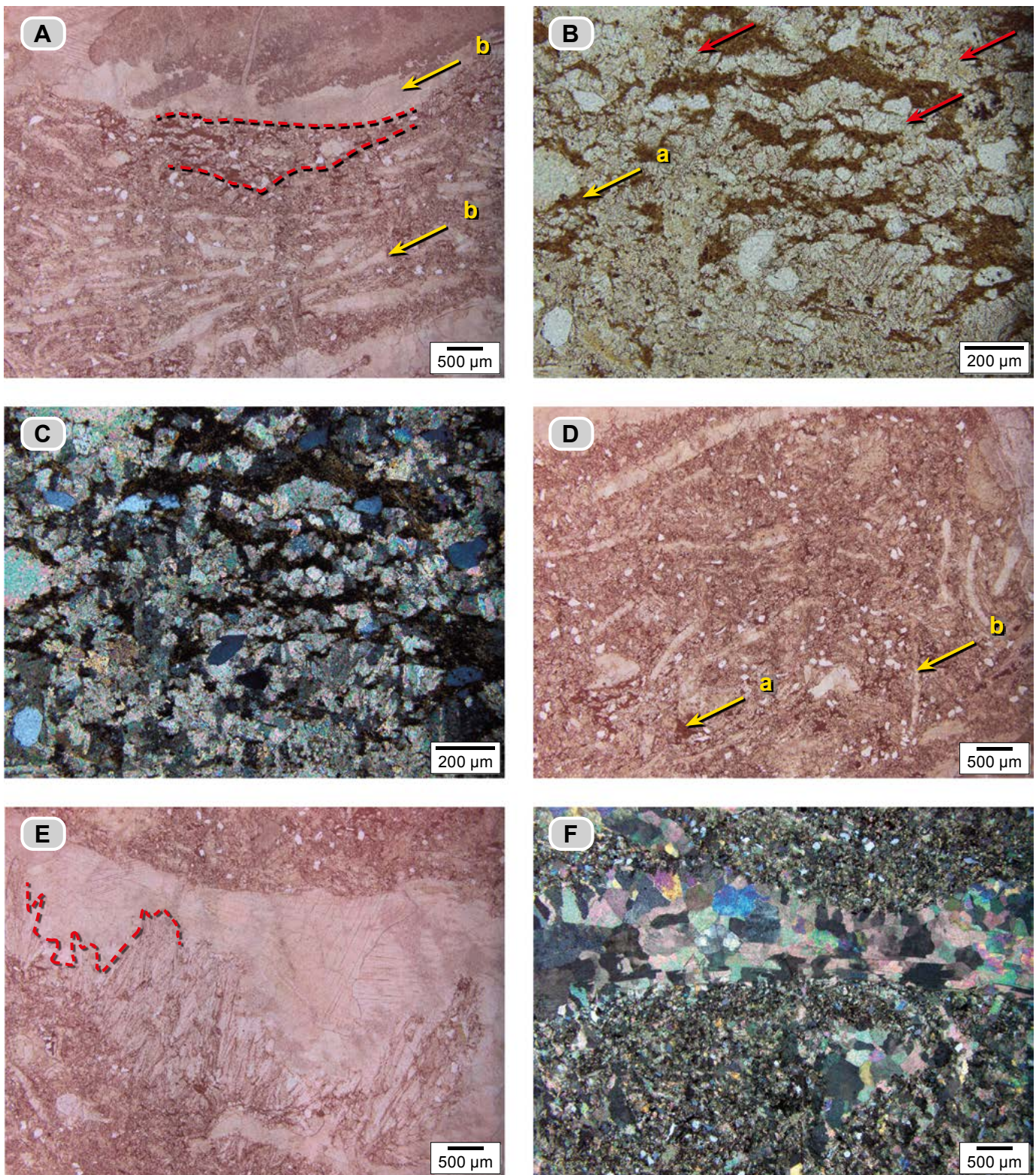


Figura 108. Wackestone con bivalvos (dma 5172). Se identifica como una biomicrota rala. **A)** Se observa un arreglo de conchas de bivalvos paralelos a S_0 . Entre las líneas rojas punteadas se observan láminas discontinuas ondulosas de cristales de calcita alargados con estructura como en cono que estruja la arcilla. **B)** Con mayor aumento se observa la zona encerrada entre líneas rojas descontinuas; 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 μm , que forman estructura como en cono. **F)** Concha de bivalvo espartitizada 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 μm 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 μm , 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 μm (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 μm) 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 μm), 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 μm). También se presenta cuarzo (6%), fosfatos (1%) y pirita (1%).

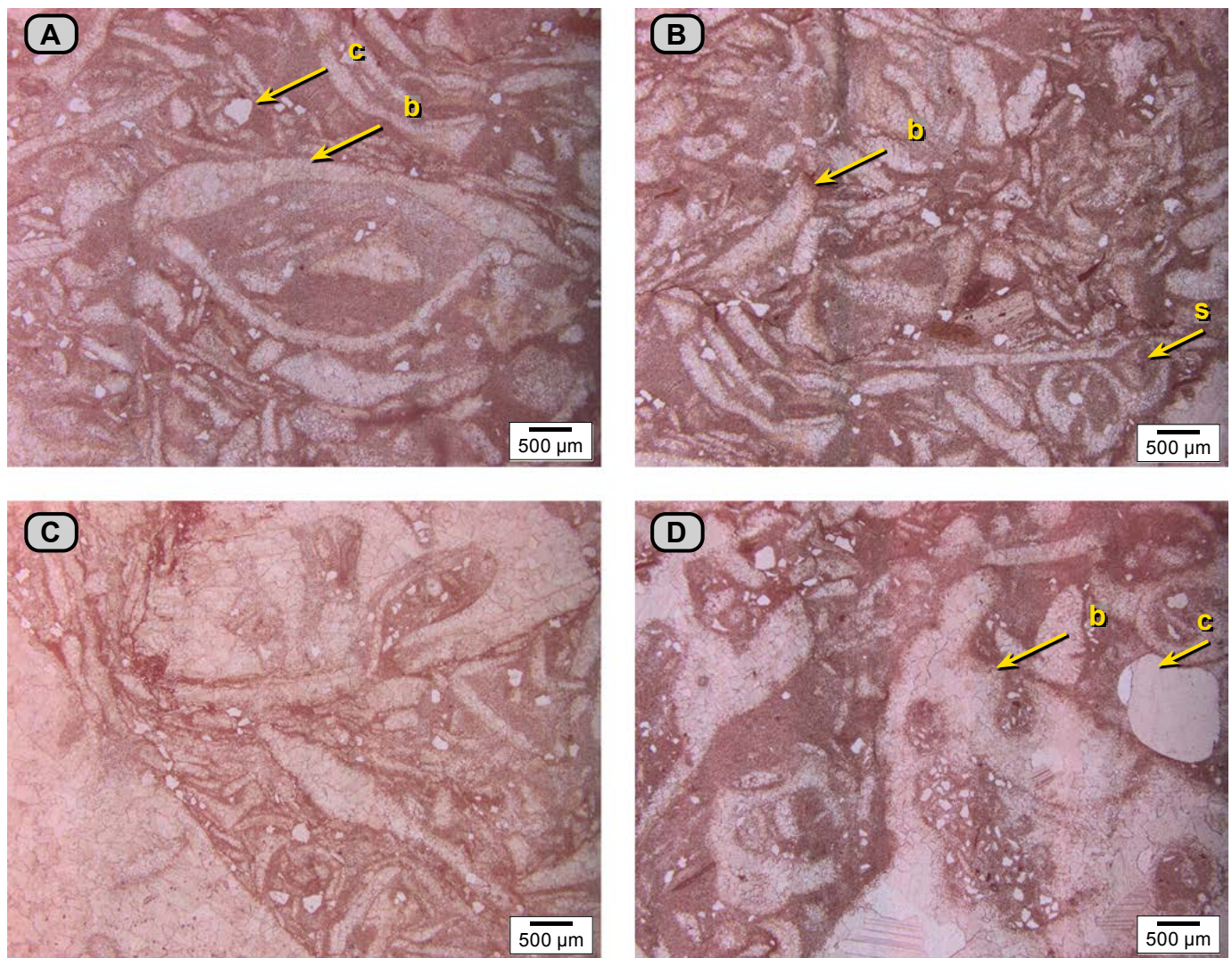


Figura 109A. *Packstone* de bivalvos (**dma 5173**), identificada como biomicrita empaquetada. **A)** Se observa el armazón de fragmentos de conchas de bivalvos (**b**); hay escasa presencia de cuarzo (**c**); entre conchas hay micrita con neomorfismo. **B)** En este sector de la sección delgada se observa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

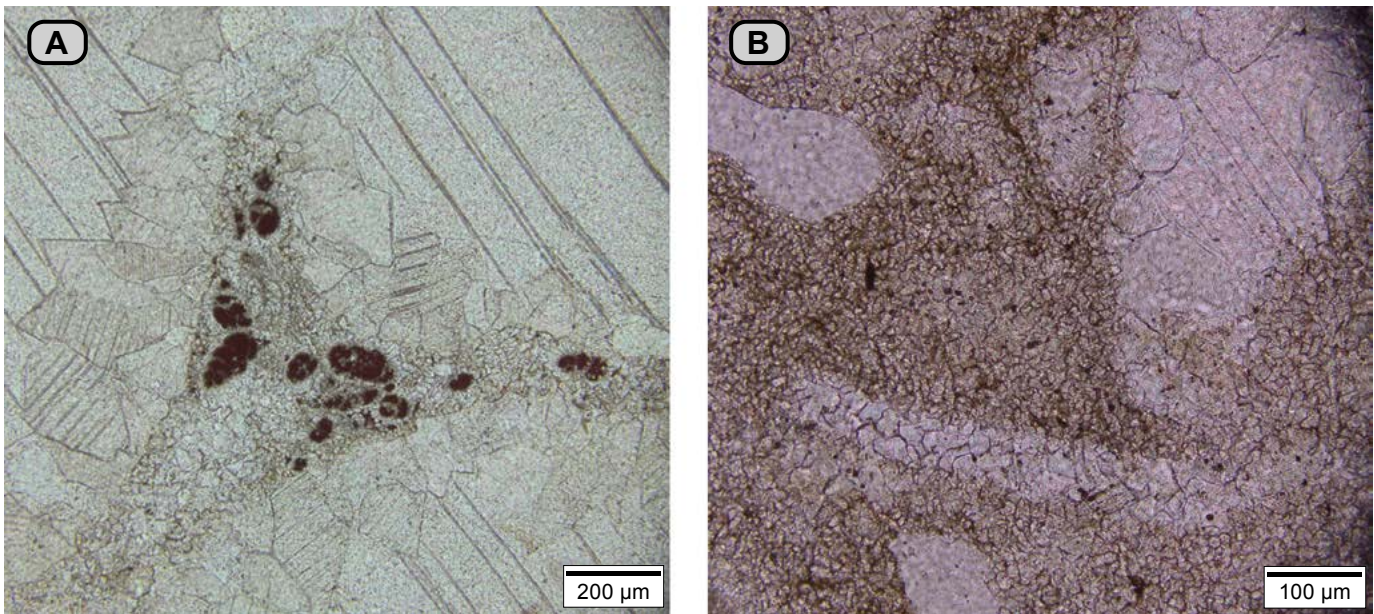


Figura 109B. **A)** Con mayor detalle se observa un cristal de espar de una concha de bivalvo esparitizada, con foraminíferos bentónicos y gasterópodos reemplazados por pirita. **B)** Ampliación de un sector de la figura 109C para mostrar el neomorfismo de la micrita, que forma un mosaico de cristales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

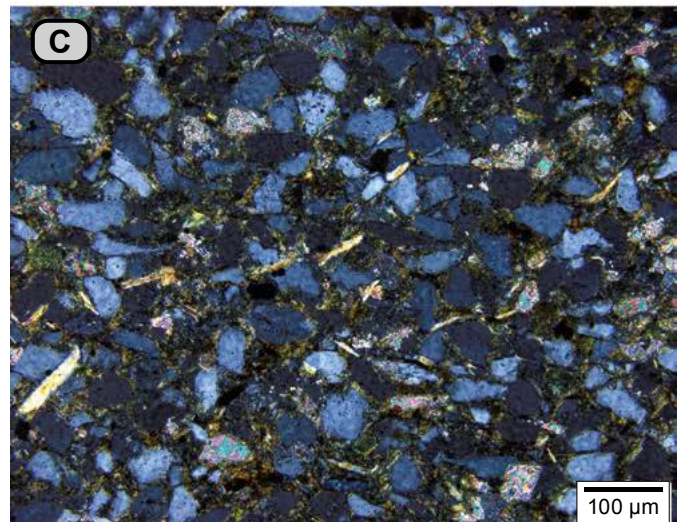
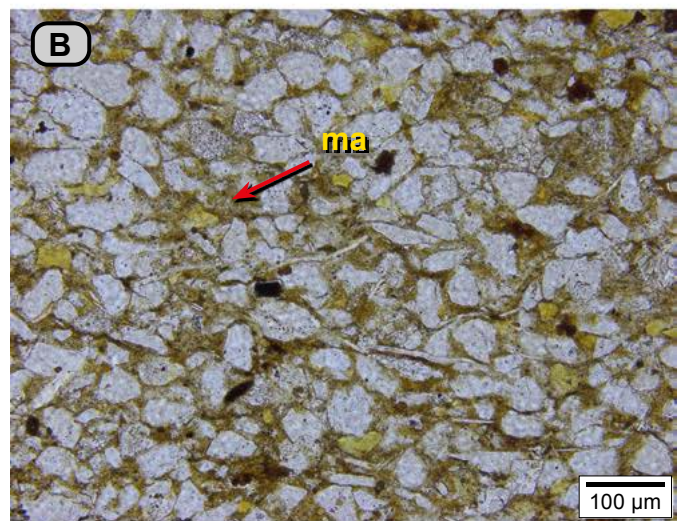
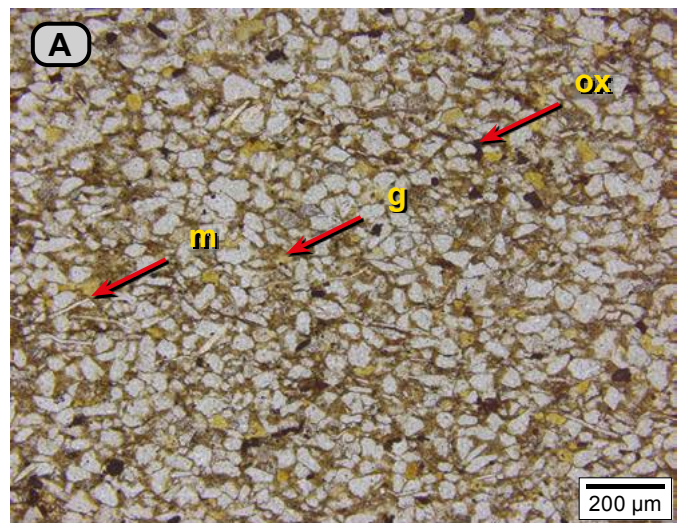


Figura 112. Limolitas de cuarzo (**dma 5175**). **A)** Aspecto general de la roca: se observa cuarzo, glauconita de tonos amarillentos (**g**), moscovita (**m**) y óxidos; la matriz de arcilla aparece en tonos pardos amarillentos. **B)** Vista con mayor aumento de la misma muestra para observar la matriz (**ma**) de tonos pardos amarillentos, los fragmentos de cuarzo, la glauconita y moscovita. **C)** La misma fotografía que en la figura **B**, hecha con nicolas 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 ρ**). 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_0 , 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%).

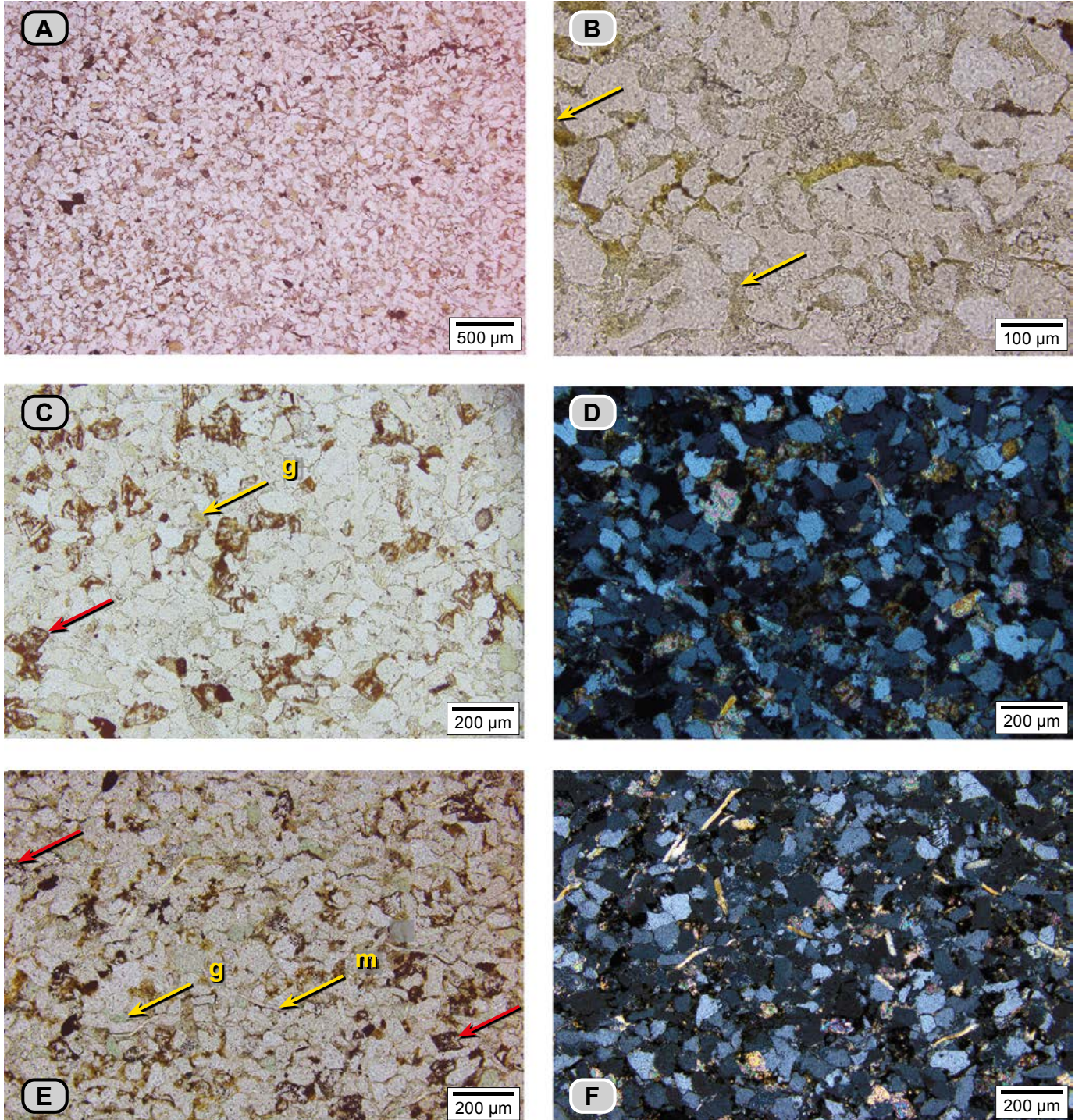


Figura 113. A y B) Arenita de cuarzo con textura de arena fina (**dma 5178**). B) Con mayor aumento se observa, en tonos claros, lo que parece corresponder a cemento arcilloso (caolinitico). C y D) Arenita de cuarzo con textura de arena muy fina (**dma 5176**); con glauconita (**g**), moscovita (**m**) 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 μm 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%.

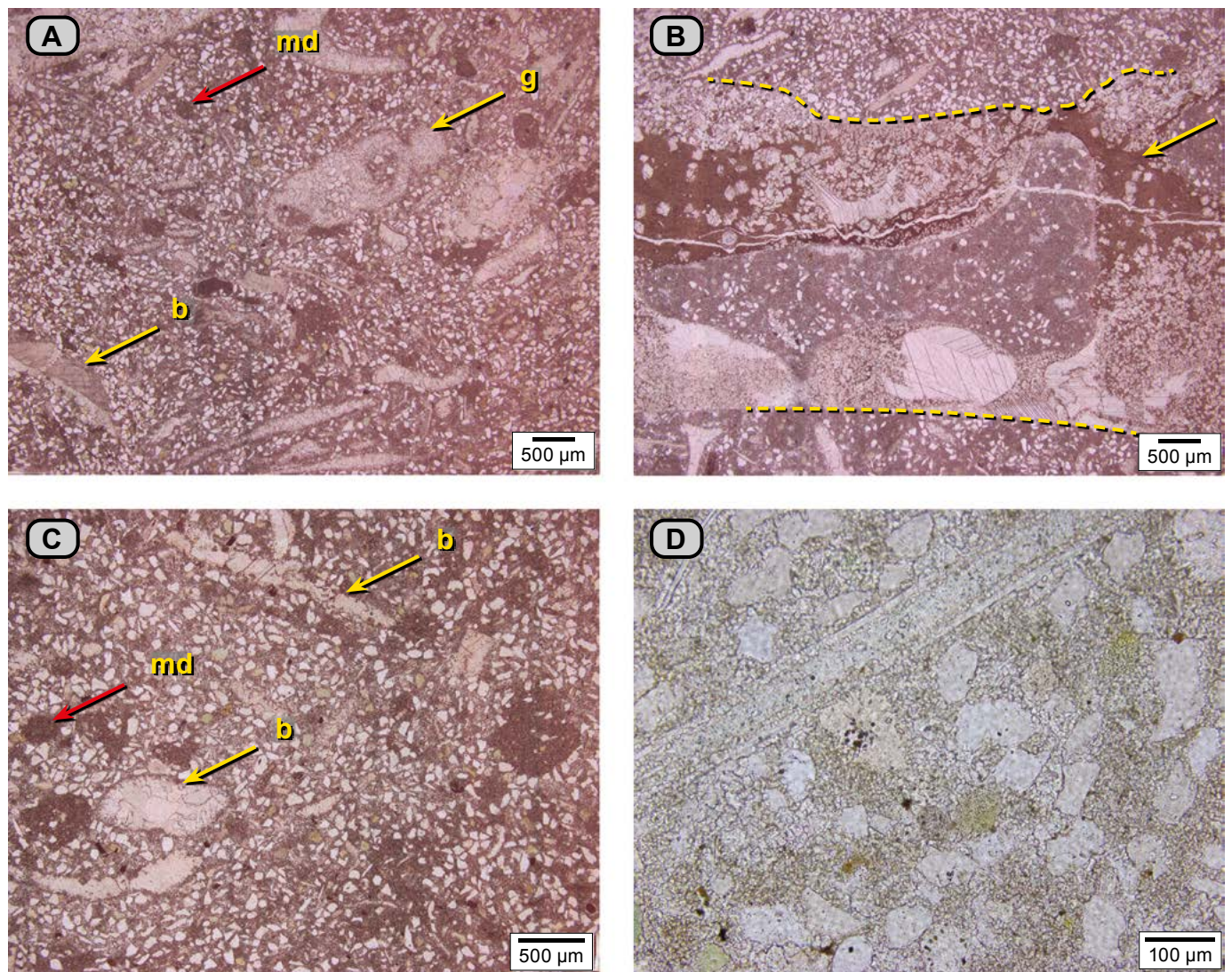


Figura 114. Caliza *wackestone* (**dma 5179**). Se identifica como biomicrita rala con cuarzo. **A)** Se observa el armazón mixto de restos de bivalvos (**b**), gasterópodos (**g**) y cuarzo, además de glauconita; los bioclastos están rodeados por micrita con neomorfismo. La bioturbación se manifiesta 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 y que en ocasiones muestran laminación ondulada (**fig. 115**).

En el microscopio se observa que las limolitas tienen laminación plano-paralela (**microfacies ε**), 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).

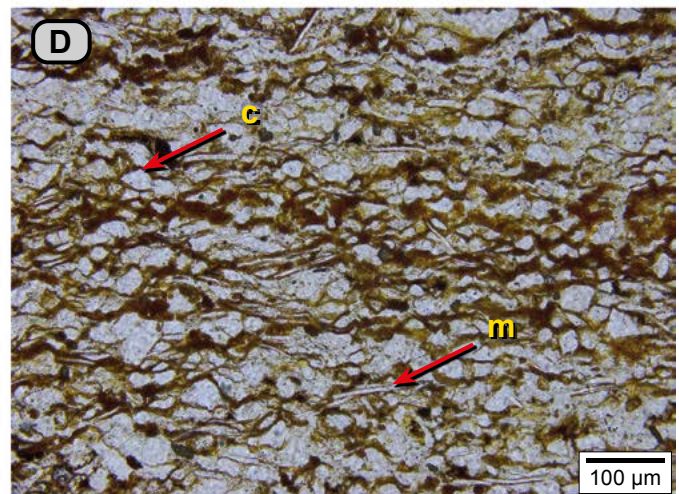
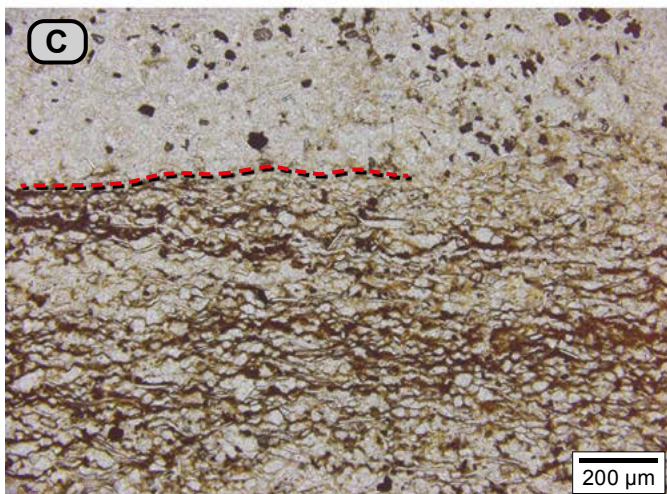
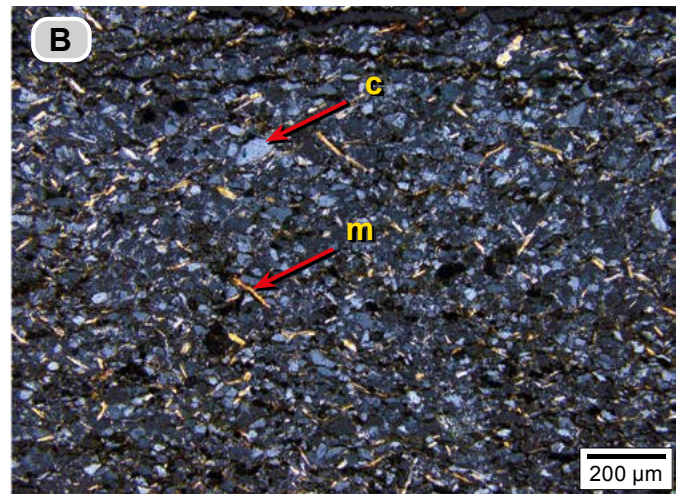
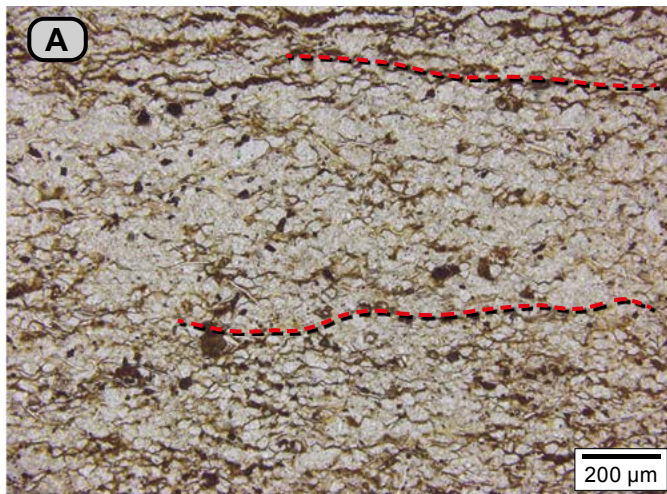


Figura 116. Limolitas de cuarzo (**dma 5181**). **A)** Laminación señalada con líneas rojas punteadas; cada lámina presenta textura diferente a la lámina que la infrayace y a la lámina que la suprayace; la lámina intermedia tiene textura más gruesa que las láminas inferior y superior: de esta manera, 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 nicoles 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 μm). 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 μm), 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).

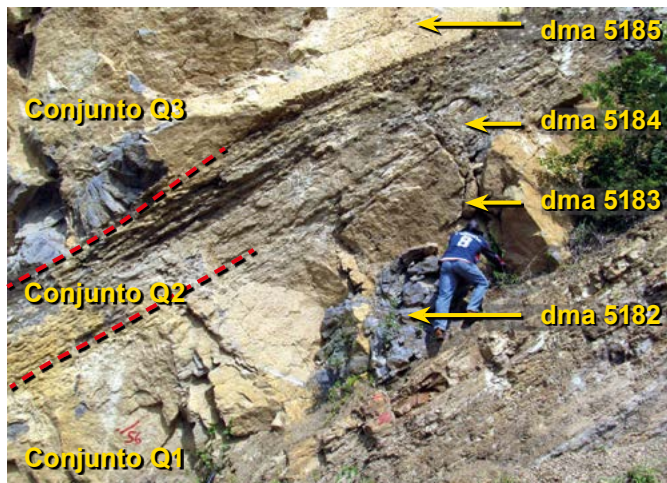


Figura 117. Conjunto Q1. *Wackestone* en capa muy gruesa plano-paralela (**dma 5182** y **dma 5183**). El Conjunto Q2 está integrado por *wackestone* y *packstone* de textura muy fina (**dma 5184**), en capas delgadas, con *Thalassinoides* apretados; grada a una capa gruesa con menor bioturbación (**dma 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 μm . 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 μm) 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 μm) y esporádicamente muy grueso (1.000 a 2.000 μm); **b**) espinas y fragmentos de equinodermos con textura arena mediana (400 μm); **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 μm , y en la segunda población el tamaño es de 19 μm .

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

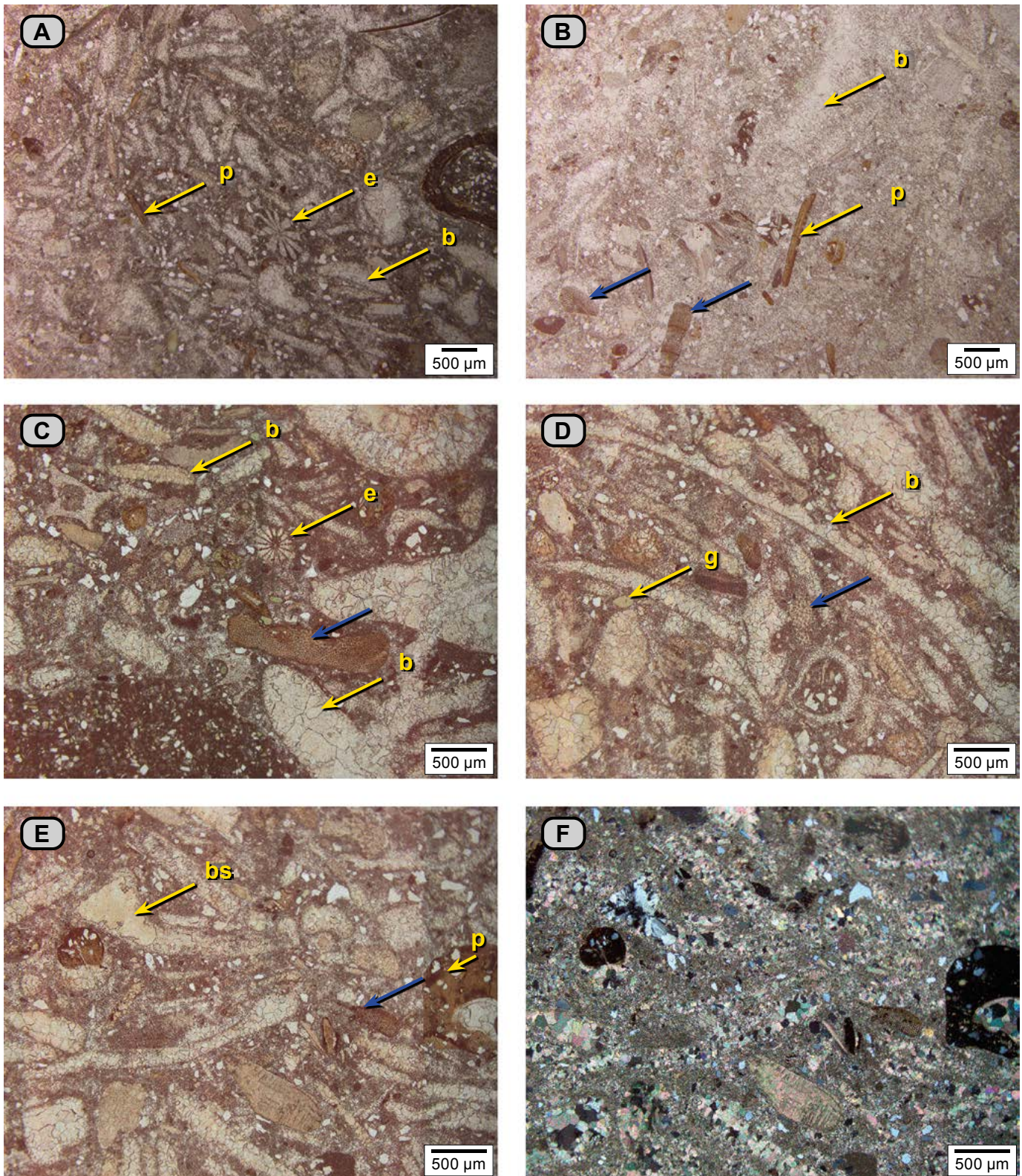


Figura 118. Caliza wackestone (dma 5182), que bajo el microscopio es una biomicrita empaquetada. **A)** Entre los fósiles se destacan fragmentos de conchas de bivalvos esparitizados (**b**), hasta de 1.500 µm, con contornos redondeados, espículas de equinodermos (**e**), cuarzo y algunos fragmentos fosfáticos (**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 µm, espigas 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**).

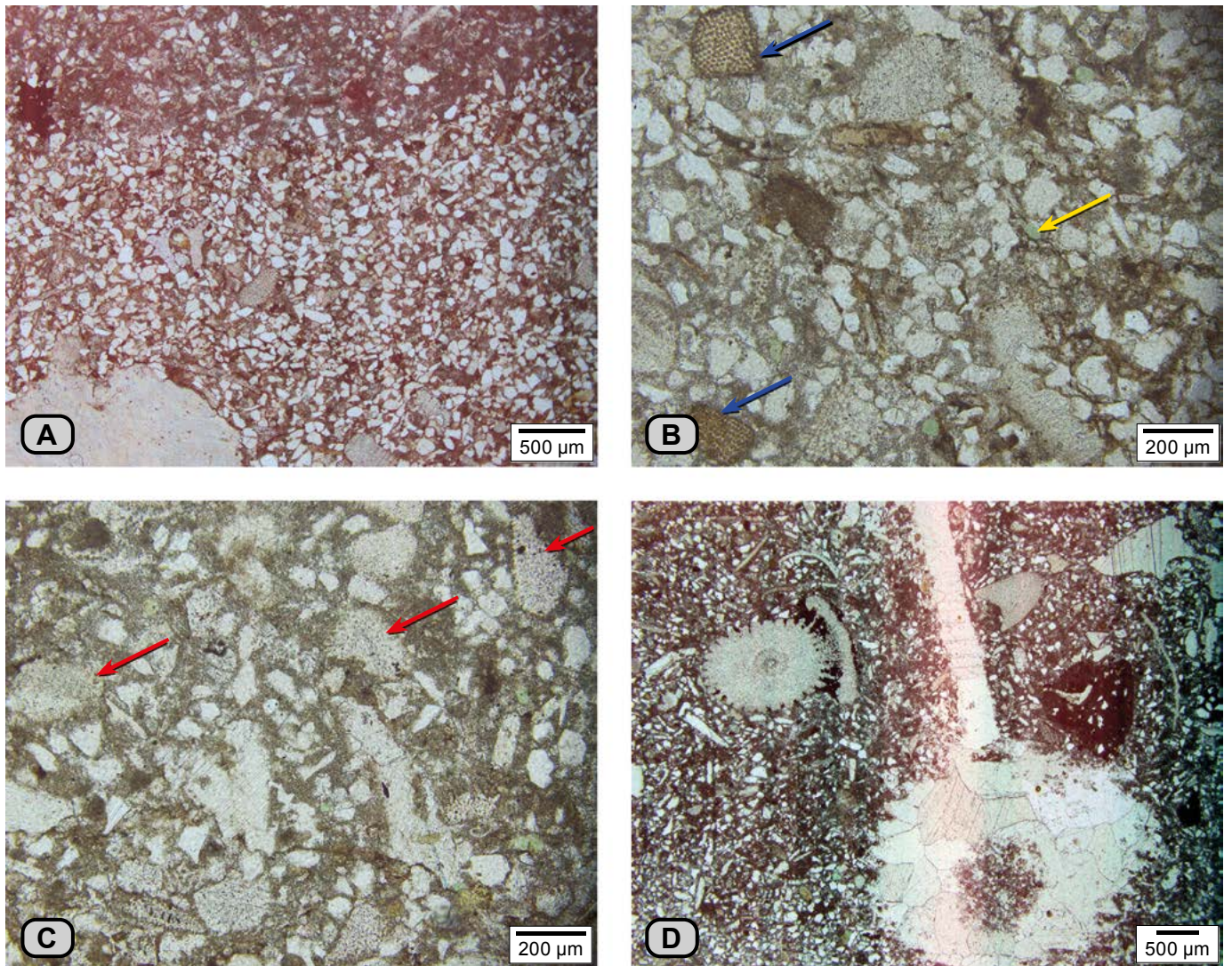


Figura 119. Caliza wackestone con cuarzo (dma 5183), en el microscopio se identifica como una biomicrita rala con cuarzo. **A)** La roca tiene bioturbación demarcada por el cambio de color; en el sector inferior el porcentaje de cuarzo es mayor que en el sector superior de la fotografía. **B)** Se resalta 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.

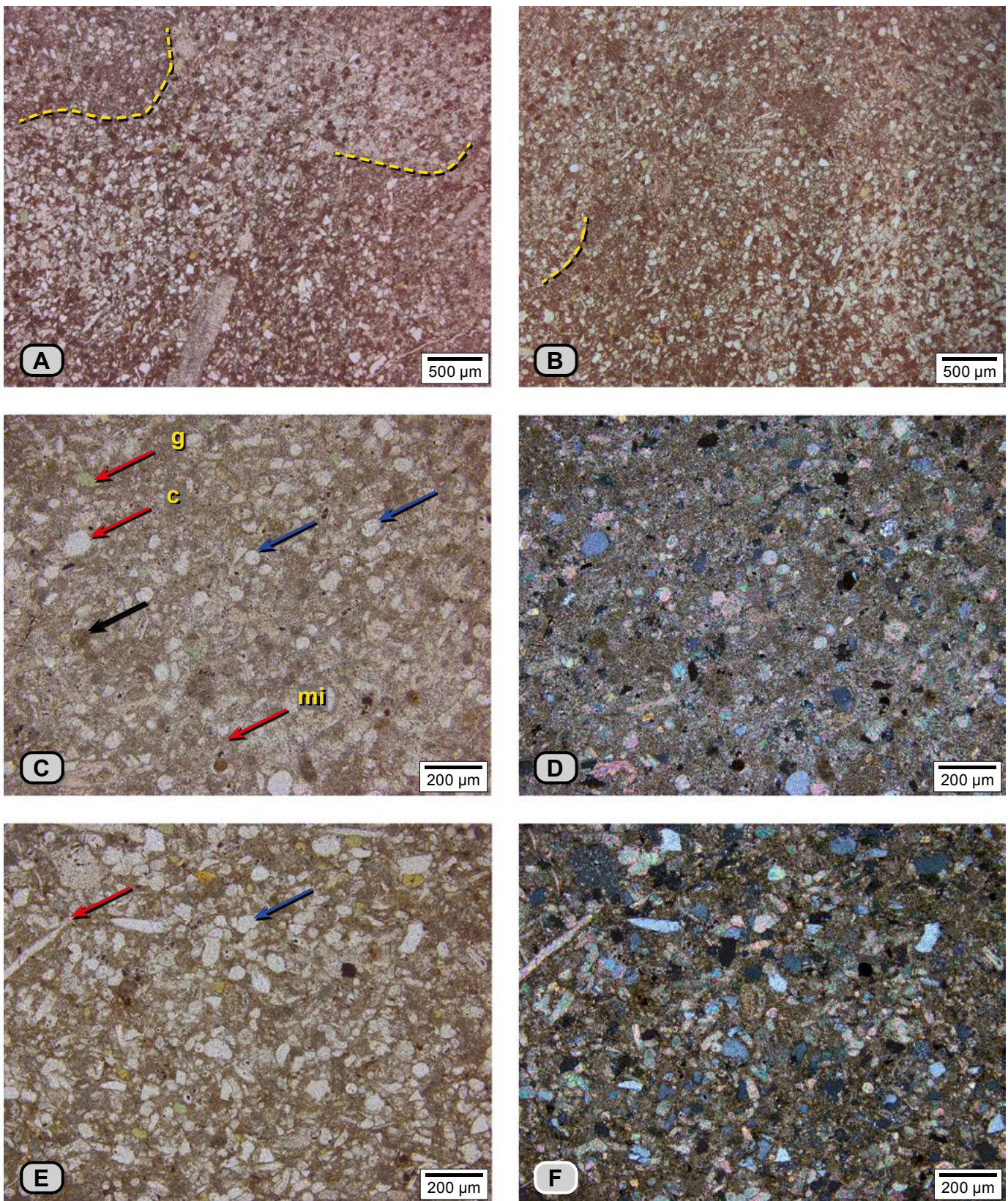


Figura 121. *Wackestone* de textura muy fina (*dms 5184*), en el microscopio se identifica como una biomicrita rala. **A y B)** La bioturbación queda registrada en sectores con diferentes tonos (oscuros y claros); se delimitan algunos con líneas punteadas amarillas. **C y D)** Mayor aumento para mostrar 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 μm (**fig. 123**), que rodea los fósiles y peloides de micrita; asociados hay sectores circulares bioturbados rellenos de micrita.

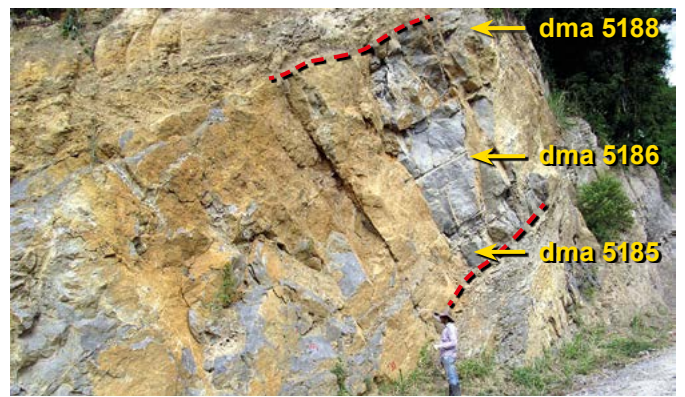


Figura 122. Conjunto Q3. Capa muy gruesa de caliza con superficies planas paralelas (entre líneas rojas punteadas), de color gris (N4). En la base es un *wackestone* con textura de arena muy fina; pasa a *wackestone* con textura de guijo, y hacia el techo es *packstone* con textura de guijo (metros 247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

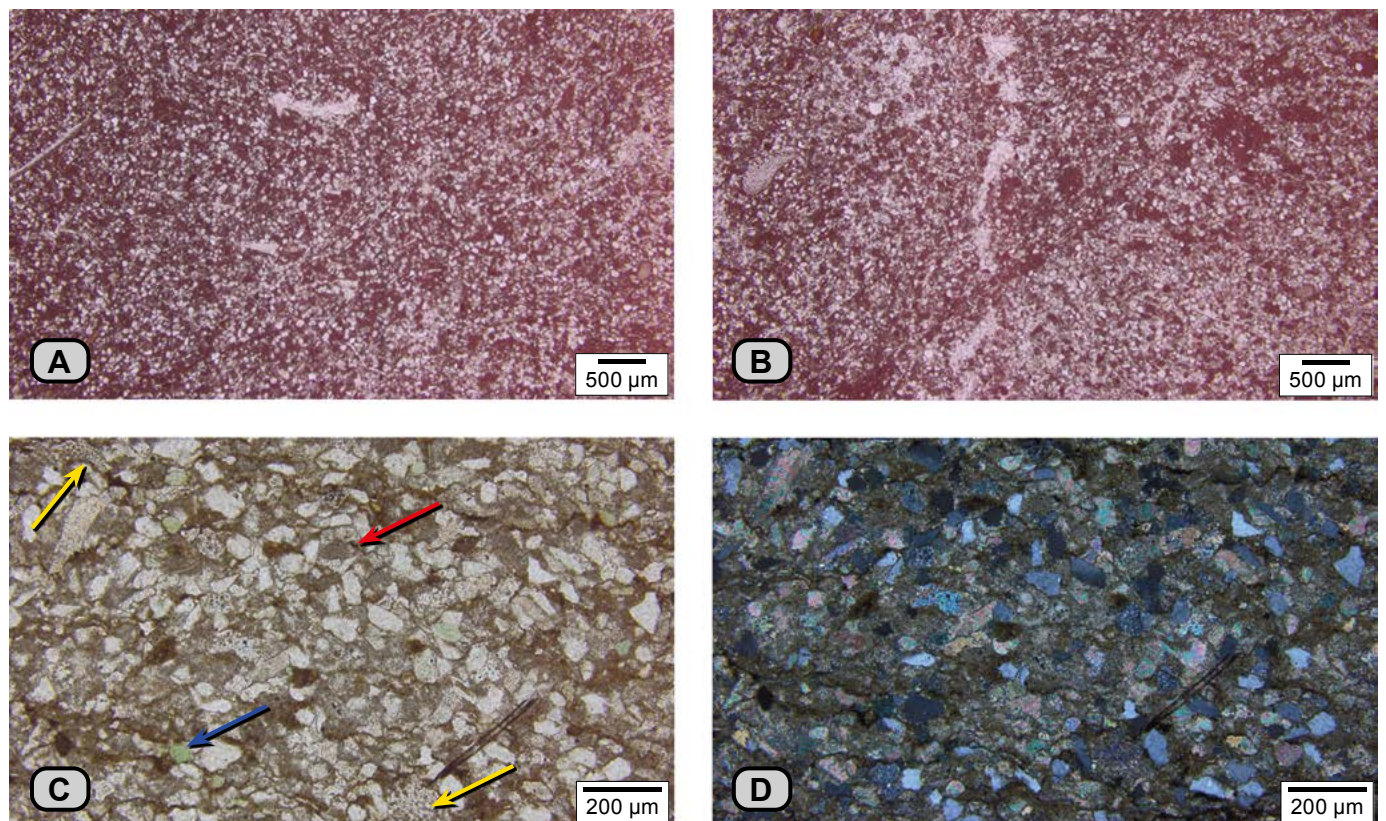


Figura 123. *Wackestone* de textura muy fina (**dma 5185**), en el I microscopio se identifica como una biomicrita rala. **A y B)** Aspecto general de la roca. En **B)** la bioturbación queda registrada en sectores con diferentes tonos oscuros y claros. **C)** Mayor aumento en los sectores claros, para 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 μm); la segunda, que es la predominante, tiene textura gruesa (600 a 1.000 μm), 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 μm ; **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 pelotoides de micrita alcanzan el 20% (**fig. 124**).

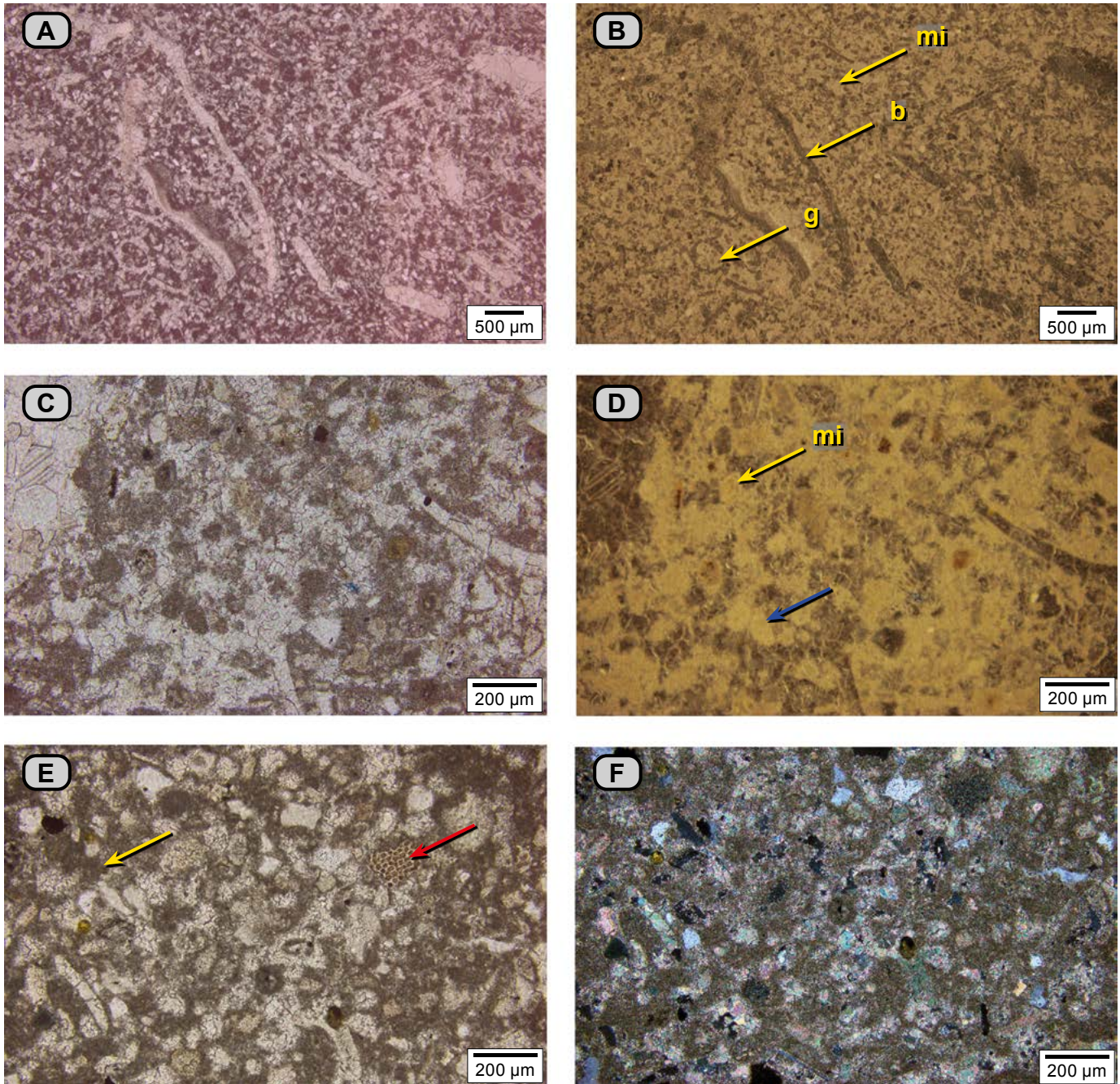


Figura 124. Caliza con textura *wackestone* (*dma 5186*), en el microscopio se identifica como biopelmicrita. **A)** Textura general de la roca: se observan restos de bivalvos (**b**) en conchas articuladas, desarticuladas y en fragmentos redondeados; corte de gasterópodo (**g**) y micrita (tono oscuro: 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 pelotoides 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 pelotoides 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 μm y 300 a 600 μm ; 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%.

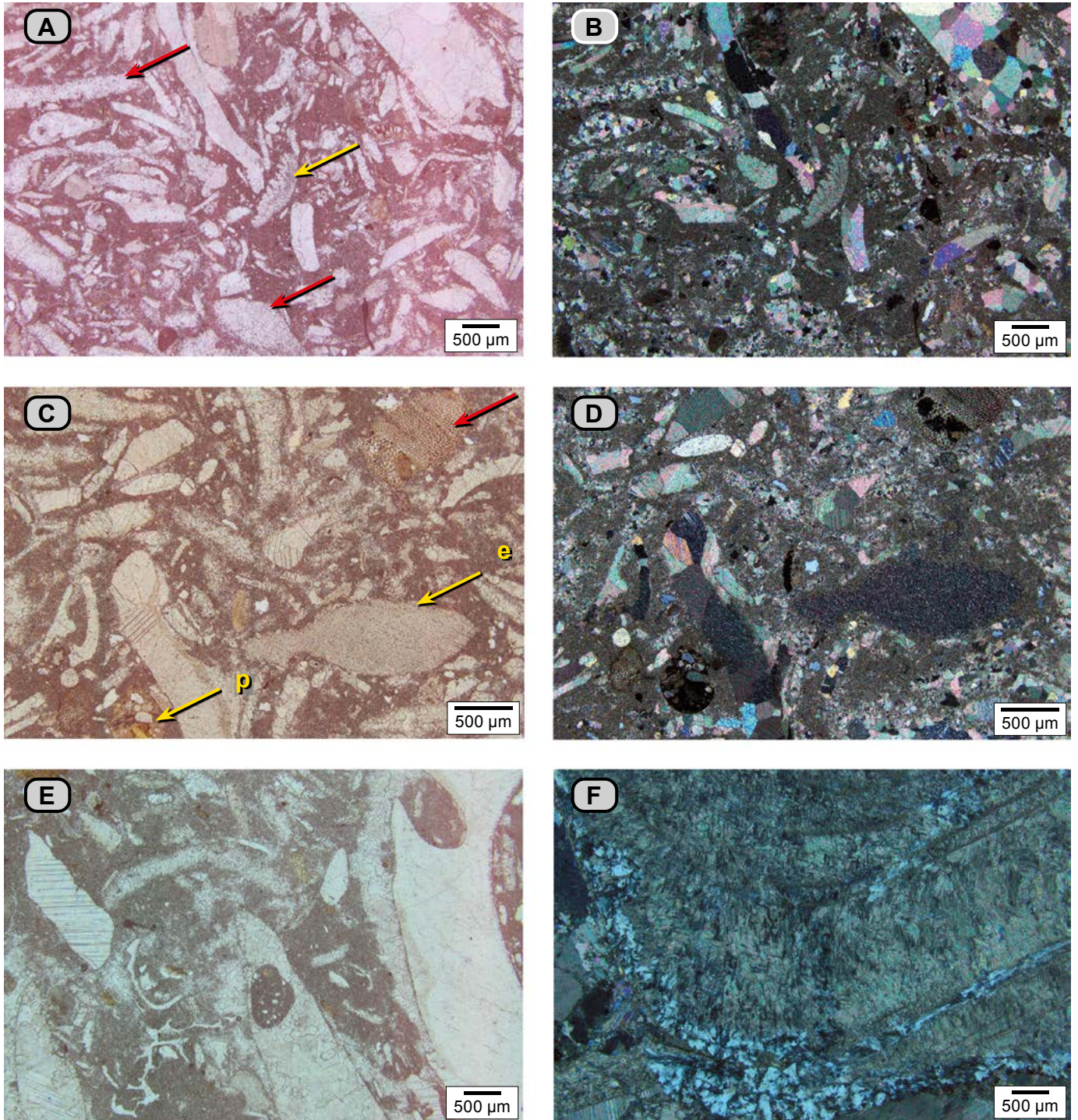


Figura 125. Caliza *packstone* (**dma 5188**), en el microscopio se identifica como una biomicrita empaquetada. **A)** Se observan bivalvos en conchas desarticuladas y esparitizadas (flechas rojas), así como fragmentos de placas de equinodermos (flecha amarilla) envueltos por micrita. **B)** La misma fotografía que la figura A, pero con nicoles 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 nicoles 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 μm). 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).

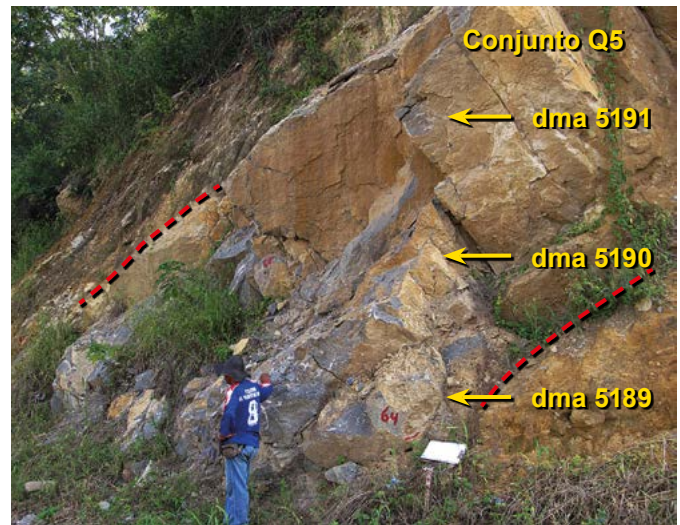


Figura 127. Conjunto Q5. Banco de caliza *wackestone* (líneas rojas punteadas) situado entre dos cuerpos interpretados como paleosuelos generados a partir de rocas calizas (metros 250 a 258).

hasta textura arena media (270 μm). 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.

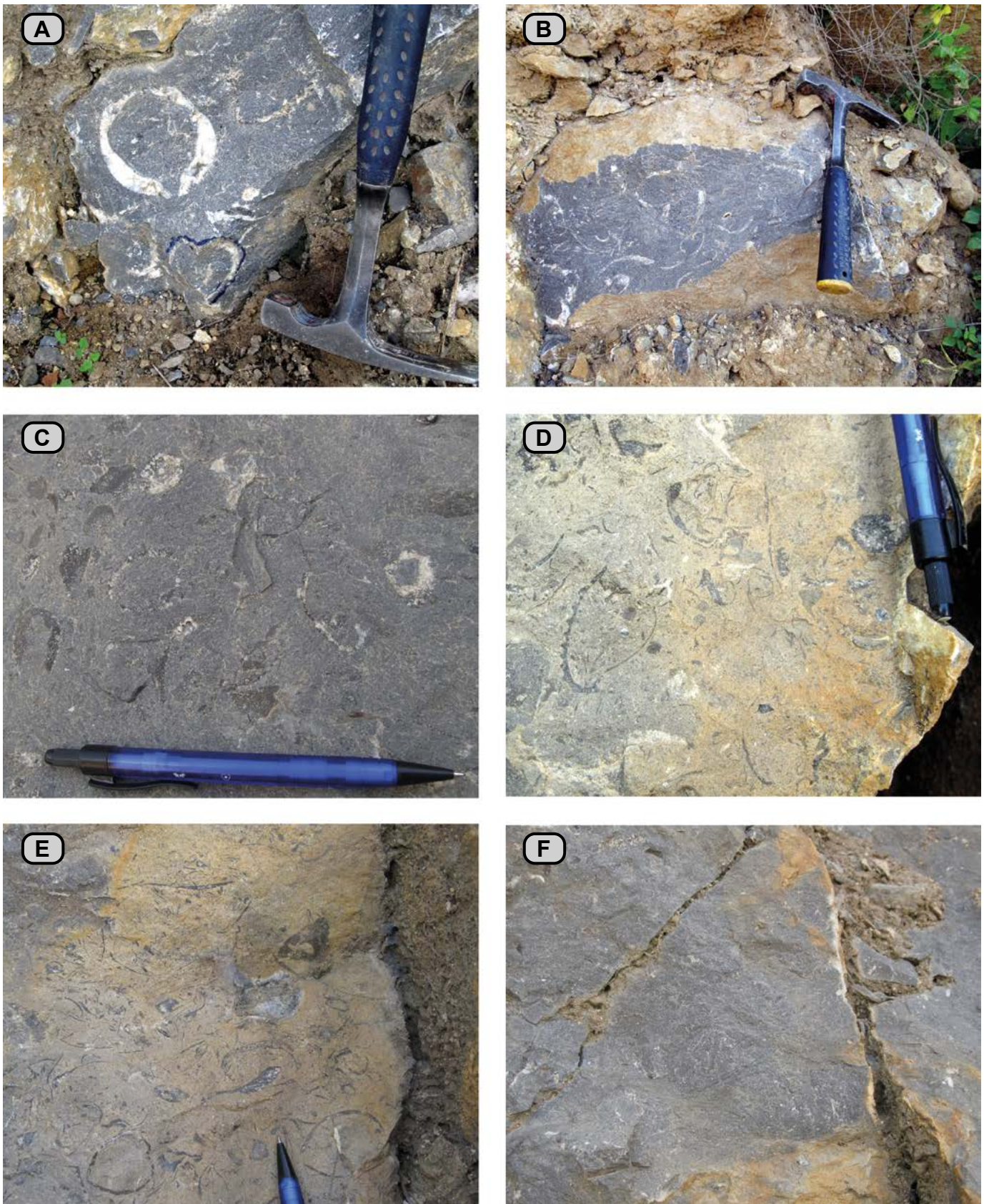


Figura 128. Variación textural de las calizas del conjunto Q5. **A y B)** Caliza con textura de *wackestone* (**dma 5189** y **dma 5190**) de la parte baja del banco; nótese la presencia de bivalvos con conchas espartizadas articuladas y desarticuladas, dispuestas en forma oblicua a S_0 , con tamaño 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).

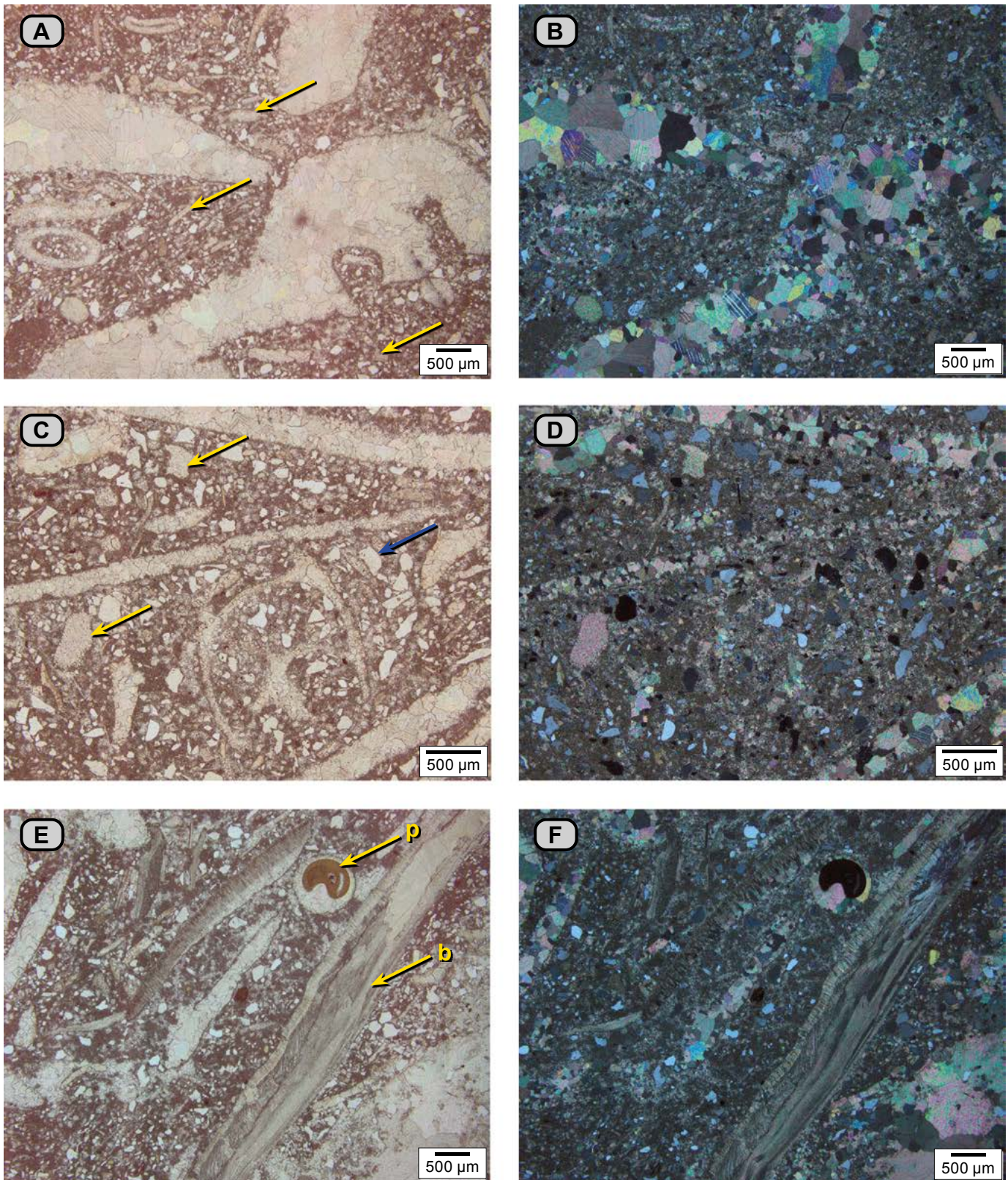


Figura 129. Caliza wackestone (dma 5189), que con el microscopio se identifica como una biomicrita rala. **A)** Las conchas de bivalvos muestran dos tamaños: los fragmentos con texturas que fluctúan entre arena media y gruesa, con bordes redondeados (flechas amarillas), y conchas de bivalvos centimétricos; 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.

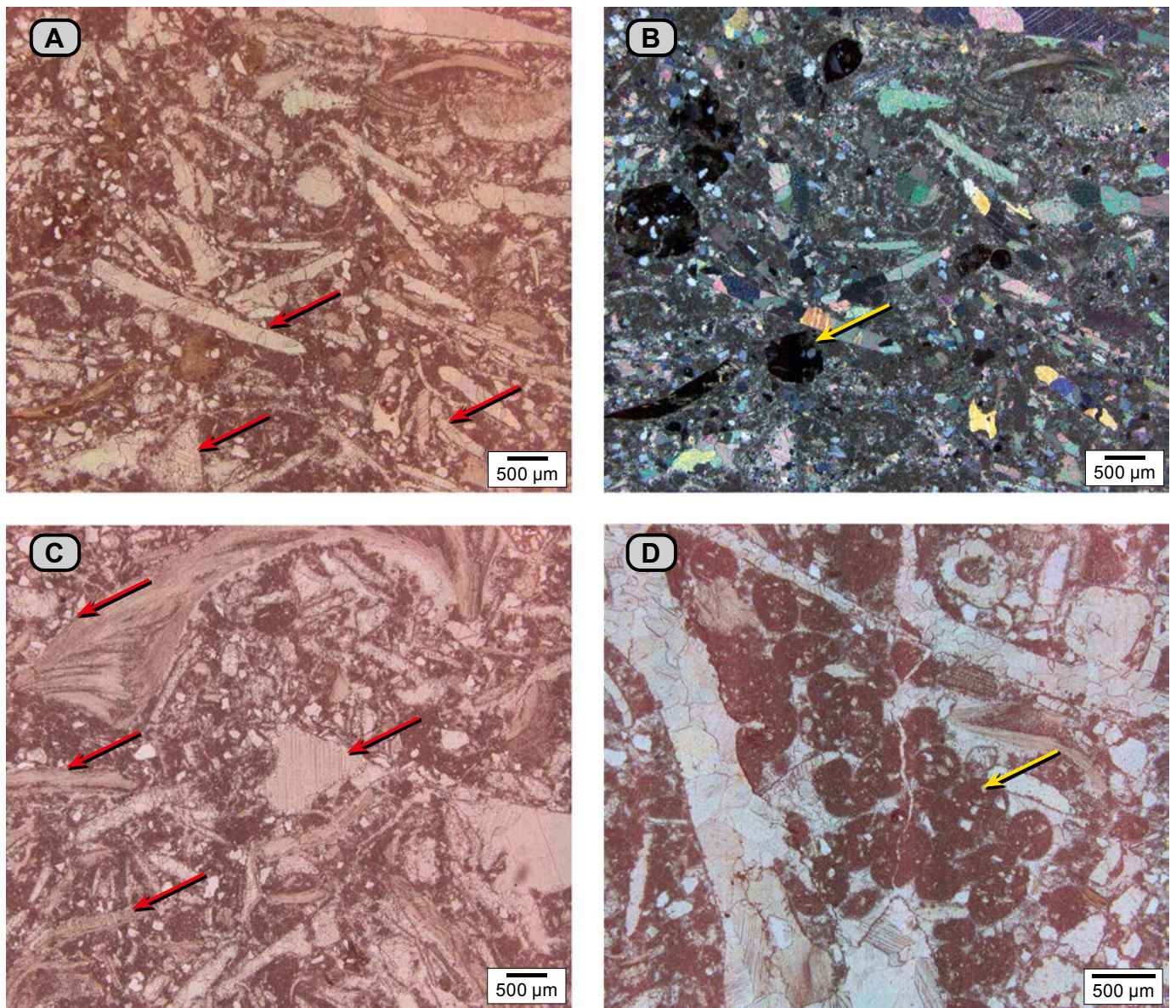


Figura 130. *Wackestone* de la parte media del banco del conjunto Q5 (**dma 5190**). Se identifica como biomicrita rala. **A)** Se observan fragmentos redondeados de bivalvos esparitizados con textura que varía entre arena de mediana y muy gruesa, que es la que predomina (algunos se resaltan con las flechas rojas). **B)** La misma fotografía que en **A**, fotografiada con nicols 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**).

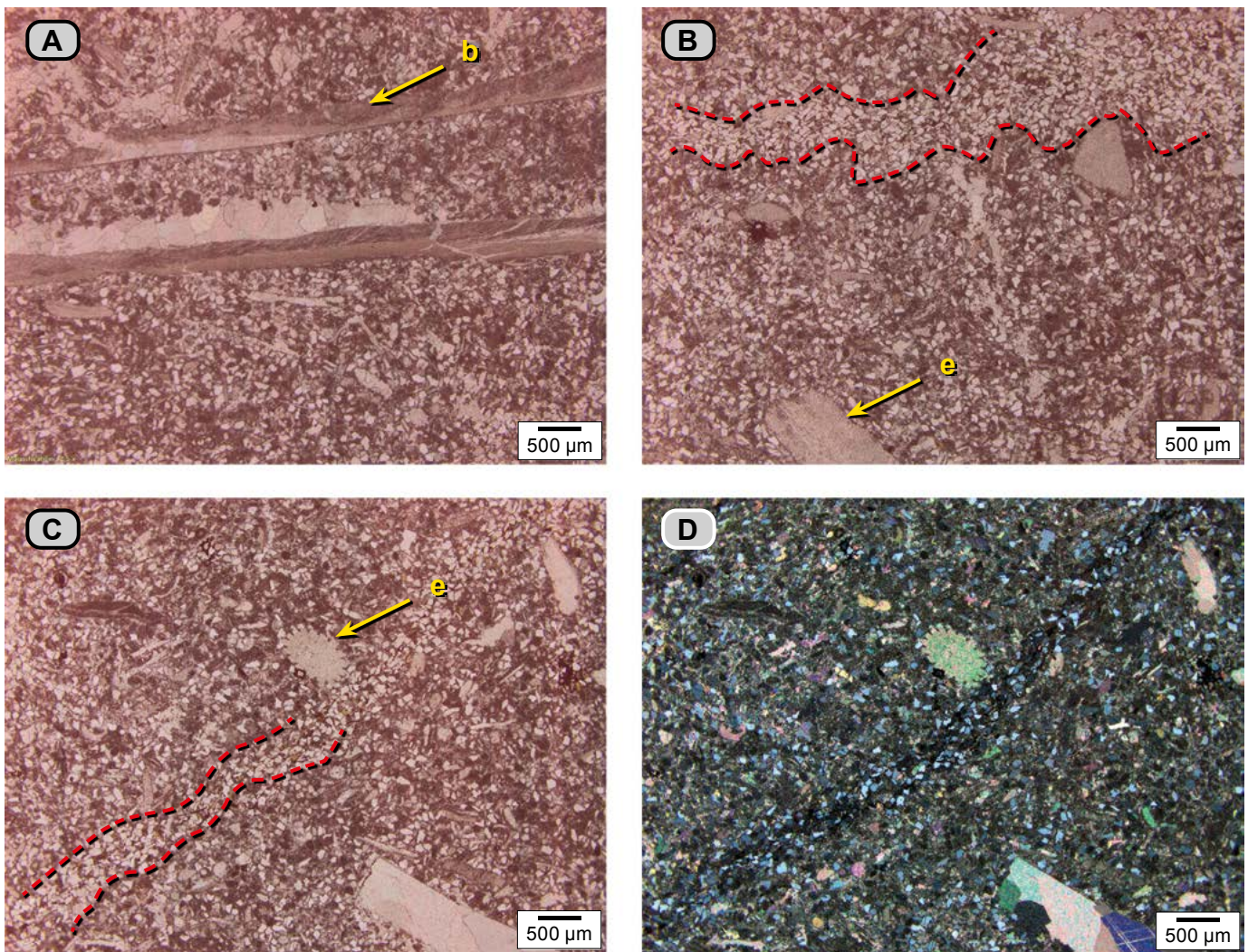


Figura 131. Wackestone con cuarzo de la parte superior del conjunto Q5 (dma 5191). En el microscopio se identifica como una biomicrita rala con cuarzo. **A)** Aspecto general de la roca: se observan micrita de tono pardo oscuro rojizo, fragmentos de bivalvos (**b**) y granos de cuarzo cuya textura varía 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 nicos cruzados.



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

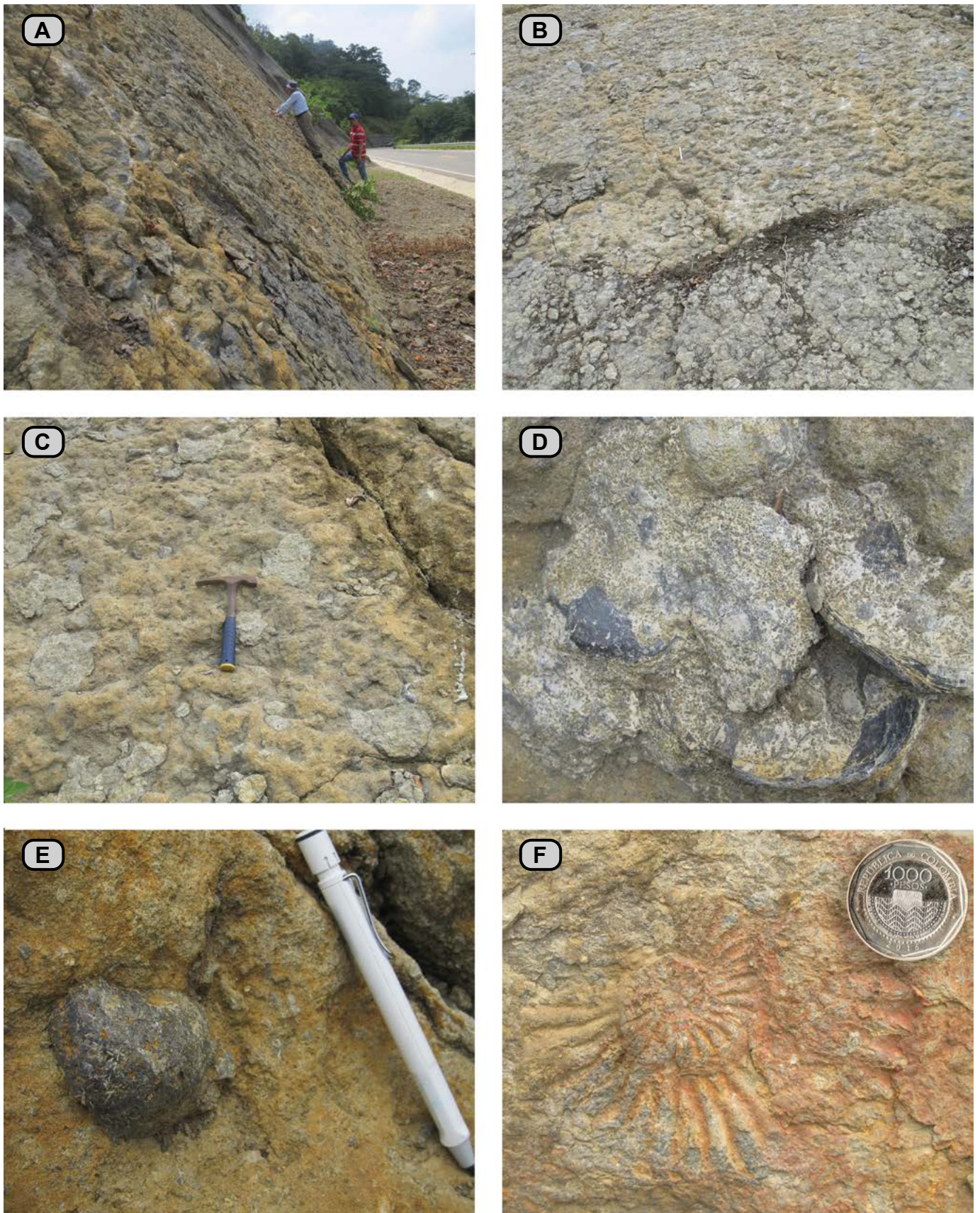


Figura 133. Superficie de *hardground* por la vía Lebrija-San Vicente de Chucurí, antes del cruce con la quebrada La Molinilla (metro 265, columna de la Formación Tablazo, N:1.280.045, E:1.085.246, Z:622). **A, B y C)** Plano rugoso con un enrejado de *Thalassinoides*. **D)** Conchas de bivalvos *Aetostreon* 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-

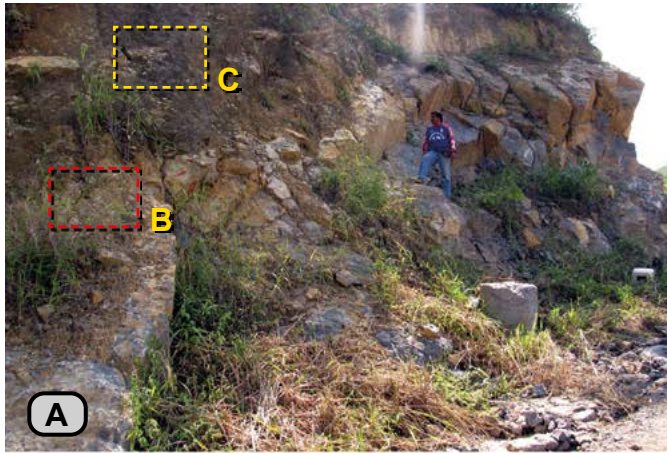


Figura 134. A) Sobre una superficie de *hardground* (primer plano a la izquierda) se observa el conjunto Q6, representado por dos cuerpos de paleosuelos residuales calcáreos separados por una caliza *packstone*. El recuadro rojo está ampliado en B, y el recuadro amarillo en C. B) Material friable de 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 μm), 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 su estructuras originales; **b)** fragmentos de equinodermos; **c)** restos de colonias de serpúlidos; **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.

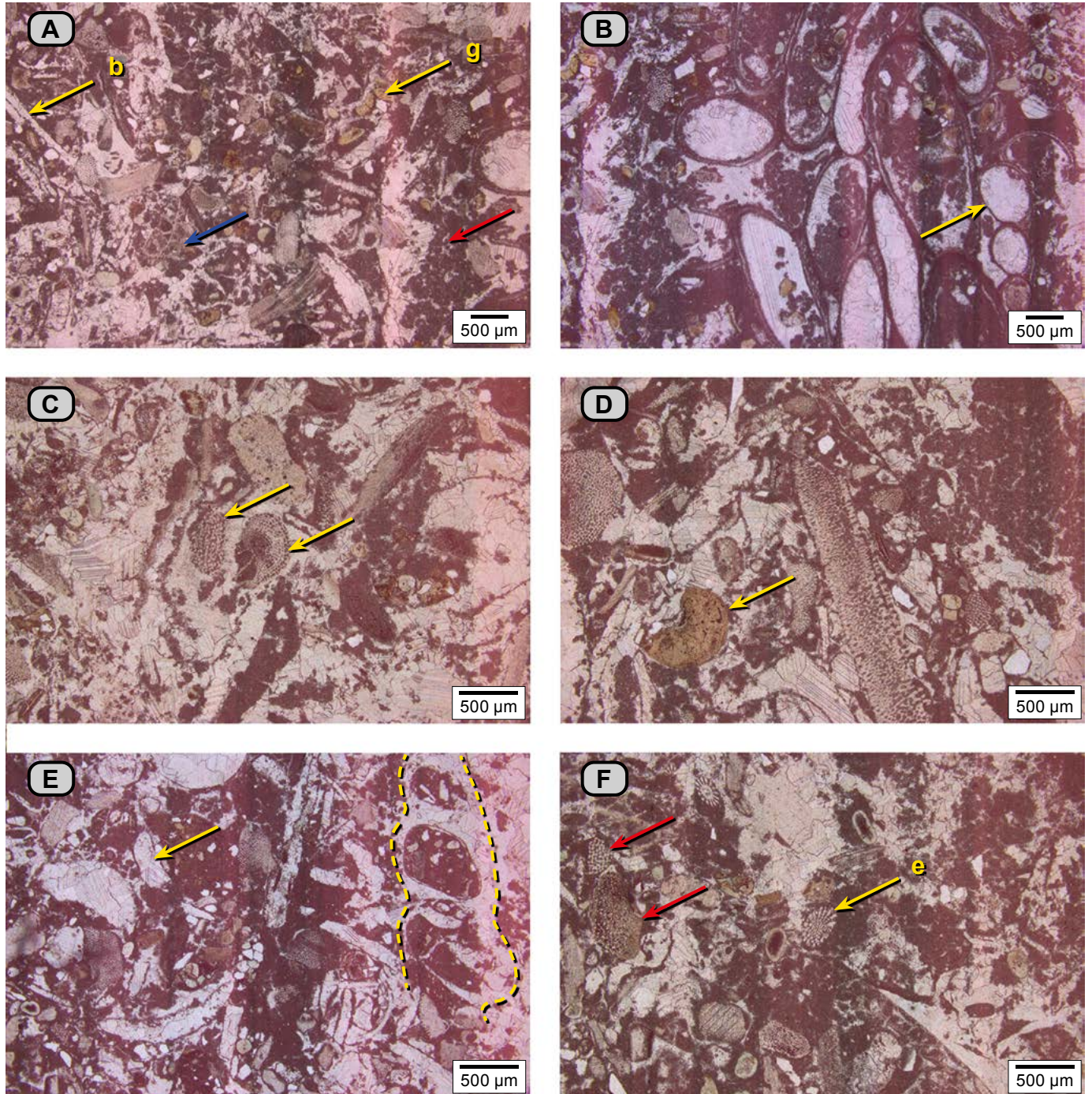


Figura 136. *Packstone* (**dma 5195**); se identifica como biomicrita empaquetada. **A)** Aspecto general de la sección delgada: se reconocen bivalvos (**b**), glauconita (**g**), fragmentos de algas? (flecha azul) (Flügel 2010, *plate 64*, fig. 5); en el cuarto inferior derecho de la figura se observan concentraciones de pellets fecales (flecha roja). **B)** Colonia de tubos de serpúlidos (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 μm) y muy gruesa (2.000 μm) 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 μm ; trazas de minerales opacos y plagioclasas están envueltos por micrita (38%), que presenta recristalización a cristales de 15 μm en algunos sectores bioturbados.

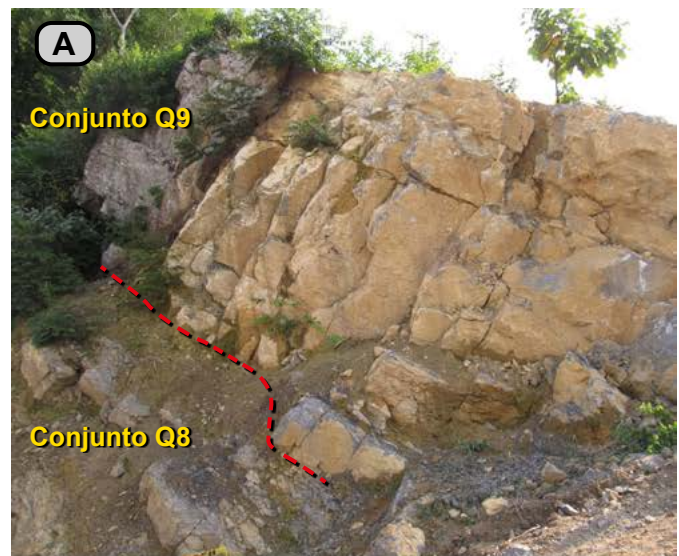


Figura 137. A) Conjuntos cuspidales de la Formación Tablazo. El Conjunto Q8 está conformado por capas gruesas de calizas *mudstone* con cuarzos y niveles apretados de *Thalassinoides*. B y C) Superficie formada por una red de *Thalassinoides* (en recuadro amarillo).

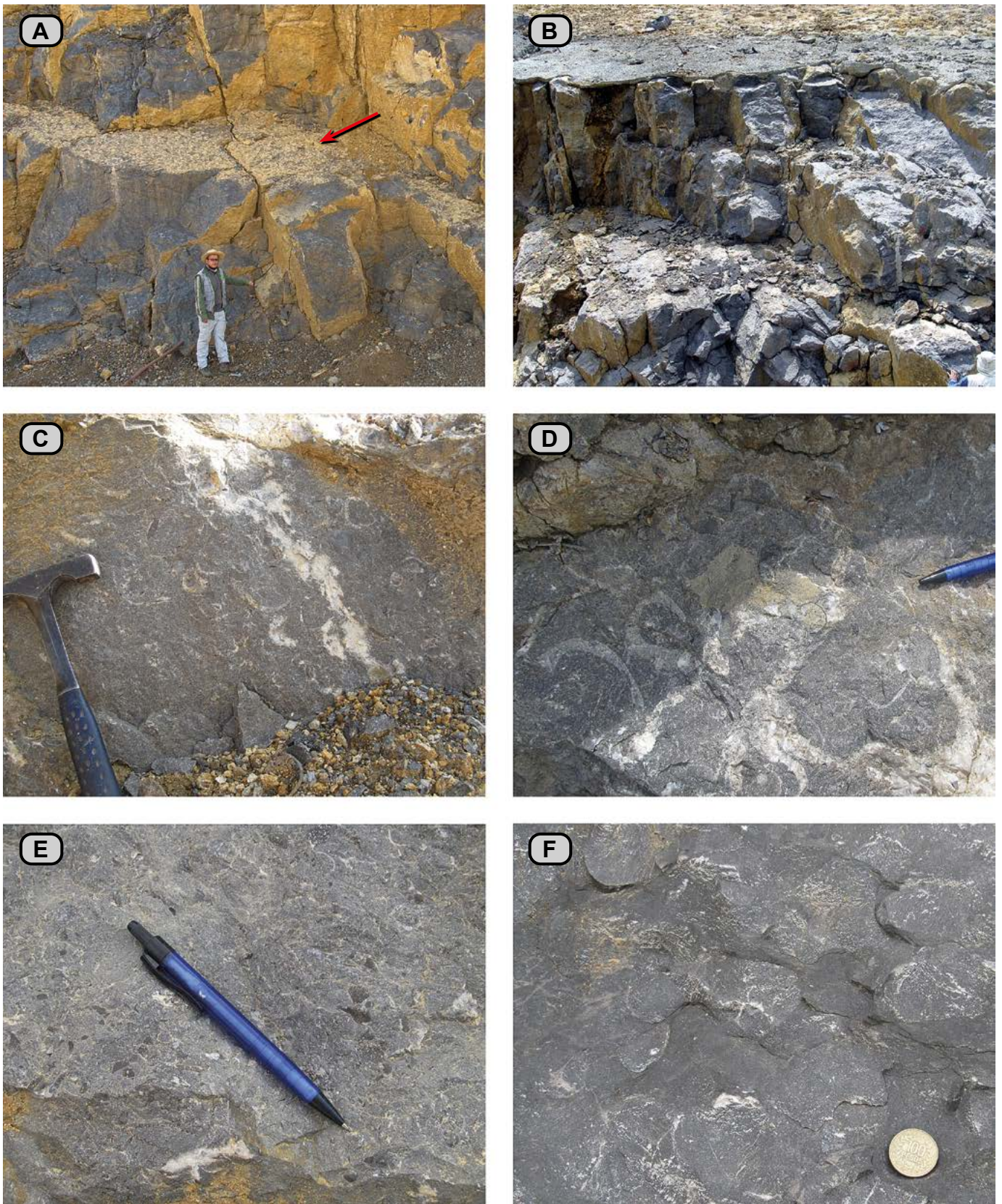


Figura 138. A) Calizas *wackestone* y *packstone* en capas muy gruesas, con formas planas paralelas continuas, de la parte cuspidal de la Formación Tablazo (persona de 1,80 m de estatura, metros 270 a 275); la flecha roja señala una superficie de madrigueras (*Thalassinoides*). B) Techo de la Formación 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.

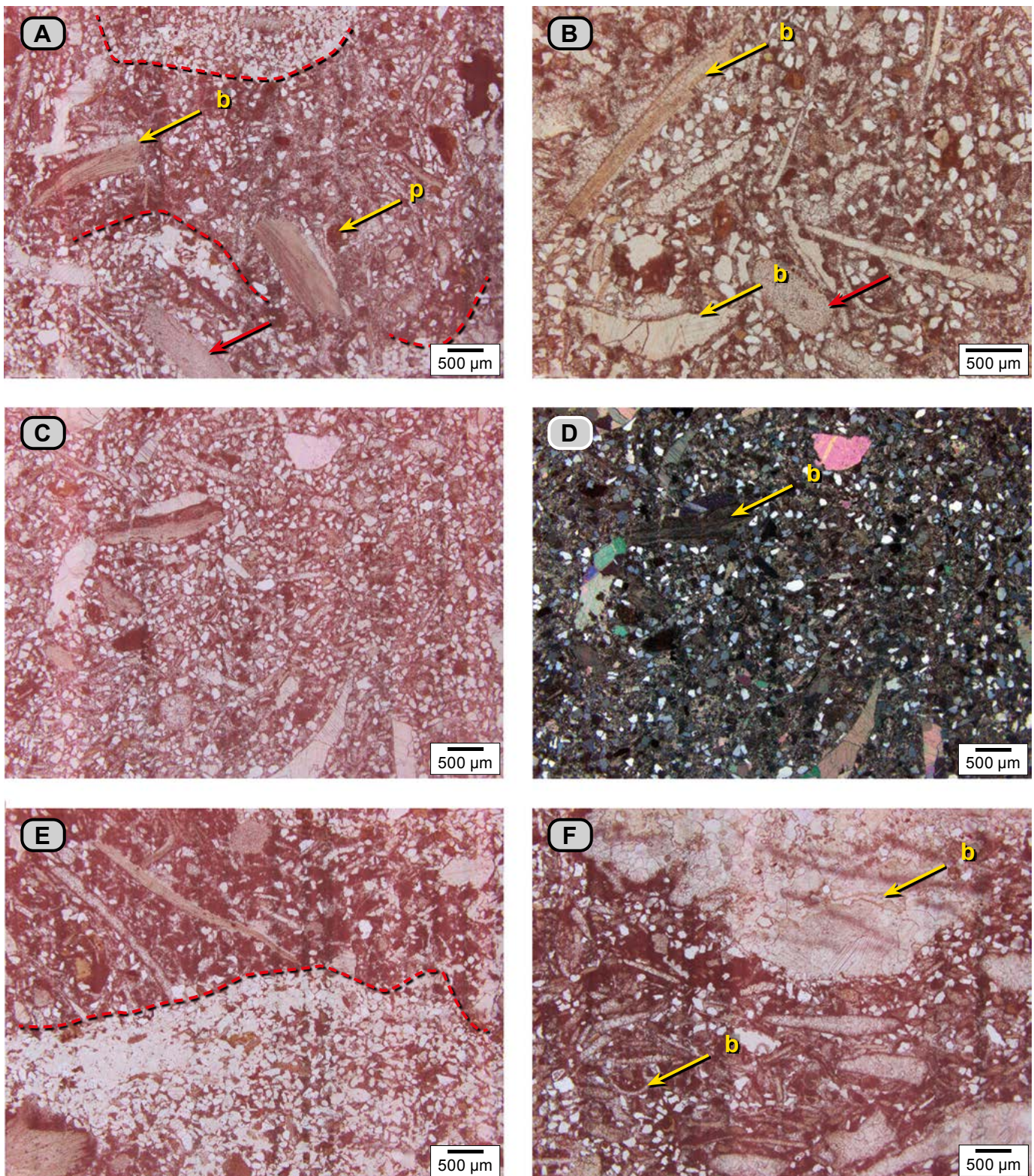


Figura 139. A, B, C y D) Caliza *wackestone* con cuarzo (dma 5418); bajo el microscopio se revela como una biomicrita rala con cuarzo de textura de arena fina. **A)** Bioturbación resaltada por líneas rojas punteadas; nótese la abundancia de cuarzo en las madrigueras; se observa la presencia de fragmentos 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.

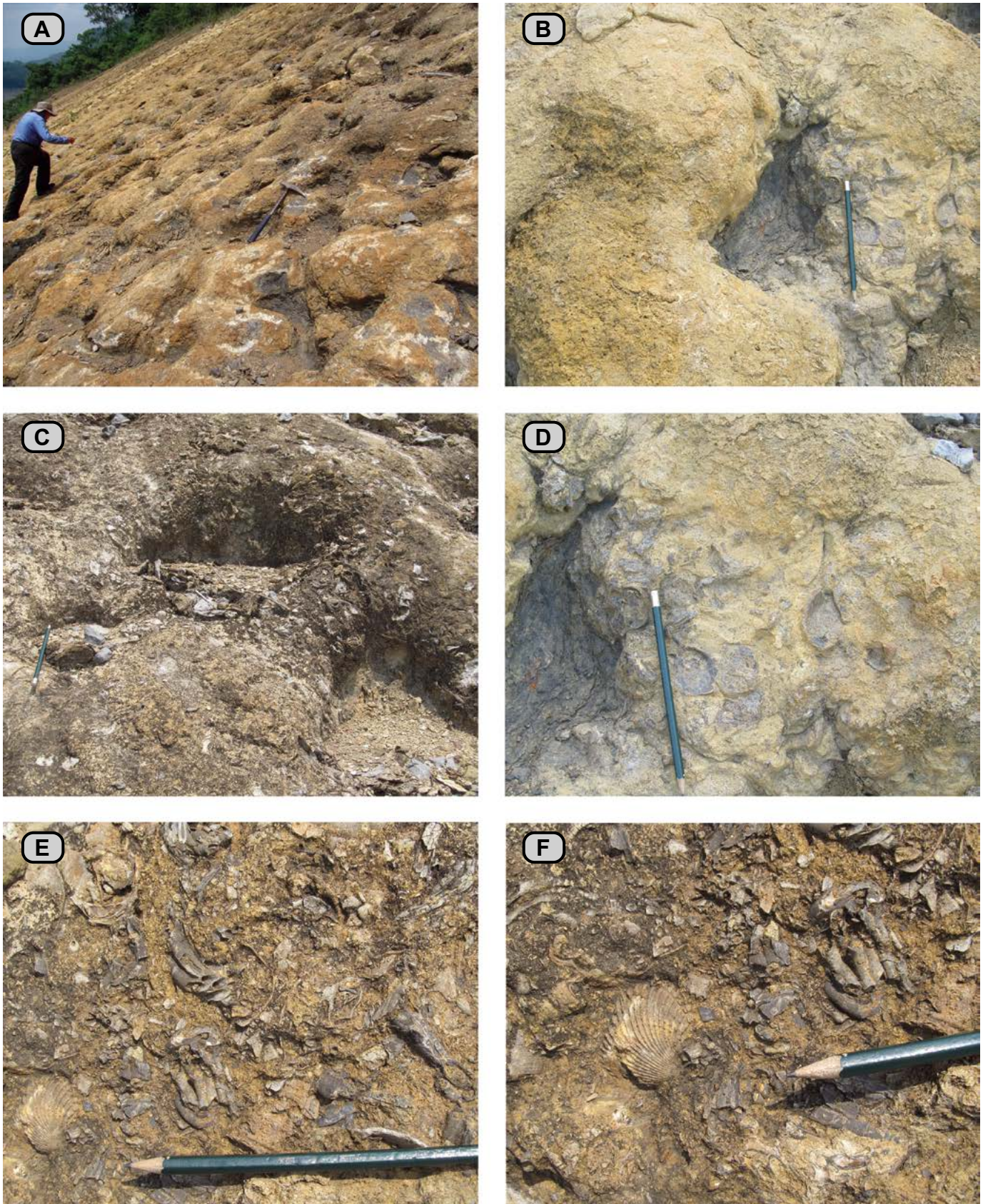


Figura 140. Superficie de *hardground* que marca el tope de la Formación Tablazo, en la vía Lebrija-San Vicente de Chucurí, cerca del cruce con el río Sogamoso con el cerro La India o Tablazo (N:1.269645, E:1.081.053, Z:352). **A, B y C)** Superficie irregular con protuberancias de 40 cm y depresiones 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 μm 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 subparalela* (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 α**) 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 α** 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 β**) 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 β** 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 Ω**) seguidos por *mudstone* calcáreos con materia orgánica, en ocasiones laminados, identificados como micritas fosilíferas (**microfacies δ**). 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).

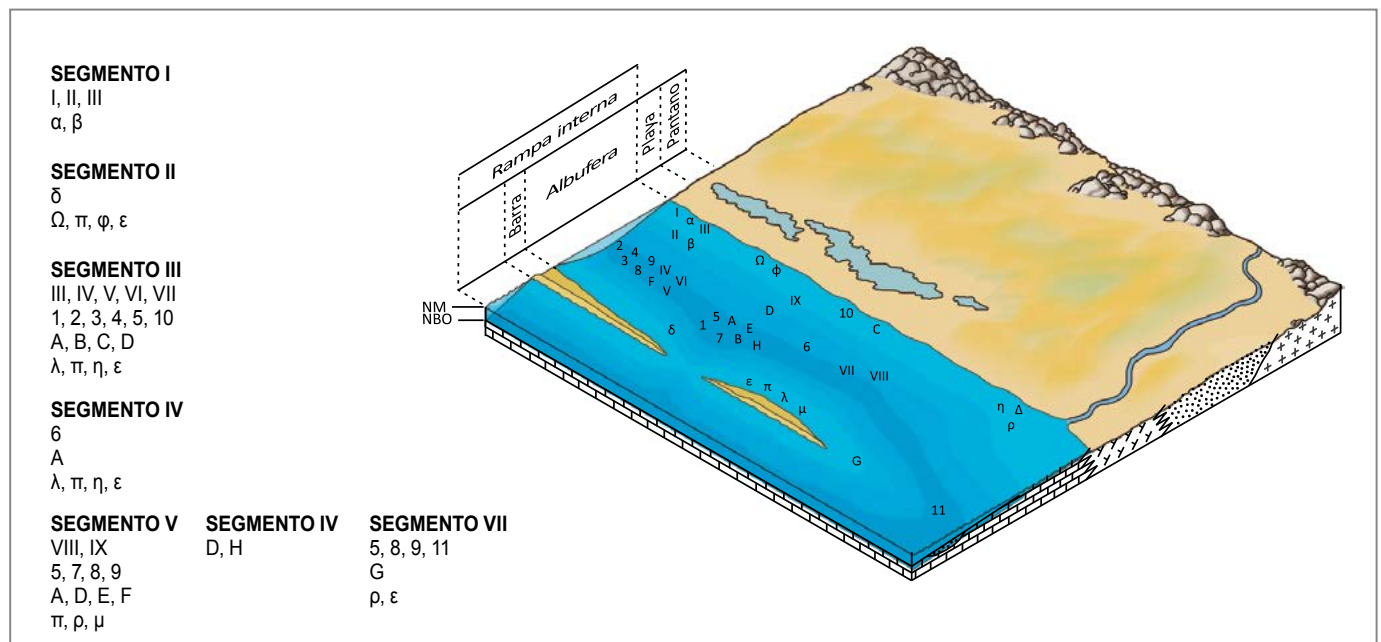


Figura 142. Diagrama esquemático que ilustra el medio de depósito de la Formación Tablazo. Se trata de una rampa de carbonatos comprendida entre la rampa interna hasta el dominio supramareal. Nótese la localización de las microfacies.

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 μm (**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 Δ**). 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 π**).

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 ϵ**), 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 ϵ , π , Δ**). 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 η**), 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 Δ**), 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 π**), 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 Δ**), mientras que hacia el techo aparece cemento de ankerita (**microfacies ρ**). 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 μ**); 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 μm , 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 onduladas, 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 π**). Hacia la parte superior se convierte en arenita de cuarzo con textura que varía de muy fina a fina, y cemento ankerítico (**microfacies ρ**). 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 gradada 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**).

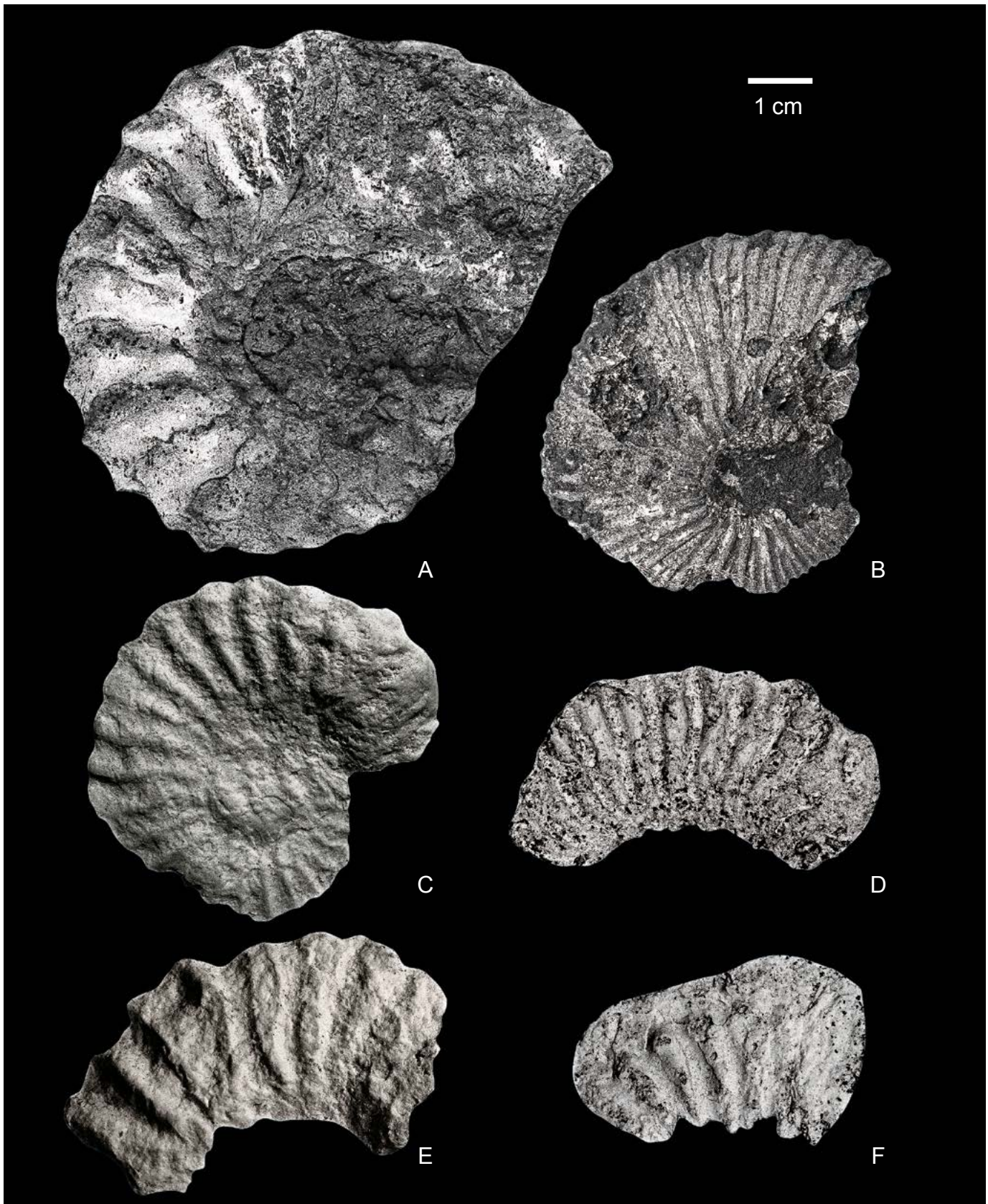


Figura 143. **A)** *Tegoceras benavidescaceresi?* (ETAYO-SERNA, 1979), dma 4585, segmento VII, intervalo Q. **B)** *Neodeshayesites stutzeri* (RIEDEL, 1938), GMS 2298B, segmento I, intervalo A. **A y B)** Fotografías de afloramientos. **C)** *Prolyelliceras lobatum* (RIEDEL, 1938), dma 5946, segmento VII, intervalo Q. **D)** *Prolyelliceras 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).

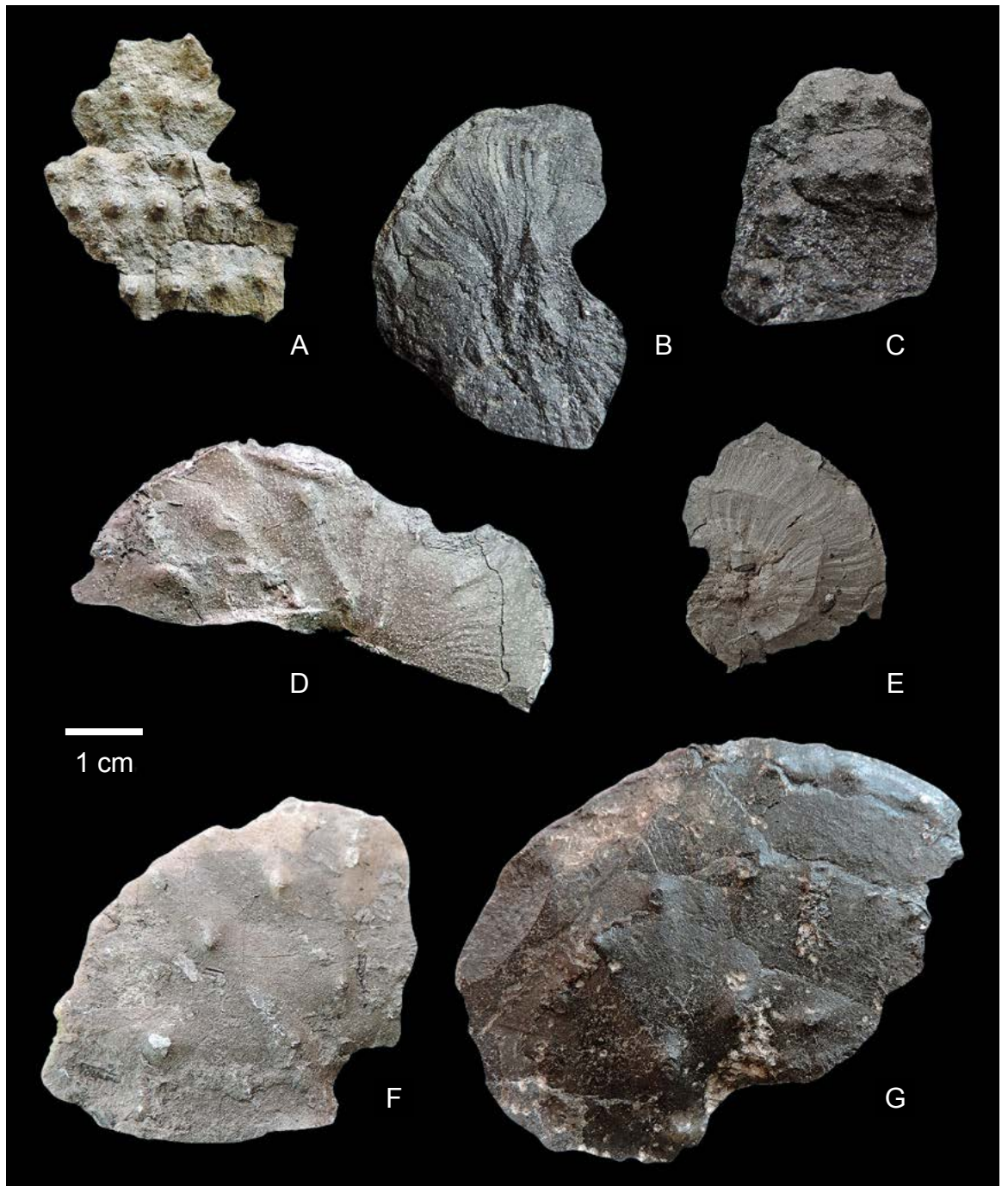


Figura 144. A y C) *Pseudelicoceras catenatum* (ORBIGNY, 1842), **dma 5367**, segmento II, intervalo C. B) *Parengonoceras diana* n. sp., **dma 5412**, segmento VII, intervalo P, conjunto P2. E) *Beudanticeras?* sp., **dma 5180**, segmento VII, intervalo P, conjunto P2. D y F) *Parengonoceras pernodosum* (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.
- 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". *Palaios* 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". *Palaios* 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". *Palaios* 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". *Palaios* 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 *Prolyelliceras* 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).

“Formación” Simití: unidad ambigua en la estratigrafía del Valle Medio del Magdalena



We come therefore to the problem of defining the individual stratigraphical unit, which is the basis of nearly all our troubles

Derek Victor Ager

Portadilla: Prístina localidad tipo de la “Tablazo *Pasture Formation*” de Wheeler (1929), hoy en día “Formación” Simití. La textura de fondo de la página corresponde a la sección delgada de una capa arenoso-glaucónifera con cemento calcáreo.

N:1.269.864 E:1.081.171 Z:358 azimut 26°.

Citación: Etayo-Serna, Fernando. 2019. “Formación’ Simití: unidad ambigua en la estratigrafía del Valle Medio del Magdalena”. 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

In the Hidrosogamoso region, Wheeler’s “Tablazo Pasture formation” became the Simití Formation of Morales et al. It consists of dark, muscovitic and fissile mudstones (shales), with abundant ‘small irregular shaped nodules and concretions of limonite and hematite’, interspersed throughout with fine-grained quartzitic sandstones that are more often than not glauconitic. In this region, Simití represents the lower Middle Albian; however, towards the NW Ciénaga Simití, it ranges from the Lower Albian to the lower Upper Albian. This stratigraphic record suggests that the east margin of the MMV was exposed, while sedimentation was continuous in the Simití region up to the early late Albian, developing an asymmetrically thick sedimentary sequence, indicating that deposition of the Simití was controlled by regional tectonism and erosion prior to deposition of the Cenomanian El Salto Formation.

“Formación” Simití: unidad ambigua en la estratigrafía del Valle Medio del Magdalena

Fernando Etayo-Serna

4

El comité *ad hoc* conformado por la Industria del Petróleo de Colombia para estandarizar la nomenclatura estratigráfica aplicable a las unidades litológicas cretácicas del Valle Medio del Magdalena (VMM) presentó un esquema que incluyó denominaciones formales e informales (Salvador 1994), como es el caso del *Simití Shale* (fig. 5, en Morales y The Colombian Petroleum Industry 1958). Se deben a Enrique Hubach las combinaciones nomenclaturales “Formación Simití” y “Formación de Simití (Simití Shales)” (Hubach 1957, 137 e índice). La presente nota llama la atención sobre la falta de precisión asociada al uso de esta terminología.

Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958, 651, fig 5) adoptaron el nombre “*Simití Shale* [...] to designate the excellent outcrops of this part of the section exposed along the south bank of the Ciénaga Simití (sic)”. Además señalaron que “*Its relationship with the underlying Tablazo limestone is conformable and the contact is relatively sharp*” (op. cit., 652).

En el costado suroriental (SE) del VMM, la llamada “Formación” Simití reposa sobre la Formación Tablazo (Montoya 2019). Estudios geológicos en la región de la ciénaga de Simití, costado noroccidental (NW) del VMM, muestran que la “Formación” Simití yace sobre la Formación La Paja a manera de continuación de esta. Su contacto superior, tanto en la región de Simití como en la de Hidrosogamoso (SE) se sitúa por debajo de las calizas con *Exogyra* que componen la Formación El Salto (Ingeominas-Universidad Industrial de Santander 2006).

La expresión “Formación” Simití, como se utiliza hoy en día en la región del río Sogamoso (Ward et al. 1973), corresponde a la *Tablazo Pasture Formation* propuesta por Wheeler en 1929 (Morales y The Colombian Petroleum Industry 1958, 652). En el sector del VMM revisado en el presente estudio tiene su mejor expresión morfológica en la margen N del río Sogamoso, frente a la antigua casa El Tablazo, situada en el cuadrante SE de la plancha topográfica 120-I-B del IGAC, plancha geológica del Ingeominas H-12 (cuadrícula B4 1/4 SE) y en el mapa geológico de Moreno-Sánchez (2019) (D4 ¼ SE). Dicho sitio fue el escogido por Wheeler (1929) como localidad tipo de su *Tablazo Pasture Formation*, la que describió como sigue:

Resting upon the Tablazo formation is a thick deposit of black shales about 500 meters (1640') thick that are called the Tablazo Pasture Shales. This discordant term was applied to these beds since they are typically exposed in Tablazo Pasture on the north side of the Sogamo-

so opposite the house at Tablazo and no other geographic (sic) name for designating them was available in this area.

The shales of the Tablazo Pasture formation are lithologically very similar to those of the La Paja formation. They are thin bedded, finely laminated, black, in part, silty and slightly calcareous micaceous shales (sic) that slump on a large scale.

The Tablazo Pasture shales can be distinguished (sic) from those of the La Paja in this area most readily by the abundance of small irregular shaped nodules and concretions of limonite and hematite that occur through (sic) the formation. These nodules and concretions are usually less than 2" in their greatest dimension and around ½" or less in thickness. The absence of limestone concretions, septarians, and calcite veins and of worn (sic) tubes in these shales is an additional means of distinguishing them from those of the La Paja.

The limonite and hematite concretions are, most likely, epigenetic, in origin, derived by oxidation of pyrite above the water table. Below the water table, therefore, pyrite, rather than limonite and hematite would probably be present.

With the exception of a 4" fossil redd (sic) of the upper part of the formation carrying many *Exogyra* and other fossils, the only fossils found (sic) in these shales were ammonites. These seem to be (sic) fairly well distributed throughout the formation, although (sic) they were not particularly abundant.

Porous beds that might serve as a reservoir for oil are lacking in this formation.

The shales are expressed topographically by comparatively (sic) low hills, often with abrupt edged (sic) due to slumping, that are difficult to ascend.

Debe notarse que la capa *carrying many Exogyra* mencionada de la parte superior del *Tablazo Pasture Formation* en la actualidad hace parte de la Formación El Salto (Terraza 2019).

LOS AFLORAMIENTOS DE LA “FORMACIÓN” SIMITÍ EN EL SECTOR INVESTIGADO DE HIDROSOGAMOSO

En el área del embalse Hidrosogamoso existen afloramientos discontinuos que no permiten describir de manera ininterrumpida la totalidad de la “Formación” Simití; hay exposiciones parciales de algunos tramos de la misma, así:

La parte inferior próxima al contacto con el techo de la Formación Tablazo aflora por la carretera nueva a San Vicente

de Chucurí, cerca del sitio Guayacán (Lisboa). Se trata de lodolitas negras con muscovita que forman pendiente estructural dirigida hacia la carretera (288/54); presenta concreciones elipsoidales calcáreas, algunas de las cuales contienen restos de crustáceos, y están dispuestas de manera similar que los guijarros en las llanuras de mareas. Este tramo hoy en día está cubierto casi en su totalidad con pastos para protección de la carretera (**fig. 2**).

La parte media baja de la “Formación” Simití se mostraba en afloramiento al costado E de la carretera nueva a San Vicente de Chucurí que parte del sitio Lisboa hacia la quebrada La Molinilla (**fig. 3**). Se trata de lodolitas negras, físciles en superficie alterada (*shales*) con intercalaciones lenticulares entre decimétricas y centimétricas de calizas *mudstone*. Este tramo hoy en día presenta recubrimiento de protección.

La parte superior observable de la “Formación” Simití aflora en el costado oriental de la quebrada Aguablanca (**fig. 4A**). Allí se observa la sucesión invertida que se inicia (léase de arriba hacia abajo) al nivel del cauce de la quebrada con una caliza *packstone* que contiene cantos redondeados de caliza y concentraciones de conchas de bivalvos (tormentita proximal), y se apoya sobre un banco de cuarzoarenita de grano fino bioperturbada (2,6 m) con restos de amonitas (*Ralphimlayites sp.*, **fig. 4B**); esta reposa sobre un intervalo de *mudstone* gris oscuro (6 m) que yace sobre un paquete de *wackestone* con amonitas (*Mirapelia sp.*, **fig. 4C**), al cual, ascendiendo en la pared del afloramiento, le siguen 1,5 m de lodolita gris oscura que a su vez se apoya en otro banco (70 cm) de *mudstone* calcáreo seguido nuevamente por un tramo de lodolita gris oscura que remata en la cubierta del bosque (**fig. 4A**, Mapa geológico, G. Moreno-Sánchez 2019).

La “Formación” Simití aflora a trechos por el curso de la quebrada La Molinilla (véase Ward et al. 1973, 71 y Mapa geológico, G. Moreno-Sánchez 2019).

En las quebradas El Ramo y Pujamanes, así como en el río Sogamoso, no existen exposiciones continuas ni susceptibles de mediciones confiables de la unidad (véase Ward et al. 1973, 72 y Mapa geológico, G. Moreno-Sánchez 2019).

BIOESTRATIGRAFÍA DE LA “FORMACIÓN” SIMITÍ CON BASE EN AMONITAS

Maurice Breistroffer (1952, 2634) fue el primer paleontólogo que reconoció en Colombia el [...] *Mesoalbien basal* a *Lyelliceras* et *Oxytropidoceras*, específicamente *Lyelliceras Ulrichi Knecht*. En su discusión del *Mésocrétacique* en Europa y otras regiones (1983, 53), dicho autor señaló que en *Le Mesoalbien Inferieur ou Hoplitien* se presenta *Oxytropidoceras du gr. Mirapelianum-roissyanum...* Este punto de vista es adoptado por el autor del presente artículo (Etayo-Serna 1979, 14).

REGIÓN DE HIDROSOGAMOSO

Por la quebrada La Molinilla, en el tercio inferior de la “Formación” Simití se coleccionó *Ralphimlayites ulrichi* (KNECHTEL, 1947); esta amonita continúa apareciendo de modo intermitente hasta el tramo superior aflorante de la formación, en el cual se presenta además una capa con acumulación de *Oxytropidoceras (Mirapelia) mirapelianum* (ORBIGNY, 1850) (**láms. 1/A, B y C; figs. 4A y 4B**), que confirman el Albiano medio bajo.

REGIÓN DE LA CIÉNAGA SIMITÍ

Para precisar la edad de la “Formación” Simití en su sección tipo es necesario reconocer allí sus límites físicos. En el primer trabajo de dominio público conocido (Corredor 1955), se lee: *Shale Simití*. Estos *shales* que yacen en conformidad sobre las Calizas Aptianas tomaron su nombre de la población bolivareense de Simití, en donde se hallan especialmente bien expuestos. La designación es relativamente nueva, pues hasta hace poco tiempo se les llamó con el nombre provisional de *shale-medio (middle shale)* (Corredor 1955, 10; Petters 1954, 134, *Middle Shale Formation*).

Las Calizas Aptianas mencionadas de la ciénaga de Simití tienen cerca de 15 m de espesor, y en su aspecto macroscópico aparecen similares a las calizas de la Formación La Paja (Corredor 1955, columna estratigráfica y fotografías en la pág. 11). La edad aptiana de estas calizas se precisa con base en la presencia de *Dufrenoyia codazziana* (KARSTEN, 1858) y *Dufrenoyia sanctorum* BÜRGL, 1956, según la revisión del presente autor del material paleontológico coleccionado por Corredor y conservado en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional, sede Medellín.

En los alrededores de la cabecera municipal de Simití, de la formación homónima se coleccionaron además fósiles identificados como *Douvilleiceras tarapacaense* (ETAYO-SERNA, 1979) del Albiano inferior; *Lyelliceras isaacleai* (ETAYO-SERNA, 1979), *Ralphimlayites alternum* (ROBERT, 2002) y *Ralphimlayites ulrichi* (KNECHTEL, 1947) del Albiano medio bajo. Hacia la parte superior aflorante del *shale* de Simití se encontraron *Hystero-ceras bucklandi* (SPATH, 1922) y *Venezoliceras sp.* del Albiano superior bajo; apenas 10 m estratigráficos encima de la muestra anterior están las calizas de la base de la Formación El Salto, de las cuales se obtuvo en las paredes de Ororia un ejemplar de *Mantelliceras sp.*, del Cenomaniano inferior (Etayo-Serna en Ingeominas-Universidad Industrial de Santander 2006).

LA “FORMACIÓN” SIMITÍ EN EL SUBSUELO

En afloramientos del costado oriental del VMM se puede identificar con claridad la base de la “Formación” Simití y su relación estratigráfica con la Formación Tablazo. En sentido noroccidental, hacia la ciénaga de Simití, las calizas del Tablazo desaparecen gradualmente, como se descubre al com-

parar los datos de subsuelo aportados por los pozos La Luna 1 (Juliao et al. 2013), Infantas 1613 (Taborda 1965, 1979, *plate 1*) y Llanito 1 (Cooper et al. 1995, fig. 4). Taborda ya había señalado (*op. cit.*, 7), refiriéndose a la *Tablazo Limestone*, que “*The formation is gradational with the Simití shale above, y aclaraba que In the subsurface, the Simití consists of shales and occasional thin beds of limestone and sandstone [...] These sandstone beds appear to grade into sandy limestone, which is brown and glauconitic*” (*ibid.*, 8).

ESPESOR DE LA “FORMACIÓN” SIMITÍ

En la región de la ciénaga de Simití los espesores atribuidos al *Simití shale* varían desde 550 m (Corredor 1995, 10), 400 m (Morales y The Colombian Petroleum Industry 1958), hasta 40 m (Julivert 1968, *lapsus calami*). Del emblemático pozo Infantas 1613 se dice que mide 2.154 pies (665 m), pero conviene recordar que esta cifra no representa el espesor estratigráfico, pues la perforación atravesó la unidad, cuya inclinación era mayor de 16°, como se ve en la lámina III, fig. II del *Field Trip de Mares Concession* (Hobson 1942; Taborda 1965, 1979). En la región de puente Tablazo se calcula para el *Simití shale* alrededor de 125 m (**fig. 1**), valor que contrasta con los 500 m que le atribuyó Wheeler (1929).

ATISBO DE HISTORIA PALEOGEOGRÁFICA DE LA “FORMACIÓN” SIMITÍ

A mediados del Albiano, tiempo durante el cual se acumularon los sedimentos de la “Formación” Simití, se produjo profundización del margen oriental del VMM, que había sufrido retracción a finales del depósito de la Formación Tablazo, durante el Albiano inicial tardío (Montoya 2019). Este mar inte-

rior, de profundidad moderada (Cáceres, Cediel y Etayo-Serna 2005, fig. 8), ocupó posición ecuatorial-tropical (Moulin, Aslanian y Unternehr 2010, fig 25, Intra-Albiano), sus aguas fueron cálidas y en su fondo se acumuló un depósito finogranular muscovítico en el que a intervalos se produjeron condiciones ambientales que favorecieron el desarrollo de rasgos similares a los de la *facies verdín* moderna, caracterizada por la presencia de peloides verdosos *verdine facies* (Odin 1990) (Harding et al. 2014), que recuerdan los peloides que en la “Formación” Simití han sido identificados de modo tradicional como “glauconita” (Taborda 1965, 1979; **figs. 5A y 5B**).

EL CONTACTO INCONFORME SIMITÍ-EL SALTO

En la región de Hidrosogamoso, delgadas calizas de la Formación El Salto se apoyan sobre *shale* de la “Formación” Simití del Albiano medio bajo, mientras que en la región de la ciénaga de Simití, gruesas calizas de la Formación El Salto se apoyan sobre *shales* de la “Formación” Simití del Albiano superior bajo, de la misma manera como se observa esta relación de inconformidad entre la Formación San Gil Superior y la Formación Churuvita, en la región de Villa de Leiva (Etayo-Serna en Caicedo 2005, figs. 2-9).

El faltante bioestratigráfico Albiano medio alto-Albiano superior alto que se observa al comparar la bioestratigrafía de la “Formación” Simití del flanco SE (Hidrosogamoso) con la del flanco NW (ciénaga de Simití) del VMM sugiere un episodio de erosión (Etayo-Serna en Ingeominas-Universidad Industrial de Santander 2006), que determina una relación de disconformidad entre el techo del Simití y la base de El Salto. Nótese, además, que el equivalente de la Formación Tablazo en el VMM es la porción inferior de la “Formación” Simití del W del VMM.



Figura 1. Localidad tipo de la *Tablazo Pasture Formation* de Wheeler (1929), hoy en día “Formación” Simití. Las líneas punteadas de color amarillo señalan los contactos con las formaciones Tablazo (inferior) y El Salto (superior). Vista desde un punto con coordenadas N:1.269.864, E:1.081.171, Z:356 m (antes del llenado del embalse). Fotografía: G. Moreno-Sánchez.



Figura 2. Afloramiento de la parte inferior de la “Formación” Simití por la carretera que rodea el embalse Hidrosogamoso y se dirige a San Vicente de Chucurí. N:1.281.300, E:1.085.878, Z:304. Fotografía: D. Montoya.



Figura 3. Parte media baja de la “Formación” Simití. Vía a San Vicente de Chucurí. N:1.280.526, E: 1.085.228, Z:632 m. Fotografía: D. Montoya.

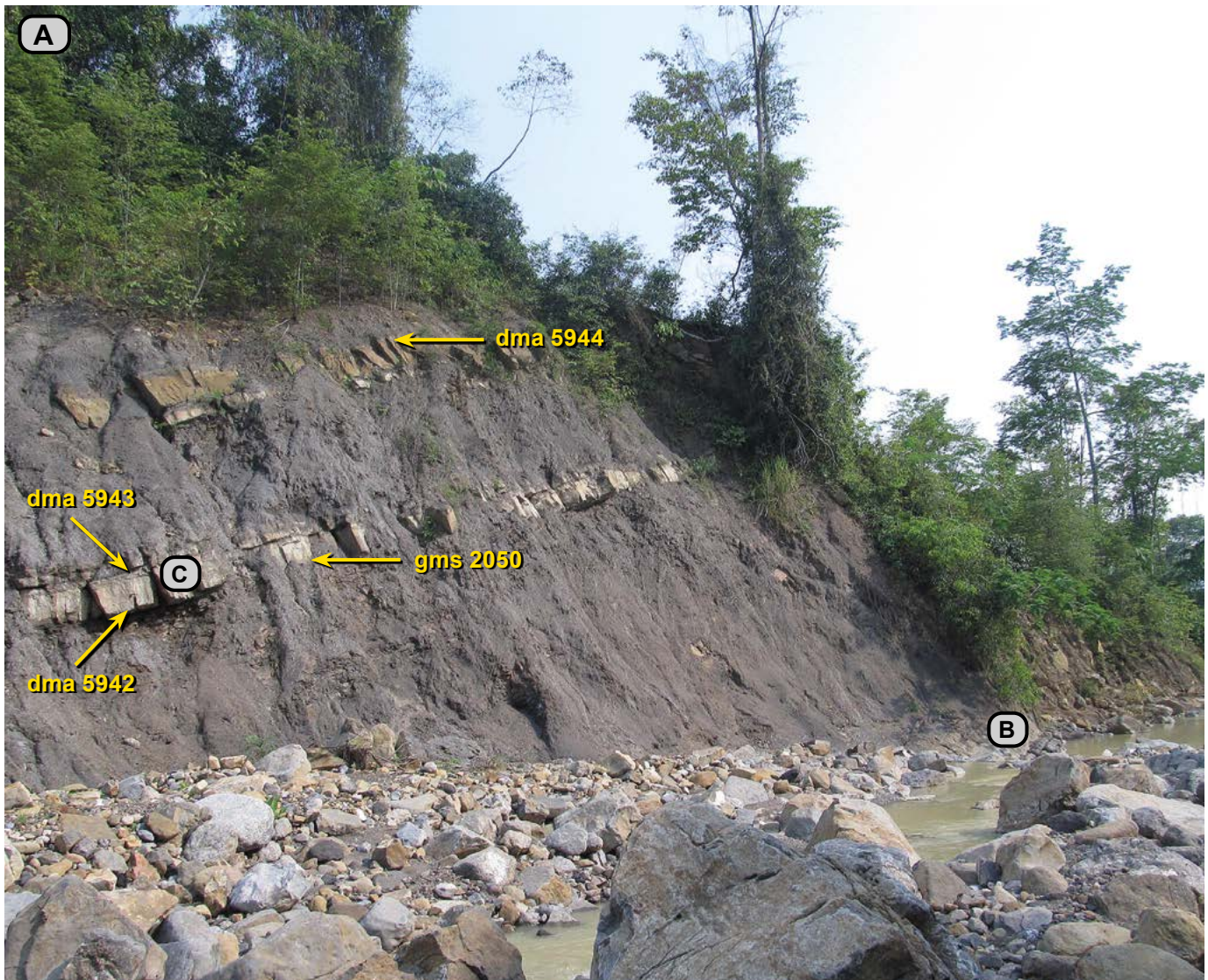


Figura 4A. Afloramiento de la parte superior de la "Formación" Simití, invertida en la margen oriental de la quebrada Aguablanca. N:1.278.123, E:1.083.925, Z:322 m. Buzamiento: N18E/54SE.



Figura 4B. Arenitas de cuarzo con cemento calcáreo bioturbadas, con *Ralphimlayites* sp. fig. 4A. Diámetro de la moneda: 22 mm.



Figura 4C. Packstone con *Oxytropidoceras* (*Mirapelia*) sp. fig. 4A. Longitud del bolígrafo: 13,5 cm.

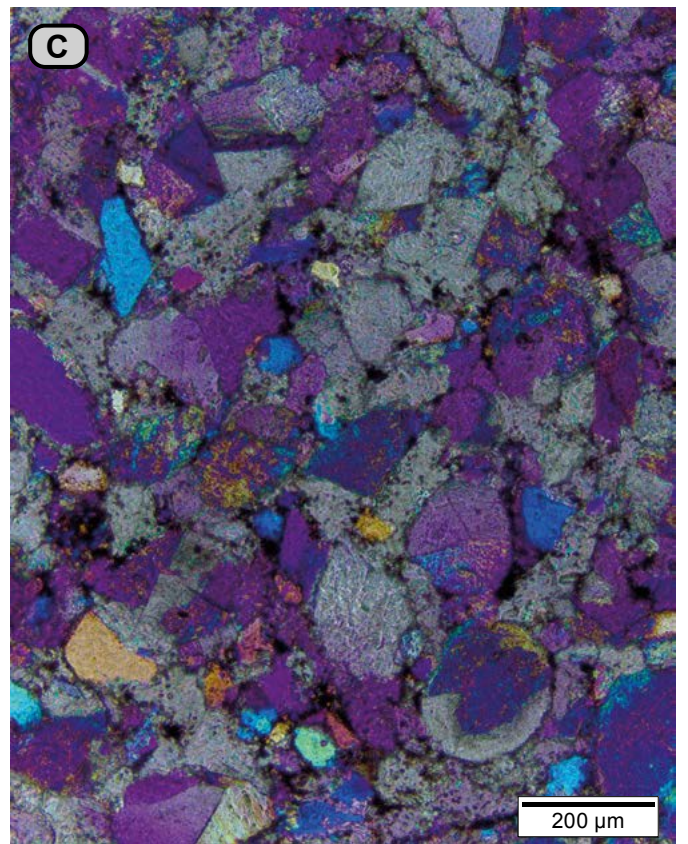
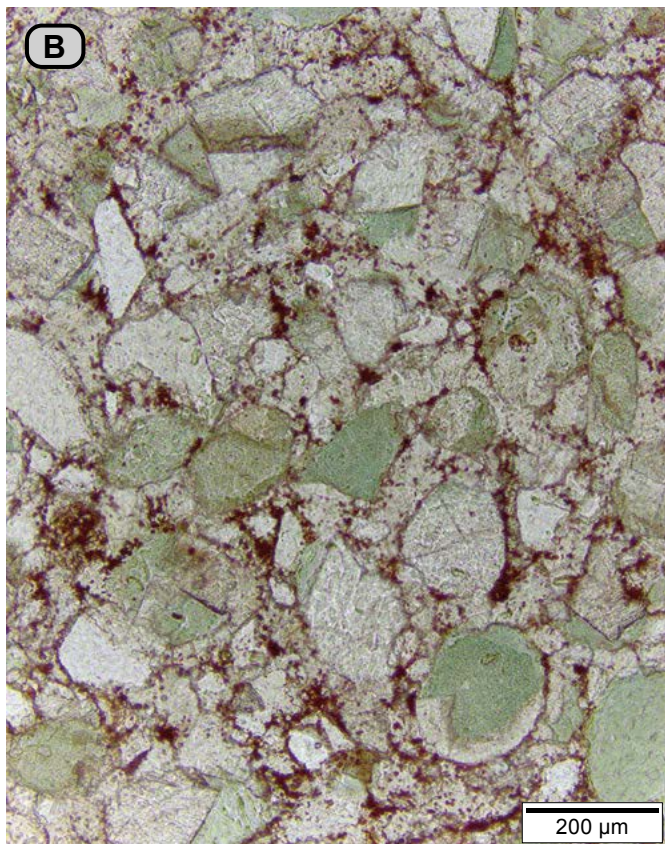
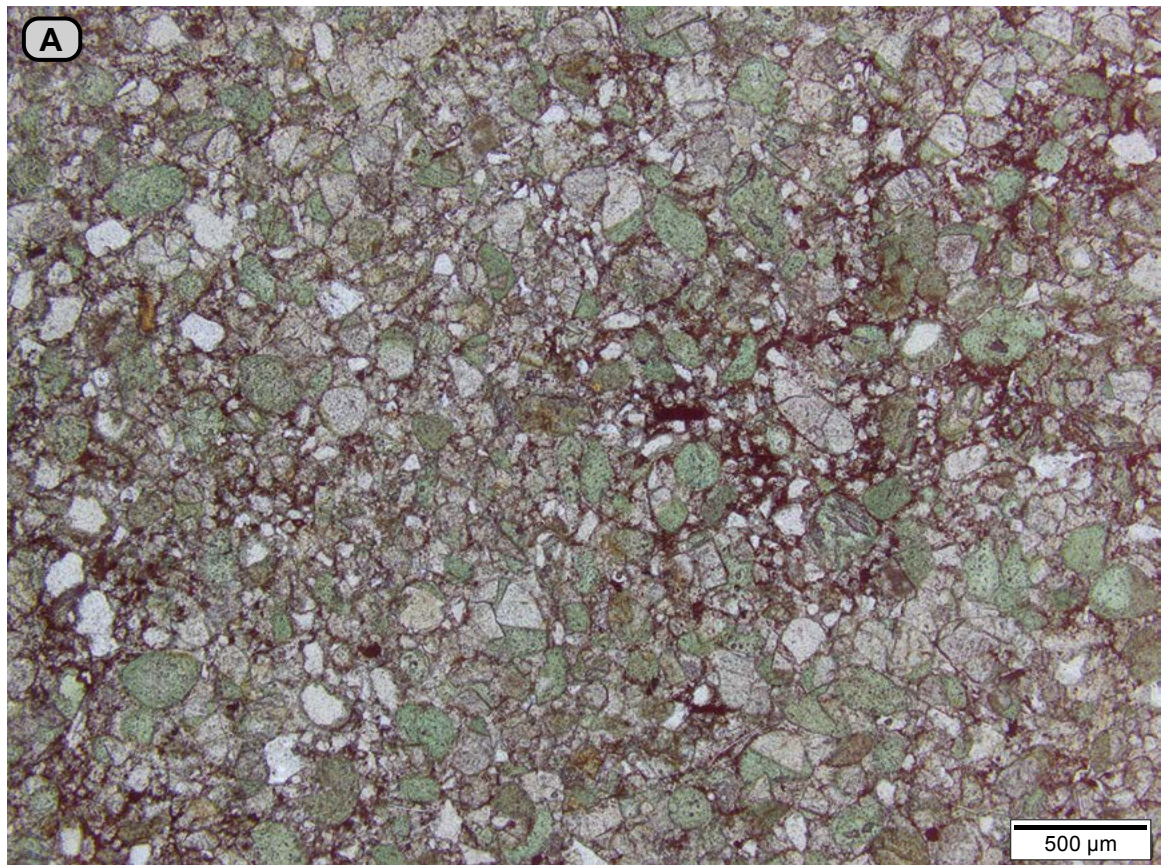


Figura 5. A) Aspecto general de la muestra **dma 5944**. Bajo el microscopio se reconocen los siguientes constituyentes: peloides de "glaucónita" (41%), cuarzo (10%), cemento esparítico 37% y óxidos de hierro (11%), de textura arena fina (N=). B) Detalle de la figura anterior (N=). C) (NX). Microfotografía: D. Montoya.



Lámina 1. *Ralphimlayites ulrichi* (KNECHTEL, 1947). **A, B y C: GMA 2070.** Quebrada La Molinilla (N:1.279.708, E:1.084.912, Z:457) tercio inferior de la "Formación" Simití. *Oxytropidoceras (Oxytropidoceras) hubbardi* (KNECHTEL, 1947). **D: dma 5938,** tercio superior de la "Formación" Simití, Quebrada La Molinilla (N:1.279.869, E:1.084.633, Z:408). *Oxytropidoceras (Mirapelia) mirapelianum* (ORBIGNY, 1850). **E, F, H, I: GMA 2050. G: dma 5942** (N:1.278.134, E:1.083994, Z:313) aproximadamente 20 m debajo del techo de la "Formación" Simití, quebrada Aguablanca. Las amonitas ilustradas representan el Albiano medio bajo. Fotografías: Alejandro Numpaque.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ager, Derek V. 1993. *The nature of the stratigraphical record*. New York: John Wiley & Sons Ltd.
- Breistroffer, Maurice. 1952. "Sur la découverte de Knemiceratinae (Ammonites albiennes) en Équateur, en Colombie et au Venezuela". *Comptes Rendus hebdomadaires des séances de L'Académie des Sciences de France* 234 (27): 2633-2635. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k3186w?rk=21459;2>.
- Breistroffer, Maurice. 1983. "Le Mésocrétacique à ammonites en Europe et ailleurs". 108e Congrès national des Sociétés savantes. Sciences, fascicule 1, tome 2. Grenoble.
- Cáceres Girón, Carlos, Fabio Cediél Melo y Fernando Etayo-Serna. 2005. *Maps of sedimentary facies distribution and tectonic setting of Colombia through the Proterozoic and Phanerozoic*. Bogotá: Ingeominas.
- Caicedo Andrade, Juan Carlos. 2005. "Significado facial de la Formación Churuvita y su respuesta cartográfica". Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia.
- Cooper, Mark A., Fergus T. Addison, Ricardo Álvarez, Mario Coral, Rod H. Graham, Anthony B. Hayward, Spencer Howe, Jaime Martínez, Joaquín Naar, Ricardo Peñas, Andy J. Pulham y Adriana Taborda. 1995. "Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia". *AAPG Bulletin* 79 (10): 1421-1443.
- Corredor, Ernesto. 1955. "Apuntes sobre la geología de la región de Simití, departamento de Bolívar". Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Etayo-Serna, Fernando. 1979. *Zonation of the Cretaceous of central Colombia by ammonites*. Publicaciones geológicas especiales 2. Bogotá: Ingeominas.
- Harding, Sherie C., Barbara P. Nash, Erich U. Petersen, A. A. Ekdale, Christopher D. Bradbury y M. Darby Dyar M. 2014. "Mineralogy and geochemistry of the main glauconite bed in the Middle Eocene of Texas: Paleoenvironmental implications for the verdine facies". *PloS ONE* 9 (2): e87656. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087656>.
- Hobson, Geoffrey Dudley. 1942. "Calculating the true thickness of a folded bed: Geological Notes". *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists* 26 (12): 1827-1832. <https://doi.org/10.1306/3D933578-16B1-11D7-8645000102C1865D>.
- Hubach, Enrique. 1957. "Contribución a las unidades estratigráficas de Colombia (enumeración regional, de más reciente a más antiguo)". Informe 1212. Bogotá: Instituto Geológico Nacional.
- Ingeominas-Universidad Industrial de Santander. 2006. "Cartografía geológica de 9.600 km² de la serranía de San Lucas. Planchas 55 (El Banco), 64 (Barranco de Loba), 85 (Simití) y 96 (Bocas de Rosario). Aporte al conocimiento de su evolución geológica". Tomo 1. "Memoria explicativa, plancha 85 Simití, sur de los departamentos de Bolívar y Cesar". Tomo 5. "Catálogo de sedimentos activos y suelos, catálogo de petrografía, catálogo paleontológico y resultados de inclusiones fluidas". "Catálogo paleontológico de la plancha 85" por Fernando Etayo-Serna: 28 páginas sin numeración. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- Juliao, Tatiana Milena, Marcelo de Araujo Carvalho, Sandra Milena Cruz y Robert Emilio Márquez. 2013. "Reconstrucción paleoambiental basada en palinofacies y geoquímica orgánica para las formaciones La Luna y Tablazo en el pozo La Luna 1, Cuenca VMM". XVI Congreso Colombiano de Geología. Primer Simposio de Exploradores.
- Julivert, Manuel. 1968. "Colombie (première partie), Précambrien, Paléozoïque, et intrusions d'âge mésozoïque-tertiaire". En *Lexique Stratigraphique International V. Amérique Latine*, dirigido por R. Hoffstetter, fascicule 4a. Paris: Centre National De La Recherche Scientifique.
- 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.
- Morales, Luis G. y The Colombian Petroleum Industry. 1958. "General geology and oil occurrences of Middle Magdalena Valley, Colombia". In *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.
- Moulin, Maryline, Daniel Aslanian y Patrick Unternehr. 2010. "A new starting point for the South and Equatorial Atlantic Ocean". *Earth-Science Reviews* 98 (1-2): 1-37. <https://doi.org/10.1016/j.earsci-rev.2009.08.001>.
- Odin, Gilles Serge. 1990. "Clay mineral formation at the continent-ocean boundary: the verdine facies". *Clay Minerals* 25 (4): 477-483. <https://doi.org/10.1180/claymin.1990.025.4.06>.
- Petters, Victor. 1954. "Typical foraminiferal horizons in the Lower Cretaceous of Colombia, S. A.". *Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research* 5 (3): 128-137. https://cushmanfoundation.allenpress.com/portals/_default/files/pubarchive/CCFFR/05ccffr3.pdf.
- Salvador, Amos. 1994. *International stratigraphic guide: A guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure*. Boulder: The International Union of Geological Sciences y The Geological Society of America, Inc.
- Taborda, Bernardo. 1965. *Guidebook to the geology of the De Mares Concession: field trip of February 26-28, 1965*. Bogotá: Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysicists.
- Taborda, Bernardo. 1979. "The geology of the Mares Concession. Fifth Field Conference. February 26-28, 1965". En *Geological Field-Trips Colombia 1959-1978*. Bogotá: Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysicists.
- Terraza Melo, Roberto. 2019. "'Formación La Luna': expresión espuria en la geología colombiana". 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.
- Ward, Dwight E., Richard Goldsmith, Jaime Cruz y Hernán Restrepo A. 1973. "Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, departamento de Santander". *Boletín Geológico* 21 (1-3): 1-134.
- Wheeler, Orby Clinton. 1929. "Report on the Palmira Series with Notes on Stratigraphy of the Umir, Lisama, and La Paz Formations near the Eastern part of the Mares Concession". Informe Geológico 37. Ecopetrol.



**“Formación La Luna”: expresión espuria
en la geología colombiana**

*Somebody must touch the rock with geological
hammer and combine his knowledge
with what he sees*

Stanislaw Ostaficzuk

Portadilla: Capas basales de la Formación La Renta en la cabecera de la quebrada Aguablanca.
N:1.279.687, E:1.084.263, Z: 358

Citación: Terraza Melo, Roberto. 2019. "Formación La Luna: expresión espuria en la geología colombiana". 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 Hidrosogamoso Project in the Middle Magdalena Valley (around El Tablazo) presents upper Cretaceous strata refer as "La Luna Formation" (Morales and The Colombian Petroleum Industry 1958, 653-655) composed from base to top by the Salada, Pujamana, Galembó and La Renta formations. The contact with the underlying El Salto Formation is conformable, and with the overlying Umir Formation is disconformable (*sensu* Howe 1997, 135). The thickness of the stratigraphic interval is 316 m in the Aguablanca creek section, of which 118 m are from the Salada Formation, 57 m from the Pujamana Formation, 96 m from the Galembó Formation and 45 m from the La Renta Formation. In the Montebello ranch stratigraphic section, the measured thickness is 304 m, with 111 m (incomplete) for the Pujamana Formation, 177 m (incomplete) for the Galembó Formation and 16 m (incomplete) for the La Renta Formation; the Salada Formation and the lower part of the Pujamana Formation do not appear there; furthermore, the La Renta Formation is faulted and folded, and only the base was measured (16 m), but 693 m from the end of the section by the road to Montebello ranch in a monocline at the west flank of the Chucurí anticline, a measure track adds 61 m by which the La Renta Formation would have at least a thickness of 77 m. The thickening in the Pujamana, Galembó and La Renta formations in the Montebello stratigraphic section is explained by means of higher rates of tectonic subsidence and sediment supply in this area, related to normal faulting affecting the sedimentation in the Middle Magdalena Valley and the Hidrosogamoso project area.

A new lithostratigraphic unit for the Middle Magdalena Valley it is formally proposed and is called the Formación La Renta, characterized by his phosphorite content and fino-granular siliceous rocks, with local concentrations of benthic foraminifera of the *Siphogenerinoides* genera.

“Formación La Luna”: expresión espuria en la geología colombiana

Roberto Terraza Melo

5

RESUMEN

En el proyecto Hidrosogamoso del Valle Medio del Magdalena (sector del Tablazo y sus alrededores), el Cretácico superior correspondiente a la denominada “Formación La Luna” está compuesto de base a techo por las Formaciones Salada, Pujamana, Galembo y La Renta. El contacto geológico con la Formación El Salto infrayacente es concordante, y con la Formación Umir suprayacente es disconforme. El espesor de este intervalo estratigráfico es de 316 m en la sección estratigráfica por la quebrada Aguablanca, de los cuales 118 m corresponden a la Formación Salada, 57 m a la Formación Pujamana, 96 m a la Formación Galembo y 45 m a la Formación La Renta. En la sección estratigráfica de la hacienda Montebello el espesor medido fue de 304 m, con 111 m (incompleto) para la Formación Pujamana, 177 m para la Formación Galembo y 16 m (incompleto) para la Formación La Renta; allí no aflora la Formación Salada ni la parte más baja de la Formación Pujamana; además, la Formación La Renta está fallada y plegada, por lo cual solo se levantó la base; sin embargo, a 693 m de distancia del punto de finalización de la sección, por la vía que conduce a la hacienda Montebello, sobre un monoclin que pertenece al flanco occidental del anticlinal de Chucurí, se midió mediante poligonal un espesor de 61 m adicionales, por lo cual la Formación La Renta tendría por lo menos 77 m de espesor. El engrosamiento de las Formaciones Pujamana, Galembo y La Renta en la sección estratigráfica de Montebello se explica por una tasa mayor de subsidencia tectónica y aporte sedimentario hacia este sector, relacionada posiblemente con el movimiento de fallas normales que afectaron la sedimentación en la región del Valle Medio del Magdalena y zona del proyecto Hidrosogamoso.

La Formación Salada, en su parte inferior, es de calizas con textura *wackestone* (biomicrita rala) y *mudstone* calcáreo (micrita), de color negro, con abundante materia orgánica, arcillosas, compactas, con estratificación y laminación plana paralela bien desarrollada, y niveles de grandes concreciones micríticas de tamaño métrico hasta decimétrico hacia la parte baja de la formación; en el resto de la unidad las concreciones son centimétricas generalmente, y algunas contienen abundante pirita. Su parte superior es de *mudstone* terrígeno (lodolita) de color gris oscuro a negro, calcáreo a levemente calcáreo y no calcáreo, compacto, bien estratificado y laminado de forma plana paralela, con partición hojosa (*papery*), que le da un aspecto característico a la roca sedimentaria. El espesor de las capas es centimétrico generalmente, internamente finamente laminadas. Son comunes impresiones de amonitas y lamelibranquios (*Inoceramus* sp. y *Anomia* sp.); todas las secciones delgadas mostraron predominio de foraminíferos planctónicos. El contacto

inferior con la Formación El Salto es concordante y abrupto, y el superior con la Formación Pujamana es concordante transicional rápido. Morfológicamente genera escarpes poco pronunciados de baja altitud y menos prominentes que El Galembo. El espesor es de 118 m.

La Formación Pujamana es de *mudstone* terrígeno (arcillolitas y lodolitas) de color negro, muscovítico, con estratificación plana paralela discontinua; presenta intercalaciones de cuarzoarenitas de textura muy fina, limolitas y calizas con textura *mudstone*, con espesor desde 5 cm hasta menos de 2 m; es común la bioperturbación de las capas en grado variable, desde bajo (láminas irregulares) hasta alto (moteado distinto a indistinto), y la presencia de madrigueras horizontales en la base de capas de cuarzoarenitas y limolitas de cuarzo, particularmente. Se hallan algunas impresiones de amonitas y lamelibranquios. El contacto inferior con la Formación Salada es concordante transicional rápido, y el superior con la Formación Galembo es concordante y neto. Morfológicamente genera valles o depresiones entre las formaciones Salada y Galembo. El espesor varía de 57 m, en la sección estratigráfica por la quebrada Aguablanca, a 111 m (incompleto), en la sección levantada por la vía a la hacienda Montebello.

La Formación Galembo es de calizas con textura *mudstone* (micritas) y *wackestone* (biomicritas ralas) de foraminíferos planctónicos, principalmente, de color gris oscuro a gris parduzco, terrígenas (arcillosas) o con alto contenido de materia orgánica, compactas, estratificadas delgadamente de forma plana paralela, con laminación interna igualmente plana paralela. Son comunes concreciones micríticas de forma redondeada hasta elíptica, centimétricas hasta decimétricas, con restos de amonitas en volumen y restos de peces y lamelibranquios, especialmente hacia la base; generalmente las concreciones expiden fuerte olor a hidrocarburo cuando se rompen en estado fresco; son frecuentes capas delgadas continuas a lenticulares de *chert* negro intercaladas; las capas usualmente se ven onduladas debido al desarrollo de abundantes concreciones. En general, el espesor de las capas es centimétrico, con laminación interna delgada a mediana, plana paralela discontinua, por interposición de láminas de foraminíferos con textura *wackestone* a *packstone* paralela a la estratificación de la roca. El contacto inferior con la Formación Pujamana y el superior con la Formación La Renta son concordantes y netos. Morfológicamente genera escarpes pronunciados como el filo del Galembo, en la localidad tipo. El espesor varía entre 96 m, en la sección por la quebrada Aguablanca, hasta 177 m en la sección de Montebello.



LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS SECCIONES ESTRATIGRÁFICAS AGUABLANCA Y MONTEBELLO EN EL ÁREA DE ESTUDIO

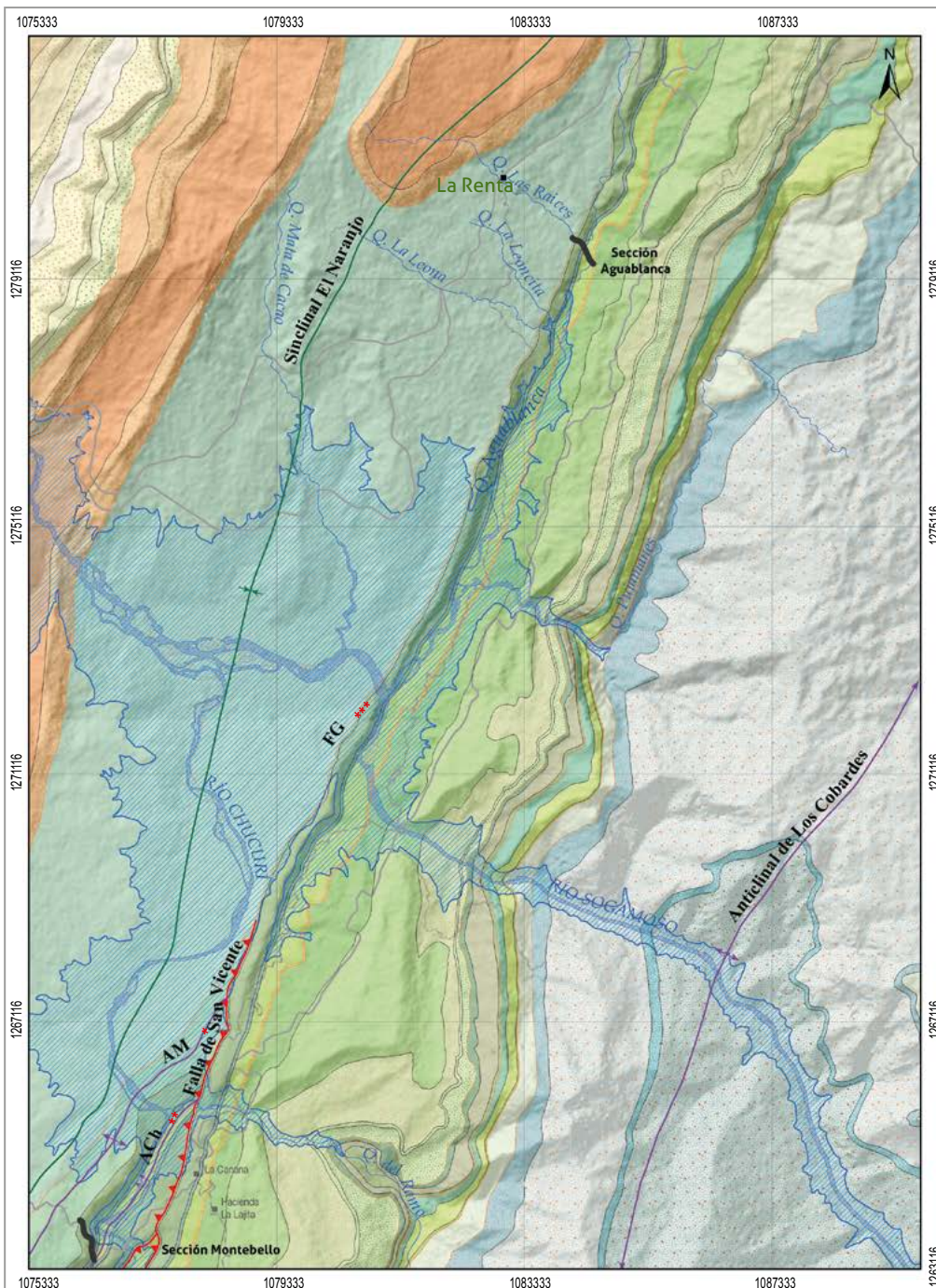
Mapa de Localización



Giovanni MORENO-SÁNCHEZ
Mapa geológico del Valle Medio del Magdalena, en los alrededores del Puente El Tablazo

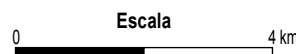
Información de Referencia

Base Cartográfica tomada de las planchas 120IVC del IGAC 2014. DATUM MAGNA. Origen en la Zona Bogotá.
Proyección Gauss-Krüger-Colombia (Transversa de Mercator). Coordenadas Gráficas: 74°04'39,0285" W, 4°35'46,3215" N. Coordenadas Planas: X = 1 000 000, Y = 1 000 000.



Convenciones

- Contacto Concordante
- Contacto Discordante
- Anticlinal con Doble Cabeceo
- Sinclinal con Doble Cabeceo
- Anticlinal Volcado
- Falla de Cabalgamiento
- Sección Levantada



Leyenda

- | | | |
|----------------------|--|---|
| Formación Mugrosa | Formación El Salto | Formación Rosa Blanca (Miembro Lagunetas) |
| Formación Esmeraldas | Formación Simití | Formación Cumbre |
| Formación Lisama | Formación Tablazo | Formación Los Santos |
| Formación Umir | Formación La Paja | Grupo Girón (Intervalo Lodolítico Inferior) |
| Formación La Renta | Formación Rosa Blanca (Miembro Zapatoja) | Grupo Girón (Intervalo Arenítico Superior) |
| Formación Galemo | Formación Rosa Blanca (Miembro El Sapo) | Grupo Girón (Intervalo Arenítico Inferior) |
| Formación Pujamana | Formación Rosa Blanca (Miembro Zo) | Grupo Girón (Intervalo Lodolítico Superior) |
| Formación Salada | Formación Rosa Blanca (Miembro Carrizal) | Grupo Girón (Intervalo Arenítico Inferior) |

* AM = Anticlinal de Montebello, ** ACh = Anticlinal de Chucurí, *** FG = Filo o cuchilla del Galemo.

Figura 1. Localización geográfica de las secciones estratigráficas Aguablanca y Montebello (mapa tomado de Moreno-Sánchez 2019).

La Formación La Renta es litológicamente similar a la Formación Galembo, excepto que en la base aparecen capas medianas y gruesas (16 cm hasta 1,2 m) de fosforitas de peloides con textura *packstone* potencialmente explotables; también son comunes niveles delgados o lentes de *chert* negro interpuestos, capas entre delgadas y gruesas de calizas silíceas y presencia de foraminíferos bentónicos. El espesor de las capas varía de decimétrico a centimétrico, con estratificación plana paralela continua. El contacto inferior con la Formación Galembo es concordante y neto, y el superior con la Formación Umir es disconforme. El espesor oscila entre 45 m, en la sección por la quebrada Aguablanca, hasta por lo menos 77 m en la sección de Montebello.

Se propone de manera formal una nueva unidad litoestratigráfica para el Valle Medio del Magdalena, denominada *Formación La Renta*, que se caracteriza por su contenido de fosforitas y rocas de textura fino-granular y naturaleza silícea, con concentraciones locales de foraminíferos bentónicos del género *Siphogenerinoides*.

INTRODUCCIÓN

El intervalo estratigráfico del Cretácico superior equivalente a la “Formación La Luna” (*sensu* Morales y The Colombian Petroleum Industry 1958, 653-655), en el área del proyecto Hidrosogamoso del Valle Medio del Magdalena (VMM), está constituido, de antiguo a joven, por las Formaciones Salada, Pujamana, Galembo y La Renta; sus localidades tipo se encuentran en el sector de El Tablazo y sus alrededores, en las quebradas La Salada y Pujamanes, y en el filo conocido como de El Galembo; más adelante se discuten estos lugares. Debido a la inminente inundación de las localidades tipo por el llenado del embalse de Hidrosogamoso, se decidió efectuar estudios estratigráficos detallados con el propósito de redescubrir estas unidades, para lo cual se levantaron secciones estratigráficas en la cabecera de la quebrada Aguablanca (vereda La Renta, municipio de Lebrija, plancha 120-I-B del Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]) y en la carretera nueva, sustitutiva, que se desprende de la vía principal Lebrija-San Vicente de Chucurí, entre el sitio conocido como La Canana y la hacienda La Lajita, y que conduce a la hacienda Montebello (vereda Belmonte, municipio de Zapato-ca, plancha 120-I-D del Instituto Geográfico Agustín Codazzi).

En la quebrada Aguablanca se levantaron las Formaciones Salada, Pujamana, Galembo y La Renta (nueva formación), la infra-yacente Formación El Salto y las capas basales de la suprayacente Formación Umir, mientras que en Montebello se levantaron las Formaciones Pujamana, Galembo y La Renta, faltando la parte inferior de la Formación Pujamana y gran parte de la Formación La Renta (solo se levantaron los primeros 16 m).

Los puntos de inicio y finalización de la sección Aguablanca son N:1.279.300, E:1.084.440, Z:400 y N:1.279.727, E:1.084.198, Z:388; de la sección Montebello son N:1.263.142, E:1.076.426, Z:399 y N:1.263.739, E:1.076.194, Z:449. En la **fig.**

1 se muestra la localización de las secciones. En los **anexos 4.1 y 4.2** aparece el dibujo de las secciones estratigráficas. Geológicamente, el área de estudio se localiza sobre el flanco oriental del sinclinal de Nuevo Mundo o flanco occidental del anticlinal de Los Cobardes, pliegues de primer orden en este sector de la cordillera Oriental de Colombia. Entre estas estructuras mayores aparecen varios pliegues de menor magnitud, de los cuales hay que mencionar al sinclinal El Naranjo y al anticlinal de Chucurí, pues en sus flancos oriental y occidental, respectivamente, se localizan las secciones estratigráficas levantadas (véase **fig. 1**).

METODOLOGÍA

Las secciones estratigráficas se midieron con el bastón de Jacob; las lecturas se realizaron con aproximación al decímetro (desde 0,0 hasta 1,5 m), lo que implica mediciones con dos cifras significativas y una incertidumbre teórica del 1%, es decir, de $\pm 0,015$ m (Vacher 1998, 293); no obstante, el error en la práctica es de aproximadamente 3% ($\pm 0,05$ m por cada bastoneo de 1,5 m de longitud), precisión suficiente para representar capas de hasta 10 cm de espesor en el formato de toma de información estratigráfica de campo, con escala gráfica de 1:100.

La descripción en el terreno se hizo a escala centimétrica y decimétrica, utilizando la lupa de 10x; se efectuaban constantemente de dos a tres pruebas sucesivas con HCl al 10%, con posterior lavado de la muestra con agua corriente, para inferir de manera cualitativa la naturaleza de la roca (calcárea, mixta o terrígena). Los principales aspectos, como color, textura, composición, formas internas y externas de las capas, estructuras sedimentarias biogénicas e inorgánicas, contenido fosilífero y grado de bioturbación, se representaron sobre formatos previamente diseñados. La descripción de campo se refinó con el análisis microscópico de secciones delgadas.

Con el propósito de realizar una descripción lo más objetiva posible, se aplicaron las siguientes terminologías, tanto en afloramientos o muestras de mano como en secciones delgadas:

Para determinar cualitativamente la forma de partición de la roca se utilizó la propuesta de McKee y Weir (1953). Para la forma de láminas, juegos de láminas, capas o juegos de capas se usó la terminología propuesta por Campbell (1967). Para comparar el grado de selección en sedimentos o rocas sedimentarias clásticas, forma de estratos y tipos de contactos entre capas se emplearon los diagramas de Compton (1985). Para las rocas calcáreas se aplicó el sistema de identificación de Dunham (1962), basado en la textura deposicional. Se siguieron los lineamientos de Folk (1951, 1954, 1959, 1962, 1974) para determinar el grado de madurez textural, para identificar las rocas terrígenas de acuerdo a su textura y composición, así como para reconocer aspectos petrográficos importantes de las rocas sedimentarias calcáreas como complemento a la clasificación de Dunham (1962). Para los espesores de capas y láminas se manejó la propuesta de Ingram (1954) y Campbell (1967) (adaptadas por Reineck y Singh 1975); se uti-

lizó el término mediano(a) como sinónimo de medio(a) para significar espesores de estratos o láminas de tamaño intermedio entre muy delgado y muy grueso. Para comparar la forma de partículas sedimentarias se usaron los diagramas de Krumbein y Sloss (1969). Para describir el grado de destrucción progresiva de la laminación por bioperturbación o grado de bioperturbación se comparó con la secuencia de gráficos de Moore y Scruton (1957). Para representar la redondez de las partículas sedimentarias se empleó la escala de Powers (1953). Los tipos de estratificación lenticular y *flasser* se definieron de acuerdo con los diagramas propuestos por Reineck y Wunderlich (1968). Los diagramas de Terry y Chilingar (1955) se emplearon para estimar porcentajes de minerales o partículas, por volumen, en la descripción de muestras de mano. Para detallar la orientación de conchas o restos de conchas en estratos se acudió a la terminología de Kidwell, Fürsich y Aigner (1986). Para identificar los tipos de concentraciones de conchas se siguió a Fürsich (1995), que muestra las diferentes acumulaciones de conchas en mares epicontinentales, los principales factores que las controlan y su distribución sobre un perfil del fondo marino que tiene en cuenta el nivel base de las olas en tiempo de calma y en tiempo de tormenta; por ejemplo, la tempestita proximal o concentración de conchas por flujo de tormenta proximal se origina entre el nivel base del oleaje en tiempo de calma y el nivel base en tiempo de tormenta. Para establecer los diferentes colores de la roca en muestras húmedas o secas se comparó con la carta de colores de The Geological Society of America (1995).

Para evitar confusiones con el término *mudstone*, empleado de diferente forma y significado en la literatura sobre rocas sedimentarias (p. e., Dunham 1962; Folk 1954; Folk 1974, 27-32; Boggs 2009, 194-195; Lazar et al. 2015, 230-232), se utilizó el sistema de clasificación para rocas de textura fina de Lazar et al. (2015), con el propósito de aclarar dicho término, cuando se consideró necesario; por ejemplo, en la descripción del segmento 2 de la Formación Salada, en la sección estratigráfica por la quebrada Aguablanca, se habla de *Mudstone* calcáreo (micrita) de color negro (N1), arcilloso; en este caso se precisa el término *mudstone*, indicando entre paréntesis su equivalencia con la clasificación de calizas de Folk (1962) y agregando el sufijo calcáreo utilizado en el sistema de Lazar et al. (2015) para referirse a una roca sedimentaria fino-granular de composición predominantemente calcárea con algún componente terrígeno adicional, indicado por el término arcilloso.

Para las rocas sedimentarias con mezcla de partículas detríticas terrígenas y componentes autigénicos silíceos y calcáreos, se empleó la clasificación general de rocas sedimentarias de Williams, Turner y Gilbert (1954), que utiliza términos no considerados por otros sistemas de clasificación, como *chert*, *chert* calcáreo, porcelanita, caliza silícea, caliza arcillosa, arcillolita silícea, etc., útiles y prácticos para la descripción petrográfica, tanto macroscópicamente, en el campo, como microscópicamente, bajo el microscopio petrográfico. La expresión rico(a) en materia orgánica se refiere a una roca sedimentaria fino-granular, con predominio de constituyentes

menores a 62 μm o de textura limo o inferior, color oscuro (tono entre negro o gris oscuro y marrón oscuro), con un contenido de materia orgánica mayor del 1% en volumen, de composición terrígena, calcárea o mixta, finamente laminada o maciza. Este tipo de rocas ha sido ampliamente estudiado por su interés económico; descripciones de estas rocas se pueden consultar en Tourtelot (1979), Huyck (1989), Potter, Maynard y Depetris (2005) y Schieber (2003), entre otros. Las micritas y biomicritas con foraminíferos planctónicos (dominantes en las Formaciones Salada y Galembó), de coloración oscura, con materia orgánica > 1%, de textura entre *mudstone* y *packstone*, se consideran rocas ricas en materia orgánica.

Se efectuaron tomas de muestras para petrografía distanciadas estratigráficamente entre 5 y 20 m; el muestreo para paleontología fue sistemático, capa a capa; las muestras fueron georreferenciadas y localizadas sobre el dibujo de la respectiva columna estratigráfica. Básicamente se tomaron muestras para análisis microscópico de sección delgada, micropaleontología (palinología o foraminíferos) y macropaleontología (lamelibranquios y amonitas, especialmente). Las secciones delgadas se utilizaron para complementar y afinar la descripción macroscópica realizada en el campo, y no con el propósito de realizar un estudio petrográfico en el sentido estricto de la palabra.

Los análisis petrográficos presentaron limitaciones por el contenido alto de materia orgánica en varias muestras, especialmente de las Formaciones Salada y Galembó; rocas con contenidos de 5% o más de materia orgánica se consideran excepcionalmente ricas en materia orgánica (cf. *black shale* en Neuendorf, Mehl y Jackson 2011, 72), como es el caso de muchas de las muestras de las Formaciones Salada y Galembó. En el microscopio petrográfico, y en nicoles paralelos, la materia orgánica se observa de color negro o en distintas gamas de color marrón; el color negro se debe a que la materia orgánica está presente como una sustancia opaca, que no trasmite la luz, mientras que los tonos marrón se deben al paso parcial de la luz, porque su comportamiento óptico es el de un mineral subtranslúcido. En nicoles cruzados se aprecia totalmente extinguida, bien sea porque está como un material opaco o porque en su forma subtranslúcida se comporta ópticamente como una sustancia isotrópica no cristalina. En el área de estudio, la materia orgánica de las Formaciones Salada, Pujamana y Galembó habitualmente se encuentra mezclada o finamente diseminada con el lodo calcáreo micrítico, o con los minerales arcillosos que constituyen el soporte de la roca sedimentaria fino-granular, lo cual dificultó la diferenciación de estos constituyentes; por consiguiente, es posible que haya habido sobrestimación de los porcentajes de materia orgánica en algunas de las muestras analizadas. Con el método de Folk (1987) se identificó en el microscopio petrográfico tanto la materia orgánica opaca como la materia orgánica subtranslúcida, con base en los criterios de color antes expuestos.

Todas las figuras del texto con referencias de sitios geográficos tienen sus respectivas coordenadas planas de Gauss-Krüger, con origen Bogotá (cf. Sánchez 2004), la altura topo-

gráfica en metros sobre el nivel del mar y la dirección de toma de la fotografía en azimut, información abreviada de la siguiente manera, tomando como ejemplo el texto de la **fig. 3**: “Segmento 5; *wackestone* de color negro con grandes concreciones de forma lenticular de tamaño métrico; la sucesión está invertida; Formación Salada, m44,0-m50,0 (N:1.279.307, E:1.084.367, Z:332, Az:70°)”, donde N es la coordenada norte, E es la coordenada oriental, Z es la altura topográfica, y Az es la dirección, desde el punto de toma de la fotografía.

AGRADECIMIENTOS

Al director general del Servicio Geológico Colombiano, Ing. Oscar Paredes Zapata, y sus colaboradores, que apoyaron decididamente la realización de este trabajo. Al Dr. Fernando Etayo-Serna, director técnico del proyecto, quien efectuó las determinaciones paleontológicas, el marco bioestratigráfico y estuvo atento a las revisiones y sugerencias al manuscrito. Al geólogo José E. Arenas, que colaboró en el levantamiento de la sección estratigráfica en la hacienda Montebello. Al geólogo Adrián Pérez A., que realizó el muestreo petrográfico y geoquímico de la sección estratigráfica en la quebrada Aguablanca. Al Dr. Rubén Llinás, por los análisis petrográficos y los consejos útiles para la identificación de componentes terrígenos y calcáreos de tamaño fino-granular en secciones delgadas. Al señor Miguel Vargas del laboratorio Químico del Servicio Geológico Colombiano, por la elaboración de las secciones delgadas. A las autoridades locales y comunidades de los municipios de Betulia, Girón, Zapatoca, Los Santos, San Vicente de Chucurí y Lebrija, que permitieron la ejecución de las labores de campo. Las ilustraciones y fotografías fueron realizadas por el autor.

HISTORIA DE LA NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA

Formación La Luna *sensu* Morales y The Colombian Petroleum Industry 1958

Wheeler (1929, 7-11), en un reporte interno de la compañía Imperial Oil Ltd., describe la geología del costado oriental de la antigua concesión petrolífera De Mares, localizada en la cuenca alta del río Sogamoso, que incluye la zona de El Tablazo y sus alrededores, y el recientemente construido embalse de Hidrosogamoso. Del Cretácico superior, Wheeler define de base a techo a las Formaciones *Salada Limy Shales*, *Pujamana Shale* y *Galebo Limestone*, que representan lo que en la actualidad se conoce como “Formación La Luna” de Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958, 653-655).

Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958) estandarizan la nomenclatura estratigráfica utilizada por la industria del petróleo en el Valle Medio del Magdalena (VMM) e introducen la expresión “Formación La Luna”. Dicha formación estaría conformada por las Formaciones Salada, Pujamana y Galebo de Wheeler (*op. cit.*), pero con la categoría de miembros; señalan que el nombre es tomado de la localidad tipo del distrito de Perijá, en Venezuela, en el sentido de Hedberg y Sass (1937),

porque la litología es muy similar en Colombia, razón por la cual decidieron retener el nombre, y con ello demostrar “la notable extensión regional de la formación”. Su uso desde entonces ha continuado y es ampliamente aceptada por el gremio geológico.

Scherer, Savian y Peraza (2005, 69-70) hacen varios cuestionamientos a la Formación La Luna de Venezuela, respecto a la ubicación geográfica del estratotipo de la formación y de sus miembros constituyentes, así como de sus ambientes de acumulación y litofacies. El estratotipo formacional en la quebrada La Luna, al oeste de Villa del Rosario (estado de Zulia), mencionado en tres líneas por Garner (1926) con el nombre de *La Luna Limestone* y definido posteriormente por Hedberg y Sass (1937), indica un ambiente de deposición predominantemente anóxico, con aguas marinas de poca circulación y de profundidades que varían entre 100 y 800 m (según la microfaua) y de 100 a 200 m (según las amonitas), indica Scherer, Savian y Peraza (2005). Los miembros constitutivos de la unidad, de base a techo La Aguada, Chejendé y Timbetes, definidos por Renz (1959, 20-24), tienen sus estratotipos a unos 250 km al oriente del estrato tipo formacional (estados de Trujillo y Lara), en facies marinas de menor profundidad y de circulación abierta, con unos pocos episodios anóxicos; con excepción de la ciclicidad y de las concreciones típicas de la formación, estos estratotipos tienen aspectos muy diferentes de los de la sección tipo formacional (Scherer, Savian y Peraza 2005).

Erlich et al. (1999, figs. 3-5) publican dos “secciones cronoestratigráficas regionales” de los alrededores de la cuenca petrolífera de Maracaibo, en Venezuela, que abarcan el lapso Albiano-Maastrichtiano, una en sentido N-S (en el borde oriental de la sierra de Perijá), y otra en sentido SW-NE (sobre los Andes de Mérida), donde se puede apreciar la complejidad estratigráfica de la Formación La Luna, ya que muestran frecuentes cambios laterales de facies, límites variables en el tiempo como unidad litoestratigráfica (desde Albiano tardío hasta Maastrichtiano temprano), y diversa nomenclatura estratigráfica a nivel de miembros litológicos.

Como consecuencia de la información mencionada, es evidente que el argumento de Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958), de “la notable extensión regional de la formación La Luna”, por el cual introdujo la unidad desde Venezuela al VMM, no es aplicable en Colombia, **y por lo tanto, se propone su abandono**; en su lugar, se recomienda reestablecer la nomenclatura formacional de Wheeler (1929), es decir, las Formaciones Salada, Pujamana y Galebo, en orden estratigráfico ascendente. De hecho, hasta el mismo Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958, 653) aceptan que la Formación La Luna de Venezuela es distinta a la de Colombia, cuando afirma que “*However, in Colombia, the formation can be subdivided into three members the Salada, Pujamana and Galebo*”. Además, está totalmente justificado el rango de formación para las unidades Salada, Pujamana y Galebo, pues han sido ampliamente reconocidas y cartografiadas, tanto en superficie como en el subsuelo, en todo el VMM, es decir, mucho más allá de sus localidades tipo en el sector de El Tablazo y sus alrededores (Taborada 1965; Ward et al. 1973; Maughan et al. 1979; Ballesteros et al. 2013; Galvis et al. 2014; Moreno-Sánchez 2019).

Formaciones Salada, Pujamana y Galembo (Wheeler 1929)

Como ya se indicó, fue Wheeler (1929, 7-11) quien propuso las Formaciones Salada, Pujamana y Galembo para la antigua concesión De Mares del VMM, en la cuenca alta del río Sogamoso, en el sector de El Tablazo y sus alrededores; corresponden a las tres unidades superiores de la sucesión cretácica que él denominó *Palmira Series* (hoy en desuso), es decir, al *Salada Limy Shales, Pujamana Shale y Galembo Limestone*.

Formación Salada

Wheeler (1929, 7-8), ubica estratigráficamente la Formación Salada por encima de los *shales* del *Tablazo Pasture*, equivalente al *Simití Shale* o Formación Simití de Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958), con un espesor relativamente delgado, de 50 m. Los afloramientos representativos de la unidad se localizan sobre la ribera norte del río Sogamoso, enfrente de la desembocadura de la quebrada La Salada, indica Wheeler (1929). Este sector fue estudiado en el presente trabajo.

Wheeler (1929) hace la siguiente descripción de la Formación Salada:

This formation is quite distinctive from other parts of the Palmira series. It is composed of hard, black, thin bedded, finely laminated-limy shales that appears very much like slates on outcrop. Individual beds range from less than an inch to 2 or 3 inches thickness. There are two or three beds of black fine textured limestone in the formation. Two outstanding characteristics in the Salada Formation that were not noted in the underlying part of the Palmira section were the presence of concretions and streaks of pyrite, often mixed with limestone, and a strong bituminous odor yielded by the rocks when freshly broken open. The concretions of pyrite were sometimes practically pure; others were intimately mixed with concretions of limestone or formed the nucleus of limestone concretions. They are elliptical in cross section and usually around 5" to 6" in their greatest dimension. The bituminous odor noted from the freshly broken rock, if present in any of the underlying formations is exceptional, since it was expected and looked for not but not found in any instance lower in the section. No fossils were seen in any of the Salada beds, although it is probable that microfossils are abundant (*sic*).

En el subsuelo (Taborda 1965, 132, antigua Concesión De Mares del VMM), el *shale* de la Formación Salada es muy calcáreo y contiene capas delgadas de caliza arcillosa; es muy duro y de color marrón oscuro a gris parduzco o negro, con fracturas rellenas con calcita; el espesor reportado por Taborda (1965) varía entre 350' (107 m) y 430' (131 m); el contacto con la unidad suprayacente (Formación Pujamana) lo describe como conforme y gradacional.

La expresión topográfica de la Formación Salada es de escarpes bajos sobre la ribera norte del río Sogamoso (Wheeler 1929).

En la publicación de Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958, 649, en el aparte *Standard Nomenclature*, fig. 6), el término *Salada* aparece con rango de miembro litoestratigráfico y se encuentra ubicado en la base de la "Formación La Luna"; además, correlacionan el Salada de la Concesión De Mares (= Formación Salada de Wheeler) con la Caliza Salto (*Salto Limestone*) más el Miembro Salada de la "Formación La Luna"; sin embargo, Julivert (1968, 424) indica que "no hay que interpretar esta figura en el sentido de pensar que la Caliza Salto formara la parte inferior del Salada de Ecopetrol, sino que como indican Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958, 653), esta caliza no ha sido reconocida hasta ahora en el área de la concesión De Mares, explotada por Ecopetrol". En los trabajos de estratigrafía (véase la sección estratigráfica por la quebrada Aguablanca) y de cartografía geológica detallada elaborados para el presente estudio (véase el mapa geológico de Moreno-Sánchez 2019) se demostró la presencia de la Formación El Salto, de aspecto litológico muy característico y completamente diferente al de la Formación Salada que le suprayace.

En el trabajo de compilación estratigráfica publicado por Macellari (1988, 385, 391, figs. 10 y 15) se postula una inconformidad entre la Formación El Salto y la suprayacente Formación Salada en la cuenca del VMM, entre lo que él denomina *ciclos deposicionales 3 y 4*.

Formación Pujamana

De acuerdo con Wheeler (1929, 8-9), la Formación Pujamana aflora en el valle de la quebrada Pujamana y ocupa la parte intermedia entre los *shales* calcáreos de la Formación Salada y la caliza de la Formación Galembo. Wheeler señala que se conoce poco de esta formación y que solo se han visto unos pocos cientos de pies de la parte inferior de la unidad; aflora en colinas bajas al lado oriental del río Sogamoso, donde consiste de *black thin bedded calcareous shale*. Esta misma localidad se estudió en la presente investigación.

Según Taborda (1965, 133), en el subsuelo esta unidad consiste casi completamente de *shale* no calcáreo a levemente calcáreo, delgadamente estratificado, de color gris a gris parduzco, fósil, con abundantes escamas y fragmentos de huesos de peces sobre los planos de estratificación, así como fragmentos de pelecípodos y otros fragmentos de conchas; ocasionalmente, se encuentran capas delgadas de areniscas grises de textura muy fina; en la parte inferior de la formación se han visto estructuras similares a *varves*; el espesor reportado para la Formación Pujamana varía entre 700' (214 m) y 770' (235 m); Taborda (1965) describe el contacto con la unidad suprayacente (Formación Galembo) como gradacional.

En la publicación de Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958) aparece la expresión *Pujamana* con jerarquía de miembro litoestratigráfico, y lo sitúan en la parte media de la “Formación La Luna”.

Formación Galembo

Wheeler (1929, 9-11) indica que el Galembo representa la formación más alta de la denominada *Palmira Series*, con 182 m de espesor; los afloramientos característicos están en el filo o cuchilla del Galembo y al costado occidental de la quebrada Pujamana, cerca de su desembocadura en el río Sogamoso. La cuchilla del Galembo también se exploró para el presente estudio.

The Galembo is predominantly a limestone formation. There are many shale or limy shale breaks but most of these are so thin that they amount to more partings. The limestones are hard, black, (thin bedded), thinly laminated, fine textured, bituminous, occasionally shaly, and commonly occur in beds 4 to 6 inches thick separated by thin or minute shale partings. This rhythmic type of bedding is distinctly characteristic of the formation in the Sogamoso area. Thin layers of regularly or irregularly bedded black chert are common throughout the formation, but are apparently more abundant low in the section. Like the rocks of the Salada formation, these limestones yield a distinct odor of oil when freshly broken. Concretions of limestone usually several inches long are common... There is a fossils fish horizon 125' below the top of the formation that is remarkably persistent from the Sogamoso to at least the upper Colorado river and which is highly characteristic of the upper Galembo (*sic*). (Wheeler 1929).

Taborda (1965, 133) indica que en el subsuelo la Formación Galembo consiste de una proporción variable de: 1. Caliza arcillosa, marrón oscuro, con cristales de calcita diseminados, delgadamente estratificada en parte, con muescas por disolución sobre las superficies de estratificación y escamas de peces de color azul; y 2. *Shale* marrón oscuro a negro, calcáreo, delgadamente estratificado, con cristales finos de calcita diseminados sobre los planos de estratificación. Presenta fracturas rellenas con calcita, que varían desde una fracción de milímetro hasta 5 mm de ancho; localmente abundan escamas de peces y fragmentos de huesos, y se encuentran algunas capas delgadas de *chert* negro. El espesor de la unidad reportado por Taborda (1965) en el área del Llanito es de 900' (275 m); el pozo Llanito No. 4, muestra claramente la existencia de un contacto abrupto con la suprayacente Formación Umir.

Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958) emplean el término *Galembo* con categoría de miembro litoestratigráfico, y lo localizan en la parte superior de la “Formación La Luna”.

Las Formaciones Salada, Pujamana y Galembo fueron reconocidas por Wheeler (1929) y Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958) en el costado oriental de la Concepción De Mares, desde el río Cascajales (hoy en día río Vergeliano, al sur del municipio de Carmen de Chucurí, plan-

cha IGAC 135-San Gil a escala 1:100.00) hasta la cuenca alta del río Sogamoso (hoy conocido como caserío El Tablazo y sus alrededores, que incluye la confluencia de los ríos Chucurí y Sogamoso, el filo del Galembo y el curso inferior de las quebradas Aguablanca, Pujamanes y Azufrada).

Julivert (1958, 12, fig. 2) también diferencia estratigráficamente y cartográficamente las Formaciones Salada, Pujamana y Galembo, en el río Sogamoso. En ese mismo sector, el Servicio Geológico Colombiano (antiguo Ingeominas), en la década de los años setenta realizó la cartografía geológica del cuadrángulo H-12, Bucaramanga (Ward et al. 1973; 1977), y la exploración de roca fosfórica en el Cretácico superior, equivalente a la “Formación La Luna” (Maughan et al. 1979), logrando reconocer las tres formaciones (en ese tiempo, *miembros*). No obstante, su separación en algunas áreas fue difícil debido a inconformidades de bajo ángulo, cambios de facies e interdigitación entre ellos (p. e., Maughan et al. 1979, 29).

En el presente trabajo se diferenciaron las tres formaciones, porque tienen características litológicas, expresiones morfológicas y posiciones estratigráficas claras, que permiten separarlas de las unidades infrayacentes y suprayacentes.

Las dudas que se han presentado acerca de las localidades tipo de las Formaciones Salada y Pujamana son válidas (p. e., Maughan et al. 1979; Bernal, 2009), ya que para la Formación Salada se menciona la quebrada La Salada (véase Wheeler 1929, 8; Morales y The Colombian Petroleum Industry 1958, 653), que no aparece en los mapas topográficos del IGAC de los años 1954 y 1975; tampoco aparece en el *Diccionario Geográfico de Colombia* (IGAC 2015) en lo concerniente a la región de El Tablazo y sus alrededores, y tampoco en un mapa antiguo de la Oficina Nacional de Minas con solicitudes de áreas para explotación de hidrocarburos de la cuenca media y baja del río Sogamoso, de principios del siglo XX (Perry 1923).

Respecto a la Formación Pujamana, se cita como localidad tipo el valle de la quebrada Pujamana (véase Wheeler 1929, 8; Morales y The Colombian Petroleum Industry 1958, 654); sin embargo, la citada quebrada aparece con distintos nombres en la base topográfica del IGAC a escala 1:25.000 (120-I-B): en las cabeceras figura como Pujamanes, en la parte media como Guapuchera o Pujama, y en la parte baja como Pujamán, pero no aparece la quebrada Pujamana, lo cual puede generar confusión. Se deduce de Wheeler (1929) y Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958) que la quebrada Pujamana es la misma Pujamanes, Pujama o Pujamán que aparece en la toponimia del IGAC.

Con el llenado del embalse del río Sogamoso fueron cubiertas las secciones tipo de las Formaciones Salada, Pujamana y Galembo, por lo cual será necesario establecer neoestratotipos para estas unidades.

Tabla 1. Nomenclatura estratigráfica para el Cretácico superior en el proyecto Hidrosogamoso

Edad (M.a) - Piso ICS chart/2016	Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958) - VMM	Hidrosogamoso (2019)
66,0		FORMACIÓN UMIR
72,1		
CAMPANIANO	UMIR SHALE	FORMACIÓN LA RENTA
83,6		
SANTONIANO		
86,3		
CONIACIANO	LA LUNA FORMATION	FORMACIÓN GALEMBO
89,8		
TURONIANO	GALEMBO MEMBER	FORMACIÓN PUJAMANA
93,9		
	PUJAMANA MEMBER	FORMACIÓN SALADA
	SALADA MEMBER	
CENOMANIANO	SALTO LIMESTONE	FORMACIÓN EL SALTO
100,5		
ALBIANO	SIMITI SHALE	FORMACIÓN SIMITÍ
112,2		FORMACIÓN TABLAZO

Nota: La edad numérica en los límites de los pisos se tomó de la Carta Estratigráfica Internacional de la Comisión Internacional de Estratigrafía, elaborada por Cohen et al. (2013, actualizada al 2016). Los polígonos con líneas diagonales corresponden a faltantes (gaps) en el registro estratigráfico.

En la **tabla 1** se muestra la nomenclatura estratigráfica establecida para el Cretácico superior en el proyecto Hidrosogamoso. Más adelante se discutirá sobre la necesidad de establecer una nueva unidad litoestratigráfica con rango de formación en la parte alta de la Formación Galembó, donde son frecuentes niveles de *chert* o porcelanitas, foraminíferos bentónicos y capas de fosforita potencialmente explotables; esta nueva unidad se denominará *Formación La Renta*.

DESCRIPCIÓN LITOESTRATIGRÁFICA POR LA QUEBRADA AGUABLANCA

En la quebrada Aguablanca se levantaron las Formaciones Salada, Pujamana Galembó y La Renta, la infrayacente Formación El Salto y las capas basales de la suprayacente Formación Umir. Los puntos de inicio y finalización de la sección Aguablanca son N:1.279.300, E:1.084.440, Z:400 y N:1.279.727, E:1.084.198, Z:388 (**fig. 1**). La descripción de esta sección estratigráfica se hará de base a techo, con base en segmentos estratigráficos.

Formación El Salto

La sección estratigráfica por la quebrada Aguablanca inicia con la Formación El Salto, en las coordenadas N:1.279.300, E:1.084.440, Z:400, plancha IGAC 120-I-B a escala 1:25.000.

Formación El Salto (m0,0-m7,2). *Wackestone* (biomicrita rala) de bivalvos, de color gris parduzco (5YR 4/1), en capas gruesas y muy gruesas (1-2 m de espesor), de aspecto macizo, tabulares, con 30-35% de fragmentos de 2-6 cm de diámetro de conchas de bivalvos (p. e., *Rhyncostreon* sp.), embebidas en una matriz compuesta por micrita y fragmentos de bivalvos de menor tamaño (entre 1-3 mm de diámetro), con bordes desgastados, flotantes y orientadas paralelamente a la estratificación (**láms. 1/A, 1/B, tabla 2**; muestras RT-5467 y RT-5468). Corresponde a una acumulación de conchas por olas en tiempo de calma (*sensu* Fürsich 1995); este tipo de acumulaciones se producen en zonas costeras de playa y anteplaya por encima del nivel normal de acción del oleaje. No presenta buena exposición, por lo cual su límite inferior (con la Formación Simití) y su límite superior (con la Formación Salada) no son visibles. La expresión morfológica de la Formación El Salto en el área corresponde a un escarpe poco acentuado de baja altitud (**fig. 2**).

Formación Salada

Inicia en las coordenadas N:1.279.304, E:1.084.429, Z:382, plancha IGAC 120-I-B a escala 1:25.000.

Segmento 1 (m7,2-m24,5). Cubierto por suelo con derrubios de *mudstone* calcáreo (micrita) similar al del segmento 2. **Segmento 2 (m24,5-m34,0).** *Mudstone* calcáreo (micrita) de color negro (N1), arcilloso, rico en materia orgánica (>1%), deleznable, bien estratificado y laminado, en capas

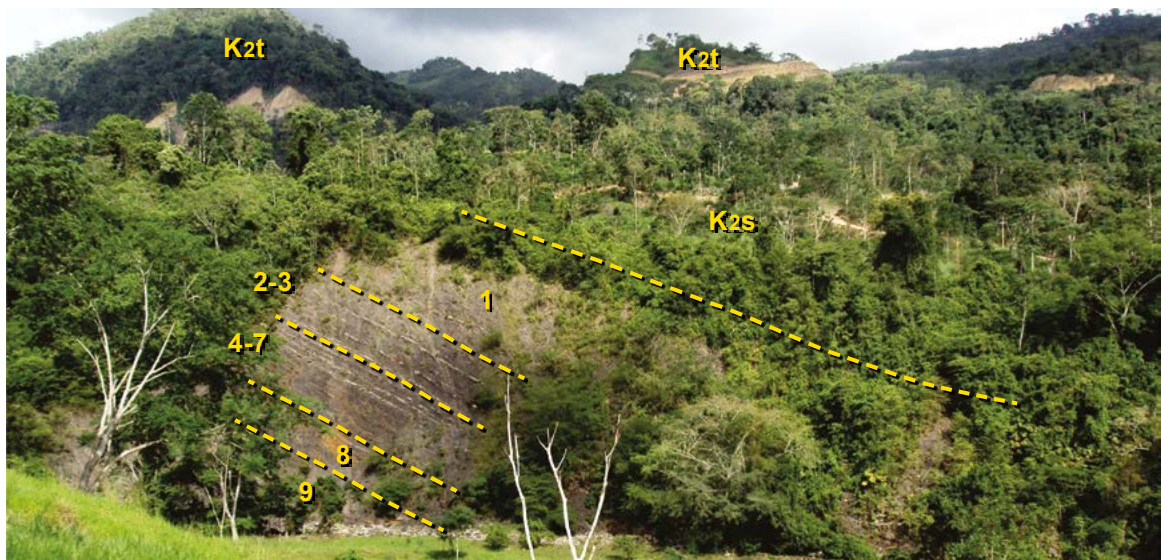


Figura 2. Panorámica de la Formación Salada en la quebrada Aguablanca (la sucesión está invertida). Se destacan niveles de concreciones métricas en la parte inferior de la unidad (segmentos 2-3 y 4-7); los escarpes más acentuados (en la fotografía, arriba) los genera la Formación Tablazo (K_2t); el escarpe intermedio poco pronunciado de baja altitud corresponde a la expresión morfológica de la Formación El Salto (K_{2s}) (N:1.279.343, E:1.084.174, Z:392, Az: 83°). Los números en la fotografía representan los segmentos estratigráficos 1, 2 a 3, 4 a 7, 8 y 9.

delgadas y láminas delgadas a medianas de forma plana paralela continua. Entre m26,5 y m32,0 es conspicua la aparición de un nivel de concreciones centimétricas a métricas (desde 16×13 cm hasta más de $0,3 \times 5,0$ m de sección transversal), de color negro parduzco y gris parduzco (5YR 2/1, 5YR 4/1), micríticas, de forma ovoide, elíptica, esférica o en forma de lentes alargados (**fig. 2**).

Segmento 3 (m34,0-m39,5). *Mudstone* terrígeno (lodolita) de color negro (N1), rico en materia orgánica, calcáreo, blando, en capas delgadas y láminas delgadas a medianas de forma plana paralela discontinua (**fig. 2**). En el m35,5 aparece una concreción lenticular de $0,4 \times 2,0$ m, micrítica, de color negro parduzco y gris parduzco (5YR 2/1, 5YR 4/1).

Segmento 4 (m39,5-m43,5). *Wackestone* (biomicrita rala) de foraminíferos planctónicos (20-25% del volumen total de la roca), color negro parduzco (5YR 2/1), terrígeno (arcilloso y arenoso), rico en materia orgánica, duro, en capas delgadas y láminas entre muy delgadas y medianas de forma plana paralela, continua y discontinua (**fig. 2**, lám. 1/C; muestra RT-5466). En la parte inferior (m40,2) se destaca una concreción de forma bastante elongada, de $0,4 \times 5,0$ m, de micrita de color negro a gris parduzco (5YR 2/1, 5YR 4/1); en la parte superior (m42,0-m43,5) abundan concreciones elipsoidales y esféricas, centimétricas (desde 15×5 cm hasta 20×44 cm de sección transversal), de micrita de color gris oscuro (N3) con abundante pirita.

Segmento 5 (m43,5-m53,0). *Wackestone* (biomicrita rala) de foraminíferos planctónicos (20-40%), arcilloso, rico en materia orgánica, de color negro parduzco a negro grisáceo (5YR 2/1-N2), bien laminado, en capas y láminas delgadas de forma plana paralela continua (**fig. 2**, láms. 1/D, 1/E, tabla 2; muestra RT-5469), partición hojosa. En la parte superior (m51,2-m53,0), la roca es más dura que en el resto del seg-

mento; el m51,2 presenta lentes de pirita de 40 cm de largo \times 1 cm de espesor espaciados cada 20 cm; entre el m50,0-51,2 y el m52,5 aparecen niveles de concreciones elipsoidales de micrita, ricas en pirita, de color gris medio (N5), centimétricas (de 2×10 cm o 5×6 cm hasta 4×23 cm o 9×36 cm de sección transversal). En la parte media (m49,7) aparece un nivel de pirita alterada de 5 cm de espesor con apariencia nodular. En la base (m43,5-m46,5) se encuentran concreciones métricas (de $0,7 \times 3,2$ m y de $0,5 \times 2,3$ m de sección transversal, **fig. 3**), de forma lenticular, compuestas por micrita de color gris parduzco (5YR 4/1). Entre las concreciones aparecen dos capas de *wackestone* (biomicrita rala) de foraminíferos planctónicos (20-25%), de color gris parduzco (5YR 4/1), tabulares, duras, laminadas, con espesores de 20 y 10 cm (m44,7 y m45,3, respectivamente).

Segmento 6 (m53,0-m56,2). *Mudstone* calcáreo (micrita) de color negro grisáceo (N2), rico en materia orgánica, duro, bien estratificado y laminado (**figs. 2 y 4**), en capas y láminas delgadas plano-paralelas continuas, partición hojosa. En la base (m53,0-m55,0) hay capas y láminas delgadas de pirita de forma lenticular de 3-20 mm de espesor.

Segmento 7 (m56,2-m69,5): *Wackestone* (biomicrita rala), de color negro grisáceo (N2), rico en materia orgánica, arcilloso, duro, con 20-25% de foraminíferos planctónicos, textura arena muy fina, bien estratificado y laminado (**fig. 2**, lám. 1/F; muestra APA-2787), en capas y láminas delgadas de forma plana paralela continua, partición hojosa. En la parte superior (m65,0-m68,0) e inferior (m56,2-m57,2) abundan concreciones centimétricas y decimétricas (tamaño variable entre 2×4 cm hasta 4×20 cm de sección transversal), de forma esférica y elipsoidal, compuestas por micrita de color gris medio (N5). En la base (m57,2) se destaca morfológicamente, por su resistencia a la erosión, una capa



Figura 3. Segmento 5; *wackestone* de color negro con grandes concreciones de forma lenticular de tamaño métrico; la sucesión está invertida; Formación Salada, m44,0-m50,0 (N:1.279.307, E:1.084.367, Z:332, Az:70°).

tabular de *wackestone* (biomicrita rala) de foraminíferos planctónicos (15-20%), de color negro grisáceo (5YR 2/1), de 30 cm de espesor, con láminas delgadas a medianas planas paralelas continuas (**fig. 5**). Entre m57,5 y m57,8 aparecen láminas delgadas, lenticulares (40 cm × 2 mm), de cuarzoarenita con textura muy fina, intercaladas en la biomicrita; encima, aparece una capa delgada (8 cm de espesor) de arcilolita de color gris medio oscuro (N4) en contacto neto. Las concreciones de la parte superior contienen restos de amonitas en volumen (muestra APA-2784, m67,6).



Figura 4. Segmentos 5 y 6; *wackestone* de color negro, rico en materia orgánica, con estratificación delgada plana paralela continua; la sucesión está invertida; Formación Salada, m50,0-m56,0 (N:1.279.390, E:1.084.391, Z:340, Az: 150°).

Segmento 8 (m69,5-m89,3). *Wackestone* (biomicrita rala) de foraminíferos planctónicos (10-35% del volumen total de la roca), de color negro grisáceo (N2), rico en materia orgánica, arcilloso, compacto, bien estratificado y laminado (**láms. 1/G, 1/H, tabla 2**; muestras APA-2788, APA-2790), partición hojosa, en capas y láminas delgadas, de forma plana paralela continua. En la parte superior (m87,5-m89,3) abundan concreciones micríticas con pirita, de color gris medio (N5), forma elipsoidal o



Figura 5. Base del segmento 7; estrato tabular de *wackestone* de coloración oscura con tonalidad marrón por meteorización, de 30 cm de espesor, que en la fotografía se destaca morfológicamente a la derecha; la sucesión está invertida; Formación Salada, m56,0-m59,0 (N:1.279.295, E:1.084.360, Z:332, Az:140°).

subesférica, tamaño centimétrico (desde 3 × 3 cm hasta 3 × 8 cm), así como impresiones de bivalvos (*Anomia* sp.); en el resto del segmento las concreciones son ocasionales a nivel de afloramiento. En la parte más alta del segmento (m77,1) aparece una intercalación de 30 cm de espesor de lodolita terrígena-calcárea de color negro grisáceo (N2), rica en materia orgánica, más blanda que la biomicrita. Entre m82,5 y m83,0 aparecen láminas delgadas lenticulares de pirita de 1-3 mm de espesor y de 4-6 m de longitud, separadas cada 5 a 15 cm estratigráficos.

Segmento 9 (m89,3-m100,2). En la base (m89,3-m94,8), dominio de *mudstone* terrígeno con carbonato de calcio (lodolita terrígena-calcárea), con un nivel intercalado de *wackestone* fosilífero (biomicrita rala) en m92,0-m93,7, rico en materia orgánica y arcilloso. Hacia el techo (m94,8-m100,2), predominio de calizas fosilíferas con textura *wackestone* y *mudstone*, arcillosas y ricas en materia orgánica, con un nivel de lodolita terrígena-calcárea intercalada (m96,4-m96,9). La roca es de color negro grisáceo (N2), en capas delgadas hasta gruesas, planas paralelas continuas y discontinuas; muestra láminas delgadas a medianas planas paralelas discontinuas. Los *wackestone* contienen 20-25% de foraminíferos planctónicos dispuestos paralelamente a la estratificación, conformando láminas delgadas discontinuas (**lám. 2/A**; muestra APA-2792).

Se presentan niveles de concreciones centimétricas, de sección transversal elíptica o subesférica, a veces esférica, compuestas por micrita, con dimensiones de 2 × 3 cm hasta 4 × 10 cm. Los *wackestone* de la parte más superior (m97,7-m100,2) son compactos y presentan mayor abundancia de concreciones que el resto del segmento. En las capas cuspidales (m99,0-m100,2) se encuentran impresiones de amonitas y de bivalvos (*Anomia* sp. e *Inoceramus* sp., muestra APA-2795).

Segmento 10 (m100,2-m125,0). Sucesión espesa de *mudstone* terrígeno (lodolita terrígena) de color negro grisáceo y gris oscuro (N2, N3), más bien compacto, rico en materia orgánica, bien estratificado y laminado (de forma plana paralela-



Figura 6. Segmento 10; lodolita terrígena alternando con lodolita terrígena levemente calcárea, de color negro, con estratificación delgada, plana paralela continua; la sucesión está invertida; Formación Salada, m110,0-m125,0 (N:1.279.437, E:1.084.396, Z:335, Az:62°).

la) (fig. 6, láms. 2/B, 2/C, tabla 2; muestra APA-2800), con partición hojosa. Las capas son delgadas y continuas, mientras que las láminas son medianas y discontinuas. Tanto en la parte inferior (m101,0-m101,8; m104,9-m109,0) como en la superior (m112,4-m115,3; m119,0-m125,0), las lodolitas terrígenas varían entre calcáreas y levemente calcáreas; las lodolitas de la base del segmento (m100,2-m101,0) presentan diaclasamiento en varias direcciones, con espaciamiento centimétrico. En la parte media del segmento (m109,0-m110,5) se intercala un nivel de caliza con textura *mudstone* (micrita) arcillosa, de color, estratificación y laminación similares a las lodolitas. En el m113,0-m114,0 y m124,0-m125,0 se encuentran láminas lenticulares de cuarzoarenita muy fina, de hasta 6 mm de espesor, espaciadas cada 2 o 4 cm.

Formación Pujamana

Inicia en las coordenadas N:1.279.513, E:1.084.347, Z:336, plancha IGAC 120-I-B a escala 1:25.000.

Segmento 1 (m125,0-m141,6). Suprayace al segmento 10 de la Formación Salada, en contacto concordante transicional rápido. Es un segmento siliciclástico (terrígeno), grano-creciente, que comienza con arcillolitas en la base (m125,0-m136,3), sigue con lodolitas (m136,3-m138,4), continúa con una alternancia de limolitas de cuarzo con cuarzoarenitas (m138,4-m140,3) y finaliza con cuarzoarenitas con cemento calcáreo (m140,3-m141,6). Las arcillolitas y lodolitas son de color negro grisáceo (N2), estratificadas en capas delgadas y láminas entre delgadas y medianas de forma plana paralela discontinua; las lodolitas presentan aproximadamente 1% de muscovita orientada paralelamente a la laminación de la roca. Las limolitas son cuarzosas y arenosas (40% de partículas de cuarzo con textura arena fina), de color gris oliva (5Y 4/1), en capas medianas a gruesas y láminas delgadas a medianas, levemente onduladas, no paralelas, discontinuas. Las cuarzoarenitas superiores (m140,3-m141,6) son de color gris oliva (5Y 4/1), con textura arena muy fina, arcillosas, con cemento calcáreo; se encuentran en capas entre medianas y

gruesas, con estratificación levemente ondulosa paralela discontinua y laminación interna, delgada a mediana, levemente ondulosa no paralela discontinua. Las cuarzoarenitas (lám. 2/D; muestra APA-2811) que alternan con las limolitas de cuarzo muestran estratificación y laminación similar a estas últimas. El cambio litológico es gradual entre las distintas litologías del segmento. En la base (m126,0) hay impresiones de amonitas en las arcillolitas (muestra APA-2833).

Segmento 2 (m141,6-m151,2). Segmento siliciclástico (terrígeno), grano-creciente, compuesto por arcillolitas (m141,6-m142,3), lodolitas (m142,3-m150,8) y limolitas (m150,8-m151,2) de color negro grisáceo y gris oscuro (N2, N3), en capas delgadas, planas paralelas, discontinuas. Las limolitas muestran laminación mediana levemente ondulosa no paralela discontinua, mientras que las arcillolitas y lodolitas exhiben laminación entre delgada y mediana, plana paralela discontinua, y son ricas en materia orgánica (láms. 2/E, 2/F, tabla 2; muestra APA-2813).

Segmento 3 (m151,2-m152,0). Lodolita terrígena de color negro grisáceo (N2), con estratificación y laminación plana paralela discontinua, en capas delgadas y láminas entre delgadas y medianas.

Segmento 4 (m152-m 153,5). Cubierto.

Segmento 5 (m153,5-m160,5). Sucesión terrígena, grano-creciente, con arcillolitas en la base (m153,5-m155,0) suprayacidas por lodolitas (m155,0-m158,6), ambas litologías de color negro grisáceo (N2), en capas delgadas y láminas entre delgadas y medianas, planas paralelas discontinuas. El techo del segmento está compuesto principalmente por cuarzoarenita (m158,6-m160,5), de color negro oliva (5Y 2/1), textura que varía de arena muy fina a limo grueso, arcillosa, calcárea, glauconítica, con hasta 2% de muscovita (láms. 2/G, 2/H, tabla 2; muestra APA-2815); la estratificación y laminación es ondulosa no paralela discontinua, y exhibe capas delgadas y láminas medianas, cuando no están destruidas por la bioperturbación; la base de estas cuarzoarenitas presenta diaclasas en varias direcciones, espaciadas centimétricamente.

Segmento 6 (m160,5-m172,0). Sucesión grano-creciente, mixta, terrígena y calcárea, compuesta de base a techo por *mudstone* terrígeno (arcillolitas, m160,5-m166,2; lodolitas, m166,2-m168,5), lodolitas terrígenas-calcáreas (m168,5-m171,5) y *wackestone* (biomicritas ralas) limosos (m171,5-m172,0). El paso de lodolita terrígena-calcárea a biomicrita limosa es gradual rápido. Las arcillolitas y lodolitas terrígenas son de color negro grisáceo (N2), en capas delgadas y láminas entre delgadas y medianas, planas paralelas discontinuas. Las lodolitas terrígenas-calcáreas son de color negro oliva (5Y 2/1), estratificadas en capas delgadas planas paralelas discontinuas, con laminación interna entre delgada y mediana, plana paralela discontinua (m168,5-m169,4), o levemente ondulosa no paralela discontinua (m169,4-m171,5), de tipo lenticular a

onduloso. Las calizas con textura *wackestone* son de color gris oliva (5Y 4/1), limosas (10,4% de partículas de cuarzo con textura de limo grueso), con laminación interna levemente ondulosa no paralela discontinua, destruida parcialmente por bioperturbación moderada a alta (lám. 3/A, tabla 2; muestra APA-2819), e impresiones de bivalvos (*Inoceramus* sp.). En el m170,0, entre las lodolitas terrígenas-calcáreas se intercala una capa delgada de caliza con textura *mudstone*, arenosa, de color negro oliva (5Y 2/1), de aspecto macizo y forma nodular.

Segmento 7 (m172,0-m174,0). Lodolita terrígena de color gris oscuro (N3), blanda, finamente laminada, en capas delgadas y láminas muy delgadas, planas paralelas discontinuas. En la parte media (m173,0) aparecen nódulos y capas nodulares de 4 cm de espesor de limolita ferruginosa.

Segmento 8 (m174,0-m180,3). Cubierto por derrubios.

Segmento 9 (m180,3-m181,5). Lodolita terrígena de color gris oscuro (N3), laminada, fracturada; en la base aparece una capa de 25 cm de espesor de caliza con textura *mudstone*, de color gris oscuro a negro grisáceo (N2-N3), duro, homogéneo; en sección delgada se aprecia con textura brechoide (lám. 3/C; muestra APA-2820).

Formación Galembó

Inicia en las coordenadas N:1.279.538, E:1.084.269, Z:340, plancha IGAC 120-I-B a escala 1:25.000.

Segmento 1 (m181,5-m183,0). Suprayace de forma concordante y neta al segmento 9 de la Formación Pujamana. Está constituido por *mudstone* calcáreo (micrita) de color negro grisáceo a negro parduzco (N2-5YR 2/1), fracturado (fracturas subparalelas y transversales a la estratificación, discontinuas, espaciadas centimétricamente, que dan aspecto brechoide a la roca).

Segmento 2 (m183,0-m198,2). *Wackestone* (biomicrita rala) de foraminíferos planctónicos (15-50%) con textura de arena fina, color negro grisáceo a gris parduzco (N2-5YR 2/1), rico en materia orgánica (lám. 3/D, tabla 2; muestra APA-2821), en capas medianas a gruesas y láminas delgadas a medianas, de forma plana paralela continua. Entre m188,5 y 188,8 la roca presenta aspecto nodular; hacia la parte superior (m196,5-m198,5) es levemente fosfático (<5%) y con menor contenido de materia orgánica (lám. 3/E; muestra APA-2822). Entre m183,0 y m186,5 la roca está fracturada. En m196,5 se intercala una capa de *chert* negro (N1) de 14 cm de espesor. Entre m186,5 y m198,2 se encuentran concreciones micríticas de color gris oscuro, gris medio oscuro o gris oliva (N3, N4, 5Y 4/1), de forma elipsoidal y esférica, las más abundantes de tamaño centimétrico (de 6 × 12 cm hasta 4 × 17 cm), y las de menor abundancia de tamaño métrico (desde 0,33 × 1,1 m hasta 0,7 × 1,5 m de sección transversal), estas últimas compuestas por *wackestone* internamente laminado, similar en textura al de la roca hospedante.

En estas concreciones son comunes restos de amonitas en volumen (muestras APA-2838, APA-2840).

Segmento 3 (m198,2-m217,5). *Mudstone* calcáreo (micrita) fosilífero, de color negro grisáceo a negro parduzco (N2-5YR 2/1), con 1-10% de foraminíferos planctónicos con textura que varía de arena muy fina a fina, rico en materia orgánica, bien estratificado; principalmente en capas delgadas y en menor proporción en capas medianas a gruesas (m200,0-m201,5), planas paralelas y continuas (fig. 7), con laminación interna entre delgada y mediana, plana paralela, continua y discontinua. Presenta concreciones subsféricas y elipsoidales, de tamaño centimétrico y decimétrico, primordialmente (desde 4 × 7 cm o 10 × 10 cm hasta 60 × 40 cm), y en menor proporción métricas (1,3 × 0,6 m), de composición micrítica y color que varía de negro a gris oliva (N1-5Y 4/1), sin fósiles. En la parte media del segmento (m206,0-m209,0) se intercala un nivel de calizas con textura *wackestone* (biomicrita rala) de foraminíferos planctónicos (25-30%) dispuestos en láminas delgadas, continuas y discontinuas, paralelas a la estratificación (láms. 3/F, 3/G, tabla 2; muestra APA-2823); el color es negro grisáceo a negro parduzco (N2-5YR 2/1), se presenta en capas delgadas, con laminación entre delgada y mediana, plana paralela continua bien desarrollada. En m213,0 aparece una capa delgada (de 10 cm de espesor) de *chert* negro de forma lenticular.



Figura 7. Techo del segmento 3, segmento 4 y base del segmento 5; calizas (*mudstone* con alternancias de *wackestone*) de color negro, ricas en materia orgánica, en capas delgadas, planas paralelas continuas; Formación Galembó, m213,5-m221,0 (N:1.279.579, E:1.084.268, Z:342, Az:334°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 8 × 15 cm.



Figura 8. Techo del segmento 3 y segmento 4; calizas de color negro con textura *mudstone* y *wackestone*, ricas en materia orgánica; el segmento 4 está fracturado y deformado a nivel decimétrico; Formación Galembó, m216,5-m219,5 (N:1.279.579, E:1.084.265, Z:341, Az:333°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 8 × 15 cm.

Segmento 4 (m217,5-m219,5). *Wackestone* (biomicrita rala) de foraminíferos planctónicos (25-30%), de color negro (N1) (figs. 7 y 8), fracturado y deformado a nivel decimétrico.

Segmento 5 (m219,5-m253,2). *Mudstone* calcáreo (micrita), de color negro grisáceo, negro parduzco o gris parduzco (N2, 5YR 2/1, 5YR 4/1), rico en materia orgánica, con 1-10% de foraminíferos planctónicos con textura de arena muy fina, dispuestos paralelamente a la laminación de la roca; se presenta en capas y láminas delgadas a medianas, planas paralelas, continuas y discontinuas (fig. 9). Son frecuentes las



Figura 9. Base del segmento 5; caliza negra con textura *mudstone*, rica en materia orgánica, en capas delgadas a medianas planas paralelas, continuas y discontinuas; Formación Galembó, m219,5-m224,0 (N:1.279.580, E:1.084.260, Z:343, Az:330°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 8 × 15 cm.

concreciones elipsoidales, y menos comunes las esféricas, de composición micrítica, color negro grisáceo y gris parduzco (N2, 5YR 4/1), duras, algunas con restos de amonitas, especialmente hacia la porción inferior del segmento (muestra RT-5474); el tamaño varía de centimétrico a decimétrico (desde 4 × 7 cm hasta 25 × 50 cm) (fig. 10); solo en m226,7 aparece una concreción métrica (1,6 × 0,45 m). En la parte alta del segmento (m248,0-m251,7), la roca está fracturada y plegada a nivel centimétrico y decimétrico.



Figura 10. Concreciones micríticas centimétricas, con sección elíptica, en la base del segmento 5; Formación Galembó, m225,5 (N:1.279.580, E:1.084.258, Z:343, Az:225°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 8 × 15 cm.

En la parte media (m235,0-m236,0, fig. 11) y superior (m245,0; m249,5-250,0) del segmento aparecen cinco intercalaciones delgadas (entre 3 y 13 cm de espesor) de arcillolita blanda, me-



Figura 11. Capas delgadas intercaladas de arcillolita (indicadas con flechas rojas), meteorizada, de color amarillento, en la porción superior del segmento 5; Formación Galembó, m234,5-m236,0 (N:1.279.598, E:1.084.260, Z:344, Az:230°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 8 × 15 cm.

teorizada, de color anaranjado muy pálido (10YR 8/2) o gris amarillento (5Y 7/2). Tanto en la base (m220,5-m226,0) como en el tramo intermedio (m236,0-m240,0) son comunes capas medianas y delgadas (desde 4 hasta 20 cm de espesor) de *chert* negro (N1), generalmente de forma lenticular (**fig. 12**).

En m228,8-m230,0; m232,3-m232,8; m234,5-m236,0; m242,5-m242,8 y m251,7-m252,0 se intercalan capas tabulares gruesas (de 33 a 50 cm de espesor) o juegos de tabulaciones delgadas de calizas ricas en materia orgánica con textura *wackestone* (biomicrita rala) con 16,8% o 34,4% de foraminíferos planctónicos, principalmente, con textura de arena fina (**láms. 3/H, 4/A, tabla 2**; muestras APA-2827 y APA-2830). La roca exhibe el mismo color, estratificación y laminación que el *mudstone* calcáreo que compone la mayoría de este segmento (**fig. 13**). En este segmento (m251,7-m252,0) se registra la primera aparición de foraminíferos bentónicos, que coexisten con foraminíferos planctónicos, con un 5% de los 34,4% de foraminíferos que contiene la muestra APA-2830 (véase **lám. 4/A, tabla 2**).

Segmento 6 (m253,2-m261,0). *Wackestone* (biomicrita rala) de color negro grisáceo, gris parduzco y negro oliva (5YR 2/1, 5YR 4/1, 5Y 2/1), rico en materia orgánica, con 15-30% de foraminíferos planctónicos con textura de arena fina, dispuestos en láminas delgadas a medianas, planas paralelas discontinuas (**lám. 4/B**; muestra APA-2831); se encuentra en



Figura 12. *Chert* negro de forma lenticular en la base del segmento 5; Formación Galembó, m224,0 (N:1.279.580, E:1.084.258, Z:343, Az:225°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 8 × 15 cm.



Figura 13. Capa gruesa de *wackestone* de foraminíferos planctónicos (identificada con el número 65), en la base del segmento 5; Formación Galembó, m231,5-m235,5 (N:1.279.595, E:1.084.260, Z:343, Az:240°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 8 × 15 cm.

capas delgadas y medianas, planas paralelas continuas (**fig. 14**). En el m258,9 aparece una capa delgada intercalada, de 10 cm de espesor, de limolita calcárea de color negro grisáceo (5YR 2/1), más blanda que la biomicrita. Hacia la parte alta del segmento (m259,0-m260,0) hay fracturamiento centimétrico y plegamiento decimétrico (**fig. 14**).

Segmento 7 (m261,0-m265,8). *Mudstone* calcáreo (micrita) fosilífero de color negro oliva y negro parduzco (5Y 2/1, 5YR 2/1), con 5-10% de foraminíferos planctónicos, rico en materia orgánica, en capas y láminas delgadas y medianas, planas paralelas discontinuas (**fig. 15**). En la parte más alta (m264,8-m265,8), la micrita es más blanda que en el resto del segmento. En la parte media (m262,2 y m263,0) se intercalan dos capas gruesas, de 50 y 30 cm de espesor, de caliza con textura *wackestone* (biomicrita rala), con 25-30% de foraminíferos planctónicos, separadas por una capa delgada de 10 cm de arcillolita negra (N1); encima de la capa de 30 cm aparece otra intercalación, pero de limolita calcárea negra (N1) (**fig. 16**).



Figura 14. Porción superior del segmento 6; *wackestone* de color negro con tonalidad clara por meteorización, en capas delgadas y medianas, planas paralelas continuas; en la fotografía, a la derecha la roca se observa fracturada centimétricamente y plegada decimétricamente; Formación Galembó, m257,0-m260,0 (N:1.279.632, E:1.084.429, Z:345, Az:345°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 8 × 15 cm.



Figura 15. Base del segmento 7 (m261,5); detalle de calizas negras con textura *mudstone* de tonalidad blanquecina por meteorización, fosilíferas, en capas delgadas de forma plana paralela discontinua; Formación Galembó (N:1.279.658, E:1.084.337, Z:348, Az:298°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 6 x 17 cm.



Figura 16. Base del segmento 7 (m263,0-m264,5) con *mudstone* calcáreo fracturado; en la parte central de la fotografía aparece una concreción micrítica de tamaño métrico, igualmente fracturada; Formación Galembó (N:1.279.654, E:1.084.353, Z:348, Az:329°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 6 x 17 cm.

Entre el m263,0 y el m264,5 aparece una concreción muy grande elipsoidal, de 1,1 x 3 m de sección transversal, compuesta por micrita de color negro oliva (5Y2/1) (**fig. 16**).

Segmento 8 (m265,8-m277,2). *Wackestone* (biomicrita rala) de color negro grisáceo, gris oliva y negro oliva (5YR 2/1, 5Y 4/1, 5Y 2/1) (**fig. 17**), de foraminíferos bentónicos (m275-m276,1 con 25-35%) o de foraminíferos planctónicos (m276,1-m277,2; m271-m274,9; m265,8-m267,8 con 15-35%), flotantes o dispuestos en láminas, en el soporte de lodo calcáreo que constituye la roca (**lám. 4/C**; muestra 2833A); la roca es rica en materia orgánica; presenta aproximadamente 10% de terrígenos de cuarzo con tamaño limo en la parte media del segmento (m271,0-m273,2). El segmento muestra estratificación mediana a gruesa en el techo (m275,0-m 277,2), delgada a mediana en la parte intermedia (m267,8-m275,0), y mediana en la base (m265,8-267,8); la forma de las capas y láminas es plana paralela, continua y discontinua.



Figura 17. Techo del segmento 8; *wackestone* de color negro (por meteorización presenta una pátina de coloración blanca) en capas delgadas y medianas, planas paralelas continuas; Formación Galembó, m272,0-m272,5 (N:1.279.675, E:1.084.276, Z:350, Az:298°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 6 x 17 cm.

En la parte inferior (m267,8-m271,3) se intercalan calizas con textura *mudstone* (micritas) de color negro oliva y gris oliva (5Y 2/1, 5Y 4/1), con abundantes concreciones micríticas, de tamaño decimétrico hasta métrico (desde 35 x 45 cm hasta 0,3 x 2,1 m), de forma lenticular (**fig. 18**), sin macrofósiles, duras, con fractura concoide, y un contenido de 10-15% de foraminíferos bentónicos. La micrita es más blanda que el *wackestone* suprayacente y presenta alto contenido de materia orgánica donde están las concreciones (m268,8-m271,3).

En la parte superior aparecen dos capas delgadas (10 cm de espesor cada una) de limolita calcárea (m273,1) y de limolita de cuarzo (m273,9); una capa mediana (20 cm de espesor) de caliza con textura *packstone* de foraminíferos planctónicos (50-60%), de color negro grisáceo (5YR 2/1), homogénea (m274,0), y una capa mediana (12 cm de espesor) de *chert* fosilífero de foraminíferos planctónicos con textura *wackestone*, de color negro (N1) en m276,8.



Figura 18. Parte inferior del segmento 8; concreción micrítica de tamaño métrico, de forma lenticular, hospedada en *mudstone* calcáreo negro rico en materia orgánica; Formación Galembó, m269,0 (N:1.279.678, E:1.084.270, Z:353, Az:270°). Escala: longitud del martillo = 28 cm.



Figura 19. Techo del segmento 8 (Formación Galembó) y base del segmento 9 (Formación La Renta); *wackestone* de color negro (con pátina de tonalidad clara por meteorización) en capas delgadas, planas paralelas continuas; se intercalan capas gruesas de fosforita (Fo) con textura *packstone* en la base de la Formación La Renta, m277,2-m283,0 (N:1.279.687, E:1.084.263, Z:358, Az:30°). Escala: espesor de la capa de fosforita (Fo) = 1,0 m.

A partir de este segmento inicia la Formación La Renta

Segmento 9 (m277,2-m288,5). *Wackestone* (biomicrita rala) de color negro parduzco (5YR 2/1), con 15-40% de foraminíferos planctónicos con textura de arena fina, flotantes en el lodo calcáreo que soporta la roca; entre m279,5 y m280,6 contiene 15-20% de foraminíferos planctónicos (textura de arena fina) y 5-10% de foraminíferos bentónicos (textura de arena mediana), orientados paralelamente a la estratificación; se presenta en capas delgadas y láminas delgadas a medianas, planas paralelas y continuas (**fig. 19**).

Se encuentran varias intercalaciones delgadas y medianas (de 6 hasta 20 cm) de calizas con textura *packstone* (bioesparita) entre m281,4-m 281,7 y m285,9-m286,5; dos capas de 25 y 40 cm de caliza fosfática con textura *packstone*, con 10-20% de aloquímicos fosfáticos, en m282,3 y m283,0; dos capas de 35 cm y 1,2 m de fosforita con textura *packstone* en m279,5 y m280,6, de aspecto homogéneo (**fig. 20**), y una capa de 16 cm



Figura 20. Segmento 9; capa gruesa de aspecto homogéneo, de fosforita con textura *packstone*, de color gris parduzco con pátina de tonalidad blanca por meteorización; Formación La Renta, m281,0 (N:1.279.692, E:1.084.256, Z:360, Az: 305°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 6 × 17 cm.

de caliza fosfática con textura *wackestone*, con 32,0% de aloquímicos fosfáticos constituidos por peloides, restos de peces (huesos y vértebras) y foraminíferos planctónicos y bentónicos (**láms. 4/D, 4/E, 4/F, tabla 2**; muestra APA-2838). Los aloquímicos de las fosforitas y de las calizas fosfáticas con textura *packstone* muestran buen calibrado, textura de arena fina y arena mediana, respectivamente, y en su mayoría corresponden a peloides, en el caso de las fosforitas, y a foraminíferos bentónicos y planctónicos, en el caso de las calizas fosfáticas con textura *packstone*; tanto las capas de fosforita como las capas fosfáticas de calizas con textura *packstone* y *wackestone* muestran bases netas y una textura mucho más gruesa (partículas fosfáticas y bioclastos entre 0,25-2 mm de diámetro) que contrasta significativamente con las capas de *wackestone* fosilífero de foraminíferos planctónicos y bentónicos en las que se intercalan (con tamaño de bioclastos entre 0,125-0,25 mm), lo cual se interpreta como resultado de la deposición rápida de peloides fosfáticos, foraminíferos y restos de peces, producto de olas de tormenta o flujos de tormen-



Figura 21. Segmento 9; tormentitas de peloides fosfáticos, foraminíferos y restos de peces, acumuladas por olas de tormenta o flujos de tormenta proximal, que dan origen a fosforitas con textura *packstone*; se evidencian dos eventos principales amalgamados de tormenta (1, 2); la base de la capa (línea roja punteada) fosiliza una superficie de erosión; Formación La Renta, m281,0 (N:1.279.692, E:1.084.256, Z:360, Az:335°). Escala: longitud del martillo = 28 cm.

ta proximal (concentraciones de conchas por olas de tormenta o tempestitas proximales, *sensu* Fürsich 1995) (**fig. 21**), lo que sugiere que la acumulación de estos sedimentos se dio sobre un fondo marino con profundidades que varían entre el nivel normal de acción de las olas y la base de las tormentas. Entre m283,4 y m284,6 aparece un paquete intercalado de caliza con textura *mudstone* (micrita), de color gris oliva (5Y 2/1), silíceo (con aproximadamente 25% de sílice).

En la parte superior del segmento (m284,6-m287,5) son comunes concreciones micríticas de color gris oliva (5Y 2/1), de forma ovoide, decimétricas (de 25 × 50 cm hasta 34 × 85 cm de sección transversal); justo encima del nivel de concreciones, en m287,5 y m288,3 aparecen capas delgadas lenticulares de 5 y 10 cm de espesor, respectivamente, de *chert* fosilífero de foraminíferos planctónicos de color negro (N1) con textura *wackestone*. En la base del segmento (m278,3) se intercala una capa mediana de 15 cm de espesor de limolita calcárea.

Segmento 10 (m288,5-m290,0). *Packstone* (biomicrita empaquetada) de foraminíferos planctónicos con variación textural a *wackestone* (biomicrita rala), de color negro parduzco (5YR 2/1), rico en materia orgánica, en capas delgadas, planas paralelas continuas, con laminación interna, delgada a mediana, plana paralela discontinua a levemente ondulosa no paralela discontinua (**láms. 4/G, 4/H, tabla 2**; muestra APA-2843). Bajo el microscopio se observa microbioperturbación leve (véase **lám. 4/G**, muestra APA-2843); la roca es dura. En la base del segmento (m288,5-m289,8) son comunes capas lenticulares delgadas (de 5 a 10 cm de espesor) de *chert* negro fosilífero de foraminíferos planctónicos con textura *packstone*.

Segmento 11 (m290,0-m300,0). *Wackestone* (biomicrita rala) de color negro grisáceo (N2), duro, con 10-40% de foraminíferos planctónicos con textura arena muy fina a fina, y hasta 1% de foraminíferos bentónicos (entre m292,4 y m298,0), en capas delgadas y medianas, planas paralelas con-

tinuas, con laminación interna, delgada a mediana, plana paralela discontinua, parcialmente destruida por bioperturbación moderada (**lám. 5/A**; muestra APA-2845). Entre m292,4 y m293,3 se intercalan capas gruesas y homogéneas de fosforita con textura *packstone* (capa de 29 cm de espesor), y de caliza con textura *packstone* de foraminíferos bentónicos (capa de 33 cm de espesor), separadas por un estrato de 28 cm de limolita de cuarzo; también aparece una capa delgada (10 cm de espesor en m292,0), de caliza con textura *packstone* de foraminíferos planctónicos, laminada internamente, así como una capa de lodolita (*mudstone* terrígeno) de color gris oscuro (N3), de 20 cm en m297,5. Ocasionalmente, en la base del segmento (m293,5) aparecen concreciones micríticas de forma ovoide y tamaño decimétrico (de 17 × 47 cm de sección transversal).

El techo del segmento, pero principalmente la base, presenta varias intercalaciones delgadas (de 5-7 cm de espesor) de forma lenticular, de *chert* negro (N1), fosilífero (con foraminíferos planctónicos) y textura *wackestone*.

Segmento 12 (m300,0-m322,2). *Mudstone* calcáreo (micrita) de color gris parduzco, negro parduzco o negro oliva (5YR 4/1, 5YR 2/1, 5Y 2/1), rico en materia orgánica, compacto, en capas delgadas y medianas de forma plana paralela continua (**fig. 22**), ocasionalmente discontinua (especialmente en la parte superior del segmento). Internamente las capas muestran laminación delgada a mediana, plana paralela discontinua (**lám. 5/B**; muestra APA-2846). En la base de la sucesión (m300,0-m301,5), la micrita está silicificada, por lo cual se encuentra endurecida. Presenta niveles intercalados de calizas con textura *wackestone* con 10-15% de foraminíferos bentónicos entre m310,5 y m311,4; con 33,2% de bioclastos (foraminíferos bentónicos) y ricos en materia orgánica (33,6%) entre m317,7-m318,2 (**lám. 5/C, tabla 2**; muestra APA-2848), o con 25-30% de foraminíferos bentónicos y 5% de peloides fosfáticos entre m318,8-m319,5. En el m318,2 aparece una capa delgada de 7 cm de espesor de arcillolita



Figura 22. Segmento 12; calizas con textura *mudstone*, de color gris parduzco y pátina marrón claro por meteorización, en capas delgadas y medianas plano-paralelas continuas; en el centro destaca una concreción elipsoidal micrítica de 30 × 90 cm; Formación La Renta, m305,0-m320,0 (N:1.279.676, E:1.084.222, Z:373, Az:215°). Escala: ancho del cauce de la quebrada = 1,5-2,0 m.

blanda de color amarillo oscuro (5Y 6/4). Adicionalmente se intercalan capas delgadas de arcillolita laminada (de 5 cm de espesor en m320,3) y de lodolita terrígena-calcárea laminada (de 10 y 13 cm de espesor en m315,7 y en m316,5, respectivamente). En los 3 m basales del segmento (m300,0-m303,0) se intercalan con frecuencia capas delgadas lenticulares de *chert* negro (N1) con espesores de 6 a 13 cm.

Según el contenido de aloquímicos es posible separar tres niveles de calizas con textura *mudstone*, que de base a techo son: **1)** Con 1% de restos de peces y 1-5% de foraminíferos planctónicos con textura de arena muy fina, entre m300,0 y m306,0; **2)** Con 2-5% de foraminíferos bentónicos entre m306,0 y m310,5; y **3)** Con 3-5% de foraminíferos bentónicos y 2-3% de peloides fosfáticos entre m315,0 y m 316,5.

En la parte baja de este segmento (m308,7) ocasionalmente se ven concreciones micríticas ovoides, de color gris parduzco (5YR 4/1) y tamaño centimétrico (30 × 70 cm de sección transversal).

Formación Umir

Inicia en las coordenadas N:1.279.642, E:1.084.211, Z:377, plancha IGAC 120-I-B a escala 1:25.000.

Base de la Formación Umir (m322,8-m350,0). Suprayace de forma disconforme al segmento 12 de la Formación La Renta. Según las recomendaciones del profesor Howe (1997, 133), una disconformidad es un contacto discordante donde existe una superficie de erosión marcada entre las rocas más jóvenes y las rocas sedimentarias más antiguas, y las superficies de estratificación de ambas unidades son esencialmente paralelas.

Evidencias de esta inconformidad se pueden observar en la base del segmento (m322,2-m322,8), donde aparece una capa gruesa de 57 cm, de una arenita de textura fina con cemento calcáreo, de aspecto homogéneo, glauconítica, fosfática e intraclástica (**lám. 5/D, tabla 2**; muestra APA-2849); los primeros 20 cm de esta capa contienen 10-15% de intraclastos de forma ovoide, de 0,5-1,0 cm de diámetro, compuestos por caliza fosfatizada con textura *mudstone*, flotantes en el soporte arenoso; también contiene 3-5% de peloides fosfáticos con textura de arena gruesa. El contacto inferior de esta capa, con las calizas micríticas del segmento 12 de la infra-yacente Formación La Renta, es abrupto, y se observa un fuerte contraste composicional y textural; los estratos que están por encima y por debajo de esta superficie muestran paralelismo; probablemente, los intraclastos micríticos provengan de la erosión y posterior acumulación de las calizas con textura *mudstone* de la parte superior de la Formación La Renta (segmento 12); por las razones antes mencionadas, se interpreta que esta superficie representa un contacto disconforme (**fig. 23**).

La base de la Formación Umir está constituida predominantemente por arcillolitas de color negro parduzco, marrón amarillento oscuro o negro grisáceo (5YR 2/1, 10YR 4/2, N2), calcáreas a levemente calcáreas, con variación local a calizas arcillosas con textura *mudstone* (**láms. 5/E, 5/F, tabla 2**; muestra APA-2853), macizas, en capas delgadas con estratificación plana paralela discontinua, sin laminación interna evidente (**fig. 24**). Hacia la parte inferior de la unidad se encuentran dos tramos cubiertos (m323,5-m330,0; m331,5-m334,0). En la parte más baja (m322,8-m323,5) afloran limolitas arcillosas, calcáreas, ricas en materia orgánica, compactas y con olor a hidrocarburo.



Figura 23. Techo del segmento 12; capa de arenita fosfática glauconítica, de color gris parduzco, homogénea, con 10-15% de intraclastos micríticos con textura de guijarro mediano, flotantes en los primeros 20 cm de la capa (se observan muy bien en la parte derecha de la fotografía); la base del estrato (línea roja punteada) corresponde a una superficie de disconformidad; Formación Umir, m322,2 (N:1.279.642, E:1.084.211, Z:377, Az:120°). Escala: longitud del martillo = 33 cm.



Figura 24. Base de la Formación Umir; lodolitas terrígenas negras, levemente calcáreas, sin laminación interna evidente; Sección estratigráfica Aguablanca, m340,0-m350,0 (N:1.279.695, E:1.084.200, Z:385, Az:014°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.

Entre m334,0-m335,0; m338,8-m339,5 y m343,5-m350,0 se intercalan frecuentemente (cada 3, 7, 20 o 25 cm) capas lenticulares, muy delgadas y delgadas (de 0,5-2 cm de espesor), de limolitas de color marrón moderado (5YR 4/4), compactas, silíceas. En la parte superior (m347,0) las arcillolitas contienen algunos nódulos silíceos, de forma ovoide, de 3-4 cm de diámetro.

DESCRIPCIÓN LITOESTRATIGRÁFICA POR LA VÍA A LA HACIENDA MONTEBELLO

De forma similar a la descripción de la columna realizada por la quebrada Aguablanca, la descripción de la sección por la carretera a la hacienda Montebello se hará de base a techo, con base en segmentos estratigráficos. En esta sección se levantaron las Formaciones Pujamana, Galembo y La Renta, faltando la parte inferior de la Formación Pujamana y gran parte de la Formación La Renta (solo se levantaron los primeros 16 m); los puntos de inicio y finalización de la sección de Montebello son N:1.263.142, E:1.076.426, Z:399 y N:1.263.739, E:1.076.194, Z:449 (véase **fig. 1**).

Formación Pujamana

La sección estratigráfica por la carretera que conduce a la hacienda Montebello inicia con la Formación Pujamana en las coordenadas N:1.263.142, E:1.076.426, Z:399, plancha IGAC 120-I-D a escala 1:25.000; no se observa el contacto con la infrayacente Formación Salada.

Segmento 1 (m0,0-m9,8). Sucesión grano-creciente, principalmente terrígena, con arcillolitas en la base y arenitas en el techo. Se compone de arcillolita (m0,0-m6,0), blanda, de color gris oscuro, gris medio claro o gris parduzco claro (N3, N6, 5YR 6/1), con estratificación y laminación delgada plana paralela discontinua, algo muscovítica (<1% textura de limo grueso); en el techo presenta algunas láminas delgadas lenticulares

de limo de cuarzo (m4,5-m6,0). Le siguen lodolitas (m6,0-m7,0) y limolitas (m7,0-m7,6), de color gris medio y marrón claro (N3, 5YR 5/6), muscovíticas (1%), con estratificación delgada, plana paralela discontinua, y laminación mediana, lenticular en las lodolitas, y lenticular y ondulosa en las limolitas. El techo del segmento es de cuarzoarenitas (m7,6-m 9,8), de color gris muy claro y negro parduzco (N8, 5YR 4/1), textura muy fina, con estratificación levemente ondulada no paralela discontinua y laminación heterolítica ondulosa (láminas delgadas de arcillolita alternan con láminas medianas de arenita muy fina).

En el techo del segmento (m9,5-m9,8) aparece una capa tabular de 30 cm de caliza fosilífera con textura *wackestone*, de color gris medio oscuro (N4), maciza, con 20-30% de fragmentos (de aproximadamente 1 cm de diámetro) de bivalvos que muestran imbricación (**lám. 5/G**; muestra RT-5395), con techo y base netos, lo que sugiere tormentitas acumuladas por debajo del nivel normal de acción de las olas y por encima del nivel de las tormentas, siguiendo los criterios de Fürsich (1995).

Segmento 2 (m9,8-m27,0). Sucesión terrígena grano-creciente (**fig. 25**), compuesta de base a techo por arcillolita (m9,8-m16,4) de color gris oscuro, marrón claro, naranja amarillento oscuro o gris medio claro (N3, 5YR 5/6, 10YR 6/6, N6), meteorizada, con estratificación y laminación delgada plana paralela discontinua, fracturada; se intercalan algunas capas muy delgadas (de 1 cm de espesor) de limolitas oxidadas, color naranja amarillento oscuro y rojo moderado (10YR 6/6, 5R 4/6), entre m12,0 y m13,0. Continúan lodolitas de color gris oscuro (N3) de aspecto macizo, micáceas (1-2% de muscovita fina con textura de limo grueso), entre m16,4 y m28,0 (**lám. 5/H**; muestra RT-5361). En el techo del segmento (m26,0-m27,0) aparecen limolitas de cuarzo de color gris parduzco (5YR 4/1), mal expuestas, macizas, con 1-2% de muscovita con textura de limo grueso. Se encuentran impresiones de amonitas hacia la base del segmento (m19,5, muestra RT-5473).



Figura 25. Segmento 2; sucesión terrígena grano-creciente de color gris oscuro a marrón claro constituida por arcillolitas en la base hasta limolitas de cuarzo en el techo; el cambio litológico es gradual; Formación Pujamana, m17,0-m27,0 (N:1.263.186, E:1.076.401, Z:399, Az:260°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.

Segmento 3 (m27,0-m50,0). Sucesión espesa de lodolitas terrígenas de color gris oscuro (N3), de aspecto macizo (no se aprecia la estratificación, **fig. 26**), con 1-2% de muscovita fina con textura de limo grueso, **láms. 6/A, 6/B, tabla 2;** muestra RT-5362). En el m33,0 y m39,0 presenta láminas lenticulares muy delgadas de limo grueso de cuarzo; local-

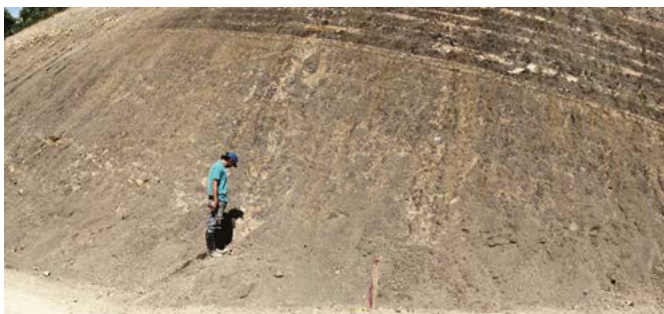


Figura 26. Parte superior del segmento 3, lodolitas de color gris oscuro con tonalidad marrón claro por meteorización, aspecto macizo, muscovíticas; Formación Pujamana, m44,0-m50,0 (N:1.263.229, E:1.076.390, Z:400, Az:242°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.

mente es levemente calcárea (m37,5) y con impresiones de bivalvos. En el m42,8 y m44,8 aparecen capas medianas (de 15 cm y de 10 a 20 cm de espesor) de calizas micríticas de color gris oscuro (N3), terrígenas (lodosas), nodulares y discontinuas.

Segmento 4 (m50,0-m59,0). Sucesión mixta, terrígena y calcárea (**fig. 27**), constituida en la base (m50,0-m54,0) y en el techo (m56,7-m59,0) por lodolitas de color gris oscuro (N3), macizas, muscovíticas (1-2% de muscovita con textura de limo grueso); la parte inferior presenta intercalaciones cada 20 a 50 cm estratigráficos, de cuarzoarenitas de textura muy fina, color marrón amarillento moderado (10YR 5/4), arcillosas, bioturbadas (**lám. 6/C;** muestra RT-5363), de base irregular y neta, en capas delgadas y medianas (5-22 cm de espesor) de forma tabular; y una intercalación de 18 cm de espesor (m50,7) de caliza con textura *mudstone*, terrígena, de color gris parduzco (5YR 4/1).

En la parte media del segmento, gradual y rápidamente en la vertical (aproximadamente en el m54,0), las lodolitas cambian a limolitas de cuarzo de color gris medio oscuro (N4), en capas delgadas y láminas delgadas a medianas, planas paralelas discontinuas; las limolitas continúan hasta el m56,0 con intercalaciones de calizas con textura *mudstone*, aspecto macizo, forma tabular, base neta e irregular, con espesores de 10 a 33 cm, y con 7-10% de restos de bivalvos, las cuales se interpretan como tormentitas acumuladas por oleaje en tiempo de tormenta (en el sentido de Fürsich 1995); en el m55,7 aparecen concreciones elipsoidales micríticas en las limolitas, de 20 cm en su diámetro mayor.

En el techo del segmento (m56,0-m59,0), y alternando con lodolitas, aparecen capas tabulares de calizas con textura *mudstone*, de color gris medio oscuro, negro oliva o gris oliva (N4, 5Y 2/1, 5Y 4/1), macizas, con espesores entre 30 y 70



Figura 27. Segmento 4; lodolitas y limolitas de color gris oscuro, con capas intercaladas frecuentemente, de cuarzoarenita de textura muy fina y de caliza con textura *mudstone*, de tonalidad marrón amarillento; las capas competentes (arenitas y calizas) son tabulares, con bases netas e irregulares; Formación Pujamana, m50,0-m59,0 (N:1.263.252, E:1.076.355, Z:400, Az:223°). Nótese de izquierda a derecha la estratificación plana con forma divergente, o en forma de cuña, que sugiere basculamiento del fondo debido a tectonismo concomitante con la sedimentación.

cm, más gruesas en la parte inferior y más delgadas en la parte superior, con bases netas e irregulares, y techos ondulados. La capa más baja, de 70 cm (m56,0), varía gradualmente en la vertical, de caliza terrígena (arenosa) con textura *mudstone*, en su parte inferior, a cuarzoarenita arcillosa, y esta, a su vez, a limolita y lodolita (**fig. 28**); contiene 3% de restos de bivalvos flotantes en el soporte micrítico. En el m57,4 aparece una capa de 10 cm de espesor de cuarzoarenita fosilífera, con textura fina, con 5-7% de restos de bivalvos distribuidos homogéneamente, también con base neta e irregular. El segmento finaliza con una capa de caliza con textura *mudstone* de 30 cm de espesor, en la cual aparece una concreción micrítica lodosa de $0,2 \times 1,7$ m, de forma lenticular y color gris oliva (5Y 4/1). Infrayaciendo esta capa aparecen concreciones micríticas decimétricas (de 20×10 cm), elipsoidales, en una capa de 20 cm de lodolita perteneciente al techo del segmento.



Figura 28. Detalle de la parte superior del segmento 4; capa tabular de 70 cm de caliza con textura *mudstone*, fosilífera, arenosa, que varía gradualmente hacia el techo a lodolita; Formación Pujamana, m56,0-m59,0 (N:1.263.258, E:1.076.376, Z:402, Az:257°). Escala: longitud del martillo = 28 cm.

Segmento 5 (m59,0-m64,7). Sucesión mixta, terrígena y calcárea (**fig. 29**), compuesta en la base (m59,0-m60,2) por limolitas arcillosas de color gris medio oscuro (N4), algo muscovíticas (<1% con textura de limo grueso), en capas delgadas, planas paralelas discontinuas, y láminas delgadas a medianas levemente onduladas, no paralelas discontinuas; en el m59,8 presenta laminación heterolítica lenticular con láminas intercaladas de 3 mm de espesor de cuarzoarenita de grano muy fino. En la parte media (m60,2-m60,3) aparece una capa mediana de 12 cm de espesor, tabular, de contactos irregulares y netos, de cuarzoarenita con textura muy fina, del mismo color que las limolitas. El techo del segmento (m60,3-m64,7) es de lodolitas muscovíticas (1-2% con textura de limo grueso, diseminada en la roca), de color gris oscuro (N3) con estratificación y laminación similar a la de las limolitas infrayacentes; entre m61,8 y m62,3 se intercala una capa gruesa de 50 cm de espesor de caliza con textura *mudstone* de color gris medio oscuro (N4), maciza, dura, de forma tabular, con base y techo planos a ondulados; encima de esta capa aparecen 50 cm de limolita de cuarzo, calcárea, de color gris oscuro (N3), que pasa gradualmente en la vertical a lodolita.

Segmento 6 (m64,7-m73,8). Sucesión de lodolitas terrígenas de color gris oscuro (N3-N4), muscovíticas (1-2%), en capas delgadas y láminas delgadas a medianas, planas paralelas discontinuas; en la parte superior (m72,3) presenta laminación lenticular y ondulosa heterolítica por granulometría (láminas delgadas de cuarzoarenita de textura muy fina, intercaladas). Presenta interposiciones frecuentes de capas tabulares resistentes a la erosión, por lo cual resaltan topográficamente (**fig. 30**), de cuarzoarenita de textura muy fina, calcárea, con espesores de 20 cm (m64,7), 30 cm (m67,8) y 80 cm (m73,0), esta última de aspecto macizo por bioperturbación (**lám. 6/D**; muestra RT-5366), y con base y techo transicionales; cuarzoarenita con textura de arena muy fina, pirítica (5-10%), en capas de 4 y 5 cm entre m66,3 y m67,0; cuarzoarenita de tex-

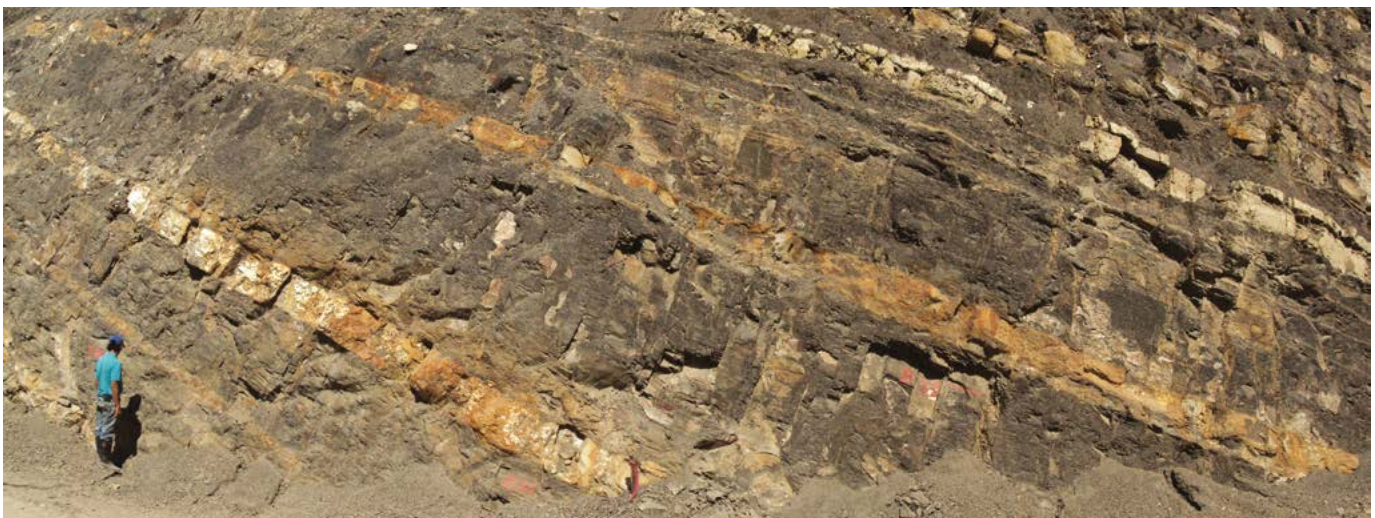


Figura 29. Segmento 5; lodolitas y limolitas de coloración gris con intercalaciones de cuarzoarenita de textura muy fina y caliza con textura *mudstone*; Formación Pujamana, m59,0-m65,0 (N:1.263.252, E:1.076.355, Z:400, Az:264°). Escala: altura de la persona = 1,7 m. Nótese, de izquierda a derecha, la estratificación plana con forma divergente, o en forma de cuña, que sugiere basculamiento del fondo debido a tectonismo concomitante con la sedimentación.



Figura 30. Segmento 6; lodolitas terrígenas de color gris oscuro con intercalaciones frecuentes de cuarzoarenita de textura muy fina, calizas con textura *mudstone* y limolitas de cuarzo que resaltan topográficamente; Formación Pujamana, m65,0-m74,0 (N:1.263.298, E:1.076.371, Z:406, Az:264°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.

tura muy fina, fosilífera, de color naranja grisáceo (10YR 7/4), con base y techo netos e irregulares, en capas de 40 y 16 cm, entre m67,4 y m68,0; caliza terrígena con textura *mudstone*, laminada, de 30 cm en m69,5; caliza con textura *mudstone* maciza de 40 cm en m69,0; y capas de limolita de cuarzo con espesor de 10 cm en m70,2 y de 40 cm en m71,1, esta última fosilífera, con base y techo transicionales.

Segmento 7 (m73,8-m80,4). Sucesión de lodolitas terrígenas de color gris oscuro (N3), muscovíticas (1-2% con textura de arena muy fina), en capas delgadas, planas paralelas discontinuas (**fig. 31**), con laminación interna levemente ondulosa no paralela discontinua. En la parte alta se intercalan capas tabulares de cuarzoarenita laminada, de color gris oscuro y gris medio (N3, N5), de textura muy fina, con espesores de 25 y 15 cm (m77,0 y m77,7 respectivamente), con techo y base transicionales; en el m78,0 se intercala un banco de 50 cm de caliza con textura *mudstone*, macizo, de base neta e irregular, que suprayace a 15 cm de caliza arenosa con

textura *mudstone*, meteorizada, de color naranja amarillento oscuro (10YR 6/6). En la parte más alta del segmento (m80,0) aparece una capa de 40 cm, tabular, de base neta, de cuarzoarenita con textura de arena muy fina, color naranja grisáceo (10YR 7/4), silíceo, dura, fosilífera (20-25% de restos de bivalvos), cuyo origen se atribuye a una concentración de conchas por olas de tormenta (*sensu* Fürsich, 1995).

Segmento 8 (m80,4-m96,4). Sucesión terrígena en general, grano-creciente, con arcillolitas en la base y lodolitas en el techo, con capas tabulares de calizas, limolitas calcáreas y lodolitas terrígenas-calcáreas intercaladas (**fig. 32**). Las arcillolitas (m80,4-m81,8; m84,0-m89,7) son de color negro grisáceo a gris oscuro (N2, N3), en capas delgadas y láminas delgadas a medianas, planas paralelas discontinuas (**lám. 6/E**; muestra RT-5367). Las lodolitas (m82,2-m82,9; m87,7-m96,0) son de color gris oscuro (N3), algo muscovíticas (1% con textura de limo grueso), en capas delgadas, planas paralelas discontinuas, con laminación interna levemente ondulosa no paralela discontinua.



Figura 31. Segmento 7; lodolitas terrígenas de color gris oscuro en capas delgadas, planas paralelas discontinuas; Formación Pujamana, m74,0-m81,0 (N:1.263.308, E:1.076.2.367, Z:406, Az:242°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.



Figura 32. Segmento 8; sucesión terrígena, grano-creciente, de arcillolitas en la base y lodolitas en el techo, con intercalaciones de calizas (*packstone*), limolitas calcáreas y lodolitas terrígenas-calcáreas; Formación Pujamana, m85,0-m93,0 (N:1.263.329, E:1.076.2.360, Z:409, Az:255°). Altura de la persona = 1,7 m. Nótese, de izquierda a derecha, la estratificación plana con forma divergente, o en forma de cuña, indicativa de tectonismo concomitante con la sedimentación.

Se intercalan capas tabulares de limolita de cuarzo, de color gris oscuro (N3), calcárea, de 40 y 15 cm (m81,8 y m88,4, respectivamente), con estratificación delgada, plana paralela discontinua; caliza con textura *mudstone*, arenosa, de color gris medio oscuro y naranja amarillento oscuro (N4, 10YR 6/6 superficialmente), con espesores 40, 12 y 30 cm (m82,9, m83,5 y m87,2 y m91,5), en capas macizas, con 2-3% de restos de conchas de bivalvos en m91,5; caliza con textura *packstone* de color gris medio oscuro (N4), forma tabular, maciza, base neta y espesor de 40 cm (m96,0), con restos de bivalvos orientados paralelamente a la estratificación y con distribución homogénea dentro de la capa (**lám. 6/F**; muestra RT-5368), los cuales, se interpreta, fueron acumulados por flujos de tormenta proximal (*sensu* Fürsich, 1995); limolita de cuarzo (m91,2) de color gris oscuro (N3), de 20 cm de espesor, arcillosa; y lodolita terrígena-calcárea de color gris oscuro (N3), en capas de 12 y 25 cm (m83,3 y m83,6, respectivamente).

Segmento 9 (m96,4-m101,8). Sucesión mal expuesta, parcialmente cubierta por derrubios de pendiente (m97,5-m98,9 y m100,2-m100,4) (**fig. 33**), compuesta por arcillolita (m96,4-m97,5), de color negro grisáceo a gris oscuro (N2, N3), finamente laminada de manera discontinua; por lodolita terrígena-calcárea con olor a hidrocarburo (m98,9-m99,8), de color negro grisáceo y gris parduzco claro (N2, 5YR 6/1), en capas muy delgadas, planas paralelas continuas, laminadas delgadamente, con intercalaciones de 12 y 20 cm de espesor de caliza bioclástica con textura *grainstone*; y por limolitas arenosas (m99,8-m101,8), calcáreas, de color negro oliva a marrón oliva moderado (5Y 2/1, 5Y 4/4), en capas delgadas, planas paralelas continuas y laminación discontinua, delgada a mediana, con interposiciones de 25 y 15 cm de espesor de caliza con textura *grainstone* de color gris oscuro (N3), maciza y con fuerte olor a hidrocarburo.

Segmento 10 (m101,8-m110,5). Segmento cubierto por derrubios (**fig. 33**).

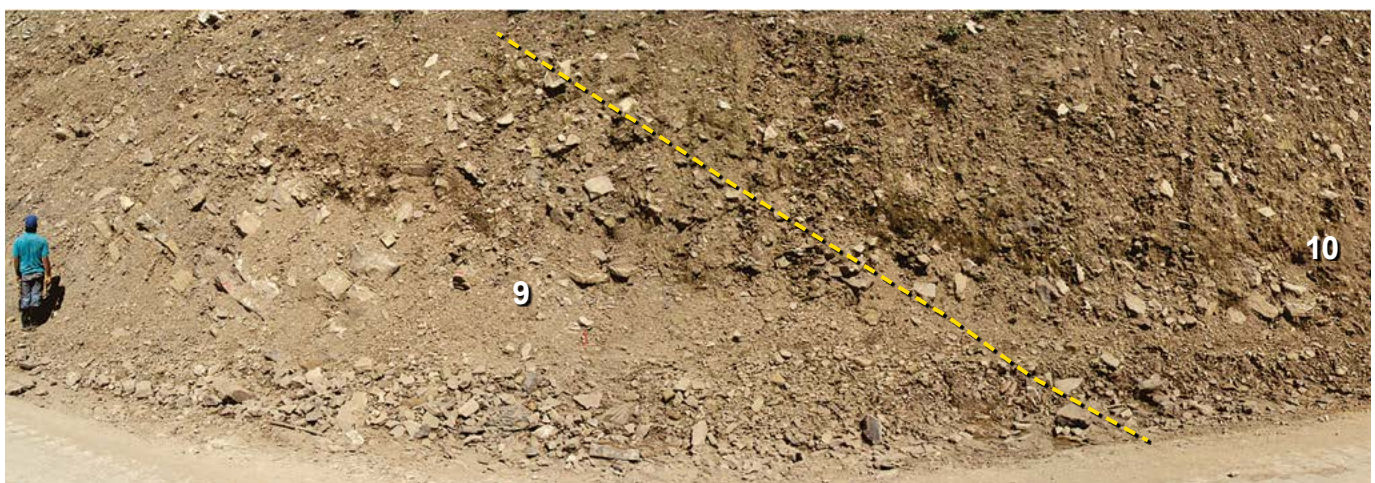


Figura 33. Segmento 9 y parte del 10; el segmento 9 está parcialmente cubierto por derrubios de pendiente y está compuesto por arcillolita, lodolita terrígena-calcárea y limolitas arenosas de coloración oscura con intercalaciones de caliza bioclástica con textura *packstone* con fuerte olor a hidrocarburo; el segmento 10 está cubierto por derrubios de pendiente; Formación Pujamana, m97,0-m109,0 (N:1.263.355, E:1.076.353, Z:410, Az:272°). Altura de la persona = 1,7 m.

Formación Galembo

Inicia en las coordenadas N:1.263.375, E:1.076.352, Z:411, plancha IGAC 120-I-D a escala 1:25.000; no se observa el contacto con la suprayacente Formación Umir.

Segmento 1 (m110,5-m128,0). *Wackestone* (biomicrita rala), de foraminíferos planctónicos dispuestos en láminas muy delgadas y medianas (de 1-10 mm de espesor), paralelas a la estratificación; algunas láminas de foraminíferos presentan textura *packstone*; el color de la roca es gris oscuro, negro parduzco, gris parduzco o marrón pálido (N2, N3, 5YR 2/1, 5YR 4/1, 5YR 5/2), y se dispone en capas subtabulares, entre delgadas y gruesas, discontinuas (**fig. 34**), con laminación interna delgada a mediana, plana paralela discontinua, excepto en la base (m110,5-m101,0), que es levemente ondulosa no paralela discontinua. El contenido de materia orgánica en la roca es superior al 1%. Se intercalan dos capas de caliza con textura *mudstone* de color gris oscuro (N3), terrígenas, duras, macizas, de forma tabular, de 32 y 10 cm de espesor en m118,7 y m120,0, respectivamente. Entre m115,0-m115,9 aparecen *packstone* fosilíferos ricos en materia orgánica (62,4% de fo-

raminíferos planctónicos, 31,2% de materia orgánica, **láms. 6/G, 6/H**; muestra RT-5369), en capas entre medianas y gruesas, planas paralelas discontinuas, con laminación interna delgada a mediana, igualmente plana paralela discontinua.

Abundan en este segmento concreciones micríticas decimétricas (de 10-30 cm de diámetro mayor), de forma redondeada y elipsoidal, color negro grisáceo a gris oscuro (N2, N3), generalmente con restos de amonitas en volumen (muestras RT-5385, RT-5386, RT-5487, RT-5491, RT-5492, RT-5493, RT-5496), orientadas paralelamente a la estratificación; hacia la base (m113,0) aparecen nódulos silíceos elipsoidales de 10 × 15 cm de sección transversal.

Entre m123,0 y m126,0 aparecen algunas fallas de cabalgamiento subparalelas a la estratificación, cuyo salto estratigráfico es bajo; en m125,0 hay una falla pequeña inversa (con salto de pocos centímetros según el buzamiento), que afecta la charnela de un pliegue anticlinal decimétrico (**fig. 35**), el cual involucra capas delgadas de lodolita (de 3 a 6 cm de espesor), de color marrón amarillento moderado (10YR



Figura 34. Segmento 1; *wackestone* de tonalidad marrón en capas subtabulares, delgadas a gruesas, discontinuas; Formación Galembo, m115,0-m123,0 (N:1.263.396, E:1.076.350, Z:412, Az:258°). Escala altura de la persona = 1,7 m.

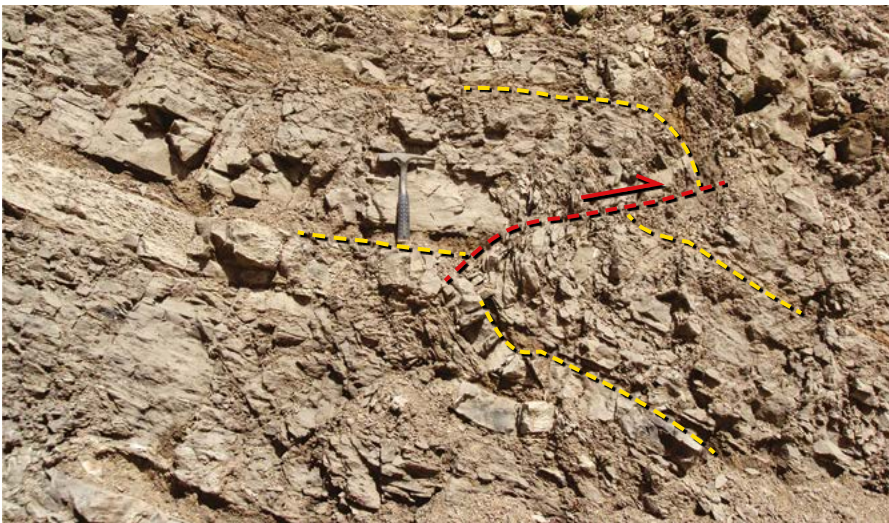


Figura 35. Detalle en la parte alta del segmento 1; falla inversa con salto de pocos centímetros que afecta la charnela de un pliegue anticlinal decimétrico; Formación Galembo, m123,0-m126,0 (N:1.263.563, E:1.076.329, Z:425, Az:262°). Escala: longitud del martillo = 28 cm.

5/4), meteorizadas, intercaladas en la sucesión; a través de estos niveles incompetentes de lodolita se observan fallas de cabalgamiento subparalelas a la estratificación con poco salto estratigráfico, como ocurre en m127,5.

Segmento 2 (m128,0-m140,8). *Mudstone* calcáreo (micrita), terrígeno, de color gris oscuro, gris medio claro o gris parduzco (N3, N6, 5YR 4/1), en capas subtabulares discontinuas (**fig. 36**); en la parte media (m132,0-m135,5) las capas varían de medianas a gruesas, y en el resto del segmento son delgadas; presenta laminación poco manifiesta, delgada a mediana o mediana a gruesa, plana paralela discontinua.

Se intercalan calizas con textura *wackestone* de foraminíferos planctónicos (10-20%) entre m131,8-m134,5 y entre m135,5-m138,0 del mismo color y con similar estratificación y laminación que los *mudstone*. En la parte inferior

(m128,0-m129,0) aparecen calizas con textura *wackestone-packstone*, de color gris oscuro o gris parduzco (N3, 5YR 4/1), laminadas por foraminíferos planctónicos, en capas medianas o delgadas planas paralelas discontinuas.

En la parte superior (m134,5-m138,0) se presenta *chert* negro (N1) en capas medianas de 10-25 cm de espesor, de las cuales la inferior (m134,5) corresponde a una capa de *chert* nodular fosilífero con 16,8% de foraminíferos planctónicos (**láms. 7/A, 7/B, 7/C, tabla 2**; muestra RT-5371); el *chert* se dispone en forma de núcleo hacia el centro de un estrato de *wackestone* de foraminíferos planctónicos (**fig. 37**).

Son comunes concreciones micríticas, elipsoidales, decimétricas, prácticamente en todo el segmento, con diámetro de 3 × 15 cm de sección transversal; menos comunes son los nódulos síliceos de color negro (N1), de formas y tamaños simi-



Figura 36. Segmento 2; calizas con textura *mudstone* de coloración marrón en capas subtabulares discontinuas; en la parte central de la fotografía se distinguen capas delgadas de lodolita meteorizada de coloración naranja (indicadas por flechas amarillas); Formación Galembó, m133,0-m136,0 (N:1.263.435, E:1.076.344, Z:414, Az:268°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.



Figura 37. Detalle en la parte media del segmento 2; *wackestone* de color gris parduzco con un núcleo de *chert* fosilífero de tonalidad gris oscura hacia el centro de la capa; Formación Galembó, m134,5-m135,0 (N:1.263.425, E:1.076.349, Z:413, Az:317°). Escala: longitud de la cabeza del martillo = 17,0 cm.

lares a los de las concreciones. Hacia la parte inferior del segmento (m129,0-m133,0) las concreciones presentan restos de amonitas en volumen (muestras RT-5387, RT-5497, RT-5498, 36228, 36228, 36231, 36234, 36243, 36243). Tanto en el techo (m135,0-m138,0) como en la base (m128,0-m130,0), aparecen fallas de cabalgamiento subparalelas a la estratificación, así como capas delgadas de lodolita con espesores entre 3 y 6 cm (fig. 36), de color naranja amarillento oscuro (10YR 6/6).

Segmento 3 (m140,8-m142,0). Cubierto por derrubios de pendiente (fig. 38).

Segmento 4 (m142,0-1 m179,0). Sucesión potente de *wackestone* (biomicrita rala) de foraminíferos planctónicos (10-40%), de color negro grisáceo a gris medio oscuro, negro parduzco o gris parduzco (N2-N4, 5YR 2/1, 5YR 4/1), rico en materia orgánica (lám. 7/D; muestra RT-5373), estratificado en capas que varían de delgadas a medianas, planas paralelas discontinuas (fig. 39); en la parte media, levemente onduladas paralelas dis-

continuas (m155,8-m168,0); presenta laminación interna entre delgada y mediana, levemente ondulosa no paralela discontinua (m155,7-m167,0; m171,5-m174,7), y plana paralela discontinua (m144,0-m155,7; m167,0-m171,5; m174,7-m179,0).

En la base (m146,8-m147,2; m149,4-m150,0) y en la parte superior (m177,7-m178,3) se intercalan capas medianas y gruesas de calizas con textura *mudstone*, de color gris oscuro o gris parduzco (N3, 5YR 4/1), macizas y laminadas, de forma tabular, con espesores de 40 a 60 cm; en la parte inferior (m142,5-m144,0; m147,2-m149,4; m153,5-m153,9) y superior (m171,0-m171,5) hay interposiciones de *packstone* (bioesparita pobremente lavada) de foraminíferos planctónicos, rico en materia orgánica (lám. 7/E, tabla 2; muestra RT-5372), en capas que varían de delgadas a gruesas, planas paralelas discontinuas; en la base del segmento (m142,0-m142,5) afloran calizas con textura *grainstone* (bioesparita) de foraminíferos planctónicos, color gris medio oscuro y rosa naranja grisáceo (N4, 10R 8/2), en capas y láminas delgadas, planas paralelas continuas.



Figura 38. Segmento 3, cubierto con derrubios de pendiente; Formación Galembo, m140,5-m135,0 (N:1.263.452, E:1.076.343, Z:413, Az:276°). Escala: longitud de la estaca con plástico rojo = 50 cm.



Figura 39. Parte alta del segmento 4; calizas con textura *wackestone*, de tonalidad gris parduzco, en capas tabulares planas paralelas discontinuas; Formación Galembo, m169,0-m176,0 (N:1.263.545, E:1.076.333, Z:421, Az:268°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.

En diferentes posiciones estratigráficas de este segmento aparecen capas delgadas (entre 4 y 12 cm de espesor) de *chert* negro o gris oscuro (N1, N3), de forma lenticular o tabular, fosilífero, con 10-30% de foraminíferos planctónicos dispuestos en láminas entre delgadas y medianas discontinuas, paralelas a la estratificación, e inmersos en un soporte silíceo finamente cristalino (**fig. 40**).

También son comunes en este segmento, concreciones micríticas elipsoidales de color gris oscuro (N3), generalmente de tamaño decimétrico (de 5 × 8 cm hasta 20 × 50 cm de diámetro de sección transversal) (**fig. 41**); en menor proporción se hallan concreciones métricas de forma lenticular (0,5 × 2 m en m171,0; 0,65 × 3,5 m entre m158,0 y m159,0; 0,8 × 1,2 m en m153,0; 0,5 × 3,7 m en m133,5); en la parte



Figura 40. Detalle en la parte alta del segmento 4; capas lenticulares delgadas de *chert* de color negro, interpuestas en calizas con textura *wackestone*; Formación Galembó, m160,0-m161,5 (N:1.263.526, E:1.076.337, Z:416, Az:273°). Escala: longitud del martillo = 28 cm.



Figura 41. Detalle en la parte baja del segmento 4; concreciones micríticas elipsoidales de tonalidad marrón con tamaño decimétrico; Formación Galembó, m153,0-m155,0 (N:1.263.492, E:1.076.340, Z:415, Az:273°). Escala: longitud del martillo = 28 cm.



Figura 42. Detalle en la parte alta del segmento 4; capa de *wackestone* con forma de montículo, de base plana y techo convexo; Formación Galembó, m174,0-m175,0 (N:1.263.548, E:1.076.332, Z:422, Az:278°). Escala: longitud del martillo = 28 cm.

superior del segmento (m174,0; m176,0) aparecen capas con forma de montículo, de base plana y techo convexo (**fig. 42**), de 1,8 m de largo × 0,6 m de alto; muchas de las concreciones contienen fósiles de amonitas (muestras RT-5390, RT-5390A, RT-5391, RT-5506, RT-5507, RT-5508, RT-5511, RT-5512, RT-5513, 36253, 36255, 36256) y restos de peces.

Segmento 5 (m179,0-m193,5). *Mudstone* calcáreo (micrita) fosilífero de color gris parduzco a gris oscuro (5YR 4/1, N3), con 3-10% de foraminíferos planctónicos, rico en materia orgánica; muestra estratificación y laminación delgada a mediana, plana paralela discontinua (**fig. 43**). En la parte inferior (m183,5-m184,0) se intercala una capa gruesa de caliza fosilífera con textura *wackestone* a *packstone*, rica en materia orgánica, que contiene 54,4% de foraminíferos planctónicos dispuestos en láminas delgadas a medianas discontinuas (**lám. 7/F, tabla 2**; muestra RT-5375); en la porción superior (m186,0-m189,0; m190,5-m192,3) aparecen capas delgadas planas paralelas continuas y discontinuas de calizas fosilíferas con textura *wackes-*

tone, igualmente ricas en materia orgánica y en foraminíferos planctónicos. En el m188,5 se interpone una capa delgada de 10 cm de *chert* negro (N1), lenticular, con 15% de foraminíferos planctónicos. En el m180,3 se intercala un nivel delgado de 5 cm de espesor de lodolita de color naranja amarillento oscuro (10YR 6/6), meteorizada; en la base de esta capa se observa una falla de cabalgamiento con poco salto estratigráfico.

Son comunes las concreciones calcáreas micríticas de color gris oscuro (N3), de forma elipsoidal y dimensiones decimétricas, desde 8 × 15 cm hasta 20 × 45 cm de sección transversal; en la base (m180,0-m182,0), dichas concreciones son más pequeñas (de 2 a 7 cm de diámetro mayor); hacia la parte media del segmento (m186,0 y m187,5) aparecen concreciones grandes de 0,3 × 1,2 m y de 0,6 × 3 m de sección transversal, esta última con laminación interna plana paralela (**fig. 44**). Hacia el techo del segmento (m189,0), hay una capa con forma de montículo de base plana y techo convexo, de 2 m de largo × 60 cm de alto, laminada internamente.



Figura 43. Parte superior del segmento 5; *mudstone* calcáreo (micrita) de color gris parduzco a gris oscuro con estratificación delgada a mediana, plana paralela discontinua; Formación Galembó, m181,0-m190,0 (N:1.263.576, E:1.076.326, Z:426, Az:264°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.



Figura 44. Parte media del segmento 5; concreción grande, micrítica, de forma elipsoidal, con laminación interna plana paralela; Formación Galembó, m186,0-m187,5 (N:1.263.579, E:1.076.325, Z:426, Az:256). Escala: longitud del martillo = 28 cm.

Segmento 6 (m193,5-m194,8). Calizas con textura *packstone* (biomicrita empaquetada) de foraminíferos planctónicos (50-60% del volumen total de la roca), color gris parduzco (5YR 4/1), con estratificación delgada, plana paralela discontinua (**fig. 45**); muestran laminación interna, delgada a mediana, plana paralela continua bien desarrollada; hay alternancia de láminas medianas con textura *wackestone* en la roca (**lám. 7/G**; muestra RT-5376).

Segmento 7 (m194,8-m208,5). *Mudstone* calcáreo (micrita) fosilífero con 3-5% de foraminíferos planctónicos, color gris parduzco y gris oscuro (5YR 4/1, N3), con estratificación delgada, plana paralela continua (**fig. 46**); muestra laminación delgada a mediana, igualmente plana paralela continua; la roca es rica en materia orgánica. En la base (m196,5-m197,7; m198,2-m199,5) muestra interposiciones de caliza fosilífera con textura *wackestone* de foraminíferos planctónicos (25-35% del volumen total de la roca); en el techo (m207,0-m208,5), la roca presenta un contenido mayor de foraminíferos planctónicos (hasta 50 o 60%), variando texturalmente a caliza fosilífera con textura *packstone* (**lám. 7/H**; muestra RT-5377); ambos tipos de roca son ricas en materia orgánica y de color gris parduzco o gris oscuro (5YR 4/1, N3). La parte media (m201,0-m203,5), de constitución micrítica, está cubierta por derrubios.

En la parte superior del segmento (m205,5 y m207,4) aparecen capas delgadas (5 a 10 cm de espesor) de *chert* negro fosilífero (N1) con 10-15% de foraminíferos planctónicos, mal expuestas. En la parte inferior (m194,8-m198,0) son comunes las concreciones micríticas elipsoidales de tamaño decimétrico (desde 8 × 10 cm hasta 50 × 90 cm de sección transversal); en el m200,5 hay una concreción métrica de 0,6 × 2 m (**fig. 46**).

Segmento 8 (m208,5-m216,0). Segmento cubierto por derrubios de calizas con textura *mudstone* y *wackestone* (**fig. 47**).

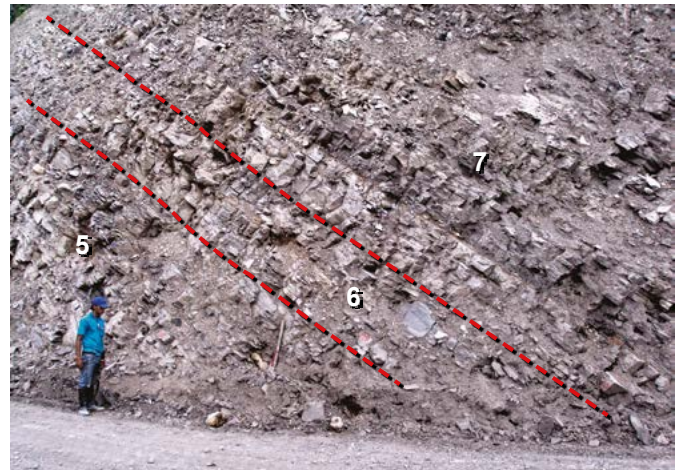


Figura 45. Segmento 6 (parte central de la fotografía); *packstone* de color gris parduzco con estratificación delgada, plana paralela discontinua; Formación Galembó, m193,0-m195,0 (N:1.263.585, E:1.076.323, Z:426, Az:244°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.



Figura 46. Parte baja del segmento 7; *mudstone* calcáreo (micrita) alternando con *wackestone* de color gris parduzco con estratificación delgada, plana paralela continua; en la fotografía, a la derecha se destaca una concreción grande, micrítica, de forma elipsoidal, de 0,6 × 2 m de diámetro; Formación Galembó, m195,0-m201,0 (N:1.263.602, E:1.076.305, Z:430, Az:244°).



Figura 47. Segmento 8; cubierto por derrubios de *mudstone* y *wackestone*; Formación Galembó, m208,5-m216,0 (N:1.263.613, E:1.076.291, Z:430, Az:221°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.

Segmento 9 (m216,0-m255,0). Sucesión espesa de *mudstone* calcáreo (micrita) fosilífero, de color negro parduzco, gris parduzco o gris oscuro (5YR 2/1, 5YR 4/1, N3), rico en materia orgánica, arcilloso (entre m234,0-m242,0), con 1-10% de foraminíferos planctónicos (**fig. 48, láms. 8/A, 8/B, tabla 2;** muestras RT-5380 y RT-5398); en general, la estratificación es delgada, plana paralela continua y discontinua, excepto en la parte superior (m238,5-m242,0 y m248,3-m255,0) que es gruesa o mediana; la laminación interna varía entre delgada y mediana, plana paralela discontinua, por la orientación paralela a la estratificación de foraminíferos planctónicos. Entre m242,0 y m244,2 el segmento está cubierto por derrumbios de pendiente.

En la parte baja del segmento (m220,8-m222,2; m231,5-m234,0) se intercalan *wackestone* (biomicritas ralas) de foraminíferos planctónicos (10-34,8% dispuestos en láminas del-

gadas a medianas, discontinuas, paralelas a la estratificación), de color gris oscuro o gris parduzco (N3, 5YR 4/1), ricos en materia orgánica (**lám. 8/C, tabla 2;** muestra RT-5378), en capas delgadas planas paralelas continuas con laminación interna delgada a mediana, plana paralela discontinua; entre m231,5-m234,0 los *wackestone* son arcillosos.

En la parte inferior (m229,5-m234,0), la roca está plegada suavemente a escala métrica (pliegue anticlinal con su correspondiente sinclinal, **fig. 49**).

Entre m245,2 y 246,0 la caliza con textura *mudstone* es silíceo, por lo cual se encuentra endurecida; en la parte baja del segmento (m219,0-m222,0) se presentan capas delgadas de forma tabular, lenticular o nodular, de *chert* negro (N1), con espesores desde 4 cm hasta 15 cm. En m247,4 hay una capa tabular intercalada de lodolita silíceo de 10 cm de espesor.



Figura 48. Parte media del segmento 9; *mudstone* calcáreo (micrita) de color gris parduzco con estratificación delgada, plana paralela continua; en el lado izquierdo de la fotografía se intercala un paquete de *wackestone* que se observa de tonalidad más clara; Formación Galembó, m232,0-m239,0 (N:1.263.637, E:1.076.249, Z:441, Az:267°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.



Figura 49. Parte baja del segmento 9; pliegue suave anticlinal de escala métrica en calizas con textura *mudstone* y *wackestone* de color gris oscuro, con estratificación delgada, plana paralela continua; Formación Galembó, m228,0-m232,0 (N:1.263.631, E:1.076.262, Z:435, Az:226°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.

Son comunes niveles de concreciones micríticas de color gris oscuro (N3) de forma elipsoidal o subesférica, generalmente de tamaño decimétrico (desde 6 × 13 cm hasta 30 × 67 cm, de sección transversal, **fig. 50**), especialmente en la parte media del segmento (m231,0-m239,0); ocasionalmente se observan concreciones métricas de 0,3 × 1,0 m en m231,0 o de 0,5 × 2,4 m en m232,5; restos de peces y fragmentos de amonitas en volumen se encuentran en algunas concreciones (muestras RT-5379, RT-5394, RT-5396, RT-5397A, RT-5517, RT-5518, 36233, 13/6/29-1, 13/6/29-2).



Figura 50. Parte alta del segmento 9; huecos dejados por la extracción de concreciones micríticas de forma elipsoidal, de tamaño decimétrico; Formación Galembó, m244,0-m247,0 (N:1.263.650, E:1.076.223, Z:442, Az:270°). Escala: longitud del martillo = 33 cm.

En el m288,3 del segmento 10 inicia la Formación La Renta

Segmento 10 (m255,0-m304,0). Sucesión espesa de *wackestone* (biomicrita rala) de foraminíferos planctónicos (10-40%), de color negro parduzco, gris parduzco o negro grisáceo (5YR 2/1, 5YR 4/1, N2), ricos en materia orgánica o arcillosos (láms. 8/D, 8/E; muestras RT-5407 y RT-5409), principalmente en capas delgadas, en menor proporción entre delgadas y medianas (m292,3-m301,5), de forma plana paralela discontinua (fig. 51); exhiben laminación interna delgada a mediana, plana paralela discontinua, con baja bioperturbación (lám. 8/D; muestra RT-5407); entre m255,0-m256,2; m279,5-m282,3; m290,0-m292,0; m292,3-m295,5 y m298,8-m299,8 la biomicrita contiene, adicionalmente, desde trazas (<1%) hasta 5% de foraminíferos bentónicos (véase lám. 8/E, tabla 2; muestra RT-5409); la primera aparición de foraminíferos bentónicos se da en el intervalo m255,0-m256,2 en la muestra RT-5400 con <1%; entre m258-m260 la biomicrita es de solo foraminíferos bentónicos. Entre m255,0-m256,2; m270,5-m272,3; m279,5-m282,3; m295,5-m298,8 y m301,5-304,0 las biomicritas son en parte silíceas,

duros, por lo cual tienden a romper de forma prismática y con fractura concoidea. El segmento presenta mala exposición debido a que los taludes de la vía donde se realizó el levantamiento estratigráfico estaban siendo cubiertos con pasto para estabilizarlos geotécnicamente (fig. 51).

En distintas posiciones estratigráficas del segmento (m274,5-m276,0; m285,3-m285,6; m287,8-m288,3; m288,8-m289,5) se intercalan calizas con textura de *mudstone* de foraminíferos planctónicos (7-10%), de color, estratificación y laminación similar a la de las biomicritas (lám. 8/F; muestra RT-5405); la roca es en parte silícea en los tres últimos niveles (m285,3-m285,6; m287,8-m288,3 y m288,8-m289,5), mientras que en el primer nivel es arcillosa (m274,5-m276,0); entre m264,0-m264,8 la roca es bastante silícea, por lo cual se puede considerar como porcelanita (en el sentido de Williams, Turner y Gilbert 1954, 270-271), con carbonatos y terrígenos (calcáreo-lodoso). En la parte superior del segmento (m288,3-m288,8 y m292,0-m292,3) aparecen capas gruesas y medianas de fosforita de peloides con textura *packstone*, de color naranja muy pálido o blanco (10YR 8/2, N9), muy meteorizadas, en capas tabulares de 50 y 30 cm de espesor (fig. 52).

Entre m290,0-m290,1 y m298,8-m299,3 se intercalan tres capas delgadas (de 2 a 10 cm de espesor) de lodolita de color marrón amarillento oscuro o pálido (10YR 6/2, 10YR 6/6), meteorizada, blanda, laminada; también se intercala lodolita fosfática de color naranja muy pálido (10YR 8/2) en m299,8-m300,1; lodolita terrígena-calcárea, color negro grisáceo o negro parduzco (N2, 5YR 2/1) en m256,2-m256,3 y m264,8-m265,7; lodolita de color negro grisáceo a naranja amarillento oscuro (N2, 10YR 6/6) en m274,2-m274,5; y arcillolita rica en materia orgánica, levemente calcárea (4% bioclastos, 1,6% esparita) en m267,0-m268,5 (láms. 8/G, 8/H, tabla 2; muestra RT-5403).

La parte inferior del segmento (m255,5-m256,5 y m270,2-m271,5) muestra algunas concreciones micríticas decimétricas, de color gris oscuro (N3) y forma elíptica, con tamaños desde 12 × 5 cm hasta 20 × 30 cm de sección transversal, estériles en fósiles.



Figura 51. Parte inferior del segmento 10, *wackestone* de coloración gris parduzca, en capas delgadas, planas paralelas discontinuas, parcialmente cubierto con mallas sobre las cuales se siembra pasto para su estabilización geotécnica; Formación Galembó, m270,0-m274,0 (N:1.263.706, E:1.076.200, Z:446, Az:275°).



Figura 52. Parte superior del segmento 10; capa mediana de fosforita (parte central de la fotografía) con textura *packstone*, de color naranja muy pálido, en avanzado estado de meteorización; Formación La Renta, m292,0-m292,3 (N:1.263.731, E:1.076.202, Z:448, Az:270°). Escala: longitud del martillo = 33 cm.

RESTITUCIÓN DE LA NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA DE WHEELER (1929) PARA EL CRETÁCEO SUPERIOR EN EL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA

Con la estandarización de la nomenclatura estratigráfica realizada por la industria del petróleo en la cuenca del VMM (Morales y The Colombian Petroleum Industry 1958), las formaciones Salada, Pujamana y Galembó, establecidas originalmente por Wheeler (1929) para la estratigrafía del Cretácico superior en la Concesión De Mares del VMM fueron agrupadas bajo el concepto de “Formación La Luna”, que representaría un depósito sedimentario eminentemente de *shale* calcáreo, separado en tres “Miembros” con los mismos nombres utilizados por Wheeler (1929) (Morales y The Colombian Petroleum Industry 1958, 653-655). La presente investigación precisa el carácter litológico de las Formaciones Salada, Pujamana y Galembó, y muestra la inconveniencia de esta agrupación. En algunas publicaciones se ha puesto en duda la existencia de las Formaciones Salada y Pujamana (p. e., Bernal 2009); esta investigación reivindica la existencia e identidad de las Formaciones originales de Wheeler.

La sección estratigráfica de la “Formación La Luna” expuesta en la quebrada La Sorda fue propuesta por Sarmiento, Puentes y Sierra (2015, 24, fig. 1) “como la localidad de referencia principal para la Formación La Luna del VMM y los miembros que la componen”, en virtud de que las secciones tipo fueron inundadas con el llenado del embalse de Hidrosogamoso; no obstante, de acuerdo con los trabajos de cartografía geológica detallada realizados para este libro (Moreno-Sánchez 2019) se comprobó que la sucesión descrita por estos autores corresponde casi exclusivamente a la Formación Galembó descrita en esta investigación. Se resalta que esta sección ha sido estudiada en el pasado por varios autores con fines distintos, tales como exploración de roca fosfórica (Zambrano 1969, 4-9, fig. 2, 2A; Maughan et al. 1979, 30-35, *plate 1, column 5; plate 2, column 7*); estudios de roca

generadora de hidrocarburos en la “Formación La Luna” (Zumberge 1984, 127-128); cartografía geológica regional (Ward et al. 1973, 73-74), o estudios de materia orgánica y quimioestratigrafía en la “Formación La Luna” (Rangel, Parra y Niño 2000, 1268-1276). Lo anterior pone de manifiesto la importancia de precisar estratigráfica, litológica y paleontológicamente a qué se hace referencia cuando se habla de la “Formación La Luna” en un determinado lugar. Se reitera la inconveniencia de haber reducido las formaciones originales de Wheeler (1929) a miembros, incluyéndolas en la “Formación La Luna”, cuya localidad tipo está en Venezuela muy lejos del área tipo de las formaciones Salada, Pujamana y Galembó, lo cual ha generado confusión, ya que tradicionalmente se ha considerado la “Formación La Luna” como la unidad generadora de hidrocarburos en el VMM; sin embargo, como ya se indicó, varias publicaciones sobre esta unidad hacen alusión a la Formación Galembó, lo que plantea un interrogante muy importante a la industria del petróleo: ¿cuál de las tres unidades (Salada, Pujamana o Galembó) es en realidad la unidad generadora de hidrocarburos en el VMM? Con la presente investigación claramente se puede descartar la Formación Pujamana.

FORMACIÓN LA RENTA, NUEVA FORMACIÓN

De conformidad con las recomendaciones de la *International stratigraphic guide* (Salvador 1994, 19), se propone de manera formal en el presente estudio la diferenciación y nominación de una nueva unidad litoestratigráfica para el Valle Medio del Magdalena, denominada *Formación La Renta*.

Esta nueva unidad corresponde al intervalo superior de la denominada Formación Galembó y se caracteriza por contener roca fosfórica en capas con estratificación centimétrica a decimétrica, y rocas de textura fino-granular y naturaleza silíceas, con concentraciones locales de foraminíferos bentónicos del género *Siphogenerinoides*. Su localidad tipo se establece en la quebrada Aguablanca, y corresponde a los segmentos 9-12 (m277,2-m322,2) de la sección estratigráfica levantada en la quebrada del mismo nombre (véase **anexo 4.1**), y a la porción alta del segmento 10 (m288,3-m304,0) en la sección de Montebello (véase **anexo 4.2**). El nombre La Renta, seleccionado por eufonía, deriva del caserío homónimo que se encuentra por la antigua vía Lebrija-San Vicente de Chucurí (plancha 109-III-D, cuadrícula J8), situado en la quebrada Las Raíces, afluente de la quebrada Aguablanca, nombre no disponible por haber sido aplicado previamente a otra unidad cretácica de Colombia (Julivert 1968, 114). Como sección de referencia se establece la que corresponde a los afloramientos sobre el flanco occidental del anticlinal de Montebello por la vía a la hacienda homónima (véase **fig. 1**).

Esta unidad tiene como justificación particular el hecho de que constituye un elemento estratigráfico de especial interés para la economía agrícola del país por su contenido de fosfatos utilizados en la industria de los fertilizantes.

Los puntos de inicio y finalización de los afloramientos en la sección tipo de la Formación La Renta son N:1.279.687, E:1.084.263, Z:358 y N:1.279.642, E:1.084.211, Z:376 (plancha 120-I-D, cuadrículas A9-A10); el espesor medido fue de 45 m (véase **anexo 4.1**). En las **figs. 19** y **22** se muestran afloramientos típicos de la base y el techo, respectivamente, de esta unidad; las **figs. 20** y **21** ilustran capas de roca fosfórica peculiares en la Formación La Renta; las muestras APA-2838 (**láms. 4/D, 4/E, 4/F**), APA-2843 (**láms. 4/G, 4/H**), APA-2845 (**lám. 5/A**), APA-2846 (**lám. 5/B**) y APA-2848 (**lám. 5/C**) pertenecen a esta nueva unidad litoestratigráfica. En la **tabla 1** se muestra la nomenclatura propuesta.

Se debe tener en cuenta que esta nueva formación presenta diferentes espesores según el sitio donde su techo aflore, debido a la discordancia con la base de la suprayacente Formación Umir; su límite inferior se debe establecer en la base de la primera capa o conjunto de capas de fosforita, asociadas a *cherts* o porcelanitas con microfósiles de foraminíferos bentónicos.

Ballesteros et al. (2013) y Vélez (2014) incluyen en el Grupo Olini el intervalo estratigráfico representado por la Formación La Renta en los pozos estratigráficos perforados por Ecopetrol en cercanías a Barrancabermeja (p. e., La Luna-1), localizados aproximadamente a 55 km al occidente de la sección tipo de esta nueva Formación La Renta, en la quebrada Aguablanca. Esto no parece conveniente, por cuanto el significado estratigráfico del Grupo Olini en el Valle Superior del Magdalena es controversial.

ASPECTOS PETROGRÁFICOS DE LAS FORMACIONES SALADA, PUJAMANA, GALEMBO Y LA RENTA

En la **tabla 2** y en las **láms. 1 a 9** (al final del capítulo) se muestra una síntesis petrográfica de los aspectos más rele-

vantes de los diferentes tipos de rocas presentes en las formaciones Salada, Pujamana, Galembó y La Renta en el proyecto Hidrosogamoso. En todas las láminas, la base de las figuras corresponde a la base de la muestra respectiva, excepto en los siguientes casos, **láms. 2/C, 2/D, 2/F, 5/F, 6/B, 8/G y 8/H**, el vértice superior derecho de la figura corresponde al techo de la muestra; el lado derecho de la **lám. 5/D** corresponde al techo de la muestra. En la **lám. 9** los bioclastos de color claro con formas globulares corresponden a foraminíferos planctónicos.

AMBIENTES DE DEPÓSITO Y TECTÓNICA SEDIMENTARIA PARA LAS FORMACIONES SALADA, PUJAMANA, GALEMBO Y LA RENTA

En general, las distintas facies presentes en las formaciones Salada, Galembó y La Renta permiten interpretar fondos de acumulación con morfología casi llana o con un ángulo de pendiente muy bajo, como lo refleja el predominio casi total de estratificación plana paralela en estas unidades. La acumulación de sedimentos se dio predominantemente por debajo del nivel base de las olas con mar en calma, sobre fondos con niveles de energía bajos, como lo sugiere el predominio de litofacies fino-granulares delgadamente laminadas de forma plana paralela; la sedimentación en la Formación Pujamana fue ligeramente influida por el oleaje, lo cual se expresa en las litofacies arenosas, con estratificación y laminación levemente ondulosa paralela y no paralela, presentes en esta formación. La abundancia de materia orgánica (>1%) en las muestras de las formaciones Salada, Galembó y La Renta indica que durante la acumulación de estas unidades los niveles de oxígeno fueron mínimos sobre el fondo (interfase agua-sedimento o a unos pocos centímetros por debajo), lo que impidió su oxidación y posterior destrucción bacteriana; un contenido mucho menor en la Formación Pujamana sugiere un fondo

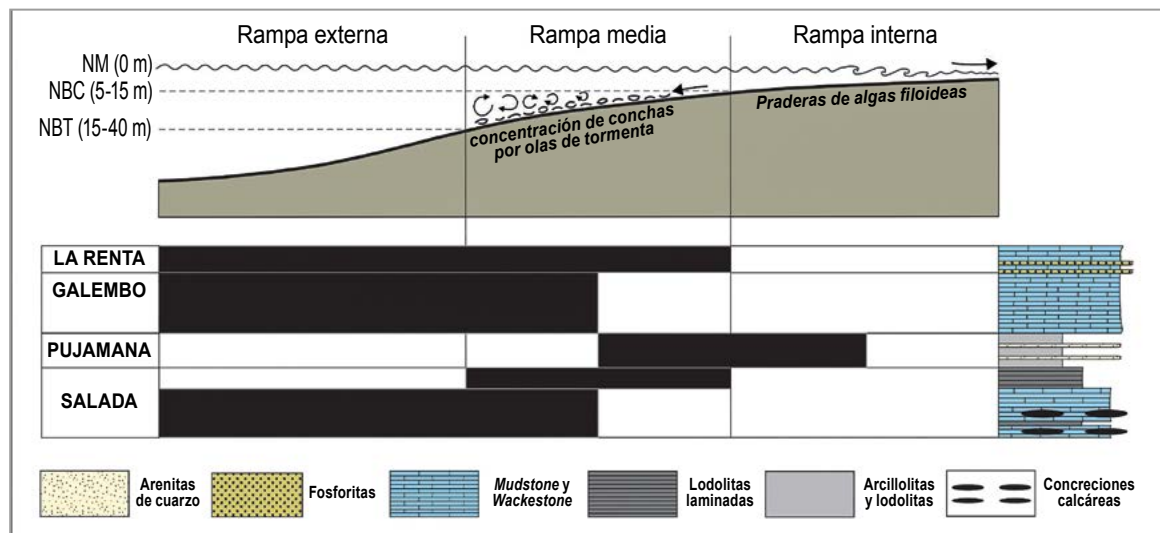


Figura 53. Diagrama que ilustra el modelo sedimentario de rampa homoclinal interpretado para las formaciones Salada, Pujamana, Galembó y La Renta del Cretácico superior en el proyecto Hidrosogamoso. Adaptado de Bodin, Godet, Vermeulen, Linder y Föllmi (2006). Se siguen las subdivisiones de la rampa propuestas por Burchette y Wright (1992). NM = nivel medio del mar (0 m), NBC = nivel base de las olas con mar en calma (5-15 m), NBT = nivel base de las olas en tiempo de tormenta (15-40 m).

más aireado; esta condición del fondo, explica la casi completa ausencia de bioperturbación en las formaciones Salada, Galembó y La Renta, mientras que en la Formación Pujamana la bioperturbación fue significativamente mayor, ya que alcanzó un grado alto (moteado distinto a indistinto), con excepción de algunos niveles arenosos y lodolíticos hacia la parte baja y media, donde la bioperturbación es baja (láminas irregulares). La aparición de foraminíferos bentónicos hacia la parte superior de la Formación Galembó y en la Formación La Renta (a partir del segmento 5 de la sección en la quebrada Aguablanca, m251,7), junto con la desaparición de la fauna megascópica de amonitas y bivalvos (desde el m240,0 en la parte superior del segmento 5 en la sección de Aguablanca) ya es indicativo de condiciones más someras del medio sedimentario. Se observan unos tipos específicos de bivalvos fósiles (inocerámidos o anomias, principalmente), que abundan especialmente en la porción inferior de la Formación Salada, lo que sugiere algún tipo de restricción ambiental sobre el fondo, posiblemente relacionada con anoxia sobre el mismo. La masa de agua fue rica en fauna planctónica, como lo demuestra la profusión de foraminíferos planctónicos en las formaciones Salada, Galembó y La Renta, y la relativa abundancia de amonitas y peces fósiles de diferentes especies, especialmente en la Formación Galembó.

La forma o perfil del fondo para el lapso Turoniano-Santoniano, o tiempo de acumulación de las formaciones Salada, Pujamana, Galembó y La Renta, debió corresponder a una rampa homoclinal (**fig. 53**), es decir, una rampa con pendiente uniforme, sin un quiebre significativo de la pendiente, donde las facies de aguas muy someras cambian gradualmente a las facies más profundas. En las rampas homoclinales, la inclinación del fondo normalmente es $<1^\circ$ (Read 1982, 196), y las facies se acumulan y localizan en cinturones paralelos a las curvas batimétricas (o a la línea de costa, si la batimetría del fondo se ajusta o coincide con esta línea), desde la zona de rompiente de las olas hasta las zonas más profundas de mar abierto. En este modelo, las facies más someras y de granulometría gruesa se hallan en dirección de tierra firme (en el caso de Hidrosogamoso, estas facies no están presentes; sin embargo, ellas deben localizarse hacia el oriente; p. e., véase los mapas de facies de Villamil 1998, 164, fig. 2C; Villamil, Arango y Hay 1999, 195-197, figs. G, H; y Cáceres, Cediell y Etayo-Serna 2003, 30-36, mapas 10-12), y las facies más finas, distales y profundas, se encuentran en dirección de mar abierto (en el caso del área de estudio, estas facies están representadas en la Formación Salada y en la parte inferior del Galembó); en el modelo de rampa homoclinal, las facies gruesas cambian gradualmente a facies fino-granulares a medida que se avanza hacia mar abierto (Ahr 1973, 222-223).

La aparición de restos fósiles de filamentos de algas calcáreas (*phylloid algae?*) en la formación Salada (muestras APA-2790, m84,0, segmento 8, **láms. 1/H, 9/A, 9/B**; APA-2792, m92,8, segmento 9, **láms. 9/C, 9/D** y APA-2796, m99,0, segmento 9, en la sección de Aguablanca) y Galembó (muestras

APA-2821, m189,6, segmento 2, **lám. 9/E** y APA-2823, m206,6, segmento 3, **lám. 3/G**, en la sección de Aguablanca; APA-5369, m115,8, segmento 1, **láms. 6/H, 9/F, 9/E**; RT-5371, m134,6, segmento 2 y RT-5375, m183,9, segmento 5, **láms. 7/F, 9/F** en la sección de Montebello) sugiere que la acumulación de sedimentos se dio en ambientes marinos muy someros con suficiente luminosidad para sustentar las algas; los restos de algas alcanzan entre $<1\%$ y 25% del volumen total de la roca, y se encuentran en calizas con textura *packstone* y *wackestone* de foraminíferos planctónicos, finamente laminadas, ricas en materia orgánica; las algas se encuentran en fragmentos aislados, generalmente de forma alargada (filamentos) y en lentes muy pequeños; los fragmentos están recristalizados a calcita entre fina y muy finamente cristalina, con tamaños entre $20 \times 20 \mu\text{m}$ hasta $0,04 \times 11,2 \text{ mm}$, dispuestos paralelamente a la laminación de la roca; los lentes (véase **láms. 9/A, 9/B, 9/C, 9/D**) están compuestos internamente por fragmentos de algas con textura *grainstone* y varían en tamaño desde $0,2 \times 0,8 \text{ mm}$ hasta $0,9 \times 7,2 \text{ mm}$. Tanto fragmentos como lentes sugieren transporte y acumulación debidos a la acción de corrientes marinas unidireccionales inducidas por las mareas, el oleaje normal o las tormentas; se interpreta que estas corrientes removieron fragmentos de algas filoides? desde las zonas menos profundas, bien iluminadas y oxigenadas de la rampa interna (zona fótica donde proliferaban las algas *in situ*) y los transportaron hasta los medios sedimentarios tranquilos, bajos en oxígeno o anóxicos, y ricos en materia orgánica de la rampa media y externa, en donde se acumulaban las facies fino-granulares de las formaciones Salada y Galembó; los lentes de algas probablemente se originaron de manera similar a como se forma la estratificación y laminación *flaser* simple, con lentes aplanados, descrita por Reineck y Singh (1980, 113-118), lo que sugiere profundidades de acumulación en el rango de la bajamar hasta submareal, si la rampa es dominada por las mareas, o profundidades cercanas o un poco por debajo del nivel base medio de las olas (5-15 m de profundidad) o de las tormentas (15-40 m de profundidad), asumiendo que la rampa sea dominada por olas y tormentas (**fig. 53**; *fairweather wave-base* [nivel base de las olas con mar en calma] y *storm wave base* [nivel base de las tormentas] en Allaby 2013, 213 y 559, respectivamente). En la **tabla 2** se especifica la proporción de algas filoides? (del total de bioclastos) en las muestras analizadas.

La aparición de conchillas de foraminíferos planctónicos calcáreos, en láminas delgadas y muy delgadas (entre 0,2 a 2 mm de espesor), de apariencia lenticular, tanto a nivel mesoscópico como microscópico (p. e., **láms. 1/C, 1/D, 1/E, 1/F, 3/F, 3/H, 4/B, 4/C, 4/G, 4/H, 5/A, 5/B, 7/E, 8/C, 8/D**), y en donde las conchillas se disponen con su eje mayor paralelo a la estratificación de la roca (en el caso de conchillas o restos de conchillas con formas elongadas), y presentan textura *packstone* a *wackestone*, se interpreta como consecuencia de la acción de corrientes marinas (de origen mareal, por oleaje normal o por las tormentas), justo después de su acumulación por suspen-

sión o caída por gravedad sobre el fondo; las corrientes orientan las conchillas y remueven parcial o casi totalmente el material fino de la matriz entre las conchillas, lo que da origen a las láminas de foraminíferos con textura *packstone* o *wackestone*. Este mecanismo de acumulación se observa en las facies de calizas con textura *wackestone* y *packstone* presentes en las Formaciones Salada, Galembó y La Renta.

La sucesión de facies en las secciones levantadas permite interpretar, en el caso del Pujamana, acumulación sobre fondos marinos de rampa homoclinal media a interna (antepaya inferior) siliciclástica; en el Salada, el Galembó y La Renta las condiciones fueron similares, es decir, rampa homoclinal media a externa de carbonatos, exceptuando la parte superior del Salada, que se interpreta en rampa media siliciclástica, principalmente (allí se encuentran lentes aislados de cuarzoarenita de textura muy fina, embebidos en lodolita levemente calcárea, similar a la laminación *flaser* simple con lentes aplanados de Reineck y Singh, 1980, 113-118). Las capas de fosforitas generadas por tormentas de la base de La Renta sugieren rampa media de carbonatos. El carbonato proviene principalmente de las conchillas de foraminíferos planctónicos, y en menor proporción de la desintegración, posiblemente, de las algas filoideas? calcáreas que abundaban en las zonas más proximales al continente de la rampa (**fig. 53**).

En conclusión, se interpreta que las formaciones Salada, Pujamana, Galembó y La Renta se acumularon sobre un medio marino somero (<40 m de profundidad) de costa afuera, cuya forma o perfil representa una rampa homoclinal, entre media e interna (Formación Pujamana) o rampa media a externa (Formaciones Salada y Galembó) (**fig. 53**); los niveles de oxígeno fueron pobres sobre el fondo durante la acumulación de las formaciones Salada, Galembó y La Renta, lo que preservó la materia orgánica (algo manifiesto por el contenido de materia orgánica >1% en estas unidades), y un poco más oxigenado cuando se depositaban los sedimentos de la Formación Pujamana (evidente por su menor contenido de materia orgánica <1% y mayor grado de bioperturbación, que alcanza hasta un moteado que varía de distinto a indistinto). En la masa de agua, de salinidad normal y comunicada con el mar abierto, abundaron nutrientes que permitieron la proliferación de peces, amonitas y foraminíferos planctónicos. En la zona eufótica de la rampa se desarrollaron algas calcáreas filoideas?

Respecto a las concreciones micríticas, comunes en la Formación Salada y abundantes en las formaciones Galembó y La Renta, muchas presentan deformación de la roca huésped en los bordes de la concreción, lo cual sugiere dos posibilidades: **1)** un origen singenético, donde la concreción crece sobre el fondo marino o a una muy poca profundidad de enterramiento de la interface agua-sedimento, antes de que se produzca la compactación del sedimento; luego, la compactación causa la deformación de las capas alrededor de la concreción, siempre y cuando no haya cementación temprana que consolide la roca huésped; **2)** la segunda alternativa es un origen diagenético

en el que la concreción se desarrolla por crecimiento desplazativo (*displacive growth*) durante la diagénesis, que ocurre si la roca huésped tiene una plasticidad suficiente como para permitir su deformación por crecimiento de la concreción; la deformación de la roca huésped se da como consecuencia del crecimiento de la concreción y por la compactación tardía de la roca huésped, antes de que ella logre una completa rigidez (Sellés-Martínez 1996, 197). Weeks (1953, 1957) estudió el origen de las concreciones en los *shales* cretácicos del VMM, y sugirió un origen diagenético temprano de estas estructuras; la deformación de la roca huésped alrededor de las concreciones debió ocurrir cuando el sedimento aún era lo suficientemente plástico como para fluir alrededor de la misma. El hecho de que las concreciones contengan fósiles de peces y amonitas, completos y sin deformación (como ocurre en muchas de las concreciones de la Formación Galembó), apunta a un origen diagenético temprano, ya que se requiere una cementación rápida de estos restos de organismos y del crecimiento posterior de la concreción con la suficiente anticipación para detener la descomposición de los restos orgánicos y para resistir la compresión ejercida por la sobrecarga posterior de los sedimentos.

A las grandes concreciones de tamaño métrico, de textura *wackestone* de foraminíferos planctónicos (similar a la roca encajante) que presentan laminación interna plana paralela, y que se observan en la Formación Galembó (sección de Aguablanca: segmento 2, m191,0-m193,0; sección de Montebello: segmento 5, m186,5-m187,0), se les puede atribuir un origen diagenético temprano; las láminas internas en concreciones sugieren que ellas fueron retenidas durante la cementación de la concreción, después de la sedimentación, lo que implica que la concreción habría heredado la laminación de la roca huésped. La estratificación paralela dentro de concreciones, asociada a deformación y a cambios de espesor de la roca huésped (como ocurre hacia los bordes de las concreciones de *wackestone* laminado encontradas en la Formación Galembó), implica la preservación de capas paralelas dentro de la concreción, lo que refleja el crecimiento temprano de la misma, antes de la compactación de la roca huésped (Sellés-Martínez 1996, 196-197).

Las capas con forma de montículo, de base plana y techo convexo, descritas en la Formación Galembó (sección estratigráfica Montebello, segmentos 4 y 5, m142,0-m179,0 y m179,0-m193,5, respectivamente, véase **fig. 42**), corresponden a concreciones en las que se observa deformación de la roca huésped en su parte superior; esto sugiere que la roca huésped por debajo de la estructura se compactó lo suficiente como para soportar el peso de la concreción, a medida que esta crecía e impedía que ella se desarrollara hacia abajo. La flexión de la laminación en la roca huésped, por encima y a los lados de la concreción, indica que durante la formación de la estructura el sedimento aún no estaba compactado; luego, durante el proceso diagenético, el sedimento se compacta y la laminación se flexiona alrededor de la concreción; esto implica que el proceso de sedimentación y el crecimiento de la concreción se produjo de forma simultánea o casi simultánea.

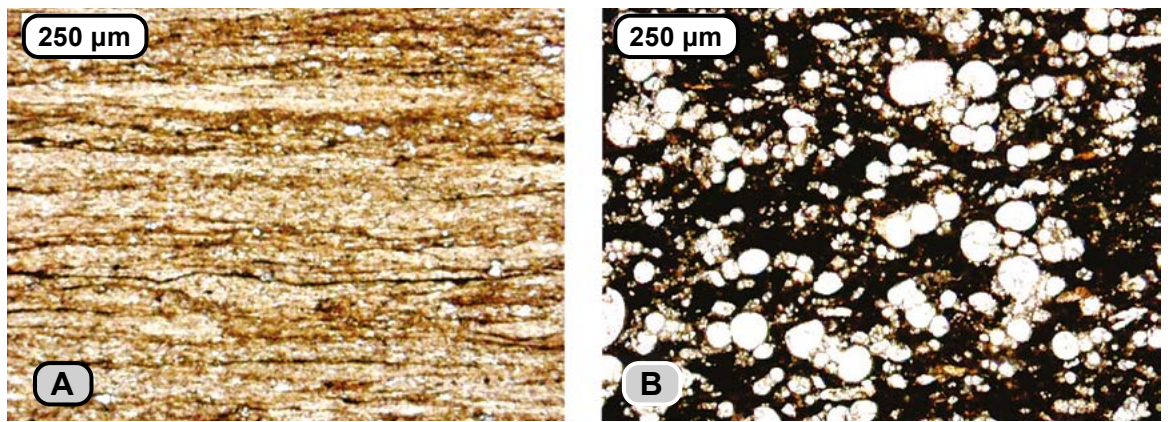


Figura 54. A) Láminas finas discontinuas de materia orgánica opaca (de color negro) coexisten con materia orgánica subtranslúcida (de color marrón más claro) en una lodolita terrígena rica en materia orgánica; la materia orgánica subtranslúcida se encuentra mezclada con minerales arcillosos. Techo de la Formación Salada, segmento 10, m123,0, sección estratigráfica de Aguablanca. Microfotografía de la sección delgada APA-2800, nicoles paralelos, a 50 aumentos. **B)** Materia orgánica opaca de color negro impregnando el soporte micrítico de una caliza con textura *packstone* de foraminíferos planctónicos (que se observan de color blanco). Base de la Formación Galembó, segmento 5, m183,9, sección estratigráfica de Montebello. Microfotografía de la sección delgada RT-5375, nicoles paralelos, a 50 aumentos. La parte superior de las figuras corresponde al techo de las muestras.

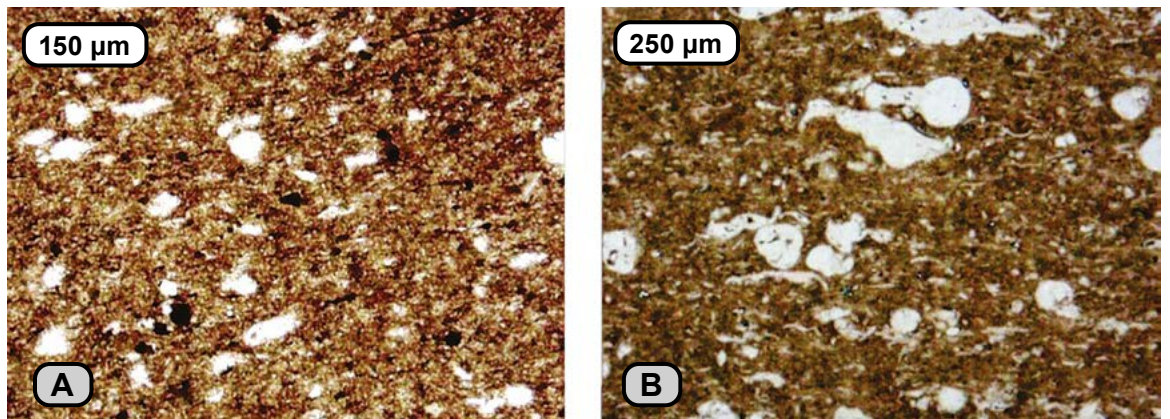


Figura 55. A) Arcillolita limosa fosilífera con materia orgánica subtranslúcida (de tonalidad marrón), finamente diseminada en la roca. Techo de la Formación Galembó, segmento 10, m268,3, sección estratigráfica de Montebello. Microfotografía de la sección delgada RT-5403, nicoles paralelos, a 100 aumentos. **B)** Materia orgánica subtranslúcida (de color marrón), mezclada con micrita, haciendo parte del soporte de una caliza fosilífera de foraminíferos planctónicos con textura *wackestone*. Formación Galembó, segmento 5, m251,8, sección estratigráfica de Aguablanca. Microfotografía de la sección delgada APA-2830, nicoles paralelos, a 50 aumentos. La parte superior de las figuras corresponde al techo de las muestras.

Respecto del contacto disconforme entre las formaciones Galembó (La Renta en este trabajo) y Umir en el área tipo, tanto Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958, 655), Ward et al. (1973, 76-77) como Maughan et al. (1979, 37-39) consideran dicho contacto discordante, basados en diferencias notables de espesor de la Formación Galembó, y por la presencia de capas conglomeráticas (provenientes del Galembó, según ellos) en la base de la Formación Umir. Aparentemente, en el subsuelo de la Concesión de Mares del VMM (zona de Barrancabermeja) también se presenta esta disconformidad; Taborda (1965, 133) señala que en el pozo Llanito No. 4, se observa claramente la existencia de un contacto abrupto entre la Formación Galembó y la suprayacente Formación Umir. Evidencias de esta disconformidad, se indicaron en la descripción de la sección estratigráfica por la quebrada Aguablanca, en el intervalo m322,8-m350,0 correspondiente a la base de la Formación Umir.

Acerca de las facies silíceas (*cherts*, porcelanitas, lodolitas silíceas o calizas silíceas *sensu* Williams, Turner y Gilbert

1954, 270-271), generalmente en capas delgadas o lentes, comúnmente descritas en la “Formación La Luna y sus miembros constitutivos” (p. e., Maughan et al. 1979, 31, 35 y 37; Ward et al. 1973, 73-74; Rangel, Parra y Niño 2000, 1269, 1272; Sarmiento, Puentes y Sierra 2015, 28-29), en este estudio solamente se observaron en la Formación Galembó y La Renta, sean ellas de origen primario o secundario (más adelante se hablará del tema). Wheeler (1929, 8) describe capas delgadas de *chert* negro estratificado de forma regular o irregular en la Formación Galembó, aparentemente más abundantes en la parte baja de la unidad. De igual manera, las facies ricas en fosfatos (fosforitas y rocas calcáreas con abundancia de fosfatos) con textura granular tipo *wackestone* a *grainstone*, compuestas principalmente por peloides, fragmentos de peces o foraminíferos bentónicos fosfatizados, en capas macroscópicamente superiores a 1 cm, únicamente se vieron en la base de la Formación La Renta.

Respecto a las facies ricas en fosfatos de la Formación La Renta, estas corresponden a fosforitas granulares (*sensu* Glenn et

al. 1994, 752-753). Según este autor, las fosforitas granulares presentan textura de limolita, arenisca y algunas veces conglomerado, compuestas principalmente de partículas fosfáticas que muestran alguna evidencia de transporte y acumulación bajo la influencia de corrientes de fondo; el material cementante de las partículas normalmente es calcáreo, silíceo o fosfático, y usualmente presentan matriz arcillosa. Föllmi et al. (1992, 165-168) y Föllmi (1996, 79-83) se refieren a este tipo de depósitos como fosfatos alóctonos. De acuerdo con estos autores, el origen de estas acumulaciones se debe a depósitos por flujos de sedimento por gravedad, ricos en fosfatos, provenientes de la erosión de capas fosfáticas condensadas localizadas en la parte superior de ciclos sedimentarios grano-crecientes de escala métrica (1 a 15 m). En esta investigación no se reconocieron dichos ciclos sedimentarios ni las capas fosfáticas condensadas. En la Formación La Renta, la textura de las fosforitas es de arenitas de grano fino a medio, relativamente bien calibradas, con granos fosfáticos predominantemente de peloides, fragmentos de huesos y vértebras de peces y foraminíferos completos (tanto bentónicos como planctónicos), cementados por carbonato; estos granos muestran un claro origen alóctono, es decir, que han sido arrastrados y depositados por flujos turbulentos debidos a la acción de las tormentas; las fosforitas de los segmentos 9 y 11 en la sección de Aguablanca y del segmento 10 en la sección de Montebello son de este tipo (véase **fig. 21**).

Como se indicó en el capítulo de Metodología, la materia orgánica en las secciones delgadas se observa generalmente de color negro o en varios tonos de color marrón (en nicoles paralelos), o se aprecia totalmente extinguida (en nicoles cruzados). Ella se encuentra mezclada o finamente diseminada con el lodo calcáreo micrítico o con los minerales arcillosos que constituyen el soporte de la roca, lo cual dificulta la diferenciación y estimación de estos constituyentes en las muestras. Por esta razón, y por no contar con análisis geoquímicos de carbono orgánico total (TOC), ni con estudios del tipo de materia orgánica y su evolución térmica, se utilizó el antiguo método de Folk (1987), que permitió identificar la materia orgánica opaca de la materia orgánica subtranslúcida; no obstante, su cuantificación fue aproximada y posiblemente sobrevalorada. Con el método de Folk (1987), la materia orgánica opaca se ve de color negro, y la materia orgánica subtranslúcida se aprecia en distintas gamas de color marrón; esta distinción es importante porque el color refleja la madurez termal de la roca, un criterio valioso en la exploración de hidrocarburos; los colores negros o grises indican materia orgánica altamente madurada, y los marrones sugieren materia orgánica de madurez intermedia (Folk 1987, 194).

La materia orgánica presente en las secciones delgadas corresponde predominantemente a materia orgánica subtranslúcida y, en menor proporción, a materia orgánica opaca; estos dos tipos de materia orgánica se diferencian muy bien con la técnica descrita por Folk (1987, 193-194), que consiste en colocar una tarjeta de color blanco debajo de la sección delgada y observar sus constituyentes bajo luz oblicua reflejada. Con esta técnica, la materia orgánica sub-

translúcida se aprecia de color marrón moderado (5YR 3/4, 5YR 4/4), marrón oscuro (5YR 2/2), marrón grisáceo (5YR 3/2) o marrón claro (5YR 5/6). En nicoles paralelos, su comportamiento es similar al de un mineral subtranslúcido, es decir, que alcanza a transmitir parte de la luz, mientras que la materia orgánica opaca no transmite la luz y se observa de color negro. Ambos tipos de materia orgánica aparecen en las formaciones Salada, Pujamana, Galembo y La Renta, pero son más abundantes en las formaciones Salada y Galembo. La materia orgánica opaca se presenta entre <1% y 34,8% del volumen total de la roca, en láminas muy finas discontinuas (desde 40 × 20 μm hasta 15 × 3.500 μm), haciendo parte del armazón de lodolitas terrígenas (**fig. 54/A**) o como una pasta opaca, enmascarando o impregnando el soporte o la matriz de calizas con textura *wackestone* y *packstone* de foraminíferos planctónicos (**fig. 54/B**). La materia orgánica subtranslúcida oscila entre 9,4-49,4% del volumen total de la roca, y se encuentra de manera difusa o mezclada con micrita o minerales arcillosos, tanto en el soporte como en la matriz de rocas similares a las descritas anteriormente (**figs. 55/A, 55/B**). En varias muestras analizadas coexisten ambas clases de materia orgánica; no obstante, en otras muestras solo se encuentra un tipo específico de ella. En la **tabla 2** se discriminó el tipo de materia orgánica y su porcentaje en aquellas muestras en que fue posible hacerlo.

Un aspecto diagenético exclusivo de la Formación Salada es la presencia de concreciones calcáreas micríticas, ricas en pirita, que fueron observadas en los segmentos 4, 5, 6 y 8 de la sección estratigráfica por la quebrada Aguablanca, además de la aparición de láminas delgadas lenticulares de pirita en el segmento 8. Wheeler (1929, 8) señala como característica relevante de esta unidad la presencia de concreciones con pirita y venas de pirita.

El aumento de espesor de las formaciones Pujamana y Galembo en la sección estratigráfica de Montebello, de mínimo 96% para la primera y de 37% para la segunda, se puede atribuir a una tasa mayor de subsidencia tectónica y aporte sedimentario hacia el sector de Montebello, probablemente relacionado con el movimiento de fallas normales que afectaron la sedimentación en la región del Valle Medio del Magdalena y en la zona del proyecto Hidrosogamoso. En Montebello se tiene evidencia de tectonismo actuando sobre la sedimentación, en la porción superior de la Formación Pujamana; allí se observa estratificación plana con forma divergente, o en forma de cuña (véase, p. ej., **figs. 27, 29 y 32**), lo que sugiere variaciones laterales rápidas en la tasa de acumulación, o inclinación progresiva de la superficie de deposición, y su efecto es el engrosamiento lateral paulatino de la sucesión hacia el W.

ROCAS VOLCÁNICAS EN EL CRETÁCICO SUPERIOR DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA Y EL POSIBLE ORIGEN DE LA SÍLICE

Ballesteros et al. (2013, 30-31) reportan capas de rocas volcánicas piroclásticas intercaladas en la sucesión cretácica de edad Turoniano-Santoniano (Formaciones Salada, Puja-

mana y Galembo) perforada por el pozo La Luna-1, específicamente en las Formaciones Salada (donde ocurren localmente) y Galembo (con ocurrencia frecuente).

En las Formaciones Galembo y La Renta, tanto en la sección de Aguablanca (segmento 5: m235,0-m236,0, m245,0, m249,5-m250,0; segmento 12: m318,2) como en la sección de Montebello (segmento 1: m123,0-m126,0, m127,5; segmento 2: m135,0-m138,0; segmento 10: m290,0-m290,1, m298,8-m299,3) se encontraron capas entre delgadas y medianas (2 a 13 cm de espesor) de arcillolitas o lodolitas de coloración naranja o amarilla, meteorizadas y blandas, que llaman la atención por su color, composición y textura contrastantes, ya que se encuentran intercaladas entre capas de caliza con textura *mudstone* o *wackestone* de foraminíferos planctónicos, ricas en materia orgánica (véase **fig. 11**). Estas capas se interpretaron como cenizas volcánicas alteradas; desafortunadamente el material está muy meteorizado. Un análisis de difracción de rayos X realizado por el Laboratorio Químico del Servicio Geológico Colombiano a la muestra RT-5371A (m135,0, segmento 1, sección de Montebello) da como resultado caolinita $[Al_2Si_2O_5(OH)_4] = 78,8\%$, cuarzo (SiO_2) = 8,3%, calcita ($CaCO_3$) = 6,7%, anatasa (TiO_2) = 3,9% y sepiolita $[Mg_4Si_6O_{15}(OH)_2 \cdot 6H_2O] = 2,2\%$. Aunque los resultados no son concluyentes, los minerales identificados sugieren capas de origen volcánico piroclástico, totalmente devitrificadas y alteradas por meteorización.

¿Fue este vulcanismo cretácico la fuente de sílice que dio origen a las capas de *cherts* y porcelanitas presentes en la Formación Galembo y La Renta del VMM? Hasta la fecha, para explicar la formación de capas sedimentarias de *cherts* y porcelanitas se han propuesto procesos deposicionales, diagenéticos o tectónicos (véase Villamil 1994; Villamil, Arango y Hay 1999; Cortés 1994; Terraza 2003), pero no se ha enfrentado el problema del origen de la sílice. La sílice puede ser un producto de alteración de materiales volcánicos o un precipitado derivado de la disolución de conchillas de organismos silíceos como diatomeas, radiolarios y espículas de esponjas (Friedman 2003, 131). Bürgl (1959, 99) insinúa que el vulcanismo es la fuente de sílice de los *cherts* y porcelanitas cretácicas de la cordillera Oriental.

Numerosas capas entre delgadas y medianas de *cherts*, con espesores entre 3 y 30 cm, generalmente de forma lenticular y discontinuas (similares a lo que Boggs, 2009, 484-485, denomina *chert* nodular), de color negro, gris parduzco o negro parduzco (N1, N2, 5YR 4/1, 5YR 2/1) son comunes en las Formaciones Galembo y La Renta, tanto en la sección de Aguablanca como en la de Montebello; dichas capas son el producto de la silicificación parcial o total de calizas fosilíferas con textura *mudstone* o *wackestone*. En la muestra RT-5371 (segmento 2, sección Montebello, **láms. 7/A, 7/B y 7/C, tabla 2**) se muestra una caliza con textura *wackestone* de foraminíferos planctónicos silicificada parcialmente (la roca en campo se describió como *chert* fosilífero calcáreo), donde

la matriz micrítica fue reemplazada por cuarzo criptocristalino, y la esparita, que originalmente rellenaba cámaras de foraminíferos, fue substituida por cuarzo microcristalino. La sustitución de carbonato por sílice se produce en la etapa inicial de la diagénesis, durante el entierro de los sedimentos, cuando bioclastos y otros granos aloquímicos sufren disolución, y luego hay re-precipitación del carbonato, para formar la roca calcárea. Posteriormente se da la sustitución del carbonato por la sílice. La fuente probable de sílice para producir este reemplazo debió ser biogénica; las conchillas de diatomeas y radiolarios debieron aportar la sílice al disolverse, y esta re-precipitó como microcuarzo durante el proceso de silicificación.

EDAD DE LAS FORMACIONES SALADA, PUJAMANA, GALEMBO Y LA RENTA

Por Fernando Etayo-Serna

La edad de las formaciones del Cretácico superior investigadas en el presente trabajo se fundamenta en el estudio de moluscos fósiles adelantado por el Dr. Fernando Etayo-Serna.

En la Formación El Salto, unidad infrayacente a la Formación Salada, es notoria la presencia de *Rhynchostreon squamatum* (ORBIGNY), molusco bivalvo cuya mayor abundancia en el Cretácico de Colombia se presenta en el Cenomaniano (Gao-na 2003).

En la Formación Salada únicamente se recuperaron algunos *Inoceramus* s.l. y concentraciones de *Anomia colombiana* y *Benuites* sp., especies consideradas del Turoniano inferior (Villamil 1996).

En capas de la base de la Formación Pujamana se coleccionaron amonitas del género *Subprionocyclus* del Turoniano superior.

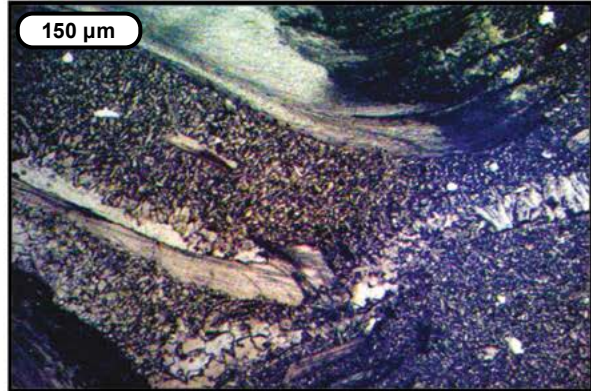
En la Formación Galembo, las capas del tercio inferior de la unidad suministraron numerosos bivalvos del género *Didymotis* junto con amonitas de los géneros *Prionocycloceras* y *Protexanites*, que indican el Coniaciano inferior; procedentes del tercio medio de esta formación se encontraron amonitas de los géneros *Paralenticeras* y *Zuluiceras* del Coniaciano superior; en la parte baja del tercio superior de esta unidad se coleccionaron amonitas de los géneros *Plesiotexanites*, *Texanites* y *Cocuyites*, que indican el Santoniano.

De la Formación La Renta no se recuperó ningún macrofósil; sin embargo, con apoyo en estudios micropaleontológicos anteriores (Petters 1955), los abundantes foraminíferos bentónicos calcáreos reconocibles en las numerosas capas delgadas de la Formación La Renta corresponderían a la Zona de *Siphogenerinoides cretácea*, del Campaniano.

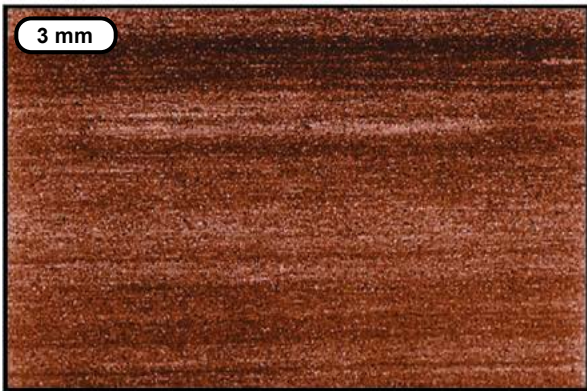
Lámina 1. Formaciones El Salto y Salada



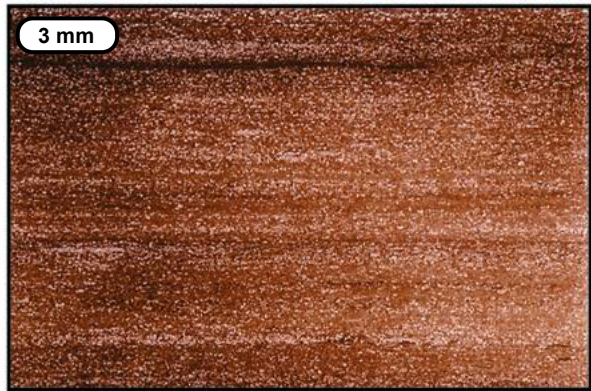
A (ESC. SD RT-5467, 0,3X)



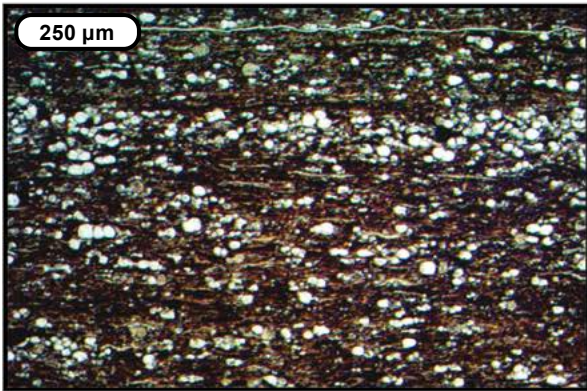
B (MIC. SD RT-5468, 10X, NC)



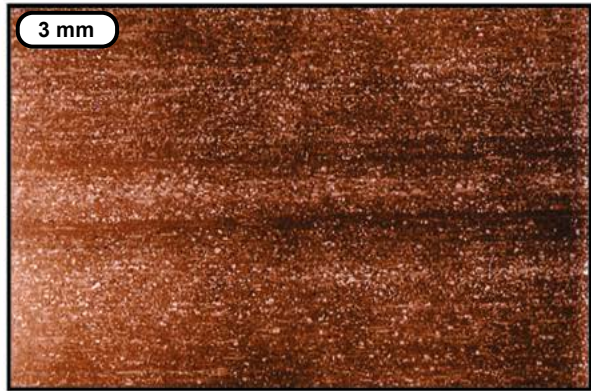
C (ESC. SD RT-5466, 0,3X)



D (ESC. SD RT-5469, 0,3X)



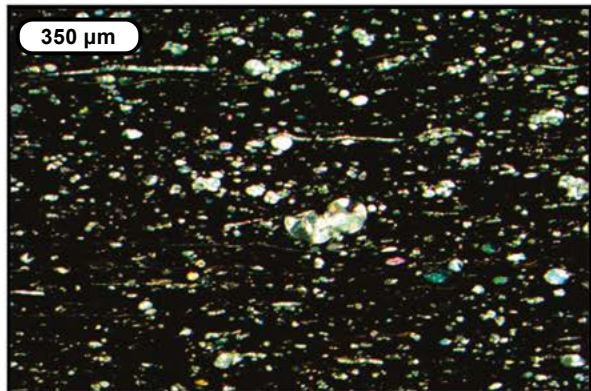
E (MIC. SD RT-5469, 4X, NP)



F (ESC. SD APA-2787, 0,3X)



G (ESC. SD APA-2788, 0,3X)



H (MIC. SD APA-2790, 3,2X, NC)

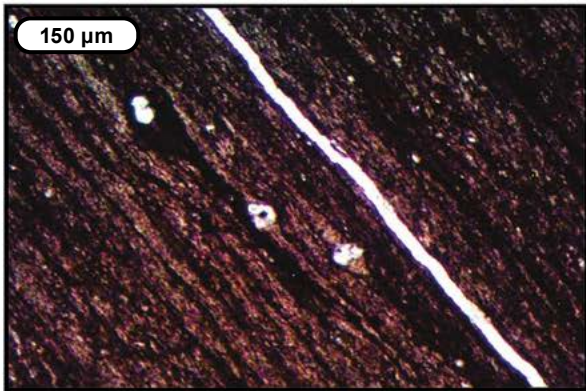
Lámina 2. Formaciones Salada y Pujamana



A (ESC. SD APA-2792, 0,3X)



B (ESC. SD APA-2799, 0,3X)



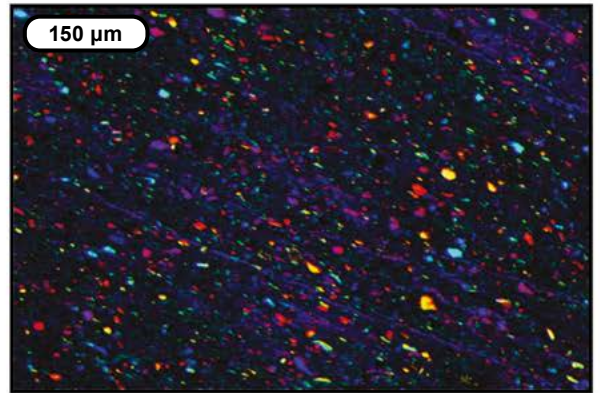
C (MIC. SD APA-2800, 10X, NP)



D (ESC. SD APA-2811, 0,3X)



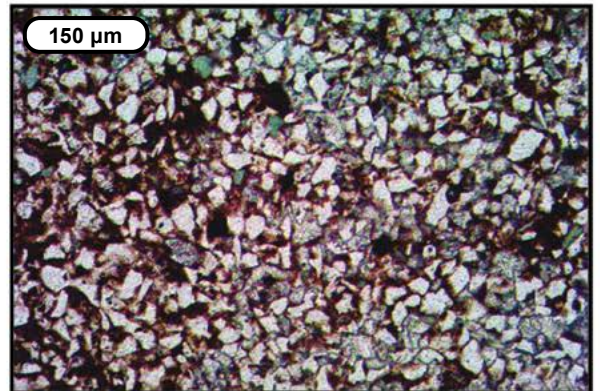
E (ESC. SD APA-2813, 0,3X)



F (MIC. SD APA-2813, 10X, NC, 1 λ)

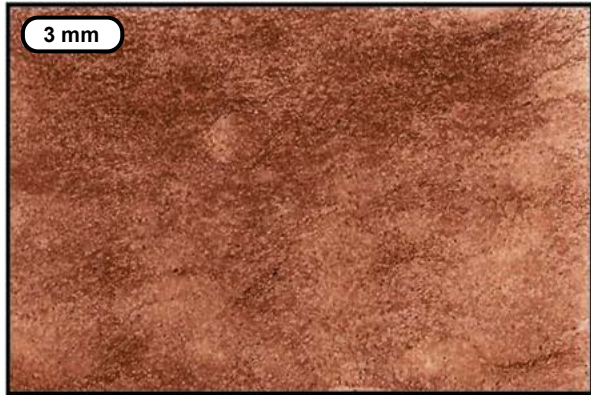


G (ESC. SD APA-2815, 0,3X)

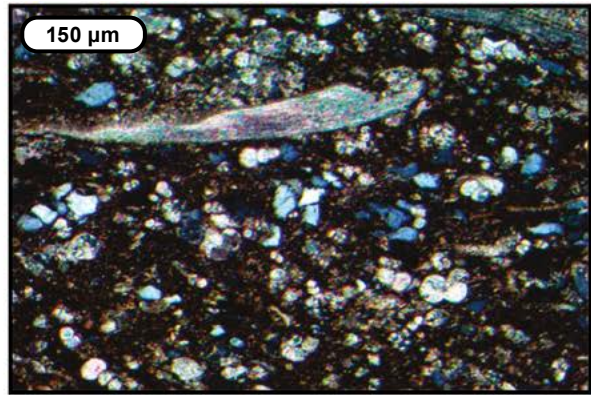


H (MIC. SD APA-2815, 10X, NP)

Lámina 3. Formaciones Pujamana y Galembo



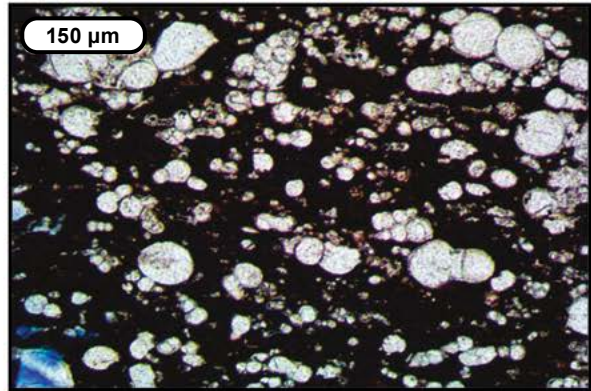
A (ESC. SD APA-2819, 0,3X)



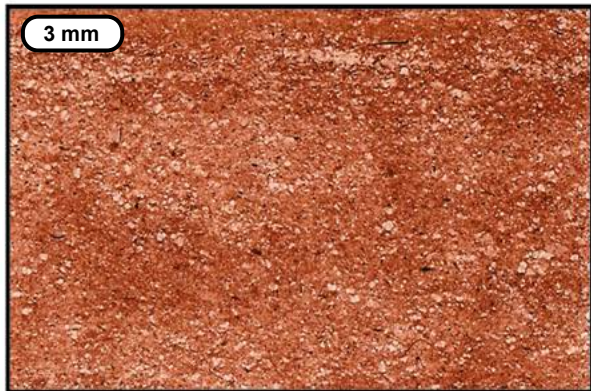
B (MIC. SD APA-2819, 10X, NC)



C (ESC. SD APA-2820, 0,3X)



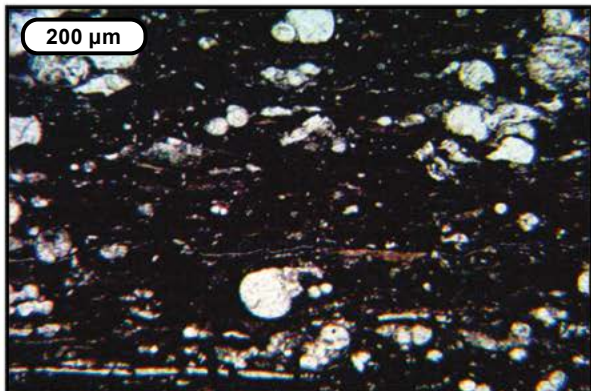
D (MIC. SD APA-2821, 10X, NP)



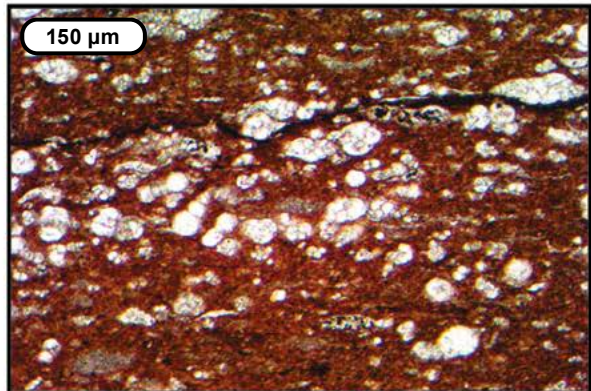
E (ESC. SD APA-2822, 0,3X)



F (ESC. SD APA-2823, 0,3X)

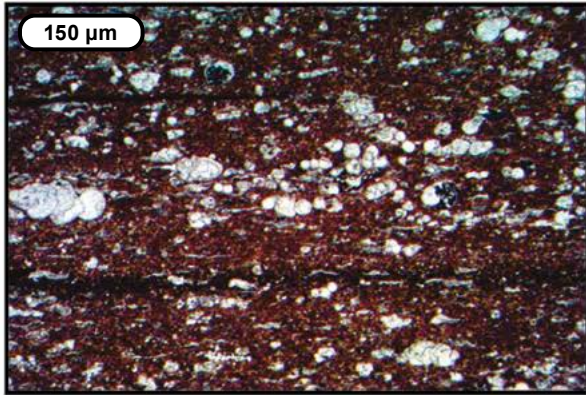


G (MIC. SD APA-2823, 6,3X, NP)

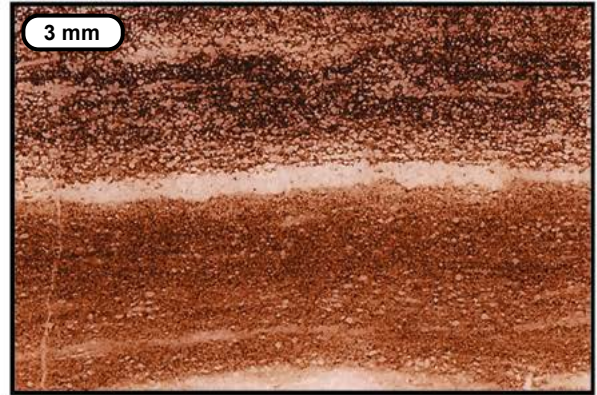


H (MIC. SD APA-2827, 10X, NP)

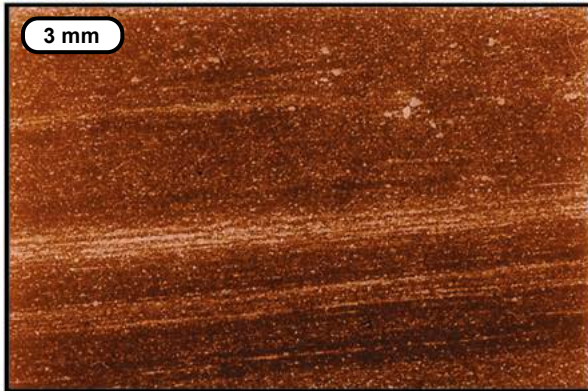
Lámina 4. Formaciones Galembo y La Renta



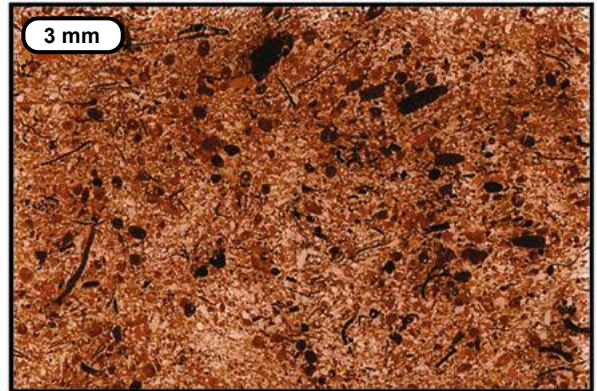
A (MIC. SD APA-2830, 10X, NP)



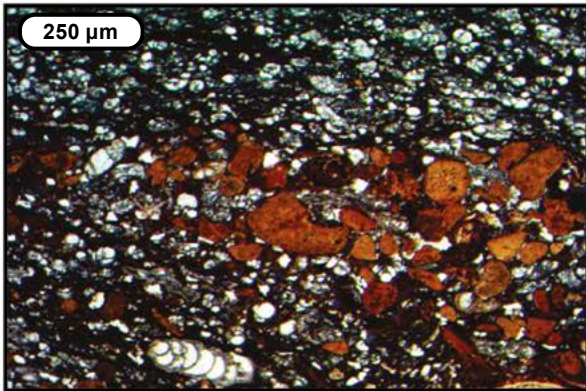
B (ESC. SD APA-2831, 0,3X)



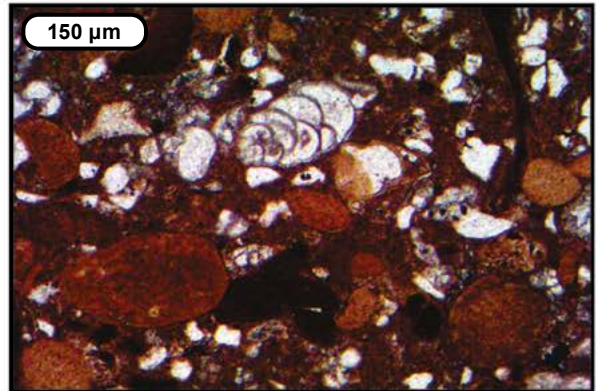
C (ESC. SD APA-2833A, 0,3X)



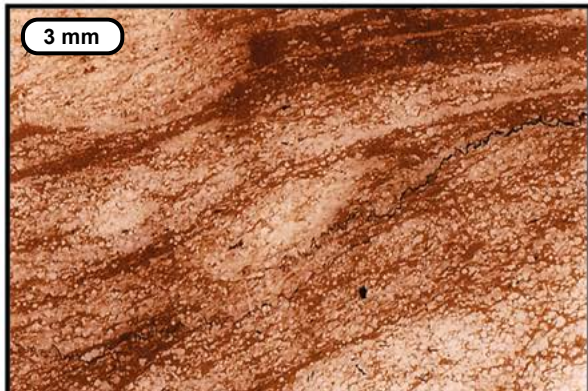
D (ESC. SD APA-2838, 0,3X)



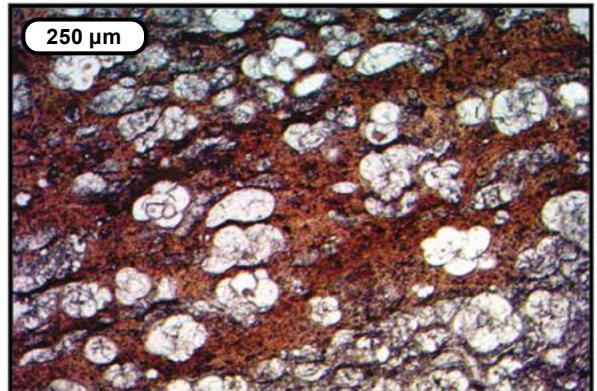
E (MIC. SD APA-2838, 4X, NP)



F (MIC. SD APA-2838, 10X, NP)

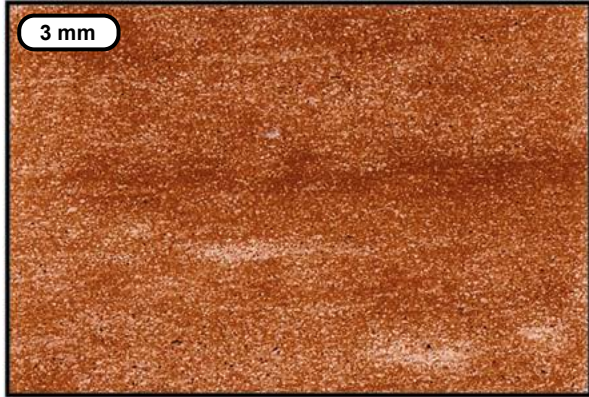


G (ESC. SD APA-2843, 0,3X)

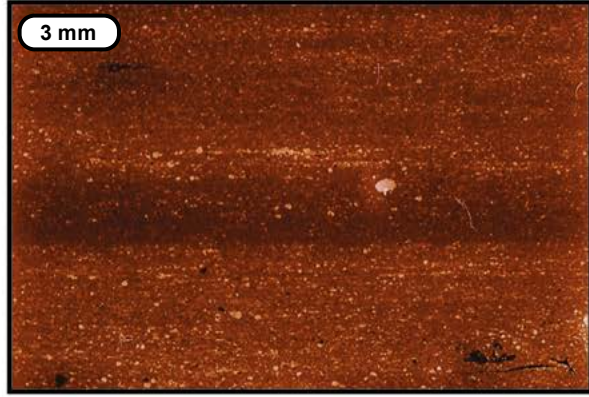


H (MIC. SD APA-2843, 4X, NP)

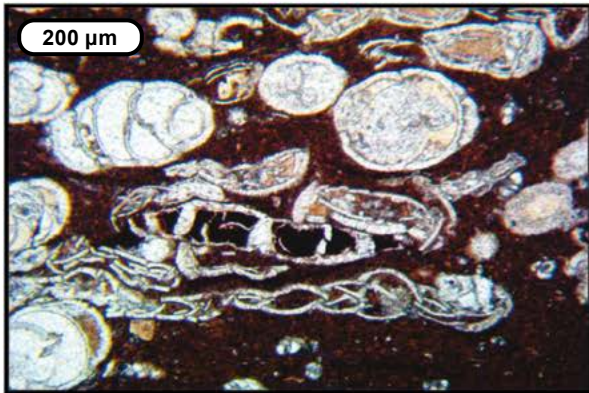
Lámina 5. Formaciones Pujamana, Galembo, La Renta y Umir



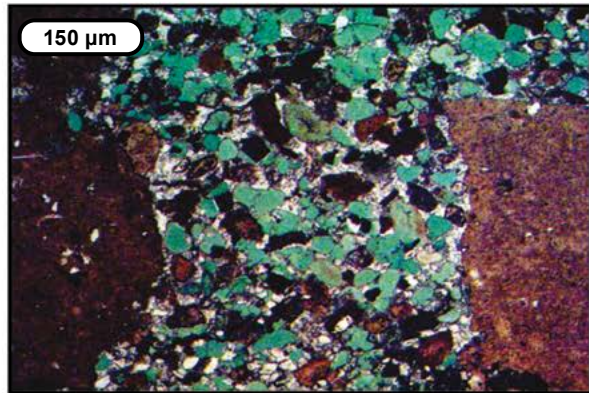
A (ESC. SD APA-2845, 0,3X)



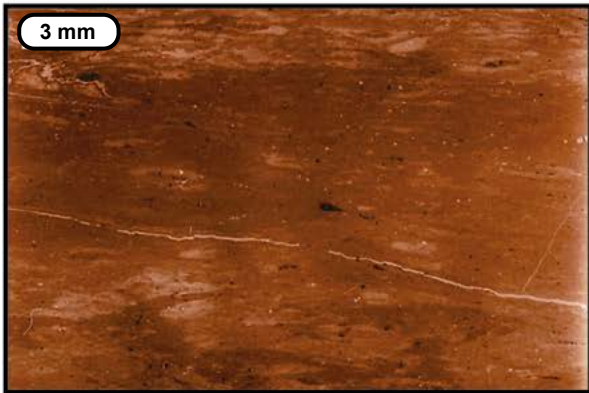
B (ESC. SD APA-2846, 0,3X)



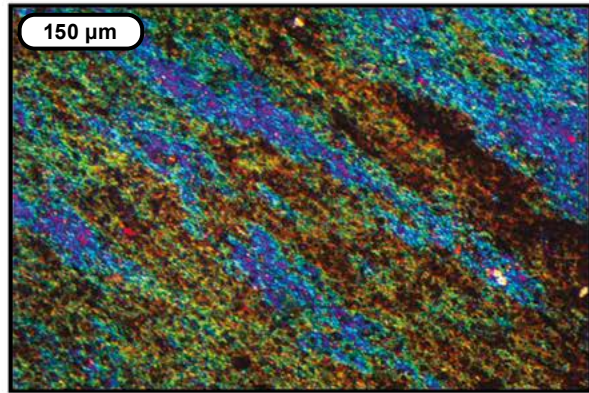
C (MIC. SD APA-2848, 6,3X, NP)



D (MIC. SD APA-2849, 10X, NP)



E (ESC. SD APA-2853, 0,3X)



F (MIC. SD APA-2853, 10X, NC 1λ)



G (ESC. SD RT-5395, 0,3X)

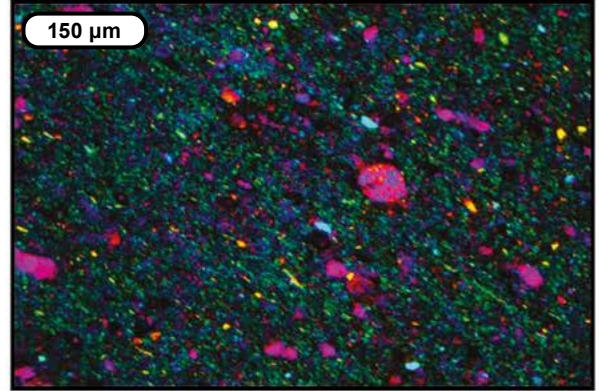


H (ESC. SD RT-5361, 0,3X)

Lámina 6. Formaciones Pujamana y Galembo



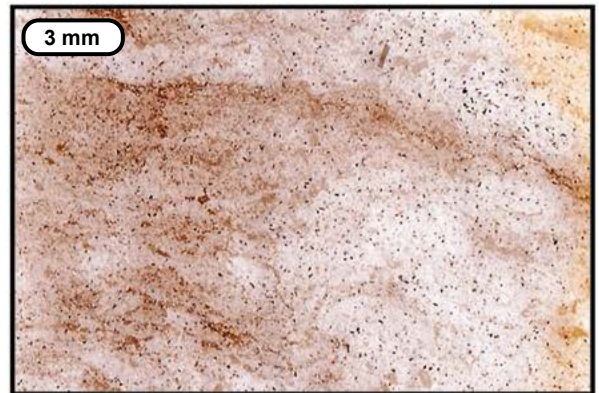
A (ESC. SD RT-5362, 0,3X)



B (MIC. SD RT-5362, 10X, NC, 1 λ)



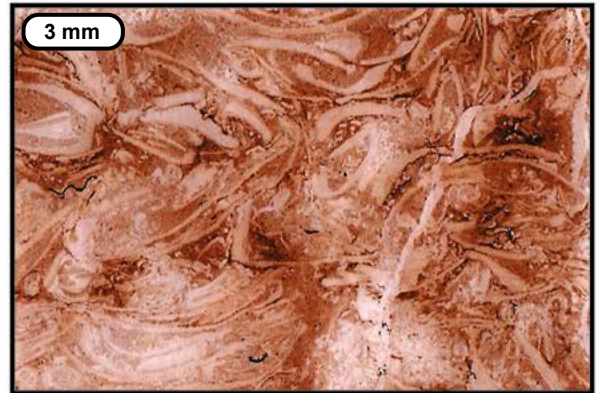
C (ESC. SD RT-5363, 0,3X)



D (ESC. SD RT-5366, 0,3X)



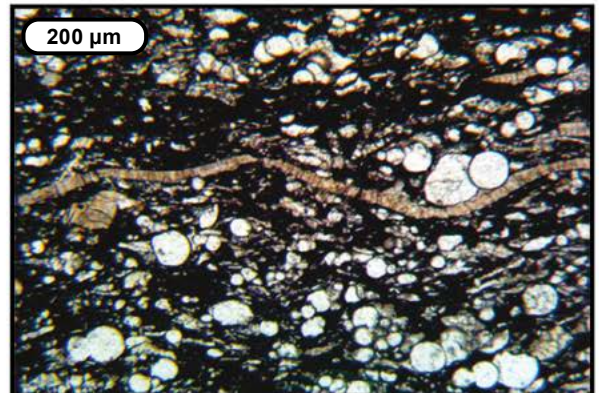
E (ESC. SD RT-5367, 0,3X)



F (ESC. SD RT-5368, 0,3X)

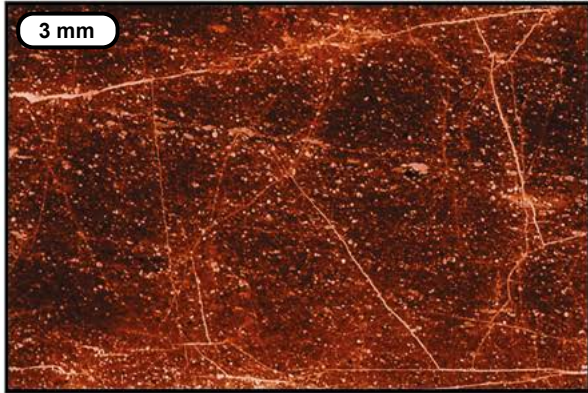


G (ESC. SD RT-5369, 0,3X)

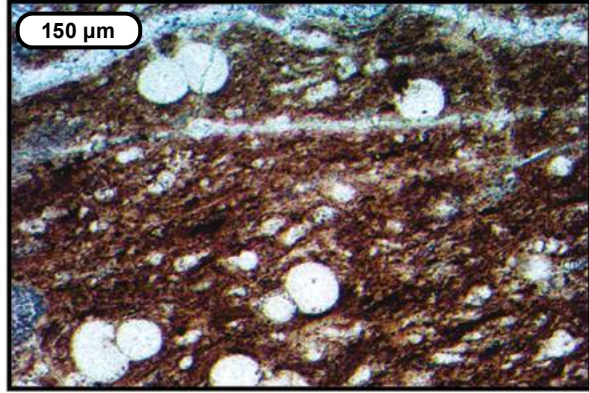


H (MIC. SD RT-5369, 6,3X, NP)

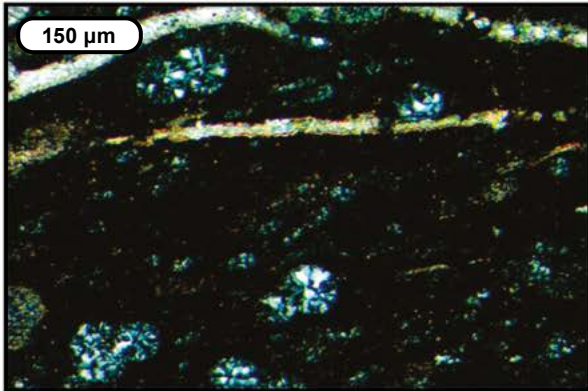
Lámina 7. Formación Galembo



A (ESC. SD RT-5371, 0,3X)



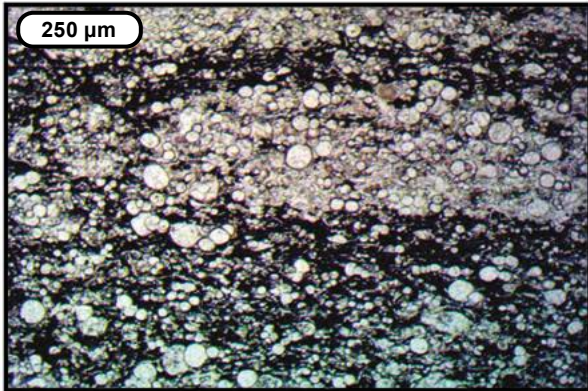
B (MIC. SD RT-5371, 10X, NP)



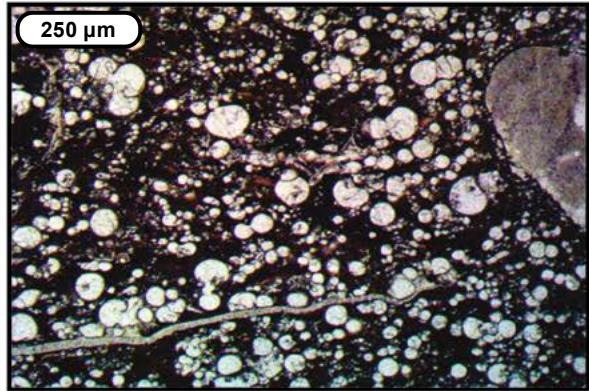
C (MIC. SD RT-5371, 10X, NC)



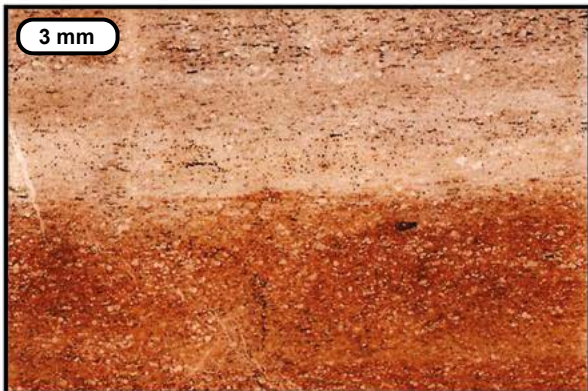
D (ESC. SD RT-5373, 0,3X)



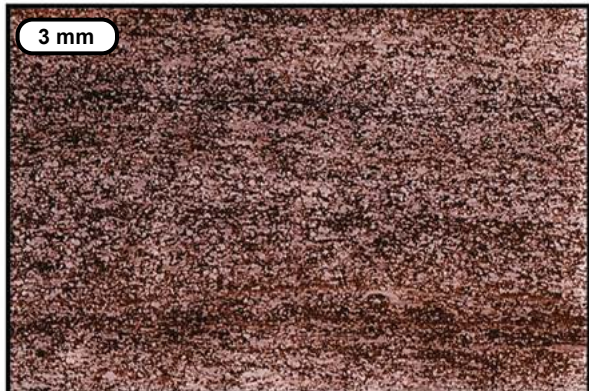
E (MIC. SD RT-5372, 4X, NP)



F (MIC. SD RT-5375, 4X, NP)

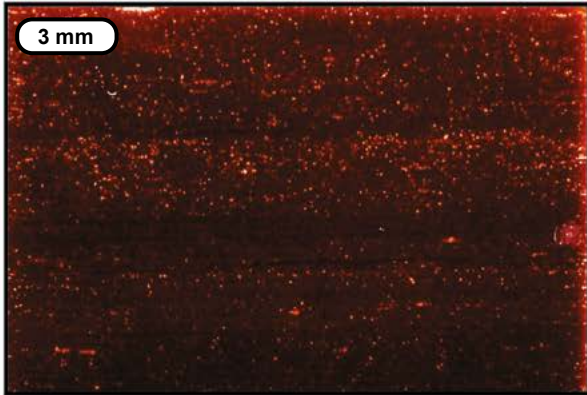


G (ESC. SD RT-5376, 0,3X)

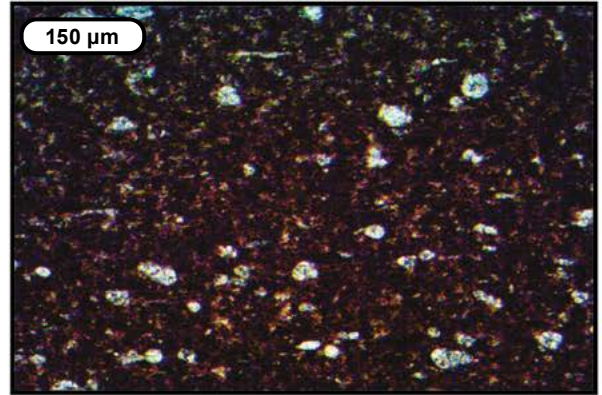


H (ESC. SD RT-5377, 0,3X)

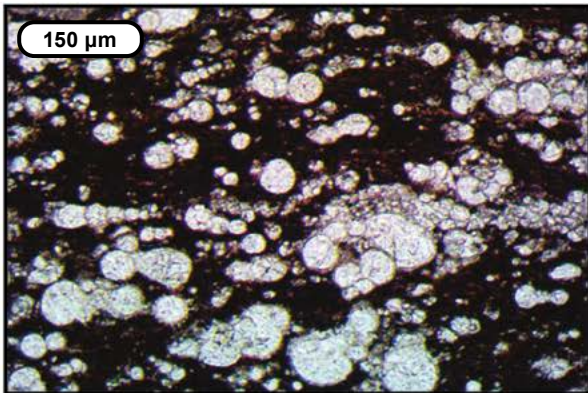
Lámina 8. Formaciones Galembo y La Renta



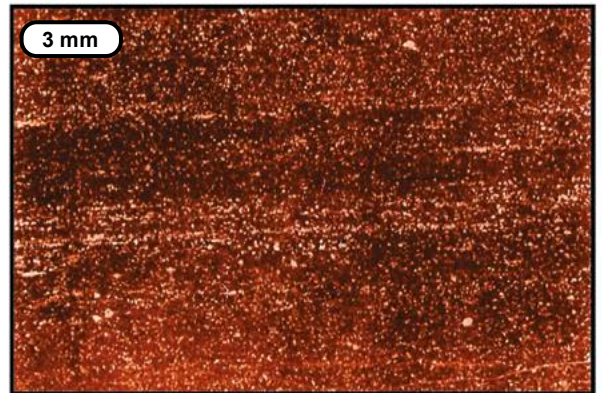
A (ESC. SD RT-5380, 0,3X)



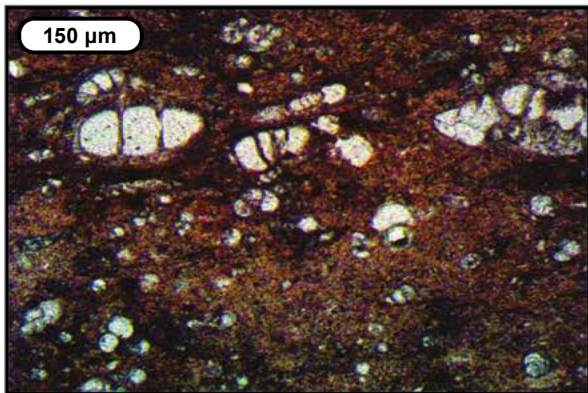
B (MIC. SD RT-5398, 10X, NP)



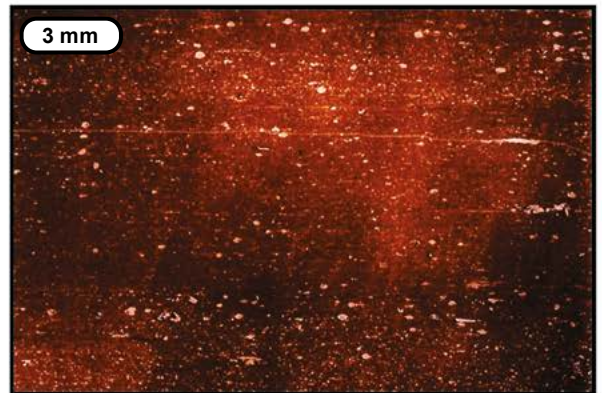
C (MIC. SD RT-5378, 10X, NP)



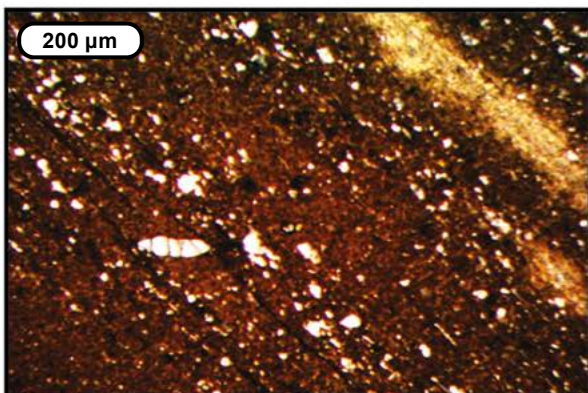
D (ESC. SD RT-5407, 0,3X)



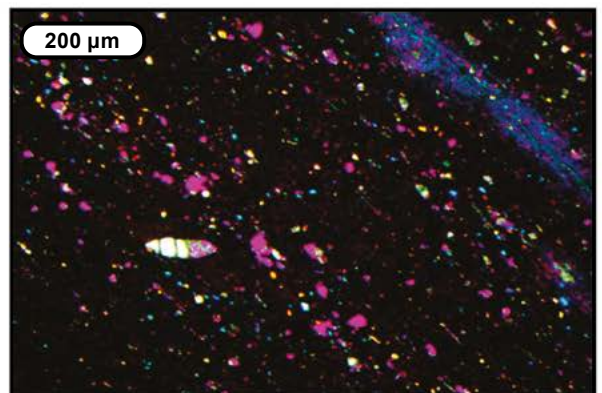
E (MIC. SD RT-5409, 10X, NP)



F (ESC. SD RT-5405, 0,3X)



G (MIC. SD RT-5403, 6,3X, NP)

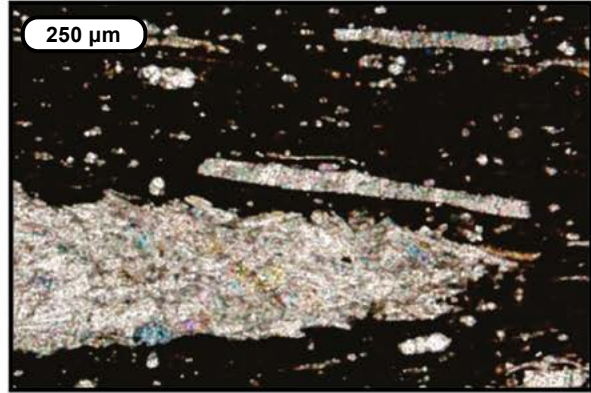


H (MIC. SD RT-5403, 6,3X, NC, 1 λ)

Lámina 9. Formaciones Salada y Galembo



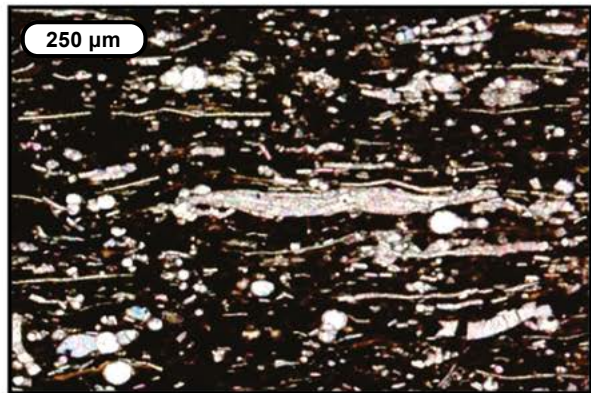
A (ESC. SD APA-2790, 0,3X)



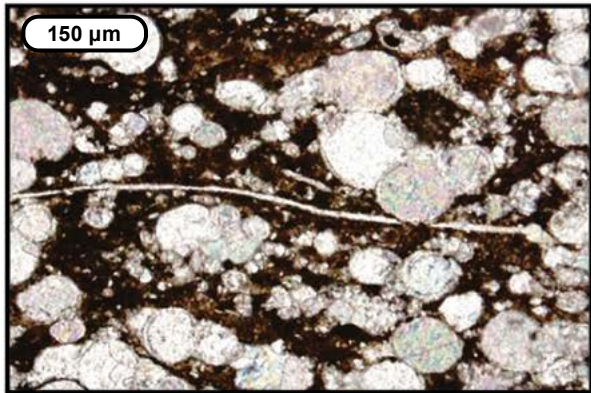
B (MIC. SD APA-2790, 5X, NC)



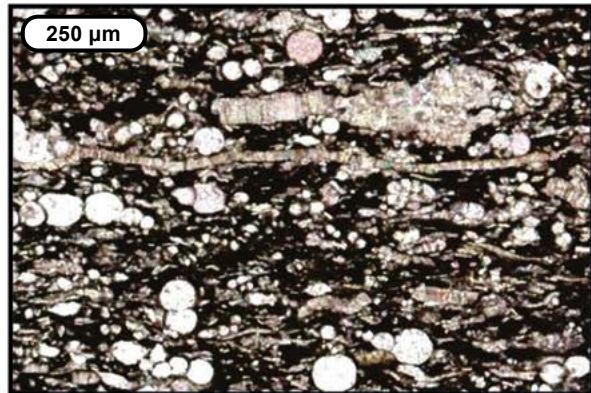
C (ESC. SD APA-2792, 0,3X)



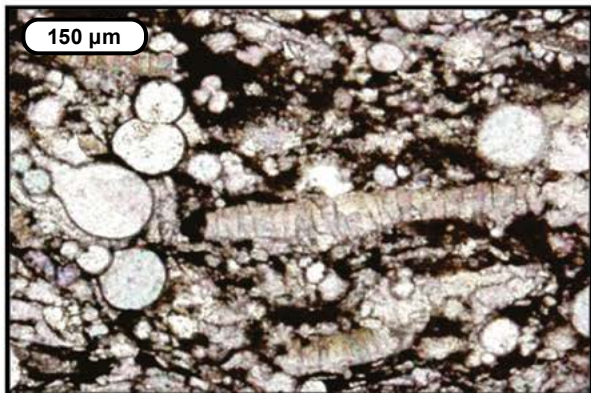
D (MIC. SD APA-2792, 5X, NC)



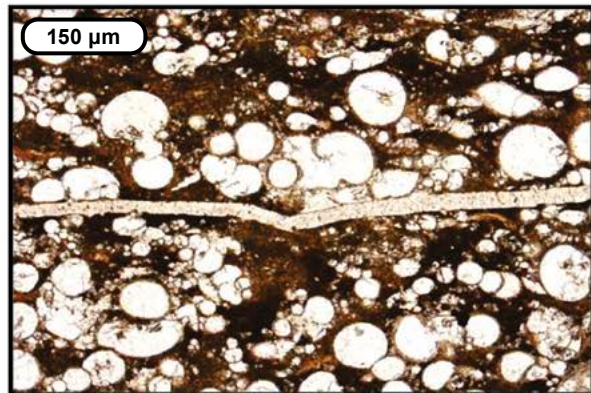
E (MIC. SD APA-2821, 10X, NC)



F (MIC. SD RT-5369, 5X, NC)



G (MIC. SD RT-5369, 10X, NC)



H (MIC. SD RT-5375, 10X, NP)

Lámina 1. Formaciones El Salto y Salada

A. *Wackestone* de bivalvos; fragmentos de bivalvos embebidos en matriz micrítica. Sección Aguablanca, Formación El Salto, m7,0 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5467 a 3 aumentos).

B. *Wackestone* de bivalvos; predominio de microsparita que envuelve grandes fragmentos de bivalvos, cuyas conchas muestran en su mayoría calcita fibrosa. Sección Aguablanca, Formación El Salto, m2,0 (microfotografía de la sección delgada RT-5468 a 100 aumentos, nicoles cruzados).

C. *Wackestone* de foraminíferos planctónicos con materia orgánica y terrígenos (tamaño arcilla y arena), con laminación fina, plana paralela. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 4, m40,0 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5466 a 3 aumentos).

D. *Wackestone* de foraminíferos planctónicos, rico en materia orgánica, terrígeno (arcilloso), finamente laminado, de forma plana paralela continua. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 5, m49,0 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5469 a 3 aumentos).

E. *Wackestone* de foraminíferos planctónicos; roca compuesta por materia orgánica, arcillas con hábito micáceo, muscovita fina y micrita formando láminas delgadas de color oscuro, que alternan con láminas más gruesas de color claro, compuestas por abundantes foraminíferos planctónicos con textura de limo a arena muy fina (algunas con textura *packstone*). Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 5, m49,0 (microfotografía de la sección delgada RT-5469 a 40 aumentos, nicoles paralelos).

F. *Wackestone* de foraminíferos planctónicos, arcilloso y rico en materia orgánica, con laminación delgada plana paralela continua. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 7, m65,8 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2787 a 3 aumentos).

G. *Wackestone* de foraminíferos planctónicos, arcilloso, con materia orgánica; mezcla de lodo calcáreo micrítico, arcilla clástica, materia orgánica y foraminíferos planctónicos dispuestos en láminas discontinuas plano-paralelas. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 8, m77,8 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2788 a 3 aumentos).

H. *Wackestone* de foraminíferos planctónicos rico en materia orgánica, arcilloso; roca soportada por filosilicatos asociados con materia orgánica y con un porcentaje menor de micrita. Presenta láminas oscuras y claras discontinuas. Las oscuras, más frecuentes y más gruesas, presentan alto predominio del soporte en el que flotan bioclastos de foraminíferos planctónicos, así como finas láminas de esparita que corresponden a algas filoideas? Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 8, m84,0 (microfotografía de la sección delgada APA-2790 a 32 aumentos, nicoles cruzados).

Lámina 2. Formaciones Salada y Pujamana

A. *Wackestone* fosilífero rico en materia orgánica, arcilloso; foraminíferos planctónicos y restos de algas filoideas se disponen en láminas delgadas, discontinuas, plano-paralelas. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 9, m77,8 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2792 a 3 aumentos).

B. Lodolita terrígena rica en materia orgánica con laminación entre delgada y mediana, plana paralela continua, bien desarrollada. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 10, m115,5 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2799 a 3 aumentos).

C. Lodolita terrígena rica en materia orgánica; roca soportada por arcilla con láminas ricas en materia orgánica y escasos foraminíferos, cuarzos con textura de limo y algo de dolomita. La arcilla, de fino hábito micáceo (posiblemente illita), se presenta perfectamente orientada de modo paralelo a la laminación de la roca; diagonal a la fotografía se aprecia claramente la laminación de materia orgánica en color negro y la arcilla en color marrón, en la que flotan escasos foraminíferos. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 10, m123,0 (microfotografía de la sección delgada APA-2800 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

D. Cuarzoarenita de textura muy fina, levemente calcárea, con laminación ondulosa, no paralela discontinua, escasamente desarrollada. Sección Aguablanca, Formación Pujamana, segmento 1, m139,6 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2811 a 3 aumentos).

E. Lodolita terrígena rica en materia orgánica con laminación entre plana y levemente ondulosa, paralela discontinua, poco desarrollada. Sección Aguablanca, Formación Pujamana, segmento 2, m148,4 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2813 a 3 aumentos).

F. Imagen en el microscopio de la muestra anterior; roca matriz soportada compuesta por arcilla tipo illita (de tonalidad rojo violáceo y verde) y materia orgánica finamente diseminada (de tonalidad oscura). En la matriz flotan granos de cuarzo, muscovita, dolomita, glauconita y pirita con textura de limo medio. Los cuarzos muestran color azul claro, amarillo y rojo, por su diferente orientación cristalográfica. Sección Aguablanca, Formación Pujamana, segmento 2, m148,4 (microfotografía de la sección delgada APA-2813 a 100 aumentos, nicoles cruzados y compensador 1 lambda).

G. Limolita arenosa, arcillosa, calcárea, con moteado distinto a indistinto por bioperturbación. Sección Aguablanca, Formación Pujamana, segmento 5, m160,3 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2815 a 3 aumentos).

H. Imagen en el microscopio de la muestra anterior; roca soportada principalmente por granos de cuarzo con textura que varía de limo fino a arena muy fina predominando el limo grueso. Los granos de cuarzo están rodeados por arcilla isotrópica de color marrón. En menor proporción hay glauconita, feldespato, micas y opacos (óxidos y pirita). Sección Aguablanca, Formación Pujamana, segmento 5, m160,3 (microfotografía de la sección delgada APA-2815 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

Lámina 3. Formaciones Pujamana y Galembo

A. *Wackestone* fosilífero terrígeno (limoso de cuarzo); lodo calcáreo micrítico, partículas de cuarzo con textura de limo grueso y foraminíferos planctónicos dispuestos en láminas onduladas, en gran parte destruidas por bioperturbación (moteado distinto a indistinto). Sección Aguablanca, Formación Pujamana, segmento 6, m171,7 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2819 a 3 aumentos).

B. Imagen en el microscopio de la muestra anterior; roca soportada por micrita recristalizada que rodea bioclastos de foraminíferos y de bivalvos, asociados con cuarzos con textura de limo grueso, opacos de pirita, caolinita

ta y trazas de glauconita. Sección Aguablanca, Formación Pujamana, segmento 6, m171,7 (microfotografía de la sección delgada APA-2819 a 100 aumentos, nicoles cruzados).

C. *Mudstone* calcáreo (micrita) con fracturas y estilolitos milimétricos, las primeras sinuosas y rellenas con pirita. Sección Aguablanca, Formación Pujamana, segmento 9, m180,3 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2820 a 3 aumentos).

D. *Wackestone* fosilífero rico en materia orgánica; roca soportada por materia orgánica de color negro mezclada con micrita que envuelve abundantes foraminíferos planctónicos y escasos fragmentos de bivalvos. Sección Aguablanca, Formación Galembo, segmento 2, m189,6 (microfotografía de la sección delgada APA-2821 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

E. *Wackestone* fosilífero, levemente fosfático (<5%), con moteado distinto por bioperturbación; foraminíferos planctónicos flotan en un soporte de lodo calcáreo micrítico. Sección Aguablanca, Formación Galembo, segmento 2, m180,3 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2822 a 3 aumentos).

F. *Wackestone* de foraminíferos planctónicos rico en materia orgánica, finamente laminado (alternan láminas oscuras ricas en materia orgánica con láminas claras ricas en foraminíferos planctónicos). Sección Aguablanca, Formación Galembo, segmento 3, m206,6 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2823 a 3 aumentos).

G. Imagen en el microscopio de la muestra anterior; roca soportada por materia orgánica y micrita que envuelve bioclastos de foraminíferos planctónicos y escasos fragmentos de bivalvos, formando láminas discontinuas plano-paralelas. En la parte inferior se aprecian láminas de esparita fina que representan restos de algas filoideas? Sección Aguablanca, Formación Galembo, segmento 3, m206,6 (microfotografía de la sección delgada APA-2823 a 63 aumentos, nicoles cruzados).

H. *Wackestone* fosilífero rico en materia orgánica; roca soportada por una mezcla de materia orgánica y micrita de tono pardo que rodea foraminíferos planctónicos organizados en láminas discontinuas de color claro, algunas de ellas con forma lenticular (parte central de la figura). Sección Aguablanca, Formación Galembo, segmento 5, m234,6 (microfotografía de la sección delgada APA-2827 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

Lámina 4. Formaciones Galembo y La Renta

A. *Wackestone* fosilífero rico en materia orgánica; roca soportada por una mezcla de materia orgánica y micrita que envuelve foraminíferos planctónicos y bentónicos. Es notoria la estructura en láminas continuas y discontinuas ligeramente onduladas, paralelas, constituidas por foraminíferos, micrita o materia orgánica. Sección Aguablanca, Formación Galembo, segmento 5, m251,8 (microfotografía de la sección delgada APA-2830 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

B. *Wackestone* fosilífero con láminas delgadas, levemente onduladas, paralelas discontinuas, de foraminíferos planctónicos; en la figura se destacan láminas de foraminíferos con forma lenticular. Sección Aguablanca, Formación Galembo, segmento 6, m258,2 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2831 a 3 aumentos).

C. *Wackestone* fosilífero rico en materia orgánica; lodo calcáreo micrítico, materia orgánica, foraminíferos planctónicos y partículas de cuarzo con textura de limo grueso, dispuestos en láminas muy delgadas y delgadas, continuas y discontinuas, de forma plana paralela. Sección Aguablanca, Formación Galembo, segmento 8, m272,5 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2833A, a 3 aumentos).

D. *Wackestone* fosilífero fosfático; foraminíferos planctónicos calcáreos de color claro y fragmentos fosfáticos de color oscuro (peloides fosfáticos, foraminíferos bentónicos fosfatizados y restos de peces) flotan en un soporte de lodo calcáreo de tonalidad marrón. Sección Aguablanca, Formación La Renta, segmento 9, m277,3 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2838 a 3 aumentos).

E. Imagen de otro sector de la muestra anterior en que aparecen en color marrón oscuro los peloides de fosfatos, y en color blanco un foraminífero remplazado en calcita y varios granos de cuarzo con textura entre limo y arena muy fina. Sección Aguablanca, Formación La Renta, segmento 9, m277,3 (microfotografía de la sección delgada APA-2838 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

F. Imagen de otro sector de la muestra anterior en que aparecen en color marrón oscuro los peloides de fosfatos, y en color blanco un foraminífero remplazado en calcita y varios granos de cuarzo con textura limo a arena muy fina. Sección Aguablanca, Formación La Renta, segmento 9, m277,3 (microfotografía de la sección delgada APA-2838 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

G. *Packstone* a *wackestone* de foraminíferos planctónicos con laminación delgada, levemente ondulosa, no paralela discontinua, parcialmente destruida por bioperturbación leve. Sección Aguablanca, Formación La Renta, segmento 10, m288,6 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2843 a 3 aumentos).

H. Imagen en el microscopio de la muestra anterior; roca soportada por una mezcla de materia orgánica de color marrón claro y micrita que envuelve foraminíferos planctónicos. Sección Aguablanca, Formación La Renta, segmento 10, m288,6 (microfotografía de la sección delgada APA-2843 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

Lámina 5. Formaciones Pujamana, Galembo, La Renta y Umir

A. *Wackestone* de foraminíferos planctónicos con moteado distinto por bioperturbación; se alcanzan a reconocer relictos de laminación plana paralela discontinua. Sección Aguablanca, Formación La Renta, segmento 11, m295,0 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2845 a 3 aumentos).

B. *Mudstone* calcáreo de foraminíferos planctónicos (micrita fosilífera), rico en materia orgánica, con laminación mediana, plana paralela continua. Sección Aguablanca, Formación La Renta, segmento 12, m302,7 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2846 a 3 aumentos).

C. *Wackestone* fosilífero rico en materia orgánica; roca con soporte de micrita y materia orgánica mezclada, en láminas discontinuas oscuras que alternan con láminas claras, paralelas, irregulares, continuas y discontinuas, formadas por foraminíferos bentónicos con textura de arena mediana, muchos con sus cámaras rellenas, parcial o totalmente, de material fosfático de color pardo o por calcita de color blanco. Sección Aguablanca, Formación La Renta, segmento 10, m318,2 (microfotografía de la sección delgada APA-2848 a 63 aumentos, nicoles paralelos).

D. Arenita fosfática glauconítica; roca soportada por granos redondeados de glauconita de color verde, con textura de arena fina, e intraclastos fosfatizados de calizas con textura *mudstone* y *wackestone* cementados por esparita, de los cuales un fragmento de color pardo supera los 9,0 mm de diámetro. En menor cantidad aparecen algunos granos de cuarzo con textura de limo. Sección Aguablanca, Formación Umir, segmento 12, m322,4 (microfotografía de la sección delgada APA-2849 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

E. Arcillolita calcárea con bioperturbación moderada (láminas irregulares y moteado distinto). Sección Aguablanca, Formación Umir, m347,2 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2853 a 3 aumentos).

F. Imagen en el microscopio de la muestra anterior; roca compuesta por láminas, lentes o formas irregulares de material micrítico interdigitado con lentes de material arcilloso (illita) que rodean escasos foraminíferos y opacos de pirita. Bajo el microscopio se distingue la arcilla de la micrita, al cruzar los nicoles e insertar el compensador 1 lambda, lo que da coloración azul a la arcilla y tonos marrones al carbonato. Sección Aguablanca, Formación Umir, m347,2 (microfotografía de la sección delgada APA-2853 a 100 aumentos, nicoles cruzados, compensador 1 lambda).

G. *Wackestone* fosilífero; lodo calcáreo micrítico envuelve restos de conchas de bivalvos, completas y fragmentadas; los restos fósiles muestran imbricación. Sección Aguablanca, Formación Pujamana, segmento 1, m9,7 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5395, tamaño 2,4 × 1,6 cm).

H. Lodolita terrígena de aspecto homogéneo, sin laminación interna; partículas de cuarzo y muscovita con textura de limo grueso flotan en un soporte arcilloso. Sección Aguablanca, Formación Pujamana, segmento 2, m21,0 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5361 a 3 aumentos).

Lámina 6. Formaciones Pujamana y Galembo

A. Lodolita terrígena con bioperturbación baja evidenciada por la meteorización de la roca que produce manchas claras discontinuas; partículas de cuarzo y muscovita con textura de limo grueso flotan en un soporte arcilloso. Sección Montebello, Formación Pujamana, segmento 3, m37,5 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5362 a 3 aumentos).

B. Imagen en el microscopio de la muestra anterior; roca soportada por arcilla tipo illita (de coloración azul en nicoles paralelos y con el compensador 1 lambda), con granos cuya textura varía de limo fino a medio de cuarzo, opacos, muscovita, glauconita y escasos bioclastos flotando en la arcilla. Sección Montebello, Formación Pujamana, segmento 3, m37,5 (microfotografía de la sección delgada APA-5362 a 100 aumentos, nicoles cruzados, compensador 1 lambda).

C. Cuarzoarenita arcillosa de textura muy fina; partículas de cuarzo y material arcilloso se disponen en láminas irregulares y moteados entre distintos e indistintos debido a bioperturbación moderada. Sección Montebello, Formación Pujamana, segmento 4, m50,1 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5363 a 3 aumentos).

D. Cuarzoarenita de textura muy fina, cemento calcáreo y bioperturbación alta (moteado entre distinto e indistinto). Sección Montebello, Formación Pujamana, segmento 6, m73,2 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5366 a 3 aumentos).

E. Arcillolita limosa con laminación plana paralela discontinua, poco desarrollada; partículas de cuarzo y muscovita con textura de limo grueso flotan en un soporte arcilloso. Sección Montebello, Formación Pujamana, segmento 8, m85,7 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5367 a 3 aumentos).

F. *Packstone* fosilífero; restos de conchas de bivalvos se orientan con su eje mayor subparalelamente a la estratificación de la roca debido a la acción de las tormentas. Sección Montebello, Formación Pujamana, segmento 8, m96,3 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5368 a 3 aumentos).

G. *Packstone* de foraminíferos planctónicos y restos de algas filoideas?, rico en materia orgánica, con laminación muy delgada y mediana, plana paralela discontinua. Sección Montebello, Formación Galembo, segmento 1, m115,8 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5369 a 3 aumentos).

H. Imagen en el microscopio de la muestra anterior; roca compuesta por materia orgánica que rodea bioclastos de foraminíferos planctónicos acompañados de formas laminares esparíticas de algas filoideas? Como estructuras se aprecian capas delgadas oscuras de materia orgánica y otras claras de foraminíferos planctónicos. Sección Montebello, Formación Galembo, segmento 1, m115,8 (microfotografía de la sección delgada APA-5369 a 63 aumentos, nicoles paralelos).

Lámina 7. Formación Galembo

A. *Chert* fosilífero calcáreo con textura *wackestone*, fracturado; foraminíferos planctónicos soportados por sílice microcristalina y lodo calcáreo. Sección Montebello, Formación Galembo, segmento 2, m134,6 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5371 a 3 aumentos).

B. Imagen de la muestra anterior vista por el microscopio; roca con soporte de sílice que varía de micro a criptocristalina mezclada con materia orgánica y algo de micrita recristalizada, que rodea cámaras esféricas de foraminíferos planctónicos rellenas con cuarzo microcristalino. Sección Montebello, Formación Galembo, segmento 2, m134,6 (microfotografía de la sección delgada RT-5371 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

C. Imagen de la muestra anterior en nicoles cruzados; nótese el relleno de las cámaras de los foraminíferos planctónicos con cuarzo microcristalino. Sección Montebello, Formación Galembo, segmento 2, m134,6 (microfotografía de la sección delgada RT-5371 a 100 aumentos, nicoles cruzados).

D. *Wackestone* fosilífero con laminación mediana levemente ondulosa, paralela discontinua, poco desarrollada; foraminíferos planctónicos flotan en un soporte de materia orgánica, lodo calcáreo y algo de arcilla. Sección Montebello, Formación Galembo, segmento 4, m163,4 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5373 a 3 aumentos).

E. *Packstone* fosilífero rico en materia orgánica; roca soportada por materia orgánica que rodea bioclastos de foraminíferos planctónicos, rellenos de esparita, textura de limo medio y arena mediana. Se aprecian láminas claras enriquecidas en bioclastos, continuas y discontinuas, ligeramente onduladas a lenticulares. Sección Montebello, Formación Galembo, segmento 4, m149,3 (microfotografía de la sección delgada RT-5372 a 40 aumentos, nicoles paralelos).

F. *Packstone* fosilífero rico en materia orgánica; roca soportada por materia orgánica y micrita envolviendo bioclastos de foraminíferos planctó-

nicos con diámetros entre limo medio y arena mediana, acompañados de fragmentos de bivalvos, uno de los cuales alcanza textura de arena muy gruesa (parte derecha de la figura); en la parte inferior izquierda se destaca un filamento esparítico de alga filoidea? Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 5, m183,9 (microfotografía de la sección delgada RT-5375 a 40 aumentos, nicoles paralelos).

G. *Packstone* fosilífero laminado de foraminíferos planctónicos; láminas continuas de foraminíferos con textura de *packstone* (parte superior de la figura) alternan con láminas de foraminíferos con textura de *wackestone* (parte inferior de la figura). Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 6, m194,3 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5376 a 3 aumentos).

H. *Wackestone* a *packstone* fosilífero laminado; foraminíferos planctónicos se disponen en láminas medianas, planas paralelas discontinuas, soportados por materia orgánica y lodo calcáreo. Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 7, m207,1 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5377 a 3 aumentos).

Lámina 8. Formaciones Galembó y La Renta

A. *Mudstone* calcáreo fosilífero (micrita), rico en materia orgánica, con laminación mediana, plana paralela continua. Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 9, m240,7 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5380 a 3 aumentos).

B. *Mudstone* calcáreo fosilífero (micrita fosilífera) rico en materia orgánica; roca soportada por materia orgánica de color pardo, isotrópica, mezclada con micrita, que envuelve bioclastos de foraminíferos planctónicos de textura arena muy fina; la micrita forma láminas planas discontinuas. Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 9, m248,1 (microfotografía de la sección delgada RT-5398 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

C. *Wackestone* fosilífero rico en materia orgánica; roca con soporte de materia orgánica mezclada con micrita que rodea bioclastos de foraminíferos planctónicos con textura de arena muy fina y fina. Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 9, m221,3 (microfotografía de la sección delgada RT-5378 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

D. *Wackestone* fosilífero, rico en materia orgánica, con laminación delgada, plana paralela discontinua por disposición de foraminíferos planctónicos paralelamente a la estratificación, soportados por materia orgánica y lodo calcáreo. Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 10, m285,8 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5407 a 3 aumentos).

E. *Wackestone* fosilífero rico en materia orgánica; roca con soporte de micrita mezclada con materia orgánica que envuelve bioclastos de foraminíferos bentónicos y planctónicos orientados según la estratificación de la roca; la muestra presenta baja bioperturbación (entre láminas irregulares y moteado distinto). Sección Montebello, Formación La Renta, segmento 10, m294,1 (microfotografía de la sección delgada RT-5409 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

F. *Mudstone* calcáreo fosilífero (micrita fosilífera), rico en materia orgánica, arcilloso, con laminación mediana, plana paralela discontinua por

granulometría. Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 10, m274,7 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5405 a 3 aumentos).

G. Arcillolita rica en materia orgánica; roca soportada por arcilla con fino hábito micáceo y materia orgánica, íntimamente mezcladas, que envuelven cuarzos con textura de limo medio, foraminíferos planctónicos y escasos foraminíferos bentónicos. La arcilla y algunos cuarzos forman láminas claras irregulares, continuas y discontinuas, y la materia orgánica forma láminas opacas de color negro. Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 10, m268,3 (microfotografía de la sección delgada RT-5403 a 63 aumentos, nicoles paralelos).

H. Imagen igual a la anterior, pero tomada con nicoles paralelos y compensador 1 lambda, que muestra las arcillas en color azul, y en color rojo, azul claro o amarillo algunos granos de cuarzo con textura de limo.

Lámina 9. Formaciones Salada y Galembó

A. Lentas y finas láminas discontinuas de color claro conformadas por algas filoideas? dispuestas paralelamente a la estratificación de la roca. La muestra corresponde a un *wackestone* fosilífero rico en materia orgánica, arcilloso. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 8, m84,0 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2790 a 3 aumentos).

B. Imagen en el microscopio de la muestra anterior, donde se detalla parte de un lente constituido por fragmentos de algas filoideas?, y algunas estructuras filamentosas de estas algas reemplazadas por esparita. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 8, m84,0 (microfotografía de la sección delgada APA-2790 a 50 aumentos, nicoles cruzados).

C. Pequeños lentes y finísimas láminas discontinuas de tonalidad clara constituidas por restos de algas filoideas? en un *wackestone* fosilífero rico en materia orgánica. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 9, m92,8 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2792 a 3 aumentos).

D. Imagen en el microscopio de la muestra anterior que muestra varias estructuras filamentosas de algas filoideas? de distinto espesor reemplazadas por esparita. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 9, m92,8 (microfotografía de la sección delgada APA-2792 a 50 aumentos, nicoles cruzados).

E. Estructura laminar muy delgada (parte central de la fotografía) de alga filoidea? reemplazada en esparita en un *wackestone* fosilífero rico en materia orgánica. Sección Aguablanca, Formación Galembó, segmento 2, m189,6 (microfotografía de la sección delgada APA-2821 a 100 aumentos, nicoles cruzados).

F y G. *Packstone* de foraminíferos planctónicos y restos de algas filoideas? rico en materia orgánica; las estructuras laminares reemplazadas por esparita corresponden a algas filoideas? Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 1, m115,8 (microfotografía de la sección delgada RT-5369 a 50 y 100 aumentos, nicoles cruzados).

H. *Packstone* fosilífero rico en materia orgánica; la parte central de la fotografía muestra un filamento de alga filoidea? reemplazado por esparita. Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 5, m183,9 (microfotografía de la sección delgada RT-5375 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

TABLA 2

Aspectos petrográficos principales de las Formaciones Salada, Pujamana, Galembó y La Renta en el Proyecto Hidrosogamoso

Composición mineralógica en porcentaje; en las celdas vacías el mineral no está presente;

*= Muestra rica en materia orgánica (>1%); Tr = <1,0%; (o) = Mat. org. opaca; (s) = Mat. org. subtranslúcida; (a) = Algas

Sección estratigráfica	Aguablanca	Aguablanca	Aguablanca	Aguablanca	Aguablanca	Aguablanca	Aguablanca
Formación	El Salto	Salada	Salada	Salada	Pujamana	Pujamana	Pujamana
Posición (segmento)	m2,0	m49,0 (5)	m84,0 (8)	m123,0 (10)	m148,4 (2)	m160,3 (5)	m171,7 (6)
Muestra	RT-5468	RT-5469	APA-2790	APA-2800	APA-2813	APA-2815	APA-2819
Micrita	64,4	13,2	12,6	-	-	-	72,8
Bioclastos	35,2	38,8	33,4 (a= 5,0)	2,8	-	-	11,2
Materia orgánica	-	5,0 (o), 23,4 (s)	5,0 (o), 33,6 (s)	5,0 (o), 9,4 (s)	20,0 (s)	-	4,4 (o)
Mat. org. + arcilla	-	-	-	-	73,2	-	-
Arcilla (láminas)	-	-	14,2	-	-	-	-
Arcilla (matriz)	-	16,8	-	77,6	53,2	37,2	-
Cuarzo	0,4	-	-	0,8	16,8	46,0	10,4
Sílice	-	-	-	-	-	-	-
Dolomita	-	-	-	0,4	1,6	-	-
Glauconita	-	-	-	-	1,6	2,4	Tr
Opacos	Tr	-	-	-	-	0,8	0,8
Pirita	-	0,8	-	-	1,2	-	-
Muscovita	-	2,0	-	-	3,6	1,2	-
Titanita	-	-	-	-	Tr	-	-
Fosfatos	-	-	-	-	Tr	-	Tr
Carbonatos	-	-	-	-	-	9,2	-
Feldespatos	-	-	-	-	-	1,6	-
Yeso	-	-	-	-	-	Tr	-
Caolinita	-	-	-	-	-	-	0,4
Intraclastos	-	-	-	-	-	-	-
Esparita	-	-	-	-	-	-	-
Porosidad	-	-	1,2	4,0	2,0	1,6	-
Nombre (Dunham)	Wackestone	Wackestone*	Wackestone*	NA	NA	NA	Wackestone
Nombre (Folk)	Biomicrita	Biomicrita*	Biomicrita*	Lodolita*	Lodolita*	Limolita arenosa	Biomicrita
Observaciones	Homogénea	Laminada	Laminada	Laminada	Laminada	Moteada	Moteada

TABLA 2

Aspectos petrográficos principales de las Formaciones Salada, Pujamana, Galembó y La Renta en el Proyecto Hidrosogamoso (continuación)

Composición mineralógica en porcentaje; en las celdas vacías el mineral no está presente;

*= Muestra rica en materia orgánica (>1%); Tr = <1,0%; (o) = Mat. org. opaca; (s)= Mat. org. subtranslúcida; (a)= Algas

Sección estratigráfica	Aguablanca	Aguablanca	Aguablanca	Aguablanca	Aguablanca	Aguablanca
Formación	Galembó	Galembó	Galembó	Galembó	La Renta	La Renta
Posición (segmento)	m188,8 (2)	m206,6 (3)	m234,6 (5)	m251,8 (5)	m277,3 (9)	m288,6 (10)
Muestra	APA-2821	APA-2823	APA-2827	APA-2830	APA-2838	APA-2843
Micrita	15,6	19,6	44,8	25,2	33,8	20,8
Bioclastos	47,6 (a=1,0)	26,0 (a=1,0)	16,8	34,4	27,6	52,4
Materia orgánica	1,0 (o), 35,8 (s)	5,0 (o), 49,4 (s)	38,0 (s)	1,0 (o), 37,0 (s)	Tr (o)	1,0 (o), 24,2 (s)
Mat. org. + arcilla	-	-	-	-	-	-
Arcilla (láminas)	-	-	-	-	-	-
Arcilla (matriz)	-	-	-	-	-	-
Cuarzo	-	-	-	-	6,2	-
Sílice	Tr	-	-	-	-	1,2
Dolomita	-	-	-	-	-	-
Glauconita	-	-	-	-	Tr	-
Opacos	-	-	0,4	-	0,4	0,4
Pirita	-	Tr	-	-	-	-
Muscovita	-	-	-	-	-	-
Titanita	-	-	-	-	-	-
Fosfatos	-	-	-	-	-	-
Carbonatos	-	-	-	-	-	-
Feldespatos	-	-	-	-	32,0	Tr
Yeso	-	-	-	-	-	-
Caolinita	-	-	-	-	-	-
Intraclastos	-	-	-	-	-	-
Esparita	-	-	-	2,4	-	-
Porosidad	-	-	-	-	-	Tr
Nombre (Dunham)	<i>Wackestone*</i>	<i>Wackestone*</i>	<i>Wackestone*</i>	<i>Wackestone*</i>	<i>Wack. fosfático</i>	<i>Wackestone*</i>
Nombre (Folk)	<i>Biomicrita*</i>	<i>Biomicrita*</i>	<i>Biomicrita*</i>	<i>Biomicrita*</i>	<i>Biomicrita fosf.</i>	<i>Biomicrita*</i>
Observaciones	Laminada	Laminada	Laminada	Laminada	Laminada	Laminada

TABLA 2

Aspectos petrográficos principales de las Formaciones Salada, Pujamana, Galembo y La Renta en el Proyecto Hidrosogamoso (Continuación)

Composición mineralógica en porcentaje; en las celdas vacías el mineral no está presente;

**= Muestra rica en materia orgánica (>1%); Tr = <1,0%; (o) = Mat. org. opaca; (s)= Mat. org. subtranslúcida; (a)= Algas

Sección estratigráfica	Aguablanca	Aguablanca	Aguablanca	Montebello	Montebello	Montebello
Formación	La Renta	Umir	Umir	Pujamana	Galembo	Galembo
Posición (segmento)	m318,2 (12)	m322,4 (12)	m347,2 (5)	m37,5 (3)	m115,8 (1)	m134,6 (2)
Muestra	APA-2848	APA-2849	APA-2853	RT-5362	RT-5369	RT-5371
Micrita	28,4	-	53,2	-	4,4	9,6
Bioclastos	1,0 (o), 32,2(s)	2,4	2,0	0,4	62,4 (a=10.0)	16,8 (a=1,0)
Materia orgánica	33,6	-	-	-	31,2 (o)	8,4 (o)
Mat. org. + arcilla	-	-	-	-	-	-
Arcilla (láminas)	-	-	40,4	86,4	-	-
Arcilla (matriz)	-	-	-	-	-	-
Cuarzo	-	-	-	2,8	-	-
Sílice	-	-	-	-	-	60,8
Dolomita	-	-	-	-	-	-
Glauconita	-	24,8	-	0,4	-	-
Opacos	-	2,4	1,6	3,2	-	-
Pirita	-	-	-	-	-	-
Muscovita	-	-	-	1,2	-	-
Titanita	-	-	-	-	-	-
Fosfatos	4,4	30,8	-	-	-	-
Carbonatos	-	-	-	-	-	-
Feldespatos	-	-	-	-	-	-
Yeso	-	-	-	-	-	-
Caolinita	-	-	-	-	-	-
Intraclastos	-	5,2	-	-	-	-
Esparita	-	34,0	-	-	1,6	4,4
Porosidad	0,4	0,4	2,8	5,6	0,4	-
Nombre (Dunham)	<i>Wackestone*</i>	NA	<i>Mudstone</i> Arcilloso	NA	<i>Packstone*</i>	<i>Wack.</i> silicificado
Nombre (Folk)	Biomicrita*	Arenita fosf. glauc.	Micrita arcillosa	Arcillolita	Biomicrita*	Biomic. silicificada
Observaciones	Laminada	Homogénea	Laminada	Laminada	Laminada	Laminada

TABLA 2

Aspectos petrográficos principales de las Formaciones Salada, Pujamana, Galembo y La Renta en el Proyecto Hidrosogamoso (Continuación)

Composición mineralógica en porcentaje; en las celdas vacías el mineral no está presente;

*= Muestra rica en materia orgánica (>1%); Tr = <1,0%; (o) = Mat. org. opaca; (s)= Mat. org. subtranslúcida; (a)= Algas

Sección estratigráfica	Montebello	Montebello	Montebello	Montebello	Montebello	Montebello
Formación	Galembo	Galembo	Galembo	Galembo	Galembo	La Renta
Posición (segmento)	m149,3 (4)	m183,9 (5)	m221,3 (9)	m248,1 (9)	m268,3 (10)	m294,1 (10)
Muestra	RT-5372	RT-5375	RT-5378	RT-5398	RT-5403	RT-5409
Micrita	-	13,2	29,6	33,2	-	52,4
Bioclastos	50,8	54,4 (a= Tr)	34,8	6,4	4,0	18,0
Materia Orgánica	34,8	28,0 (o)	35,6 (o)	Tr (o), 54,0 (s)	1,0 (o), 39,0 (s)	1,0 (o), 24,2 (o)
Mat. Org. + Arcilla	-	-	-	-	-	-
Arcilla (Láminas)	-	-	-	-	-	-
Arcilla (Matriz)	-	-	-	-	44,6	-
Cuarzo	-	-	-	-	5,6	-
Sílice	-	-	-	-	-	-
Dolomita	-	-	-	-	-	-
Glauconita	-	-	-	-	-	-
Opacos	-	-	-	2,8	4,8	1,2
Pirita	-	-	-	-	-	-
Muscovita	-	-	-	1,2	0,4	-
Titanita	-	-	-	-	-	-
Fosfatos	-	-	-	-	-	Tr
Carbonatos	-	-	-	-	-	-
Feldespatos	-	-	-	-	-	-
Yeso	-	-	-	-	-	-
Caolinita	-	-	-	-	-	-
Intraclastos	-	-	-	-	-	-
Esparita	14,4	4,4	Tr	2,4	1,6	2,4
Porosidad	-	-	-	-	-	0,8
Nombre (Dunham)	<i>Packestone*</i>	<i>Packestone*</i>	<i>Wackestone*</i>	<i>Mudstone*</i>	NA	<i>Wackestone*</i>
Nombre (Folk)	Biomicrota*	Biomicrota*	Biomicrota*	Microta*	Arcillolita*	Biomicrota*
Observaciones	Laminada	Homogénea	Laminada	Laminada	Laminada	Laminada

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.
- Allaby, Michael. 2013. *A dictionary of geology and earth sciences*. Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acref/9780199653065.001.0001>.
- Ballesteros Torres, César Iván, H. A. Galvis-Portilla, I. C. Higuera-Díaz, N. K. Marfisi, F. de la Parra, S. P. Céspedes, M. T. Cantisano, S. P. Forero, P. A. Barrera, C. E. Rodríguez, W. H. Zamora, D. P. Restrepo, J. Cerón y R. D. Castillo. 2013. "Anotaciones acerca de la estratigrafía del intervalo Cenomaniano-Campaniano atravesado por el pozo La Luna-1, cuenca del valle medio del Magdalena". XIV Congreso Colombiano de Geología, Primer Simposio de Exploradores. Bogotá, Sociedad Colombiana de Geología, Universidad Nacional de Colombia y Servicio Geológico Colombiano.
- Bernal Rodríguez, Luis Ángel. 2009. "Caracterización estratigráfica y petrográfica de la Formación La Luna en el sector de El Tablazo, Valle Medio del Magdalena". X Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas. Cartagena de Indias, Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo.
- Bodin, Stéphane, Alexis Godet, Jean Vermeulen, Pascal Linder y Karl B. Föllmi. 2006. "Biostratigraphy, sedimentology and sequence stratigraphy of the latest Hauterivian – Early Barremian drowning episode of the Northern Tethyan margin (Altmann Member, Helvetic nappes, Switzerland)". *Ecolae Geologicae Helveticae* 99 (2): 157-174. <https://doi.org/10.1007/s00015-006-1188-7>.
- Boggs, Sam, Jr. 2009. *Petrology of sedimentary rocks*. New York: Macmillan Publishing Company.
- Burchette, Trevor P. y V. Paul Wright. 1992. "Carbonate ramp depositional systems". *Sedimentary Geology* 79 (1-4): 3-57. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(92\)90003-A](https://doi.org/10.1016/0037-0738(92)90003-A).
- Bürgl, Hans. 1959. "Sedimentación cíclica en el geosinclinal cretáceo de la cordillera Oriental de Colombia". *Boletín Geológico* 7 (1-3): 1959: 85-118.
- Bürgl, Hans. 1961. "Historia geológica de Colombia". *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 11 (43): 137-191.
- Cáceres Girón, Carlos, Fabio Cediél Melo y Fernando Etayo-Serna. 2003. *Mapa de distribución de facies y ámbito tectónico a través del Fanerozoico de Colombia*. Escala 1: 2.000.000, mapas 5 a 12, Berriasiano-Valanginiano a Santoniano-Campaniano-Maastrichtiano inferior. Bogotá: Geotec Ltda y Editor Ingeominas.
- 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>.
- Casadieago-Quintero, Efraín y Carlos Alberto Ríos-Reyes. 2016. "Lithofacies analysis and depositional environment of the galemba member of the luna formation". *CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro* 6 (4): 37-56. <https://doi.org/10.29047/01225383.02>.
- Cecil, Blaine C. 2004. "Eolian dust and the origin of sedimentary chert". U.S. Geological Survey Open-File Report 2004-1098.
- Cecil, Blaine C. 2015. "Paleoclimate and the origin of Paleozoic chert: Time to re-examine the origins of chert in the rock record". *The Sedimentary Record* 13 (3): 4-10.
- Cohen, Kim M., Stan C. Finney, Phill L. Gibbard y Junxuan Fan. (2013). "The ICS International Chronostratigraphic Chart". *Episodes* 36 (3): 199-204.
- Compton, Robert R. 1985. *Geology in the field*. New York: John Wiley & Sons.
- Cortés Quigua, Martín. 1994. "Análisis de la deformación estructural del Grupo Olini en el Valle Superior del Magdalena". En *Estudios geológicos del Valle Superior del Magdalena*, editado Fernando Etayo-Serna. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- 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>.
- Erlich, Robert N., Oliver Macsotay I., Alexandra J. Nederbragt y María. A. Lorente. 1999. "Palaeoecology, palaeogeography and depositional environments of Upper Cretaceous rocks of western Venezuela". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 153 (1-4): 203-238. [https://doi.org/10.1016/s0031-0182\(99\)00072-3](https://doi.org/10.1016/s0031-0182(99)00072-3).
- Etayo-Serna, Fernando, Giancarlo Renzoni y Darío Barrero. 1976. "Contornos sucesivos del mar cretáceo en Colombia". En *Memoria del Primer Congreso Colombiano de Geología*, editado por Fernando Etayo-Serna y Carlos Cáceres, 217-252. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Fabre, Antoine. 1987. "Tectonique et génération d'hydrocarbures: un modèle de évolution de la Cordillère Orientale de Colombie et du bassin des Llanos pendant le Crétacé et le Tertiaire". *Archive Science Genève* 40 (2): 145-190.
- Folk, Robert L. 1951. "Stages of textural maturity in sedimentary rocks". *Journal of Sedimentary Research* 21 (3): 127-130. <https://doi.org/10.2110/jsr.21.127>.
- 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. 1959. "Practical petrographic classification of limestones". *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists* 43 (1): 1-38.
- 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).
- Föllmi, Karl. B. 1996. "The phosphorus cycle, phosphogenesis and marine phosphate-rich deposits". *Earth-Science Review* 40 (1-2): 55-124. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(95\)00049-6](https://doi.org/10.1016/0012-8252(95)00049-6).
- Föllmi, Karl B., Robert E. Garrison, Pedro C. Ramírez, Francisco Zambrano, William J. Kennedy y Benedikt L. Lehner. 1992. "Cyclic phosphate-rich successions in the upper Cretaceous of Colombia". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 93 (3-4): 151-182. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(92\)90095-M](https://doi.org/10.1016/0031-0182(92)90095-M).
- Friedman, Gerald M. 2003. "Classification of sediments and sedimentary rocks". En *Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks*, editado por Gerard V. Middleton, Michael J. Church, Lawrence A. Hardie y Frederick J. Longstaffe, 127-136. Dordrecht: Springer.
- Fürsich, Franz Theodor. 1995. "Shell concentrations". *Ecolae Geologicae Helveticae* 88 (3): 643-655. <http://doi.org/10.5169/seals-167692>.
- Galvis, Henry A., Iván Higuera, Sandra Céspedes, Cesar. I. Ballesteros, Silvia Forero, Nelbett Marfisi, María Cantisano, Edgar Pineda, Zarith Pachón, Roger M. Slatt, Rigo Ramírez, Georgina Guzmán y Angela Torres. 2014. "Regional Sequence Stratigraphy of the Upper Cretaceous La Luna Formation in the Magdalena Valley Basin, Colombia". En *Unconventional Resources Technology Conference (URTeC)*. Denver. <https://doi.org/10.15530/URTEC-2014-1934959>.
- Gao, Guoqiu y Lynton S. Land. 1991. Nodular chert from the Arbuckle Group, Slick Hills, SW Oklahoma: a combined field, petrographic and isotopic study. *Sedimentology* 38 (5): 857-870. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1991.tb01876.x>.

- Gaona Narváez, Tatiana. 2003. "Les bivalves de l'Albien et du Cénomanién de Colombie (Amérique du Sud): taxonomie, paléobiogéographie et paléoécologie". Tesis de maestría. Université Claude Bernard-Lyon1.
- Garner, A. H. 1926. "Suggested nomenclature and correlation of the geological formations in Venezuela: Petroleum development and technology in 1925". Symposiums of the Petroleum Division/American Institute of Mining and Metallurgical Engineers.
- Geological Society of America. 1995. *Rock-color chart: With genuine Munsell color chips*. Boulder: The Rock-Color Chart Committee, U. S. Geological Survey, The Geological Society of America, American Association of Petroleum Geologists, Society of Economic Geologists y Association of American State Geologists.
- Glenn, Craig R., Karl B. Föllmi, Stanley R. Riggs, Gleb N. Baturin, Kurt A. Grimm, Jörg Trappe, Abdulkader M. Abed, Carlos Galli-Olivier, Robert E. Garrison, Andrei V. Ilyin, Caroline Jehl, Vera Rohrlisch, Rushdi M. Y. Sadaqah, Manfred Schidlowski, Richard E. Sheldon y Hendrik Siegmund. 1994. "Phosphorus and phosphorites: Sedimentology and environments of formation". *Eclogae Geologicae Helvetiae* 87 (3): 747-788. <http://doi.org/10.5169/seals-167476>.
- Hedberg, Hollis D. y Louis C. Sass. 1937. "Synopsis of the geologic formations of the western part of the Maracaibo Basin, Venezuela". *Boletín de Geología y Minería de Venezuela*, tomo I: 72-112.
- Howe, Robert Crombie. 1997. "Geologic contacts". *Journal of Geoscience Education* 45 (2): 133-136. <https://doi.org/10.5408/1089-9995-45.2.133>.
- Huyck, Holly L. O. 1989. "When is a metalliferous black shale not a black shale?". En *Metalliferous black shales and related ore deposits-Proceedings*, editado por Grauch Richard I. y Holly L. O. Huyck, 42-56. Denver: U.S. Geological Survey.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 2015. *Diccionario geográfico de Colombia*. Bogotá. <http://www.igac.gov.co/digeo/app/index.html> (visitada en julio de 2015).
- Juliao, Tatiana. M., Marcelo A. Carvalho, Sandra Cruz y Robert E. Márquez. 2013. "Reconstrucción paleoambiental basada en palinofacies y geoquímica orgánica para las formaciones La Luna y Tablazo en el pozo La Luna-1, cuenca VMM". XIV Congreso Colombiano de Geología, Primer Simposio de Exploradores, Bogotá.
- Julivert, Manuel. 1958. "La morfoestructura de la zona de las Mesas al SW de Bucaramanga (Colombia S. A.)". *Boletín de Geología* (1): 9-34.
- Julivert, Manuel. 1968. "Colombie (première partie), Précambrien, Paléozoïque, et intrusions d'âge mésozoïque-tertiaire". En *Lexique Stratigraphique International V. Amérique Latine*, dirigido por R. Hoffstetter, fascicule 4a. Paris: Centre National De La Recherche Scientifique.
- 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>.
- Knauth, L. Paul. 2003. "Siliceous sediments". En *Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks*, editado por Gerard V. Middleton, Michael J. Church, Lawrence A. Hardie y Frederick J. Longstaffe, 660-666. Dordrecht: Springer.
- Krumbein, William. C. y Laurence L. Sloss. 1969. *Estratigrafía y sedimentación*. México: Ed. Uteha.
- Lazar Remus, Kevin Bohacs, Joe Macquaker, Juergen Schieber y Timothy Demko. 2015. "Capturing key attributes of fine-grained sedimentary rocks in 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>.
- Macellari, Carlos E. 1988. "Cretaceous paleogeography and depositional cycles of western South America". *Journal of South American Earth Sciences* 1 (4): 373-418. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(88\)90024-7](https://doi.org/10.1016/0895-9811(88)90024-7).
- Maliva, Robert G. y Raymond Siever. 1989. "Nodular chert formation in carbonate rocks". *The Journal of Geology* 97 (4): 421-433. <https://doi.org/10.1086/629320>.
- Maughan, Edwin K., Francisco Zambrano O., Pedro Mojica G., Jacob Abozago, M., Fernando Pachón, P. y Raúl Durán R. 1979. "Paleontologic and stratigraphic relations of phosphate beds in Upper Cretaceous rocks of the Cordillera Oriental, Colombia". U. S. Geological Survey Open-File Report 79 (1525): 1-97. <https://doi.org/10.3133/ofr791525>.
- Mckee, Edwin D. y Gordon W. Weir. 1953. "Terminology for stratification and cross-stratification in sedimentary rocks". *Geological Society of America Bulletin* 64 (4): 381-389. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1953\)64\[381:TFSACI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1953)64[381:TFSACI]2.0.CO;2).
- Merino-Tomé, Oscar, Juan R. Colmenaro y Juan R. Bahamonde. 2002. "Distribución de facies en una rampa carbonatada carbonífera (Formación Puentellés, NE zona Cantábrica)". *Geogaceta* 31: 163-166.
- Ministerio de Minas e Hidrocarburos de Venezuela. 1970. *Léxico estratigráfico de Venezuela*. Caracas: Editorial Sucre.
- Montaño, Paola C., Giovanni Nova, Germán Bayona, Hernando Mahecha, Carolina Ayala, Carlos Jaramillo y Felipe de la Parra. 2016. "Análisis de secuencias y procedencia en sucesiones sedimentarias de grano fino: un ejemplo de la Formación Umir y base de la Formación Lisama, en el sector de Simacota (Santander, Colombia)". *Boletín de Geología* 38 (1): 51-72. <https://doi.org/10.18273/revbol.v38n1-2016003>.
- Moore, David. G. y Phillip. C. Scrutton. 1957. "Minor Internal Structures of Some Recent Unconsolidated Sediments". *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 41 (12): 2723-2751. <https://doi.org/10.1306/0bda59db-16bd-11d7-8645000102c1865d>.
- 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.
- Neuendorf, Klaus K. E., James P. Mehl Jr. y Julia A. Jackson, eds. 2011. *Glossary of geology*. Alexandria: American Geological Institute.
- PDVSA Intevp. 2011. "Código estratigráfico de las cuencas petroleras de Venezuela". Visitada en julio de 2016. <http://www.pdvsa.com/lexico/lexicoh.htm>.
- Perry, Jorge A. 1923. *Mapa de la región comprendida entre los ríos Sogamoso, Magdalena, Paturia y Lebrija y la cordillera de La Paz, con localización aproximada de los diferentes lotes sobre que se han hecho solicitudes de arrendamiento para explotar hidrocarburos, escala 1:100.000*. Bogotá: Oficina Nacional de Minas, Sección Técnica.
- Petters, Viktor. 1955. "Development of Upper Cretaceous foraminiferal faunas in Colombia". *Journal of Paleontology* 29 (2): 212-225.
- Pomar, Luis. 2001. "Types of carbonate platforms: A genetic approach". *Basin Research* 13 (3): 313-334. <https://doi.org/10.1046/j.0950-091x.2001.00152.x>.
- Potter, Paul E., J. Barry Maynard y Pedro J. Depetris. 2005. *Mud and mudstones*. Berlin: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/b138571>.
- Powers, Maurice. C. 1953. "A new roundness scale for sedimentary particles". *Journal of Sedimentary Research* 23 (2): 117-119. <https://doi.org/10.1306/D4269567-2B26-11D7-8648000102C1865D>.
- Radelli, Luigi. 1967. *Géologie des Andes colombiennes. Tectonique*. Mémoires 6. Université de Grenoble.

- Rangel, Antonio, Paula Parra y Chikhradze Niño. 2000. "The La Luna formation: Chemostratigraphy and organic facies in the Middle Magdalena Basin". *Organic Geochemistry* 31 (12): 1267-1284. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(00\)00127-3](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(00)00127-3).
- Read, James. F. 1982. "Carbonate platforms of passive (extensional) continental margins: Types, characteristics and evolution". *Tectonophysics* 81 (3-4): 195-212. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(82\)90129-9](https://doi.org/10.1016/0040-1951(82)90129-9).
- Reineck, Hans-Erich e Indra Bir Singh. (1975) 1980. *Depositional sedimentary environments*. Berlin-Heidelberg-New York, Ed. Springer-Verlag.
- Reineck, Hans-Erich y Friedrich Wunderlich. 1968. "Classification and origin of flaser and lenticular bedding". *Sedimentology* 11 (1-2): 99-104. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1968.tb00843.x>.
- Renz, Otto. 1959. "Estratigrafía del Cretáceo de Venezuela Occidental". *Boletín de Geología Venezuela* 5 (10): 3-48.
- Salvador, Amos. 1994. *International stratigraphic guide: A guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure*. Boulder: The International Union of Geological Sciences y The Geological Society of America, Inc.
- Sánchez Rodríguez, Laura. 2004. "Tipos de coordenadas manejadas en Colombia". Preparado por la División de Geodesia de la Subdirección de Geografía y Cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Visitada en noviembre de 2016. <http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/fac7c80469f7c2eb03eb8923ecd8f8fe/tipos+de+coordenadas+11.pdf?MOD=AJPERES>.
- Sarmiento Pérez, Gustavo, Edgar J. Puentes y Camilo Sierra. 2015. "Estratigrafía y petrofacies de la Formación La Luna en el Sinclinal de Nuevo Mundo, valle medio del Magdalena". *Geología Norandina* 12: 21-40.
- Sarmiento Rojas, Luis Fernando. 2001. "Mesozoic rifting and Cenozoic basin inversion history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes. Inferences from tectonic models". Tesis de doctorado. Vrije Universiteit.
- Scherer, Wolfgang, Vania Savian y Tulio Peraza. 2005. "Estratotipos de la Formación La Luna". *GEOS, Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra* 38: 69-70.
- Schieber, Juergen. 2003. "Black Shales". En *Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks*, editado por Gerard V. Middleton, Michael J. Church, Lawrence A. Hardie y Frederick J. Longstaffe, 83-85. Dordrecht: Springer.
- Scotese, Christopher Robert, Arthur J. Boucot y Chen Xu. 2014. "Atlas of Phanerozoic climatic zones (Mollweide Projection)". Vols. 1-6, Paleomap Project PaleoAtlas for ArcGIS, Paleomap Project, Evanston. <https://doi.org/10.13140/2.1.2757.8567>.
- Sellés-Martínez, José. 1996. "Concretion morphology, classification and genesis". *Earth-Science Reviews* 41 (3-4): 177-210. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(96\)00022-0](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(96)00022-0).
- Taborda, Bernardo. 1965. *Guidebook to the geology of the De Mares Concession: field trip of February 26-28, 1965*. Bogotá: Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysicists.
- Terraza Melo, Roberto. 2003. "Origen diagenético de cherts y porcelanitas en las formaciones Lidita Inferior y Lidita Superior (Grupo Olini), al sur de San Luis (Tolima), valle superior del Magdalena, Colombia". *Geología Colombiana* 28: 79-94.
- Terry, Richard D. y George V. Chilingar. 1955. "Summary of 'concerning some additional aids in studying sedimentary formations' by M. S. Shvetsov". *Journal of Sedimentary Research* 25 (3): 229-234. <https://doi.org/10.1306/74D70466-2B21-11D7-8648000102C1865D>.
- Tesón, Eliseo, Andrés Mora, Alejandro Silva, Jay Namson, Antonio Teixell, Jaime Castellanos, Wilson Casallas, Manuel Julivert, Michael Taylor, Mauricio Ibáñez-Mejía y Víctor A. Valencia. 2013. "Relationship of Mesozoic graben development, stress, shortening magnitude, and structural style in the Eastern Cordillera of the Colombian Andes". En *Thick-Skin-Dominated Orogens: From Initial Inversion to Full Accretion*, 257-283. Special Publications 377. London: Geological Society of London. <https://doi.org/10.1144/SP377.10>.
- Tourtlot, Harry A. 1979. "Black shale; its deposition and diagenesis". *Clays and Clay Minerals* 27 (5): 313-321.
- Vacher, H. Len. 1998. "Computacional Geology 1-Significant Figures!". *Journal of Geoscience Education* 46 (3): 292-295. <https://doi.org/10.5408/1089-9995-46.3.292>.
- Vélez Herrera, Luis Miguel. 2014. "Estratigrafía de la Formación La Luna en el valle medio del Magdalena". Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.
- Villamil Barrera, Tomás y Claudia Arango. 1998. "Integrated stratigraphy of latest Cenomanian and early Turonian facies of Colombia". En *Paleogeographic evolution and nonglacial eustasy, Northern South America*, editado por James Lawrence Pindell y Charles L. Drake, 129-159. Special Publication 58. Tulsa: SEPM Society for Sedimentary Geology. <https://doi.org/10.2110/pec.98.58.0129>.
- Villamil Barrera, Tomás, Claudia Arango y William W. Hay. 1999. "Plate tectonic paleoceanographic hypothesis for Cretaceous source rocks and cherts of northern South America". En *Evolution of the Cretaceous ocean-climate system*, editado por Enriqueta Barrera y Claudia C. Johnson, 191-202. Special Paper 332. Boulder: Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/0-8137-2332-9.191>.
- Villamil Barrera, Tomás. 1994. "High-resolution stratigraphy, chronology and relative sea level of the Albian-Santonian (Cretaceous) of Colombia". Tesis de doctorado. University of Colorado.
- Villamil Barrera, Tomás. 1996. "Paleobiology of two new species of the bivalve *Anomia* from Colombia and Venezuela and the importance of the genus in recognition of the base of the Turonian". *Cretaceous Research* 17 (5): 607-632. <https://doi.org/10.1006/cre.1996.0033>.
- Villamil Barrera, Tomás. 1998. "Chronology, relative sea-level history and a new sequence stratigraphic model for basinal Cretaceous facies of Colombia". En *Paleogeographic evolution and nonglacial eustasy, Northern South America*, editado por James Lawrence Pindell y Charles L. Drake, 161-216. Special Publication 58. Tulsa: SEPM Society for Sedimentary Geology. <https://doi.org/10.2110/pec.98.58>.
- Ward, Dwight E. y Richard Goldsmith, U. S. Geological Survey, Andrés Jimeno V., Jaime Cruz B., Hernán Restrepo A. y Eduardo Gómez R. 1977. "Mapa Geológico del cuadrángulo H-12, Colombia, Bucaramanga, escala 1:100.000". Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras.
- Ward, Dwight E., Richard Goldsmith, Jaime Cruz y Hernán Restrepo. 1973. "Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, departamento de Santander". *Boletín Geológico* 21 (1-3): 1-132.
- Weeks, Lewis. G. 1953. "Environment and mode of origin and facies relationships of carbonate concretions in shales". *Journal of Sedimentary Research* 23 (3): 162-173. <https://doi.org/10.1306/D42695F8-2B26-11D7-8648000102C1865D>.
- Weeks, Lewis. G. 1957. "Origin of carbonate concretions in shales, Magdalena Valley, Colombia". *Bulletin of the Geological Society of America* 68 (1): 95-102. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1957\)68\[95:OCCIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1957)68[95:OCCIS]2.0.CO;2).
- 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.
- Williams, Howell R., Francis J. Turner y Charles M. Gilbert. 1954. *Petrography: An Introduction to the Study of Rocks in Thin Sections*. San Francisco: W. H. Freeman and Company Publishers.
- Zambrano, Francisco. 1969. "Composición de las fosforitas marinas del área La Azufrada (Santander)". Informe 1549. Servicio Geológico Nacional, Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras, Ministerio de Minas y Petróleos.
- Zumberge, John E. 1984. "Source rocks of the La Luna Formation (Upper Cretaceous) in the Middle Magdalena Valley, Colombia". En *Petroleum geochemistry and source rock potential of carbonate rocks*, editado por James G. Palacas, 127-133. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists. <https://doi.org/10.1306/St18443C9>.

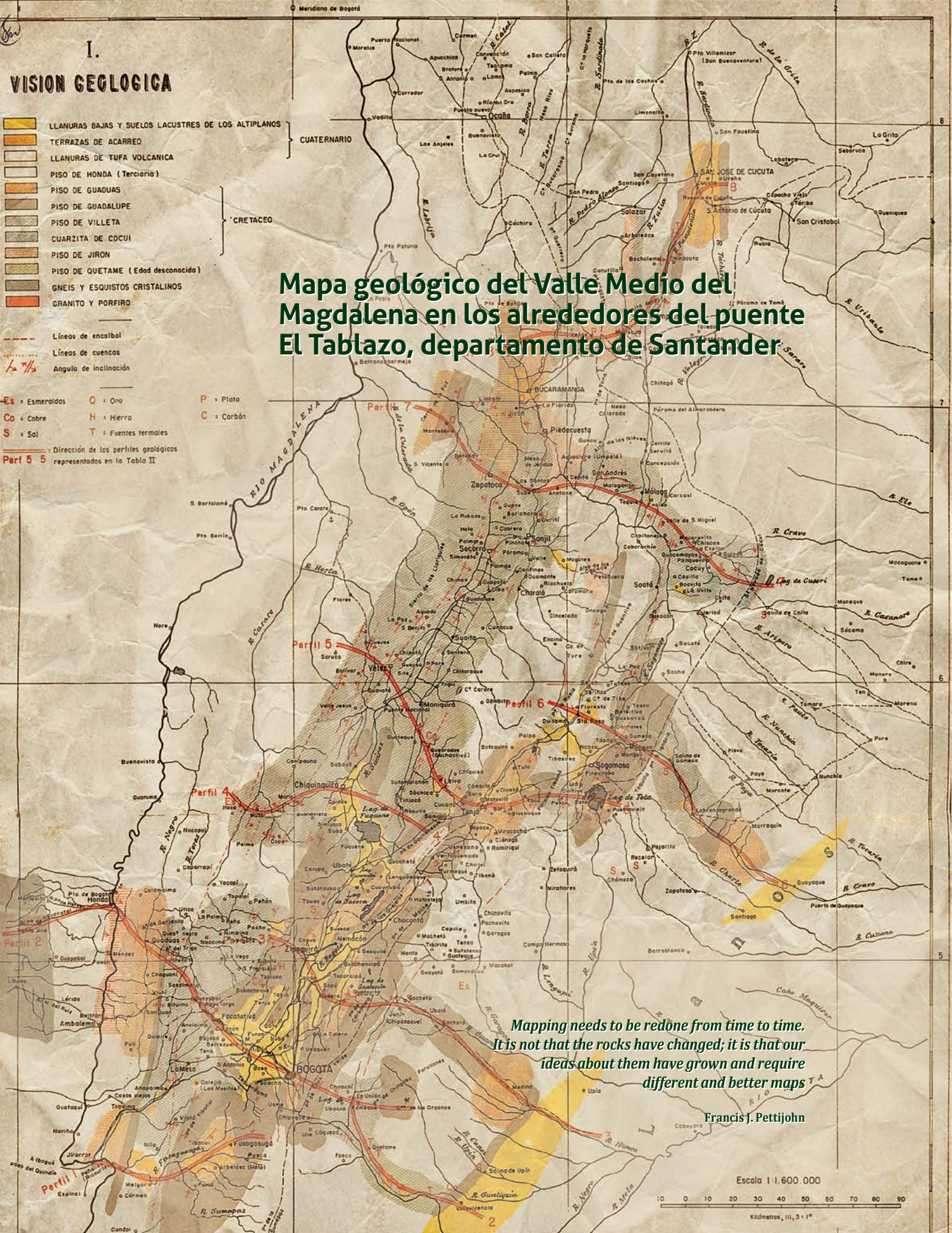
VISION GEOLOGICA

- LLANURAS BAJAS Y SUELOS LACUSTRES DE LOS ALTIPLANOS
- TERRAZAS DE ACARREO
- LLANURAS DE TUFAS VOLCANICAS
- PISO DE HONDA (Terciario)
- PISO DE GUADUAS
- PISO DE GUADALUPE
- PISO DE VILLETA
- CUARZITA DE COCUI
- PISO DE JIRON
- PISO DE QUETAME (Edad desconocida)
- GNEIS Y ESQUISTOS CRISTALINOS
- GRANITO Y PORFIRO

- Líneas de encaibal
- Líneas de cuencos
- Angulo de inclinación

- Es** = Esmeraldas **O** = Oro **P** = Plata
 - Co** = Cobre **H** = Hierro **C** = Carbón
 - S** = Sal **T** = Fuentes termales
- Perf 5 5 Dirección de los perfiles geológicos representados en la Tabla II.

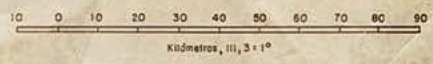
Mapa geológico del Valle Medio del Magdalena en los alrededores del puente El Tablazo, departamento de Santander



Mapping needs to be redone from time to time. It is not that the rocks have changed; it is that our ideas about them have grown and require different and better maps

Francis J. Pettijohn

Escala 1:1.600.000



Portadilla: Primer mapa geológico de la región investigada, publicado por Alfred Hettner en 1892. Reproducción de la versión en castellano editada por el Banco de la República en 1966.

Citación: 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.

A b s t r a c t

An update of the geological map of the lithostratigraphic units in the Mesozoic and Paleogene - Neogene of the Middle Magdalena Valley (MMV) in the type area (Department of Santander) at a scale of 1:50.000 is presented. In relation to the previous geological map, the following units are identified and individualized for the first time: Cumbre Formation, El Salto Formation, Salada Formation, Pujamana Formation, Galembó Formation and La Renta Formation (new unit). In the Rosa Blanca Formation, five new members are differentiated and represented in the geological map from top to bottom: Lagunetas Member, Carrizal Member, Zo Member, El Sapo Member and Zapatoaca Member, which present typical locations in the Zapatoaca area. In support of future detailed stratigraphic studies, mapping based on morphological criteria (valleys and ridges) reveals that there are 4 stratigraphic intervals in the Girón Group, 4 stratigraphic intervals in the Lisama Formation, 3 stratigraphic intervals in the La Paz Formation, 7 stratigraphic intervals in the Esmeraldas Formation (including the Los Corros Fossiliferous Horizon at the top of the unit) and 3 stratigraphic intervals in the Mugrosa Formation. These intervals were named based on their textural properties and stratigraphic position.

The structural style that develops in the rocks cropping out in this sector of the MMV in the vicinity of the type locality is characterized by NNE-SSW first-order folds that affect the sequence of the Jurassic - Cretaceous (Los Cobardes anticline to E) and from the Paleogene - Neogene (E flank of the Nuevo Mundo syncline to W). The second-order folds in the Umir Formation and the Lisama Formation are the El Naranjo syncline and the Mata de Cacao syncline with a NNE-SSW orientation.

Mapa geológico del Valle Medio del Magdalena en los alrededores del puente El Tablazo, departamento de Santander

6

Giovanni Moreno Sánchez

RESUMEN

Se presenta una actualización de la cartografía geológica de las unidades litoestratigráficas del Mesozoico y Paleógeno-Neógeno del Valle Medio del Magdalena (VMM) en su área tipo (Departamento de Santander) en escala 1:50.000. Con relación a la cartografía geológica previa se identifican e individualizan por primera vez las unidades: Formación Cumbre, Formación El Salto, Formación Salada, Formación Pujamana, Formación Galembo y Formación La Renta (nueva unidad). En la Formación Rosa Blanca se diferencian y representan en la cartografía geológica cinco nuevos Miembros denominados de base a tope: Miembro Lagunetas, Miembro Carrizal, Miembro Zo, Miembro El Sapo y Miembro Zapatoca, los cuales presentan localidades tipo en alrededores de Zapatoca. Como sustento a futuros estudios estratigráficos de detalle se diferenciaron cartográficamente y con criterio morfológico (valles y crestas) cuatro intervalos estratigráficos en el Grupo Girón, cuatro intervalos estratigráficos en la Formación Lisama, tres intervalos estratigráficos en la Formación La Paz, siete intervalos estratigráficos en la Formación Esmeraldas (incluyendo el Horizonte Fosilífero Los Corros al tope de la unidad) y tres intervalos estratigráficos en la Formación Mugrosa. Dichos intervalos fueron nombrados con base a sus propiedades texturales y posición estratigráfica.

El estilo estructural que se desarrolla en las rocas aflorantes en este sector del VMM en alrededores de la localidad tipo, se caracteriza por pliegues de primer orden de orientación NNE-SSW que afecta la secuencia del Jurásico-Cretácico (Anticlinal de Los Cobardes al E) y del Paleógeno-Neógeno (flanco E del Sinclinal de Nuevo Mundo al W). Como pliegues de segundo orden en la Formación Umir y la Formación Lisama se tienen el Sinclinal El Naranjo y el Anticlinal de Mata de Cacao con orientación NNE-SSW.

INTRODUCCIÓN

If you are a geologist studying rocks, you have to go and find the rocks. They will not come to you, and if you go to them they cannot run away. The initiative lies all on your side.

Clive Staples Lewis

A partir del trabajo de Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958), el sector comprendido desde el puente El Tablazo (donde el río Sogamoso cambia de dirección ENE-WSW, a

N-S) hasta el caserío Esmeraldas ha sido considerado la localidad tipo de la mayoría de las unidades litoestratigráficas del Cretácico y Paleógeno-Neógeno del Valle Medio del Magdalena.

El marco estratigráfico para las unidades del Jurásico fue establecido por Navas (1963) y Cediél (1968), mientras que para el Cretácico y Paleógeno-Neógeno lo establecieron Wheeler (1929, 1935), Morales y The Colombian Petroleum Industry 1958, Etayo-Serna y Guzmán-Ospitia (2019). La secuencia estratigráfica sedimentaria mide alrededor de 6.500 m, y en tiempo abarca desde el Jurásico tardío hasta el Oligoceno tardío. Registra la historia de múltiples ambientes de depósito, así como la superposición de varios episodios de deformación (Gómez et al. 2003; 2005a; 2005b; Caballero, Parra y Mora 2010). Los trabajos cartográficos en la región se inician con Hettner (1892; portadilla); a partir de este autor sobresalen los aportes de Hubach (1953, 1957), Julivert (1958a, 1958b, 1961, 1968, 1970), Navas (1963) y Cediél (1968), y a modo de síntesis, los de Ward et al. (1969, 1973, 1977), con el *Mapa geológico del cuadrángulo H-12, Bucaramanga*.

La región de estudio se localiza al N del departamento de Santander y comprende parte de los municipios de Lebrija, Girón, Betulia, Zapatoca y San Vicente de Chucurí. El drenaje principal es el río Sogamoso, que desemboca en el río Magdalena (**fig. 1**). El presente trabajo constituye una memoria explicativa breve del nuevo mapa geológico, que abarca la región del Valle Medio del Magdalena, comprendida en alrededores de El Tablazo (departamento de Santander), a escala 1:50.000, y cubre un área de 450 km².

En los levantamientos de campo se emplearon tres mapas topográficos a escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (109-III-D, 120-I-B y 120-I-D), que comprenden un área de 450 km². Para la descripción de arenitas en campo se siguió a Folk (1954) y Pettijohn, Potter y Sieve (1973), mientras que para las rocas sedimentarias calcáreas se consideró a Dunham (1962) y Folk (1962). Para el espesor y la forma de las capas se utilizaron los criterios de Campbell (1967) e Ingram (1954). Los precisos levantamientos estratigráficos y bioestratigráficos de la Formación La Paja (Montoya 2019a), la Formación Tablazo (Montoya 2019b), la Formación Salada (Terraza, 2019), la Formación Pujamana (Terraza 2019), la Formación Galembo (Terraza 2019), la Formación La Renta (Terraza 2019), La Formación Esmeral-

das (Pérez-Ávila y Arenas-Mosquera, Informe interno) y la Formación Mugrosa (Pérez-Ávila 2014), fueron fundamentales para establecer sin ambigüedad los límites entre unidades geológicas. La construcción de los perfiles estructurales se basó en métodos geométricos (Suppe 1983), en los cuales la premisa de espesor constante fue considerada razonable para la región de estudio. La localización de las panorámicas y detalles de afloramientos se referencian en metros. En la parte superior izquierda de las fotografías se presenta una rosa de los vientos que indica la dirección de observación y las coordenadas allí mencionadas, la localización del lugar desde el cual fue tomada.

ESTRATIGRAFÍA

A continuación se describen brevemente en orden estratigráfico (**fig. 2**) las características morfológicas y litológicas de las unidades litoestratigráficas diferenciadas y representadas en el mapa geológico (**fig. 3 y anexo 5**).

Grupo Girón

Desde el punto de vista morfológico a lo largo del cañón del río Sogamoso, en el tramo desde El Tablazo al W, hasta el Puente Gómez Ortiz, al E, se identificaron cuatro intervalos litoestratigráficos en el Grupo Girón (**figs. 4 y 5**), que pueden seguirse al E hasta el sitio Las Juntas, en la confluencia del río Chicamocha con el río Suárez para formar el río Sogamoso. Esta propuesta de diferenciación sigue aproximadamente el esquema empleado por Navas (1963).

Intervalo arenítico inferior (JGai)

Arenitas líticas de textura mediana a gruesa, de colores gris claro, verde claro y violeta, en capas gruesas. Conglomerados matriz soportados de cantos finos a medianos, subangulares, de arenita de cuarzo con textura que varía de fina a mediana, en capas gruesas y muy gruesas. Lodolitas de color violeta en capas gruesas y muy gruesas con láminas onduladas medianas y gruesas de arenita de cuarzo de textura mediana. Espesor: 600 m. Jurásico superior.

Intervalo lodolítico inferior (JGli)

Alternancia de lodolitas y limolitas de colores naranja y verde claro, en capas gruesas con arenitas de cuarzo y líticas de color violeta, de textura entre mediana y gruesa. Espesor: 150 m. Jurásico superior.

Intervalo arenítico superior (JGas)

Arenitas líticas de textura entre mediana y gruesa, de colores gris claro, verde claro y violeta, en capas gruesas. Conglomerado matriz soportado con cantos de textura fina a mediana, subangulares, de arenita de cuarzo de textura fina a mediana, en capas gruesas y muy gruesas. Lodolitas de co-

lor violeta en capas gruesas y muy gruesas con láminas onduladas medianas y gruesas de arenita de cuarzo de textura mediana. Hacia la parte alta de este intervalo se presenta un cuerpo de arenitas de cuarzo de textura entre mediana y muy gruesa, de color gris claro, con intraclastos de lodolitas e intercalaciones de capas medianas de lodolita de color negro con fragmentos de material vegetal. Espesor: 450 m. Edad: Jurásico superior.

Intervalo lodolítico arenítico (JGla)

Alternancia de lodolitas y limolitas de color naranja y verde claro en capas gruesas con arenitas de cuarzo y líticas, de textura mediana a gruesa de color violeta. Espesor: 150 m. Jurásico superior.

Formación Los Santos (b1s)

Unidad litoestratigráfica propuesta de manera formal por Cediel (1968). Se reconoce en la quebrada Piedra Azul, afluente del río Lebrija (Clavijo Torres 1985) y en la quebrada Pujamanes (Renzoni, 1985). Este cuerpo litológico se distingue en el terreno por su carácter tabular y las tonalidades gris claro que contrastan con las tonalidades naranja del infrayacente Grupo Girón (**figs. 5 y 14A**), desde el sector de estudio hasta el municipio de Los Santos (Laverde Montaña, 1985). Consta de arenitas de cuarzo de textura mediana a gruesa de colores gris claro y violeta, e intercalaciones de espesor variable de lodolitas de color violeta, laminadas. Hacia el techo de la unidad se observa la icnofacies *Scoyenia*. Espesor: 150 m. Berriasiano (Etayo-Serna y Rodríguez 1985).

Formación Cumbre (b1c)

Esta unidad representa el primer registro del ingreso marino neto del mar cretácico documentado con fósiles en volumen (bivalvos, gasterópodos, etc.), en la región de estudio (Mendoza 1985). Ya Renzoni (1985) había identificado la unidad en la quebrada Pujamanes. En el presente trabajo se reconoce y diferencia por primera vez en la cartografía geológica en los alrededores de la localidad Puente El Tablazo. Genera en el terreno un valle tenue entre dos unidades de morfología saliente, a saber, la infrayacente Formación Los Santos y la suprayacente Formación Rosa Blanca. Consta de lodolitas fosilíferas de color negro en capas medianas con laminación plana-paralela mediana, intercaladas con arenitas de cuarzo entre fino y mediano de color gris claro (**figs. 6 y 14B**). Espesor: 25 m. Berriasiano.

Formación Rosa Blanca

A partir del esquema estratigráfico propuesto por Etayo-Serna y Guzmán-Ospitia (2019) para el sector de Zapatocha, se identificaron y diferenciaron cartográficamente en la Formación Rosa Blanca cinco miembros (**figs. 6, 7, 8, 9 y 14C**).

Miembro Lagunetas (b1-rl)

Morfológicamente corresponde a un filo. Consta de biomicritas *mudstone* y *wackestone*, dolomíticas de color gris oscuro y negro en capas medianas y gruesas con niveles de yeso hacia la parte inferior (Etayo-Serna y Guzmán-Ospitia 2019; Zamarreño de Julivert 1963; Cruz y Vargas 1972; Alfonso Pava 1985). Espesor: 75 m. Berriasiano.

Miembro Carrizal (b2-rc)

Morfológicamente corresponde a un valle. Consta de biomicritas *wackestone* de color gris oscuro en capas gruesas, algunas de las cuales constituyen biostromas de bivalvos, en alternancia con biomicritas *mudstone* en capas medianas y lodolitas terrígenas de color negro con laminación plana-paralela mediana (Etayo-Serna y Guzmán-Ospitia 2019). El contacto con el infrayacente con el Miembro Lagunetas representa una cicatriz de erosión. Espesor: 125 m. Valanginiano inferior.

Miembro Zo (b3-rz)

Morfológicamente corresponde a un filo. Consta de biomicritas *packstone* y *wackestone* de color gris oscuro en capas gruesas y medianas en alternancia con lodolitas terrígenas de color negro en capas medianas. Característica de este intervalo es la presencia de bancos calcáreos-cuarzosos con laminación plana-paralela e inclinada tangencial a la base, las capas son medianas y gruesas de bioclastos fragmentados. El contacto con el infrayacente Miembro Carrizal representa una paraconformidad (Etayo-Serna y Guzmán-Ospitia 2019). Espesor: 25 m. Hauteriviano inferior (*pars*).

Miembro El Sapo (b3-rs)

Morfológicamente corresponde a un valle. Consta de biomicritas *wackestone* de color gris oscuro en capas medianas y gruesas, en alternancia con lodolitas terrígeno-calcáreas de color negro, en capas gruesas con laminación plana-paralela mediana (Etayo-Serna y Guzmán-Ospitia 2019). Espesor: 100 m. Hauteriviano inferior (*pars*).

Miembro Zapato (b3-rza)

Morfológicamente corresponde a un filo que destaca en el paisaje por sus tonalidades naranja y ocre. Consta principalmente de biomicritas *wackestone* y *packstone* de bivalvos, de color negro, en capas medianas y, en menor proporción, de arenitas de cuarzo lodosas ferruginosas en capas tabulares gruesas (Etayo-Serna y Guzmán-Ospitia 2019). Espesor: 25 m. Hauteriviano inferior (*pars*).

Formación La Paja

La unidad presenta una morfología suave que genera valles. Hacia la parte alta del tercio inferior se destaca un paquete

morfológicamente fuerte y diferenciable en la cartografía geológica, denominado Intervalo Calcáreo El Ramo (Montoya 2019a; **figs. 7, 8, 9 y 15**).

Intervalo inferior (b4-pi)

Mudstone con materia orgánica (*bindstone*-microbialita) en capas medianas que se alternan con *mudstone* arcillosos con materia orgánica (*bindstone*-microbialita) en capas medianas y gruesas, con formas plano-paralelas y con adelgazamientos y engrosamientos que definen capas con formas de nódulos unidos (camándula). Espesor: 75 m. Barremiano.

Intervalo calcáreo El Ramo (b4-per)

Calizas *mudstone* con materia orgánica (*bindstone*-microbialita) en capas medias y gruesas alternantes con *mudstone* arcillosos con materia orgánica (*bindstone*-microbialita) en capas medias. Hay horizontes de hasta 1 m con mineral de yeso. Los mejores afloramientos se presentan por el cauce de la quebrada de El Ramo, cerca de la confluencia de la quebrada Las Lajas (S) y Caño Bolas (N). Espesor: 25 m. Barremiano.

Intervalo superior (b56-ps)

Calizas *mudstone* con materia orgánica (*bindstone*-microbialita) en capas medianas y gruesas intercaladas con *mudstone* arcillosos con materia orgánica (*bindstone*-microbialita con arcillas) en capas gruesas y muy gruesas. Hacia la parte inferior se presentan lentes y láminas de calcita fibrosa, domos de gases, yesos nodulares resedimentados y láminas de yeso, todos estos elementos paralelos a la estratificación. Espesor: 200 m. Aptiano superior-Albiano inferior.

Formación Tablazo (b6t)

La unidad es un elemento morfológico fuerte que resalta en el terreno y contrasta entre dos unidades de morfología suave, a saber: la infrayacente Formación La Paja y la suprayacente Formación Simití (Montoya 2019b; **figs. 7, 8, 9, 10 y 16**). Está formada predominantemente por biomicritas *mudstone*, *wackestone* y *packstone*, de colores gris claro, macizas, en capas medianas y gruesas, intercaladas con arenitas de cuarzo de textura entre muy fina y mediana, en ocasiones fosilíferas, y lodolitas negras en capas gruesas y muy gruesas con arenitas de cuarzo y biomicritas *mudstone*. Espesor: 275 m. Albiano inferior.

Formación Simití (b6s)

Es un conjunto litológico que genera morfología suave (**figs. 8, 9, 10 y 17A**). Consta de lodolitas de color negro en capas muy gruesas con laminación plana-paralela, intercaladas con arenitas de cuarzo de textura fina y biomicritas *wackestone* en capas que varían de medianas a gruesas. Espesor: 125 m. Albiano medio (Etayo-Serna, 2018).

Formación El Salto (k1s)

Esta unidad, por primera vez diferenciada en la cartografía geológica de los alrededores de la localidad El Tablazo, genera un filo estrecho que se constituye en elemento esencial para distinguir dos unidades de características morfológicas y litológicas similares, a saber: la infrayacente Formación Simití de la suprayacente Formación Salada (**figs. 8, 9, 10, 17B y 17C**). Está compuesta por biomicritas *packstone* de color negro con bivalvos (*Rhynchostreon squamatum*), en capas medianas y gruesas. Espesor: 25 m. Cenomaniano.

Formación Salada (k2s)

Terraza (2019) propone retomar la definición original de Wheeler (1929) respecto del rango formacional del denominado “Miembro Salada” (Morales y The Colombian Petroleum Industry 1958). La unidad presenta morfología suave (**figs. 8, 9, 10 y 18**) y está constituida por biomicritas *mudstone* y *wackestone* de color negro en capas entre delgadas y medianas con laminación plana-paralela delgada y mediana definida por la abundancia de foraminíferos planctónicos, e intercalada con lodolitas terrígenas de color negro en capas gruesas, con laminación plana-paralela delgada y concreciones elipsoidales de hasta de 1 m de diámetro, de biomicritas *mudstone* y *wackestone* hacia la parte inferior de la unidad. Espesor: 100 m. Turoniano inferior.

Formación Pujamana (k2-3P)

Terraza (2019) propone retomar la definición original de Wheeler (1929) respecto del rango formacional del denominado “Miembro Pujamana” (Morales y The Colombian Petroleum Industry 1958). La unidad está constituida por arcillolitas y lodolitas de color negro, levemente carbonosas y micáceas, en capas tabulares gruesas y laminación plana-paralela mediana (**figs. 8, 9, 10 y 19**). Como rasgo característico, presenta intercalaciones de arenitas de cuarzo de textura fina con *Thalassinoides*, limolitas de cuarzo y biomicritas *mudstone*. Espesor: 75 m. Turoniano superior.

Formación Galembo (k3-4G)

Terraza (2019) propone retomar la definición original de Wheeler (1929) respecto del rango formacional del denominado “Miembro Galembo” (Morales y The Colombian Petroleum Industry 1958). La unidad es un elemento morfológico resistente que resalta en el terreno y constituye la cuchilla Galembo, en la confluencia de la quebrada Aguablanca con el río Sogamoso, elemento hoy en día convertido en islote (**figs. 8, 9, 10, 11, 12 y 20**). Consiste de biomicritas *mudstone* y *wackestone* de color gris oscuro, con abundantes foraminíferos planctónicos; son terrígenas arcillosas o carbonosas, resistentes, compactas, en capas medianas y gruesas, con laminación plana-paralela delgada. Son comunes las concreciones elipsoidales entre centimétricas y decimétricas, con restos de amonitas con aceite en sus cámaras, peces y bivalvos especialmente hacia la base. Espesor: 100 m. Edad: Coniaciano-Santoniano (*pars*).

Formación La Renta (k5lr)

Nueva unidad litoestratigráfica formal propuesta por Terraza (2019) y diferenciada cartográficamente por primera vez en el presente mapa, lo cual permite la localización estratigráfica precisa de los horizontes fosfáticos del Cretácico superior en esta región que suprayace a la Formación Galembo e infrayace a la Formación Umir (**figs. 9, 10, 12 y 21**). La Formación La Renta está compuesta por capas medianas y gruesas de biomicritas *mudstone* y *wackestone* de color gris oscuro con foraminíferos bentónicos predominantes y, en menor proporción, foraminíferos planctónicos, en láminas plano-paralelas medianas, intercaladas con capas entre medianas y gruesas e irregulares de fosforitas y biomicritas *mudstone* y *packstone* de color negro, silicificadas, que se manifiestan como lentes de *chert sensu lato*. Aproximadamente 50 m de espesor. Campaniano.

Formación Umir (k6u)

En el sentido establecido por Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958), este conjunto lodolítico presenta morfología suave y aflora extensamente entre la cuchilla Galembo, al E, y la cuchilla de La Chafarota, al W, y hace parte del Sinclinal El Naranjo y el Anticlinal de río Sucio. La unidad está compuesta principalmente por lodolitas de color negro en capas gruesas con laminación plana-paralela mediana, capas medianas de arenita de cuarzo de textura fina a mediana de color gris claro, lodolitas carbonosas de color negro con laminación plana-paralela mediana, y mantos de carbón (**figs. 12 y 22**). Hacia la base de la Formación Umir, e indicando relación discordante con la unidad infrayacente (Formación La Renta), se identificó en la quebrada Aguablanca un banco de arenitas de cuarzo de textura mediana, fosfática y glauconítica, de color gris oscuro, con intraclastos micríticos (10%, con textura de guijo mediano). Hacia el techo de la unidad se vuelven frecuentes las arenitas de cuarzo de textura mediana, de tonos rojizos, en capas medianas. Espesor: 385 m. Maastrichtiano.

Formación Lisama

Corresponde a un conjunto alternante, arenítico-lodolítico, que genera crestas y valles en franjas con dirección NE-SW (**figs. 12, 13 y 23**). En el presente trabajo se diferenciaron en la cartografía geológica cuatro de dichas franjas, nombradas así: Intervalo arenítico inferior, Intervalo lodolítico arenítico, Intervalo arenítico superior e Intervalo lodolítico superior del Paleoceno (Pardo, Jaramillo y Oboh-Ikuenobe 2003). La parte alta de la unidad corresponde al *Toro Shale* de Bueno (1968).

Intervalo arenítico inferior (E1-I1)

Se reconoce por su morfología de resalte resistente generado por arenitas de cuarzo-líticas, de textura mediana a gruesa, de colores grises, en capas gruesas con intercalaciones de lodolitas de colores grises con laminación ondulosa y plana-paralela mediana. Su contacto con la infrayacente Formación Umir dibuja una cicatriz de erosión. Espesor: 200 m. Paleoceno.

Intervalo lodolítico arenítico (E1-I2)

Se reconoce por su morfología de entrante. Corresponde a una alternancia de lodolitas de color gris oscuro, en capas gruesas con laminación plana-paralela que varía de mediana a gruesa, con arenitas líticas de textura fina a gruesa, en capas tabulares medianas. Espesor: 525 m. Paleoceno.

Intervalo arenítico superior (E1-I3)

Se reconoce por su morfología de resalte resistente generada por arenitas de cuarzo y líticas de textura fina y mediana, de colores grises, en capas gruesas con intercalaciones de lodolitas de colores grises con laminación ondulosa y plana-paralela mediana. Espesor: 250 m. Paleoceno.

Intervalo lodolítico superior (E1-I4)

Se reconoce por su morfología de entrante. Corresponde a un conjunto de lodolitas de color gris oscuro en capas gruesas con laminación plana-paralela mediana y gruesa en alternancia con arenitas líticas de textura fina a gruesa en capas tabulares medianas. Espesor: 125 m. Paleoceno-Eoceno inferior. Este nivel corresponde al *Toro Shale* de Bueno (1968).

Formación La Paz

En la región de estudio constituye la roca de apoyo de la presa de la hidroeléctrica del río Sogamoso (**figs. 12, 13 y 24**). En la unidad se identificaron tres intervalos con expresiones morfológicas particulares, nombrados así: Intervalo arenítico inferior, Intervalo lodolítico intermedio e Intervalo arenítico superior. El contacto del Intervalo arenítico inferior con la infrayacente Formación Lisama dibuja una cicatriz de erosión.

Intervalo arenítico inferior (E2-p1)

Genera un saliente en el terreno y consiste de arenitas líticas de textura entre mediana y gruesa de color gris claro, en capas gruesas, con lentes de conglomerados de guijos de cuarzo de textura fina a mediana. Espesor: 150 m. Eoceno.

Intervalo lodolítico intermedio (E2-p2)

Genera entrante suave en el perfil topográfico. Consiste de lodolitas de color gris claro en capas gruesas con lentes de conglomerados de guijos de cuarzo entre finos y medianos. Espesor: 75 m. Eoceno.

Intervalo arenítico superior (E2-p3)

También genera un saliente en el terreno y consiste de arenitas líticas de textura mediana a gruesa, de color gris claro, en capas irregulares gruesas. Espesor: 125 m. Eoceno.

Formación Esmeraldas

Corresponde a una sucesión alternante de lodolitas y arenitas que se expresa en la morfología como valles y crestas en fran-

jas de dirección NE-SW (**figs. 24, 25 y 26**). En esta unidad se identificaron siete intervalos con expresión morfológica propia denominados así: Intervalo lodolítico inferior, Intervalo arenítico inferior, Intervalo lodolítico intermedio, Intervalo arenítico intermedio, Intervalo lodolítico superior, Intervalo arenítico superior y Horizonte Fosilífero Los Corros (Wheeler 1935, 22, tab. 1; Rodríguez-Forero et al. 2012). La descripción de la unidad utilizada en este trabajo es una síntesis de los levantamientos estratigráficos de la Formación Esmeraldas y la Formación Mugrosa, adelantados por los geólogos Adrián Pérez Ávila y Jorge Enrique Arenas Mosquera.

Intervalo lodolítico inferior (E2-e1)

Genera una morfología suave por consistir en lodolitas y limolitas de color violeta a marrón, en capas gruesas, intercaladas con arenitas líticas de textura muy fina y mediana en capas medianas y gruesas. Espesor: 80 a 100 m. Edad: Eoceno inferior.

Intervalo arenítico inferior (E2-e2)

Produce resalte por consistir de arenitas líticas de textura fina y mediana de colores violeta y verde claro, en capas tabulares gruesas con intercalaciones de lodolitas y limolitas de colores entre violeta y marrón. Espesor: 165 a 195 m. Eoceno medio.

Intervalo lodolítico intermedio (E2-e3)

Genera una morfología suave por consistir de lodolitas y limolitas de color violeta a marrón, en capas gruesas, intercaladas con arenitas líticas de textura fina y mediana, en capas medianas y gruesas. Espesor: 255 a 275 m. Eoceno medio.

Intervalo arenítico intermedio (E2-e4)

Produce resalte por consistir de arenitas líticas de textura fina a gruesa de colores gris claro y verde claro, en capas tabulares gruesas, con intercalaciones de lodolitas y limolitas de colores entre violeta y marrón. Espesor: 80 a 100 m. Eoceno superior.

Intervalo lodolítico superior (E2-e5)

Genera una morfología suave por consistir de lodolitas y limolitas de colores entre violeta y marrón, con restos de material vegetal y carbonoso, además de capas gruesas de lignito. Arenitas líticas de textura fina a mediana en capas medianas y gruesas, con presencia de paleosuelos calcáreos-caliches, niveles de turbas y lignito de color marrón. Espesor: 210 a 250 m. Eoceno superior.

Intervalo arenítico superior (E2-e6)

Produce resalte por consistir de arenitas líticas de textura fina a gruesa, de colores gris claro y verde claro, en capas tabulares gruesas con intercalaciones de lodolitas y limolitas de colores entre violeta y marrón. Espesor: 135 a 170 m. Eoceno superior.

Horizonte fosilífero los corros (E2-e7)

Este “horizonte fosilífero” está situado en el tope de la Formación Esmeraldas y constituye un elemento clave para la separación de la Formación Esmeraldas de la suprayacente Formación Mugrosa. Corresponde a un conjunto de lodolitas y limolitas de cuarzo fosilíferas (bivalvos, gasterópodos y restos de peces) de tonalidades amarillentas, en capas delgadas y medianas (**fig. 26**). Aproximadamente 25 m de espesor. Eoceno superior.

Formación Mugrosa

Consiste en una alternancia de lodolitas y arenitas que se expresa en morfología de graderías: valles y crestas que dibujan franjas angostas de dirección NE-SW (**fig. 27**). En la región estudiada se diferencian tres intervalos: Intervalo lodolítico inferior, Intervalo arenítico intermedio e Intervalo lodolítico superior. Edad: Oligoceno (Pardo, Jaramillo y Oboh-Ikuenobe 2003; Rodríguez-Forero et al. 2012)

Intervalo lodolítico inferior (E3-mli)

Se manifiesta con morfología suave desarrollada en lodolitas de color pardo rojizo con laminación plana-paralela y arenitas líticas de textura mediana a gruesa en capas gruesas. Espesor: 200 m. Oligoceno.

Intervalo arenítico intermedio (E3-mai)

Presenta morfología resaltante producida por arenitas líticas de textura mediana a gruesa en capas tabulares gruesas. Espesor: 200 m. Oligoceno.

Intervalo lodolítico superior (E3-mls)

Presenta morfología suave desarrollada en lodolitas de color pardo rojizo con laminación plana-paralela; tiene intercalaciones de arenitas líticas de textura mediana a gruesa en capas tabulares gruesas. Espesor: 200 m. Oligoceno.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El estilo estructural del Valle Medio del Magdalena en la región estudiada se caracteriza por presentar pliegues de primer orden con orientación NNE-SSW que afectan las secuencias del Jurásico y del Cretácico en el Anticlinal de Los Cobardes, al E, y Paleógeno-Neógeno, del flanco E del Sinclinal de Nuevo Mundo, al W. El Anticlinal de Los Cobardes presenta en su flanco W buzamientos que varían de 30° a 45°, mientras que en su flanco E buzamientos subhorizontales (Sánchez et al. 2012; Jiménez et al. 2016), con plegamientos menores, como el Sinclinal de Gramalote (**figs. 3, 28 y 29**). Si bien en función de variaciones en el espesor de las unidades del Jurásico Superior (Grupo Girón) se ha propuesto para el borde E del VMM un estilo estructural de escamación gruesa (*thick-skinned*; Julivert 1970; Shamel 1991; Jiménez et al. 2016), a lo largo del corte del río Sogamoso, entre El Tablazo y Zapatoca, no se ve reflejado en el terreno (**fig. 4**).

Pliegues de tercer orden, como el Sinclinal de La Paja, el Anticlinal de El Ramo, el Sinclinal de Las Lajas y el Anticlinal de Miradores, se desarrollan en la secuencia del Cretácico en las Formaciones Rosa Blanca, La Paja y Tablazo (**figs. 3, 28, 30, 31 y 32**). Como pliegues de segundo orden desarrollados en las formaciones Umir y Lisama están el Sinclinal El Naranjo y el Anticlinal de Mata de Cacao, con orientación NNE-SSW (**fig. 33**).

La mayor expresión de deformación por plegamiento en la secuencia del Cretácico superior, formaciones Salada, Pujamana, Galembo, La Renta y Umir, se localiza en el sector de Montebello. Allí el plegamiento de tercer orden se concentra en el bloque colgante de la Falla de San Vicente, de dirección NNE-SSW y vergencia ESE (**figs. 3 y 28**). En el bloque colgante de la Falla de San Vicente, de W a E se presentan el Anticlinal de Montebello, el Sinclinal de Belmonte, el Anticlinal de Chucurí y, al S de la confluencia de la quebrada El Ramo con el río Chucurí, un sinclinal y anticlinal que comparten un flanco invertido. En el bloque yacente de la falla de San Vicente, desde la confluencia de la quebrada La Carolina con el río Chucurí, hacia al S y por cerca de 1 km hasta alrededores de la confluencia de la quebrada El Ramo con el río Chucurí, al N, se presenta la verticalización, inversión y repetición de la Formación Galembo, debido al cabalgamiento. A su vez, los pliegues del bloque colgante terminan contra la falla de San Vicente (**figs. 34 y 35**).

Como rasgo estructural característico, hacia la parte alta de la Formación Tablazo y en alrededores de los drenajes principales (quebrada El Ramo, río Sogamoso, quebrada Pujamane, quebrada La Molinilla) se localizan sectores con diferentes estadios deformativos, correspondientes a un proceso de inversión (**fig. 36**). Dichos procesos de inversión localmente afectan secuencias estratigráficas tan altas como la Formación Pujamana, en algunos sectores de la quebrada Aguablanca. En general, se trata de procesos locales de progresiva verticalización a lo largo del rumbo, inversión (**figs. 36A, 36B y 36C**), y en los casos de sectores adyacentes normales e invertidos, la generación de fallas locales transversales que acomodan la deformación (**fig. 36D**).

CONCLUSIONES

En alrededores del sector El Tablazo se han logrado reconocer y cartografiar, desde la región de Zapatoca, los cuatro intervalos constitutivos del Grupo Girón, los cinco miembros de la Formación Rosa Blanca (véase Moreno-Sánchez 2019); además, han sido identificadas y cartografiadas por vez primera las formaciones Cumbre, El Salto, Salada, Pujamana, Galembo y La Renta, así como el Horizonte Fosilífero de Los Corros.

El estilo estructural del Valle Medio del Magdalena en el sector El Tablazo se caracteriza por la presencia de pliegues de primer orden con dirección NNE-SSW, que afectan la secuencia sedimentaria del Jurásico superior-Cretácico en el Anticlinal de Los Cobardes, al E, y del Paleógeno-Neógeno, en el flanco E del Sinclinal de Nuevo Mundo, al W.

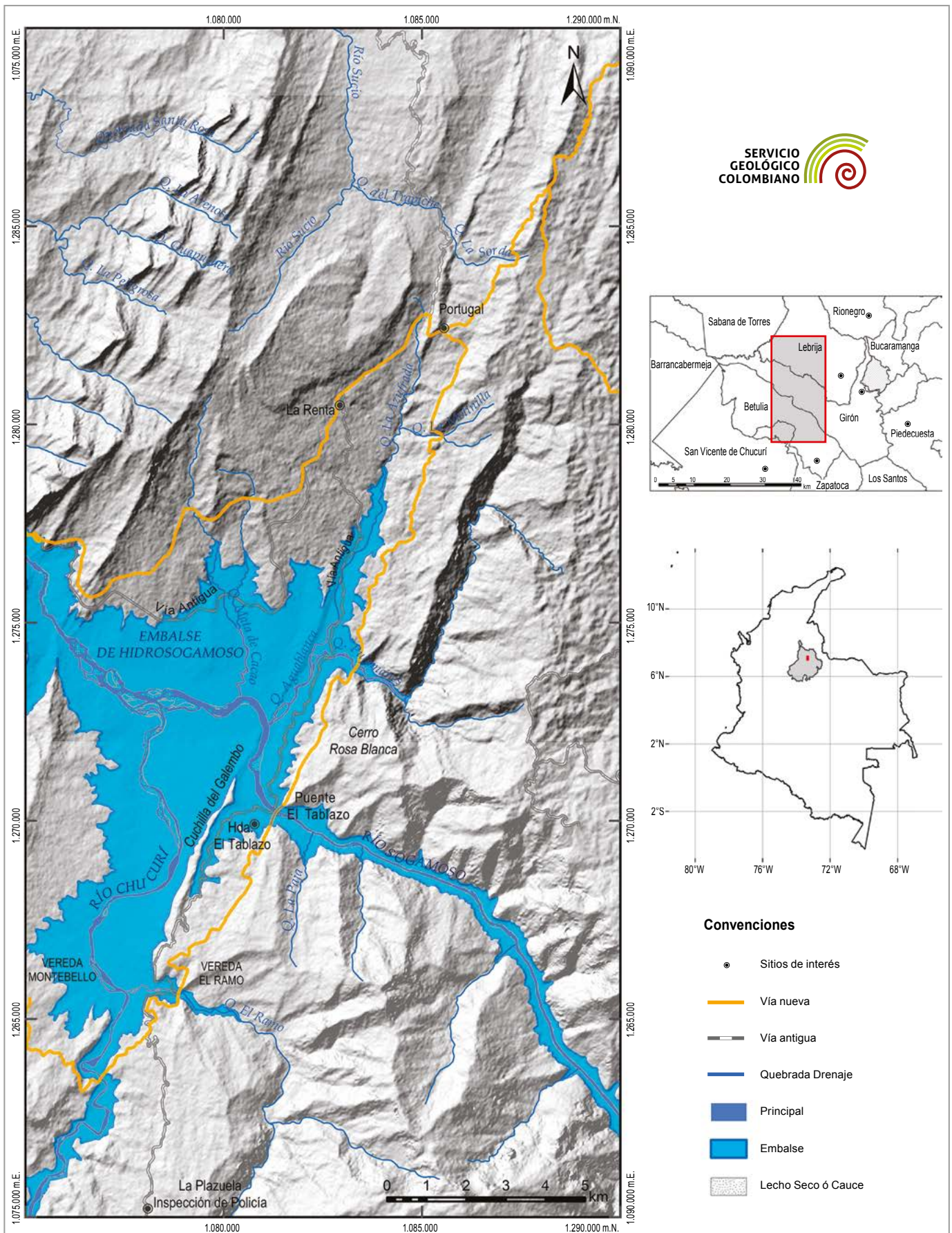


Figura 1. Localización de la región de estudio.

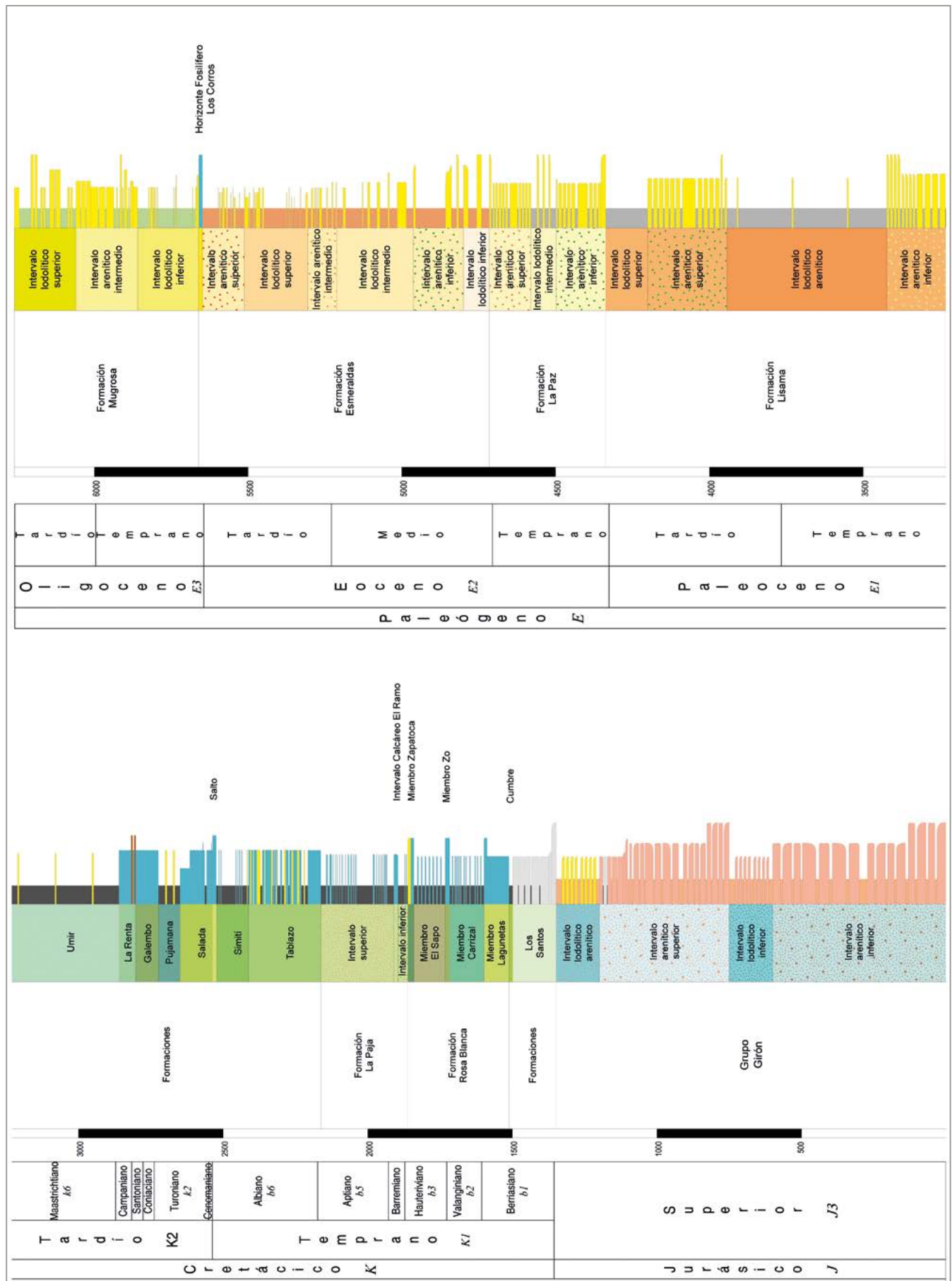


Figura 2. Columna estratigráfica generalizada del Mesozoico-Cenozoico del VM.



Convenciones	
Contactos	
	Concordante
	Discordante
Fallas	
	Cabalgamiento
Pliegues	
	Anticinal
	Anticinal con Cabeceo
	Anticinal con Doble Cabeceo
	Anticinal Volcado
	Sinclinal
	Sinclinal con Cabeceo
	Sinclinal con Doble Cabeceo
	Sinclinal Volcado
	Corte Geológico

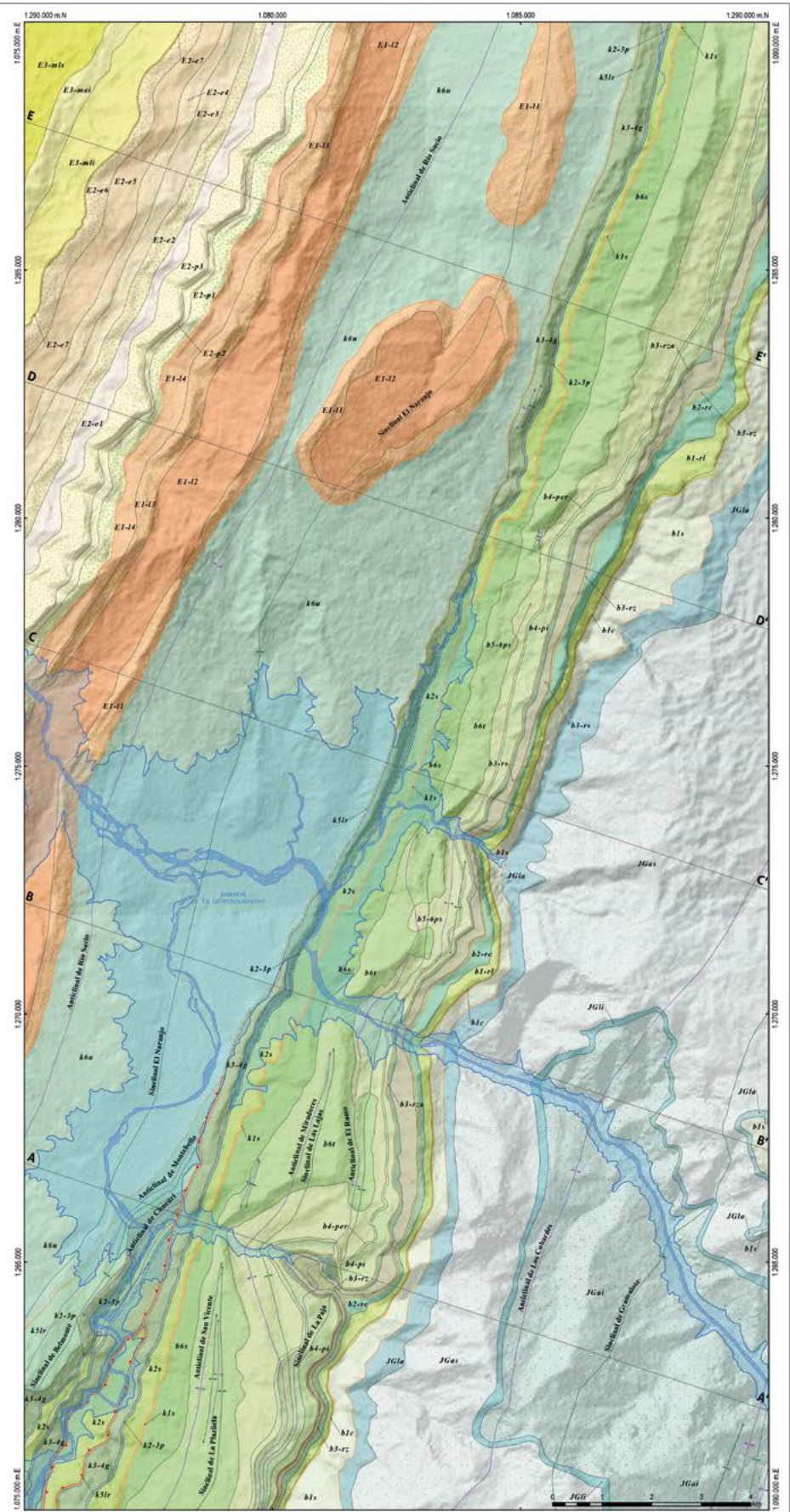


Figura 3. Mapa geológico de las unidades del Mesozoico-Cenozoico del VMM.



Figura 4. Panorámica del Grupo Girón a lo largo del cañón del río Sogamoso. Fotografía tomada en la vía Betulia-Escuela El Placer (N:1.266.777, E:1.086.070, Z:686).



Figura 5. Panorámica de los intervalos del Grupo Girón y la Formación Los Santos a lo largo del cañón del río Sogamoso. Fotografía tomada en la vía Betulia-Cuchilla Gramalote (N:1.264.807, E:1.084.691, Z:1.187).

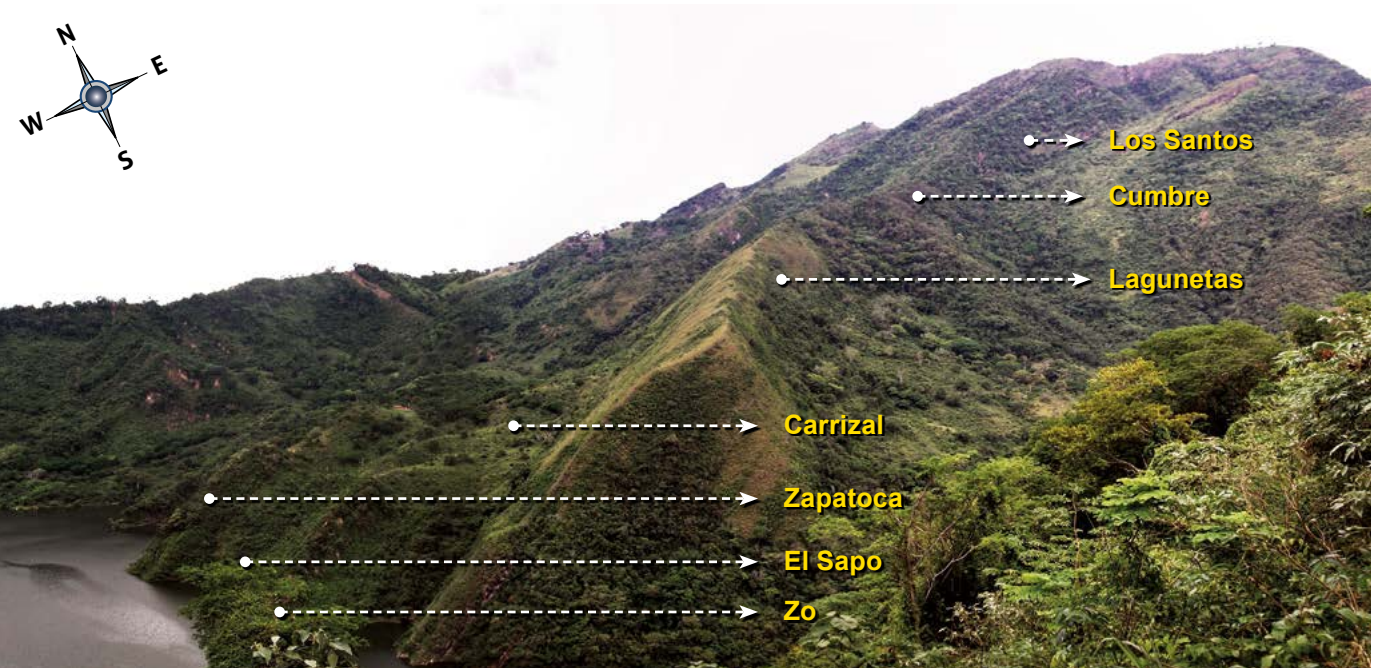


Figura 6. Panorámica de las formaciones Los Santos, Cumbre y Rosa Blanca (Miembros Lagunetas, Carrizal, Zo, El Sapo y Zapatoca) a lo largo del cañón del río Sogamoso. Fotografía tomada en la vía El Tablazo-Cuchilla La Carolina (N:1.269.030, E:1.082.747, Z:515).



Figura 7. Panorámica de las Formaciones Rosa Blanca, La Paja y Tablazo a lo largo del cañón del río Sogamoso. Fotografía tomada en la vía El Tablazo-cuchilla La Carolina (N:1.269.030, E:1.082.747, Z:515).



Figura 8. Panorámica de las formaciones del Cretácico a lo largo del cañón de la quebrada El Ramo. Fotografía tomada en la vía San Vicente de Chucurí-Escuela El Ramo (N:1.265.650, E:1.078.250, Z:362).

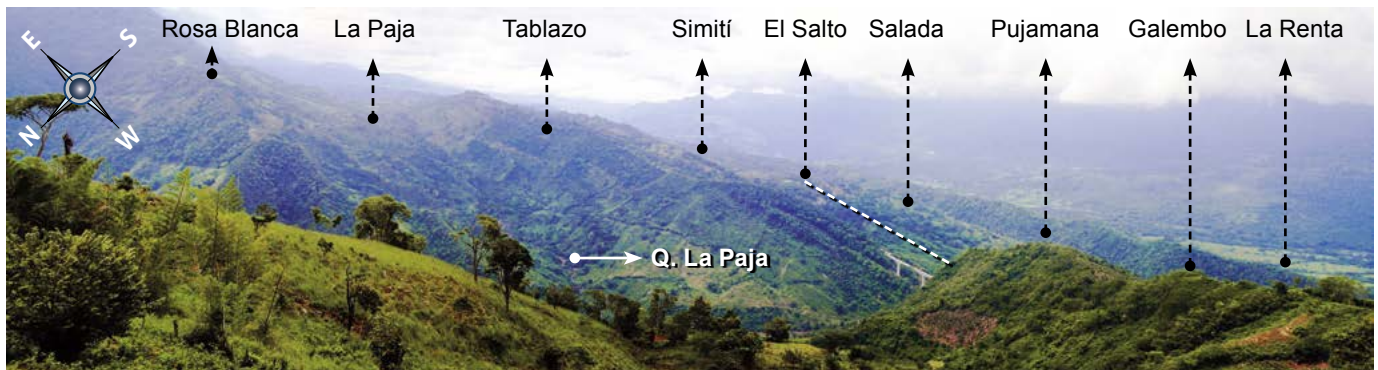


Figura 9. Panorámica de las formaciones del Cretácico a lo largo del cañón del río Sogamoso. Fotografía tomada en la vía El Tablazo-La Reforma (N:1.271.422, E:1.083.530, Z:852).

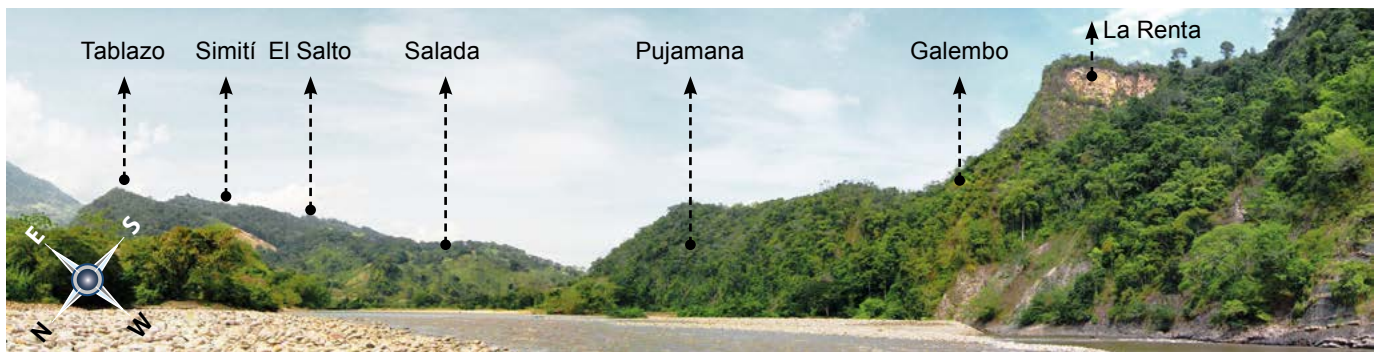


Figura 10. Panorámica de las formaciones del Cretácico superior en alrededores de El Tablazo (desembocadura de la quebrada Azufrada en el río Sogamoso, antes de la inundación) (N:1.271.622, E:1.080.890, Z:198).



Figura 11. Formación Galembó aflorante en el Cerro Galembó, alrededores al sitio El Tablazo, desembocadura de la quebrada Aguablanca en el río Sogamoso, actualmente inundado (N:1.272.436, E:1.081.089, Z:199).

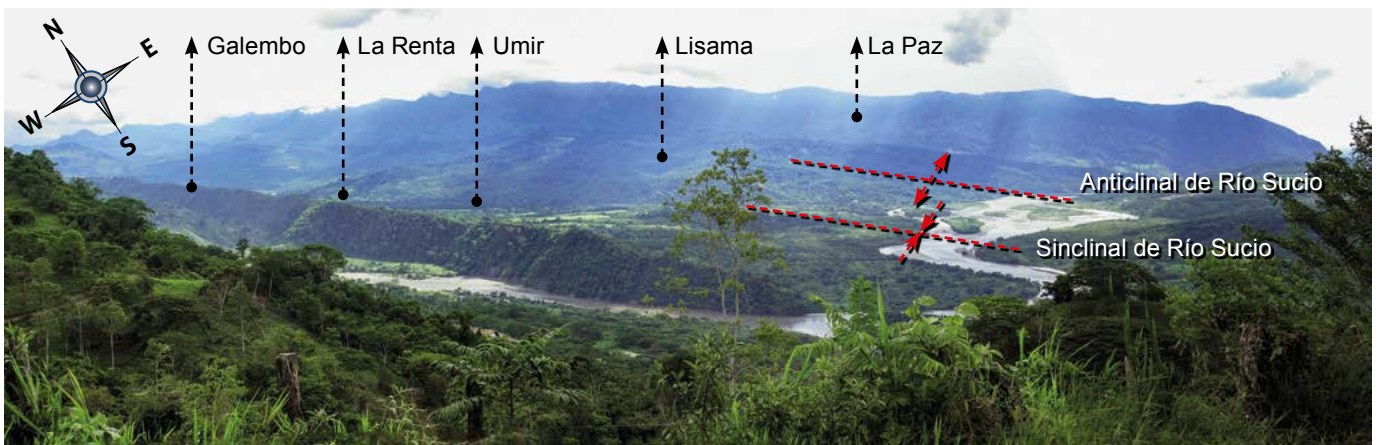


Figura 12. Panorámica de las formaciones del Cretácico Superior y Paleógeno – Neógeno en el cañón del río Sogamoso. Fotografía tomada en la vía El Tablazo-cerro La India (N:1.271.614, E:1.082.083, Z:650).



Figura 13. Panorámica de las unidades del Paleógeno-Neógeno a lo largo del cañón del río Sogamoso, contiguas a la presa Hidrosogamoso (N:1.276.735, E:1.073.992, Z:395).



Figura 14. (A) Arenitas de la Formación Los Santos en la quebrada Pujamanes (N:1.273.168, E:1.084.393, Z:309). (B) Arenitas y lodolitas de la Formación Cumbre en la vía El Tablazo-vereda El Placer (N:1.268.725, E:1.083.152, Z:504). (C) Biomicritas *wackestone* de la Formación Rosa Blanca-Miembro Lagunetas en la quebrada Pujamanes (N:1.273.398, E:1.084.229, Z: 297).



Figura 15. Intercalación de lodolitas terrígenas y biomicritas *wackestone* de la Formación La Paja en la quebrada El Ramo (N:1.265.183, E:1.079.724, Z:321).



Figura 16. Intercalación biomicrocristalinas *packstone* - *wackestone* y arenitas de cuarzo fosilíferas de la Formación Tablazo en la quebrada El Ramo (N:1.273.814, E:1.083.238, 284).

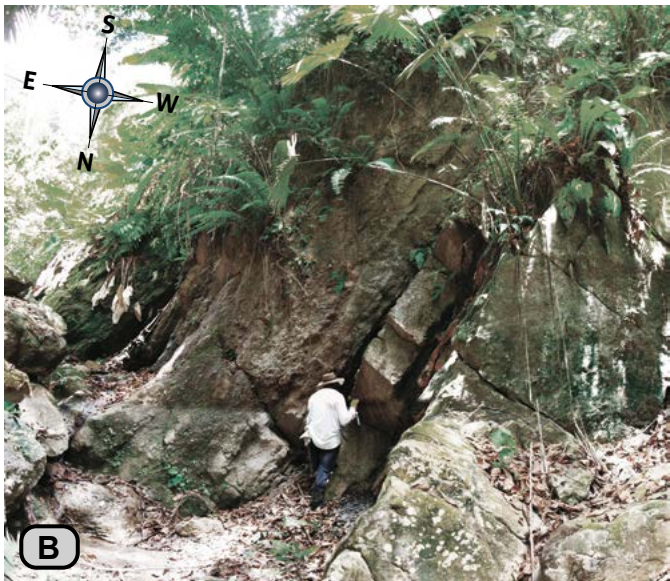


Figura 17. (A) Lodolitas laminadas y biomicrocristalinas *wackestone* de la Formación Simití (N:1.280.526, E:1.085.228, Z:632). (B y C) Biomicrocristalinas *packstone* con *Rhynchostreon squamatum* (ORBIGNI) de la Formación El Salto (N:1.279.872, E:1.084.545, Z:403).



Figura 18. Formación Salada aflorante en la quebrada Aguablanca. **(A)** Biomicritas *mudstone* con niveles de concreciones elipsoidales (N:1.279.893, E:1.084.511, Z:385). **(B)** Laminación plana-paralela conspicua (N:1.270.999, E:1.080.879, Z:202).



Figura 19. Formación Pujamana en la quebrada Aguablanca. **(A)** Arenitas de cuarzo en capas gruesas. **(B)** Aspecto de la bioturbación reflejada en los *Thalassinoides* (N:1.279.001, E:1.084.042, Z:344).



Figura 20. Formación Galembó en el río Chucurí. **(A)** Aspecto morfológico de escarpe. **(B)** Biomicritas *mudstone* y *wackestone* laminadas con concreciones esféricas (N:1.263.919, E:1.076.517, Z:266).



Figura 21. Afloramientos de la Formación La Renta en la quebrada Aguablanca (N:1.279.638, E:1.084.237, Z:370). **(A)** Morfología escarpada con taludes verticales. **(B)** Intercalación de biomicritas wackestone laminadas con niveles de fosforitas. **(C)** Detalle de las fosforitas con bases canaliformes.

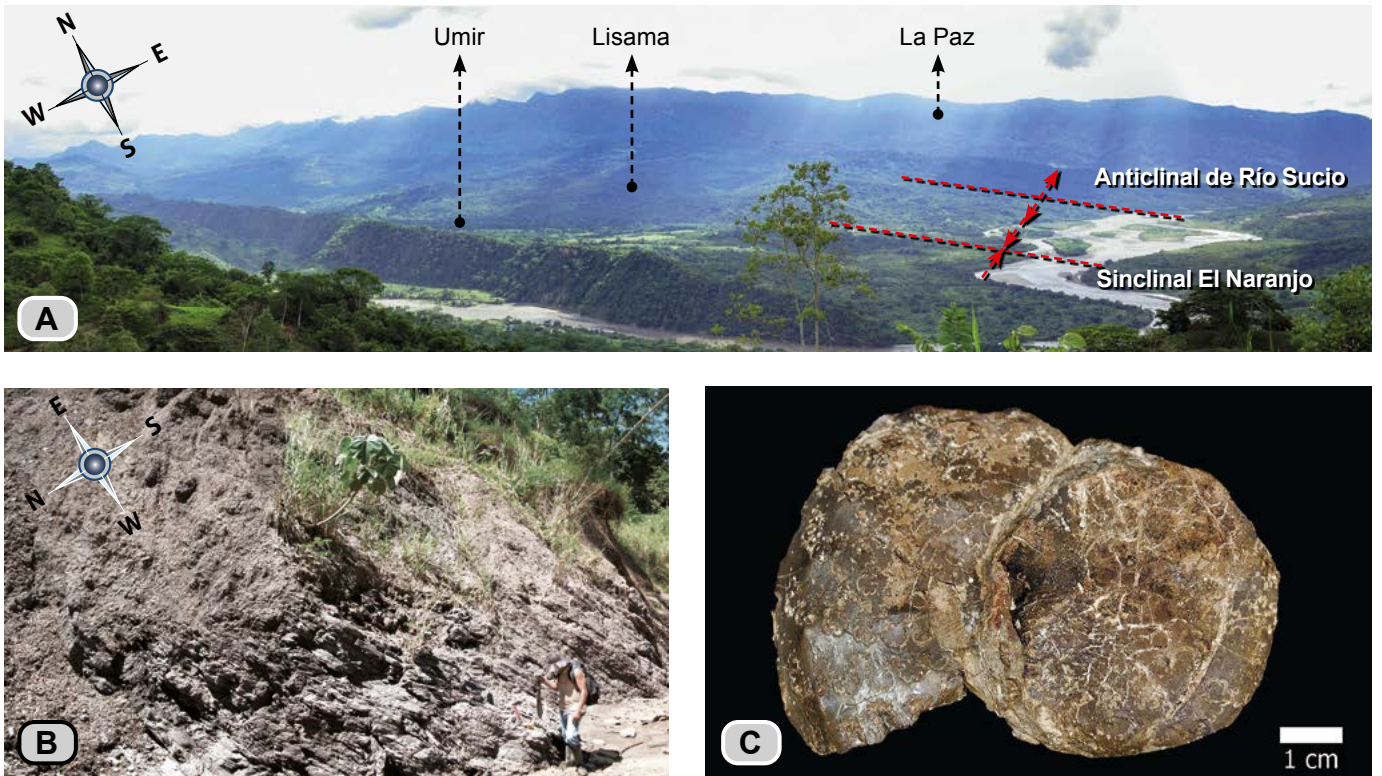


Figura 22. **(A)** Morfología suave de la Formación Lisama en la región del cañón de los ríos Chucurí y Sogamoso (N:1.271.614, E:1.082.083, Z:650). **(B)** Lodolita negra con laminación plana-paralela de la Formación Lisama (N:1.278.437, E:1.083.188, Z:391). **(C)** Amonita del Maastrichtiano *Sphenodiscus pleurisepta* (CONRAD, 1857), vía La Renta-Barrancabermeja.



Figura 23. (A) Morfología alternante de crestas y valles de la Formación Lisama. (B) Arenitas de cuarzo de textura gruesa. (C) Lodolita negra en capas gruesas, laminación plana-paralela, y costras de yeso blanquesinas y anaranjadas (N:1.275.614, E:1.078.291, Z:410).



Figura 24. (A y B) Panorámica de la Formación La Paz en el estribo de la presa del embalse Hidrosogamoso (N:1.276.735, E:1.073.992, Z:395). (C) Arenitas en capas gruesas, canaliformes: nótese la discordancia intraformacional en el cuarto inferior derecho de la figura (N:1.277.175, E:1.074.241, Z:410).



Figura 25. Formación Esmeraldas. (A) Morfología de valles y crestas. (B) Lodolitas negras intercaladas con arenitas. (C) Arenitas de cuarzo en capas irregulares muy gruesas (N:1.277.502, E:1.073.819, Z:280).



Figura 26. Horizonte fosilífero Los Corros en el tope de la Formación Esmeraldas (N:1.277.502, E:1.073.819, Z:280). **(A)** Lodolita fosilífera en capas medias. **(B)** Moldes de bivalvos. **(C)** Lodolita con gasterópodos.



Figura 27. Formación Mugrosa. (A) Morfología suave con desarrollo de crestas (intervalos arenosos). (B) Capas gruesas de arenitas de cuarzo (N:1.071.229, E:1.278.053, Z:213). (C) Lodolita de tonalidades roja y violeta en capas gruesas (N:1.277.502, E:1.073.819, Z:280).

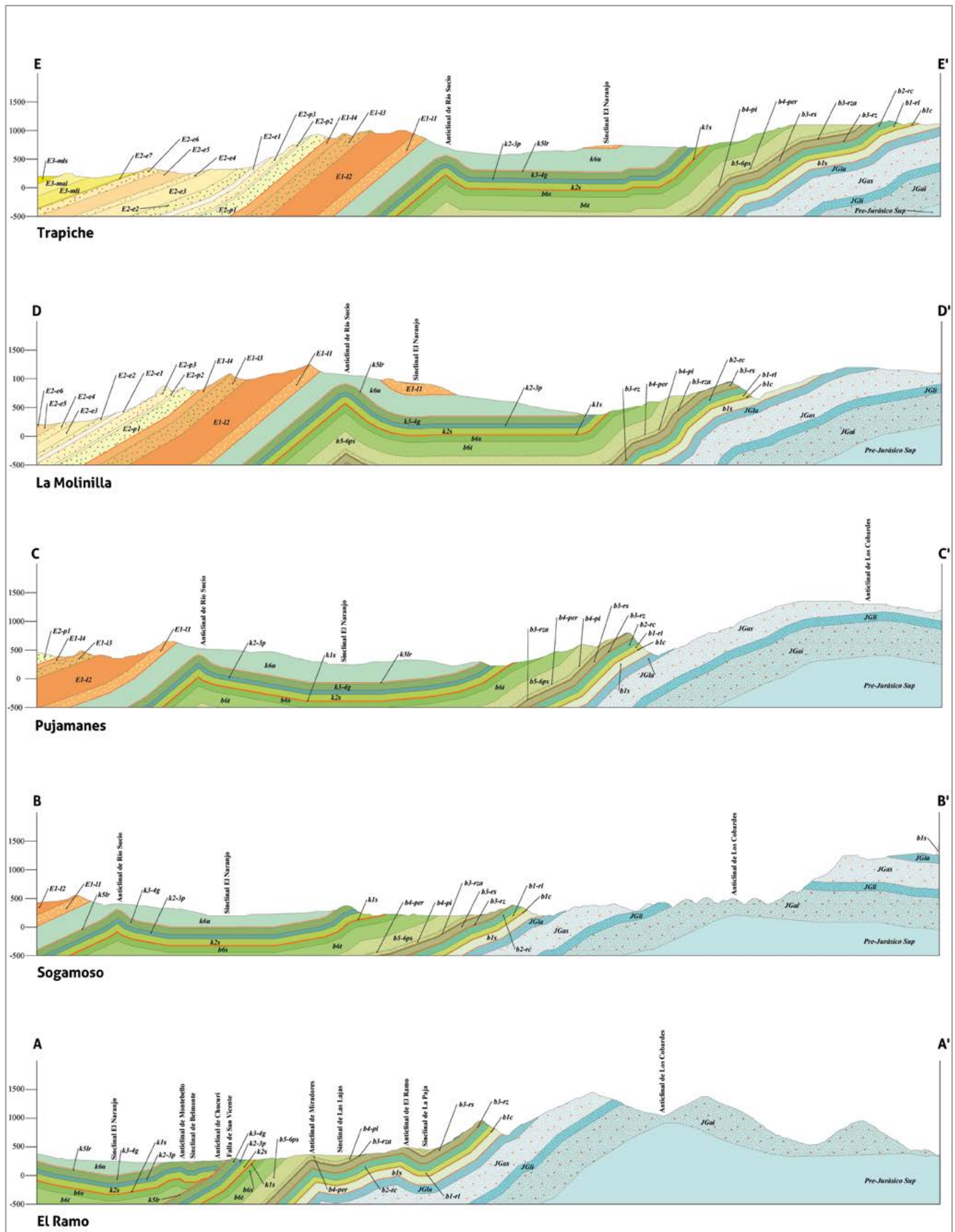


Figura 28. Perfiles geológicos de las unidades del Mesozoico-Cenozoico del VMM (localización en figura 3).



Figura 29. Pliegues en el Grupo Girón a lo largo del cañón del río Sogamoso en la vía Betulia-Escuela El Placer (N:1.266.777, E:1.086.070, Z:686).

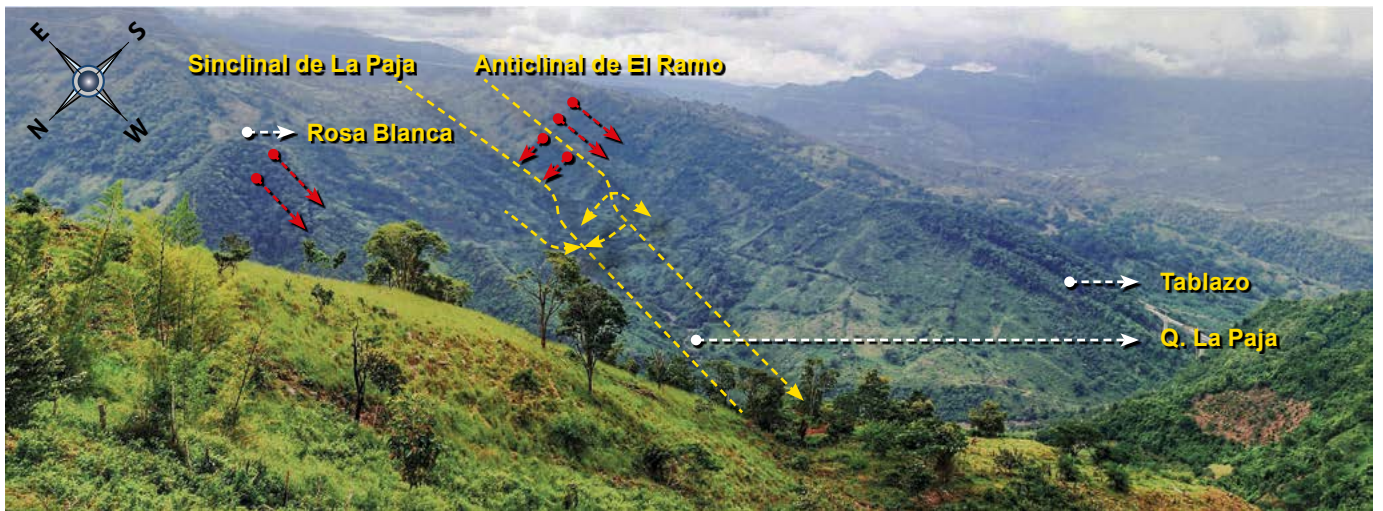


Figura 30. Pliegues en las formaciones del Cretácico en el valle de la quebrada La Paja. Fotografía tomada en la vía El Tablazo-La Reforma (N:1.271.422, E:1.083.530, Z:852).

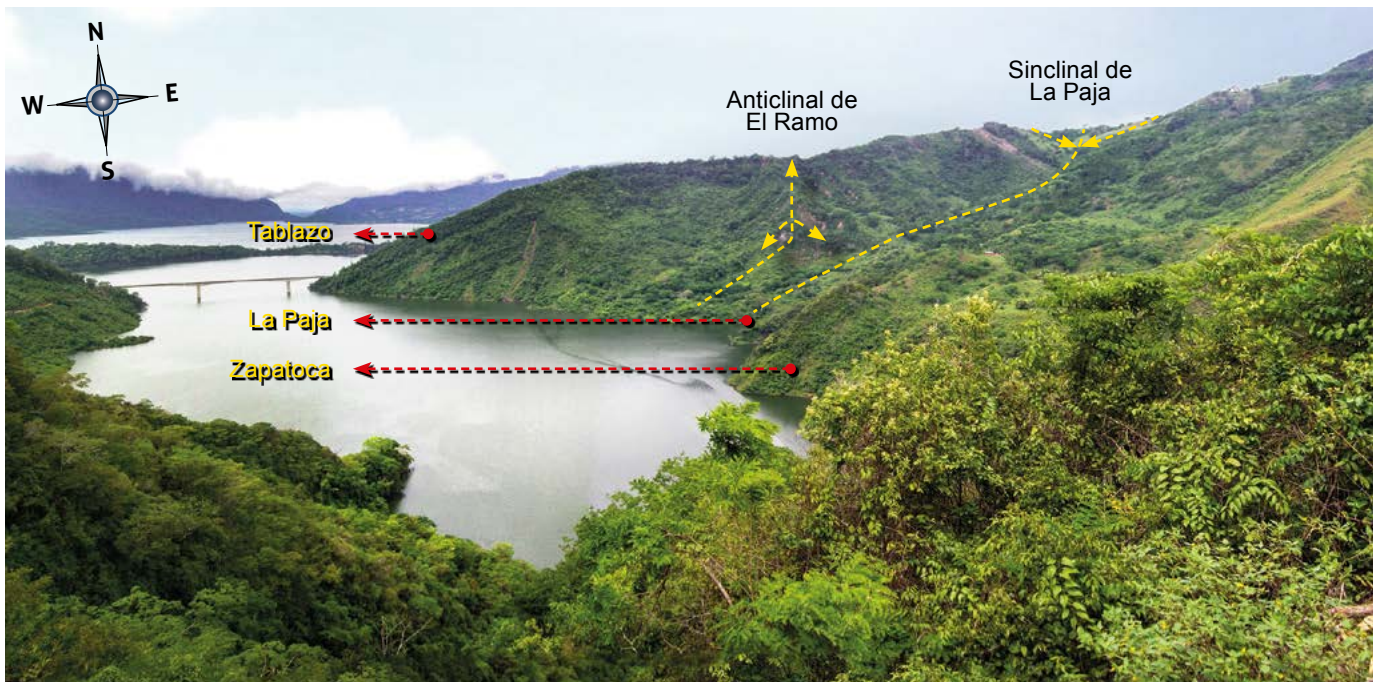


Figura 31. Plegamiento de las formaciones La Paja y Tablazo a lo largo del cañón del río Sogamoso (N:1.269.030, E:1.082.747, Z:515).

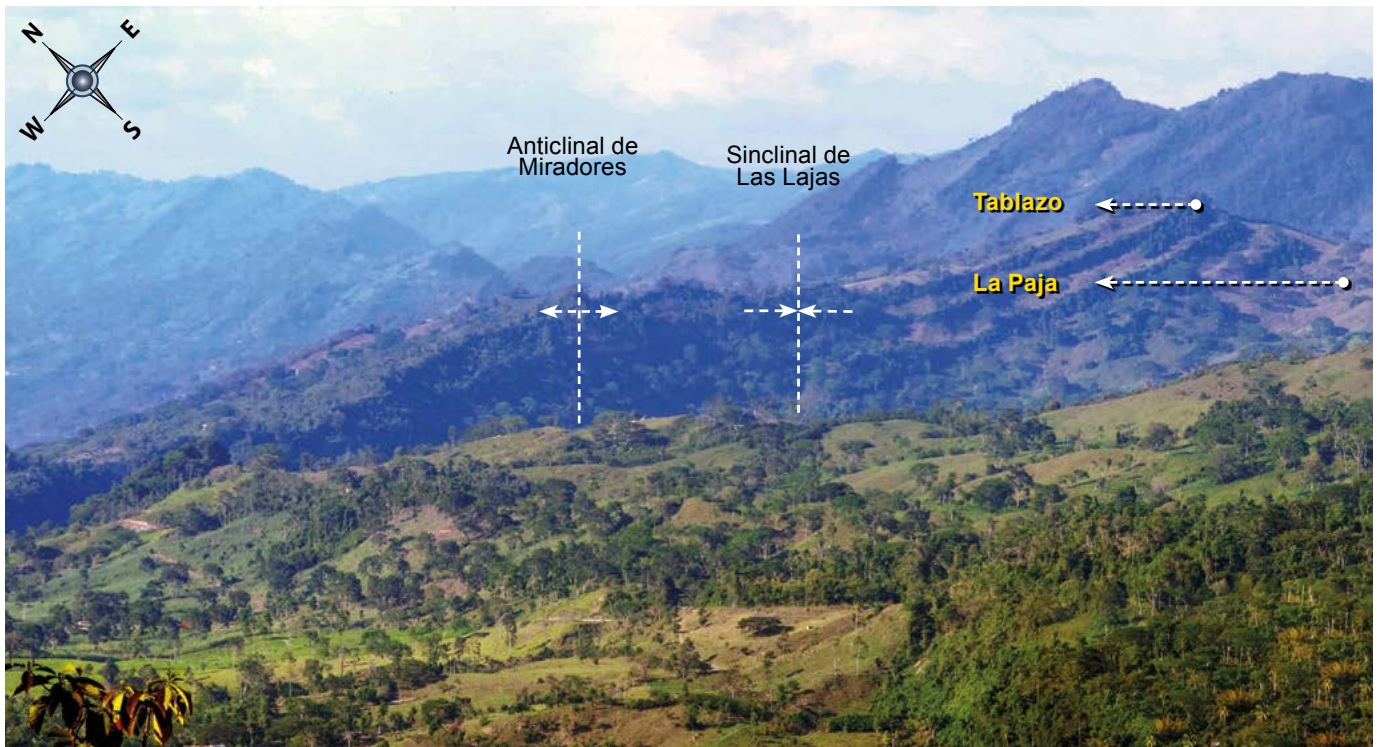


Figura 32. Plegamiento en las formaciones La Paja y Tablazo a lo largo de la quebrada El Ramo (N:1.259.913, E:1.076.343, Z:550).

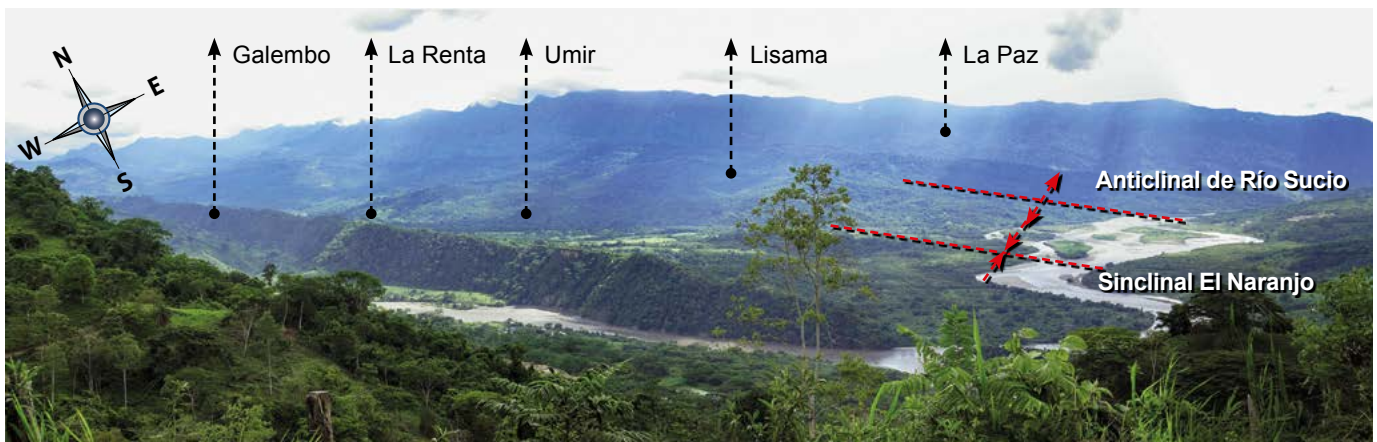


Figura 33. Plegamiento de las unidades del Cretácico superior y Paleógeno-Neógeno en el cañón del río Sogamoso. Fotografía tomada en la vía El Tablazo-cerro La India (N:1.271.614, E:1.082.083, Z:650).

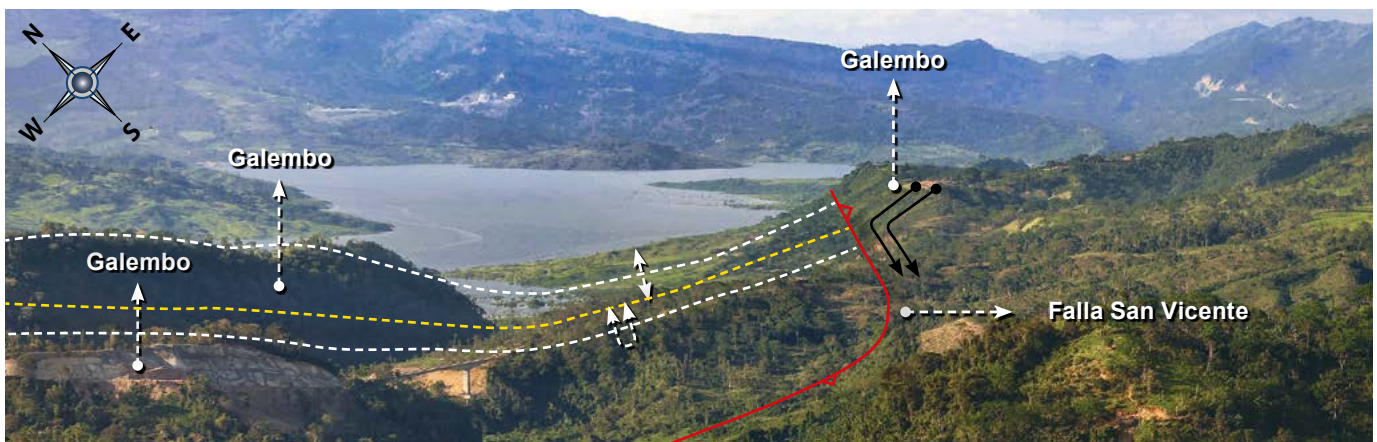


Figura 34. Pliegues en la Formación Galembó en el sector de Montebello (N:1.259.913, E:1.076.343, Z:550).

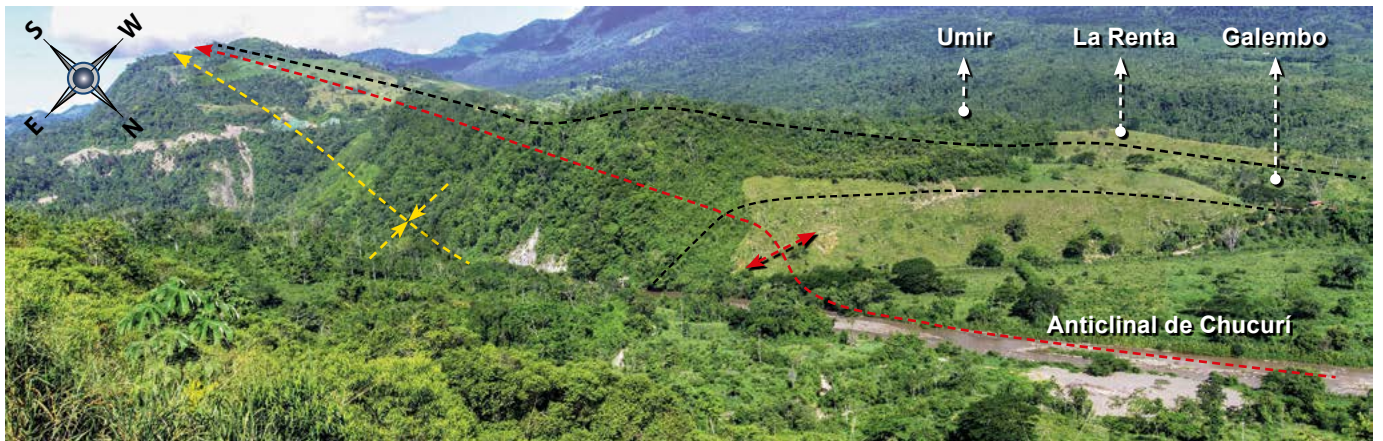


Figura 35. Plegamiento en la Formación Galembó a lo largo del valle del río Chucurí, sector Montebello (N:1.264.905, E:1.078.150, Z:450).

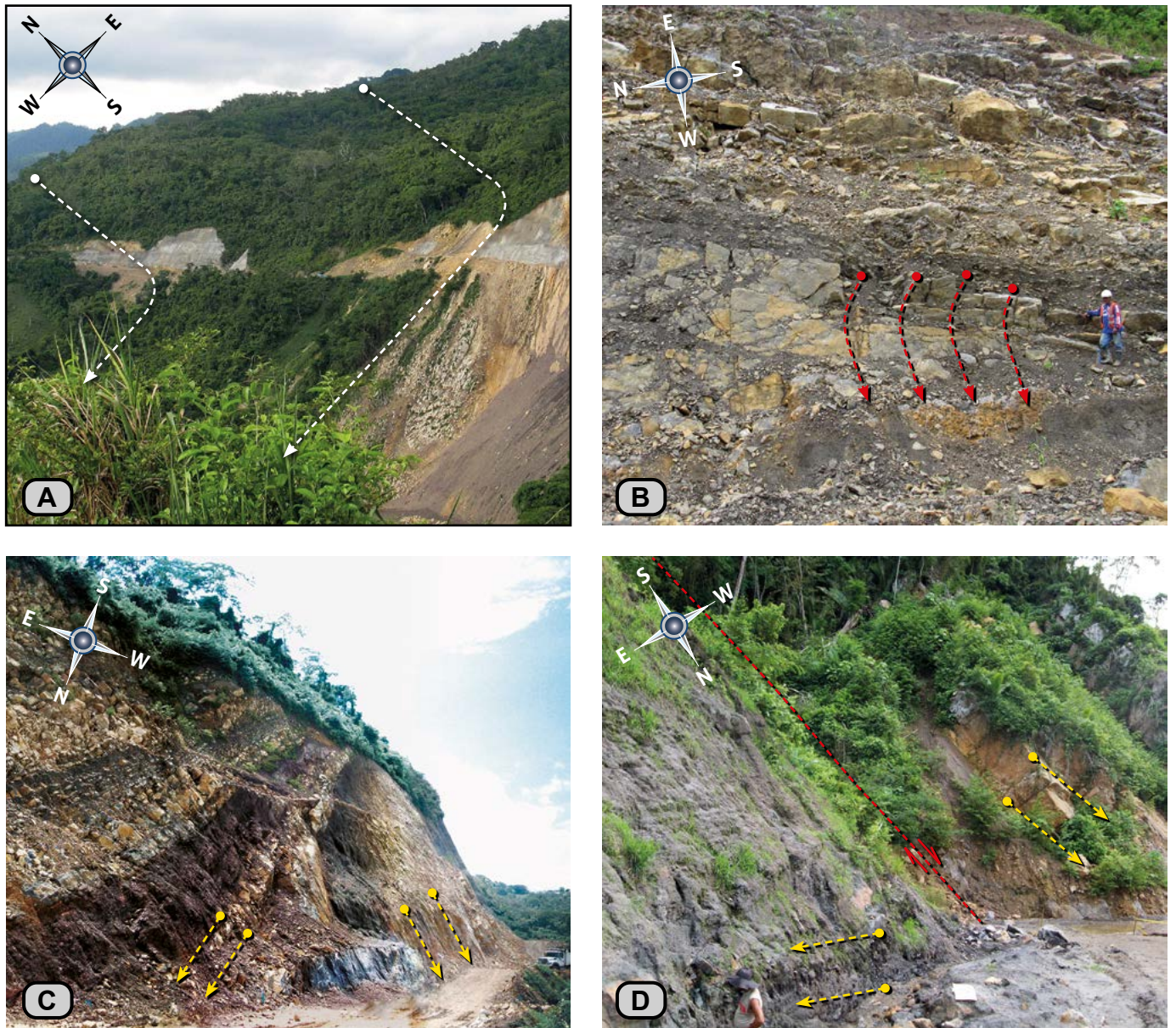


Figura 36. Diferentes estadios en el desarrollo local de sectores de inversión en la parte alta de la Formación Tablazo. (A) Verticalización e inversión en el margen N quebrada Pujamanes (N:1.273.637, E:1.082.859, Z:429). (B) Detalle del paso de inversión a normalización en el margen S de la quebrada Pujamanes (N:1.273.590, E:1.082.936, Z:369). (C) Detalle del paso de inversión a normalización en el margen N de la quebrada Pujamanes (N:1.274.270, E:1.083.477, Z:360). (D) Desarrollo de falla local transversal (N:1.280.597, E:1.085.430, Z:688).

AGRADECIMIENTOS

Al Profesor Fernando Etayo-Serna por su permanente orientación y asesoría en campo, así como por la revisión y sugerencias a la presente síntesis. A los geólogos Diana María Montoya Arenas, Roberto Terraza Melo, Adrián Pérez Ávila y José Enrique Arenas Mosquera, participantes del “Proyecto Hidrosogamoso” del Servicio Geológico Colombiano, quienes mediante sus detallados trabajos estratigráficos suministraron la carta de navegación para la elaboración del mapa geológico. Al Profesor Darío Barrero Lozano, por sus observaciones referentes al estilo estructural del Valle Medio del Magdalena. A la Ingeniera Yanneth Montaña Barrera por sus dedicadas y detalladas labores de edición del mapa geológico en ambiente SIG. A los auxiliares Gabriel Rodríguez y José Verdugo por su cordial acompañamiento en campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfonso Pava, Carlos Arturo. 1985. “Los episodios evaporíticos de la Formación Rosablanca”. En *Proyecto Cretácico, Contribuciones*, editado por Fernando Etayo-Serna y Fabio Laverde. Publicaciones Geológicas Especiales 16. Bogotá: Ingeominas.
- Bueno S., Rafael. 1968. “Ocurrencia y litología del Toro Shale”. *Boletín de Geología* 21: 33-43.
- Caballero, Víctor, Mauricio Parra y Andrés Roberto Mora Bohórquez. 2010. “Levantamiento de la Cordillera Oriental de Colombia durante el Eoceno tardío-Oligoceno temprano: Proveniencia sedimentaria en el Sinclinal de Nuevo Mundo, Cuenca Valle Medio del Magdalena”. *Boletín de Geología* 32 (1): 45-77.
- 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>.
- Cediel, Fabio. 1968. “El Grupo Girón: una molasa mesozoica de la Cordillera Oriental”. *Boletín Geológico* 16 (1-3): 5-96.
- Clavijo Torres, Jairo. 1985. “La secuencia de la Formación Los Santos en la quebrada Piedra Azul: registro de una hoya fluvial evanescente”. En *Proyecto Cretácico, contribuciones*, editado por Fernando Etayo-Serna y Fabio Laverde, 1-18. Publicaciones Geológicas Especiales 16. Bogotá: Ingeominas.
- Cruz, Jaime y Rodrigo Vargas. 1972. “Informe sobre los yesos de la Formación Rosablanca en la Mesa de Los Santos”. *Boletín Geológico* 20 (3): 105-129.
- Dunham, Robert J. 1962. “Classification of carbonate rocks according to depositional texture”. 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>.
- Etayo-Serna, Fernando y Gloria Inés Rodríguez S. 1985. “Edad de la Formación Los Santos”. En *Proyecto Cretácico, contribuciones*, editado por Fernando Etayo-Serna y Fabio Laverde, 1-13. Publicaciones Geológicas Especiales 16. Bogotá: Ingeominas.
- Etayo-Serna, Fernando y Georgina Guzmán-Ospitia. 2019. “Formación Rosa Blanca: subdivisión de la Formación y propuesta de Neoestratotipo. Sección laguna El Sapo, vereda El Carrizal, municipio de Zapatoca, 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.
- 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>.
- Gómez, Elías, Teresa E. Jordan, Richard W. Allmendinger, Kerry Hegarty, Shari Kelley, and Matthew Heizler. 2003. “Controls on Architecture of the Late Cretaceous to Cenozoic Southern Middle Magdalena Valley Basin, Colombia”. *GSA Bulletin* 115 (2): 131-147. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(2003\)115<0131:COATL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2003)115<0131:COATL>2.0.CO;2).
- Gómez, Elías, Teresa E. Jordan, Richard W. Allmendinger, Kerry Hegarty y Shari Kelley. 2005a. “Syntectonic Cenozoic sedimentation in the northern middle Magdalena Valley Basin of Colombia and implications for exhumation of the Northern Andes”. *Geological Society of America Bulletin* 117 (5-6): 547-569. <https://doi.org/10.1130/B25454.1>.
- Gómez, Elías, Jordan, Teresa E. Jordan, Richard W. Allmendinger y Nestor Cardozo. 2005b. “Development of the Colombian foreland-basin system as a consequence of diachronous exhumation of the northern Andes”. *Geological Society of America Bulletin* 117 (9-10): 1272-1292. <https://doi.org/10.1130/B25456.1>.
- Hettner, Alfred. 1892. “Die Kordillere von Bogotá”. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 104. Traducido en *La cordillera de Bogotá. Resultados de viajes y estudios*, editado por Ernesto Guhl, 1966. Bogotá: Banco de la República.
- Hubach, Enrique. 1953. “Condiciones geológicas de las variantes de carretera en la región de Arcabuco-Barbosa-Oiba”. Informe 952. Instituto Geológico Nacional.
- Hubach, Enrique. 1957. “Contribución a las unidades estratigráficas de Colombia (enumeración regional, de más reciente a más antiguo)”. Informe 1212. Bogotá: Instituto Geológico Nacional.
- Ingram, Roy. L. 1954. “Terminology for the thickness of stratification and parting units in sedimentary rocks”. *Geological of American*

- Association Bulletin* 65 (9):937-938. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1954\)65\[937:TFTTOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1954)65[937:TFTTOS]2.0.CO;2).
- Jiménez, Giovanni, Óscar López, Leonardo Jaimes y Ricardo Mier Umaña. 2016. "Variaciones en el estilo estructural relacionado con anisotropías de basamento en el Valle Medio del Magdalena". *Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales* 40 (155): 312-319. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.293>.
- Julivert, Manuel. 1958a. "La morfoestructura de la zona de las Mesas al SW de Bucaramanga (Colombia S. A.)". *Boletín de Geología* 1: 9-34.
- Julivert, Manuel. 1958b. "Geología de la zona tabular entre San Gil y Chiquinquirá, Cordillera Oriental, Colombia". *Boletín de Geología* 3: 33-47.
- Julivert, Manuel. 1961. "Las estructuras del Valle Medio del Magdalena y su significación". *Boletín de Geología* 6: 33-52.
- Julivert, Manuel. 1968. "Colombie (première partie), Précambrien, Paléozoïque, et intrusions d'âge mésozoïque-tertiaire". En *Lexique Stratigraphique International V. Amérique Latine*, dirigido por R. Hoffstetter, fascicule 4a. Paris: Centre National De La Recherche Scientifique.
- Julivert, Manuel. 1970. "Cover and Basement Tectonics in the Cordillera Oriental of Colombia, South America, and a Comparison with some Other Folded Chains". *Geological Society of America Bulletin* 81 (12): 3623-3646. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1970\)81\[3623:CA BTIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1970)81[3623:CA BTIT]2.0.CO;2).
- Laverde Montaña, Fabio. 1985. "La Formación Los Santos: un depósito continental anterior al ingreso marino del Cretácico". En *Proyecto Cretácico, Contribuciones*, editado por Fernando Etayo-Serna y Fabio Laverde. Publicaciones Geológicas Especiales 16. Bogotá: Ingeominas.
- Mendoza F., Hernando. 1985. "La Formación Cumbre: modelo de transgresión marina rítmica de comienzos del Cretácico". En *Proyecto Cretácico, Contribuciones*, editado por Fernando Etayo-Serna y Fabio Laverde. Publicaciones Geológicas Especiales 16. Bogotá: Ingeominas.
- Montoya Arenas, Diana M. 2019a. "Formación La Paja: descripción de la Sección Tipo. Influencia de los tapices microbiales en su génesis". 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.
- Montoya Arenas, Diana M. 2019b. "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.
- Morales, Luis G. y The Colombian Petroleum Industry. 1958. General geology and oil occurrences of Middle Magdalena Valley, Colombia. En Lewis G. Weeks (ed.), *Habitat of oil. A symposium*; conducted by the American Association of Petroleum Geologists. Special Publication 18: 641-695. Tulsa.
- Moreno-Sánchez, Giovanni. 2019. "Mapa geológico del cañón del río Sogamoso, en el sector Villanueva, Zapatoca, Betulia, 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.
- Navas, Jaime 1963. "Estudio estratigráfico de Girón, al W del Macizo de Santander (Cordillera Oriental, Colombia)". *Boletín de Geología*, 12: 19-33.
- Pardo-Trujillo, Andrés, Carlos A. Jaramillo y Francesca E. Oboh-Ikuenobe. 2003. "Paleogene palynostratigraphy of the Eastern Middle Magdalena Valley, Colombia". *Palinology* 27 (1): 155-178. <https://doi.org/10.1080/01916122.2003.9989585>.
- Pérez Ávila, Adrián. 2014. "Estratigrafía Formación Umir". Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- 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>.
- Renzoni, Giancarlo. 1985. "Paleoambientes de la Formación Tambor en la quebrada Pujamanes". En *Proyecto Cretácico, Contribuciones*, editado por Fernando Etayo-Serna y Fabio Laverde. Publicaciones Geológicas Especiales 16. Bogotá: Ingeominas.
- Rodríguez-Forero, Guillermo, Francesca E. Oboh-Ikuenobe, Carlos Jaramillo-Muñoz, Milton J. Rueda-Serrano y Edwin Cadena-Rueda. 2012. "Palinology of the Eocene Esmeraldas Formation, Middle Magdalena Valley Basin, Colombia". *Palinology* 36 (sup. 1): 1-20. <https://doi.org/10.1080/01916122.2012.650548>.
- Sánchez, Javier, Brian K. Horton, Eliseo Tesón, Andrés Mora, Richard A. Ketcham y Daniel F. Stockli. 2012. "Kinematic evolution on Andean fold-thrust structures along the boundary between the Eastern Cordillera and Middle Magdalena Valley basin, Colombia". *Tectonics* 31 (3): 1-24. <https://doi.org/10.1029/2011TC003089>.
- Schamel, Steven. 1991. "Middle and Upper Magdalena Basins, Colombia". En *Active Margin Basins*, editado por Kevin T. Biddle, 283-303. Memoire 52: Tulsa: American Association of Petroleum Geologists. <https://doi.org/10.1306/M52531C10>.
- Suppe, John. 1983. "Geometry and kinematics of Fault-Bend Folding". *American Journal of Science* 283 (7): 684-721. <https://doi.org/10.2475/ajs.283.7.684>.
- Terraza Melo, Roberto. 2019. "'Formación La Luna': expresión espuria en la geología colombiana". 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.
- Ward, Dwight E., Richard Goldsmith, Andrés Jimeno Vega, Jaime Cruz Buenaventura y Eduardo Gómez R. 1969. "Mapa geológico del Cuadrángulo H-12 Bucaramanga". Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras.
- Ward, Dwight E., Richard Goldsmith, Jaime Cruz y Hernán Restrepo. 1973. "Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, departamento de Santander". *Boletín Geológico* 21 (1-3): 1-132.
- Ward, Dwight E. Richard Goldsmith, Andrés Jimeno V., Jaime Cruz B., Hernán Restrepo y Eduardo Gómez R. 1977. "Geologic Map of the Bucaramanga Quadrangle (H-12), Colombia". Miscellaneous Investigations Series Map I-1005. United States Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/i1005>.
- 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.
- Wheeler, Orby Clinton. 1935. "Tertiary stratigraphy of the Middle Magdalena Valley". *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 87: 21-39.
- Zamarreño de Julivert, Isabel. 1963. "Estudio petrográfico de las calizas de la Formación Rosablanca de la región de la Mesa de Los Santos (cordillera Oriental, Colombia)". *Boletín de Geología* 15: 5-34.

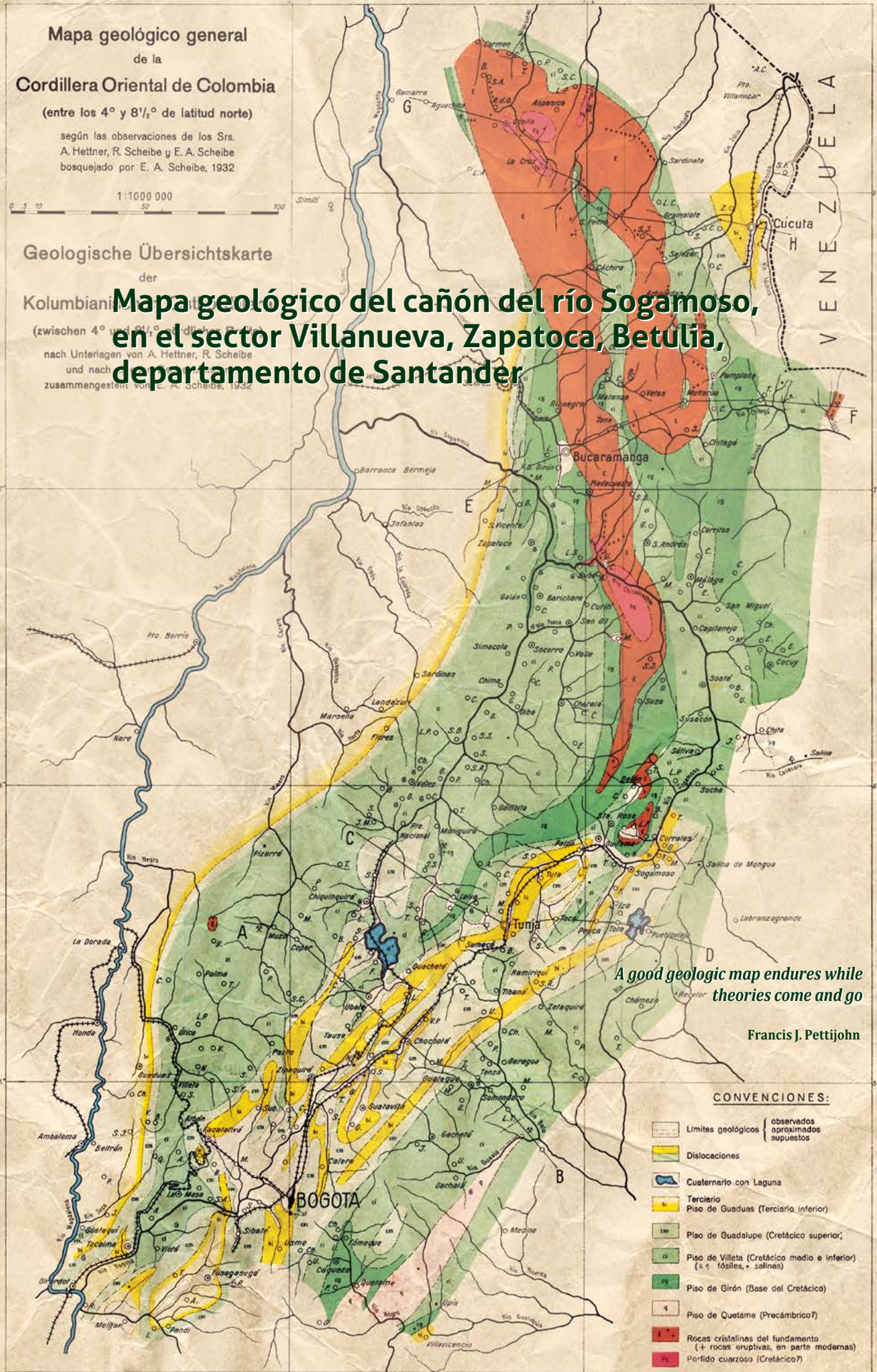
Mapa geológico general
de la
Cordillera Oriental de Colombia
(entre los 4° y 8½° de latitud norte)
según las observaciones de los Srs.
A. Hettner, R. Scheibe y E. A. Scheibe
bosquejado por E. A. Scheibe, 1932

1:1000 000
0 5 10 50 100

Geologische Übersichtskarte
der
Kolumbianischen

(zwischen 4° und 8½° nördlicher Breite)
nach Unterlagen von A. Hettner, R. Scheibe
und nach eigenen Beobachtungen
zusammengestellt von E. A. Scheibe, 1932

**Mapa geológico del cañón del río Sogamoso,
en el sector Villanueva, Zapatoca, Betulia,
departamento de Santander**



A good geologic map endures while theories come and go

Francis J. Pettijohn

CONVENCIONES:

- Límites geológicos { observados / aproximados / supuestos
- Dislocaciones
- Cuaternario con Laguna
- Terciario Piedra de Guaduas (Terciario inferior)
- Piedra de Guadalupe (Cretácico superior)
- Piedra de Villeta (Cretácico medio e inferior) (s. f. fósiles, + salinas)
- Piedra de Girón (Base del Cretácico)
- Piedra de Quetame (Precámbrico?)
- Rocas cristalinas del fundamento (+ rocas eruptivas, en parte modernas)
- Pórfido cuarzosos (Cretácico?)

Portadilla: Mapa geológico de las regiones aledañas al cañón del río Sogamoso, compilado por Ernst Albert Scheibe y publicado por el Ministerio de Industrias y Trabajo, Departamento de Minas y Petróleos, en 1938, como parte de los estudios geológicos y paleontológicos sobre la cordillera Oriental de Colombia.

Citación: Moreno-Sánchez, Giovanni. 2019. "Mapa geológico del cañón del río Sogamoso, en el sector Villanueva, Zapatoca, Betulia, 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.

A b s t r a c t

The update of the geological map of the lithostratigraphic units of the Upper Jurassic and Lower Cretaceous outcrops in the vicinity of the Sogamoso river canyon between Villanueva (SE) and Betulia (NW) is presented. Using morphological criteria (valleys and ridges), four stratigraphic intervals were mapped in the Jurassic Girón Group, without attributing formal lithostratigraphic nomenclature, while for the Cretaceous, the following units with the rank of formation were identified: Los Santos, Cumbre, Rosa Blanca (with Members Lagunetas, Carrizal, Zo, Sapo and Zapatoca), La Paja, Tablazo and Simití.

The main structural feature of the region is the NE-SW Suarez fault with SE vergence. In the hanging block of the Suárez fault, the Zapatoca syncline exists, while in the adjacent block, the La Fuente syncline, Suárez anticline and Villanueva syncline are present ("sector de mesas y cuevas" in Los Santos and Barichara).

Mapa geológico del cañón del río Sogamoso, en el sector Villanueva, Zapatoca, Betulia, departamento de Santander

7

Giovanni Moreno Sánchez

RESUMEN

Se presenta la actualización de la cartografía geológica de las unidades litoestratigráficas del Jurásico superior y Cretácico inferior aflorantes en los alrededores del cañón del río Sogamoso, entre Villanueva (SE) y Betulia (NW). Con criterio morfológico (valles y cornisas), se cartografiaron cuatro intervalos estratigráficos en el Grupo Girón, del Jurásico, sin atribuirles nomenclatura litoestratigráfica formal, mientras que del Cretácico se identifican las unidades con rango de formación: Los Santos, Cumbre, Rosa Blanca (con los miembros Lagunetas, Carrizal, Zo, Sapo y Zapatoca), La Paja, Tablazo y Simití.

El rasgo estructural principal de la región es la Falla del Suárez, de dirección NE-SW y vergencia al SE. En el bloque colgante de la Falla del Suárez se produce el Sinclinal de Zapatoca, mientras que en el bloque yacente destacan el Sinclinal de La Fuente, el Anticlinal del Suárez y el Sinclinal de Villanueva (“sector de mesas y cuestras” de Los Santos y Barichara).

INTRODUCCIÓN

Rocks are records of events that took place at the time they formed. They are books. They have a different vocabulary, a different alphabet, but you learn to read them.

John McPhee.

El río Sogamoso, llamado así a partir de la confluencia de los ríos Suárez y Chicamocha, genera una morfología característica conocida en su margen E como “Sector de Mesas y Cuestras”, desde San Gil, al S, hasta Girón, al N (Julivert 1958a; 1958b). A través de la disección que genera en el terreno es posible obtener el registro estratigráfico de las unidades del Jurásico tardío (Navas 1963; Cediél 1968) y Cretácico temprano (Etayo-Serna y Guzmán-Ospitia 2019; Montoya 2019a y 2019b).

El presente trabajo actualiza la cartografía geológica de esta región con base en levantamientos estratigráficos de detalle del sector central del Departamento de Santander, que comprende parte de los municipios de Girón, Betulia, Zapatoca, Los Santos, Villanueva, Galán y Barichara, y cubre un área de 450 km² (**fig. 1**). Los trabajos geológicos en la región se iniciaron con Karsten (1886), mientras que los estratigráficos propiamente dichos comenzaron con Hettner (1892), seguidos por Scheibe (1938; véase Etayo-Serna

1989). Trabajos geológicos adicionales incluyen los aportes de Hubach (1953; 1957), Julivert (1958a; 1958b; 1968), Navas (1963), Julivert et al. (1964), Téllez (1964), Cediél (1968), Ward et al. (1969 1973, 1977), Etayo-Serna et al. (1976) y Pulido González (1979).

En los levantamientos de campo se emplearon sectores de los mapas topográficos a escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (120-IIIB, 120-IV-A, 120-III-D, 120-IV-C, 135-I-B y 135-II-A), que comprenden un área de 450 km². Las localizaciones de los lugares se referencian siempre en metros. Para la descripción de arenitas en campo se siguió a Folk (1954) y Pettijohn et al. (1973), mientras que para las rocas sedimentarias calcáreas se consideró a Dunham (1962) y Folk (1962). Para el espesor y la forma de las capas se utilizaron los criterios de Campbell (1967) e Ingram (1954). Los precisos levantamientos estratigráficos y bioestratigráficos de la Formación Rosa Blanca, con su consecuente definición de base y tope de los miembros constituyentes (Etayo-Serna y Guzmán-Ospitia 2019), fueron incorporados en el presente mapa geológico. La construcción de los perfiles estructurales se basó en métodos geométricos (Suppe 1983), en los cuales la premisa de espesor constante fue considerada razonable para la región de estudio. La localización de las panorámicas y los detalles de afloramientos se referencian en metros. En la parte superior izquierda de las fotografías se presenta una rosa de los vientos que indica la dirección de observación y las coordenadas allí mencionadas, así como la localización del lugar desde el cual fue tomada.

ESTRATIGRAFÍA

La separación cartográfica de las unidades siliciclásticas corresponde a la utilizada por Navas (1963) y Cediél (1968), mientras que para el resto de la sucesión se utiliza el esquema propuesto por Wheeler en 1929 (en Morales y The Colombian Petroleum Industry 1958), actualizado por Etayo-Serna y Guzmán-Ospitia (2019). Además, en el

presente estudio se restringe el alcance estratigráfico del término “Grupo Girón” al intervalo litológico que suprayace a las formaciones Bocas o Jordán e infrayace a la Formación Los Santos (Etayo-Serna 1989, fig. 2).

Se describen brevemente, en orden estratigráfico (**fig. 2**), las características morfológicas y litológicas de las unidades diferenciadas en el mapa geológico (**fig. 3 y anexo 5**):

Grupo Girón

Desde el punto de vista morfológico, a lo largo del cañón del río Sogamoso, se identificaron cuatro intervalos en el Grupo Girón (**figs. 4 y 5**), que pueden seguirse hasta aproximadamente 1 km al SE del Puente El Tablazo. Esta propuesta de diferenciación sigue aproximadamente la utilizada por Navas (1963). El Grupo Girón infrayace a la Formación Los Santos, y el contacto entre ambas unidades está marcado por una cicatriz de erosión. Los espesores de los intervalos del Grupo Girón fueron obtenidos mediante cálculos a partir de los cortes geológicos en los cuales aflora.

Intervalo arenítico inferior (JGai)

Arenitas líticas de textura mediana a gruesa de colores gris claro, verde claro y violeta, en capas gruesas. Conglomerados matriz soportados de cantos entre finos y medianos, subangulares, de arenita de cuarzo de textura fina a mediana, en capas gruesas y muy gruesas. Lodolitas de color violeta en capas gruesas y muy gruesas con láminas onduladas medianas y gruesas de arenita de cuarzo de textura mediana. Espesor: 600 m. Jurásico superior.

Intervalo lodolítico inferior (JGli)

Alternancia de lodolitas y limolitas de colores naranja y verde claro en capas gruesas que alternan con arenitas de cuarzo y líticas de color violeta de textura mediana a gruesa. Espesor: 150 m. Edad: Jurásico superior.

Intervalo arenítico superior (JGas)

Arenitas líticas de textura mediana a gruesa de colores gris claro, verde claro y violeta, en capas gruesas. Conglomerado matriz soportado con cantos de textura fina a mediana, subangulares, de arenita de cuarzo de textura fina a mediana, en capas gruesas y muy gruesas. Lodolitas de color violeta en capas gruesas y muy gruesas con láminas onduladas medianas y gruesas de arenita

de cuarzo de textura mediana. Hacia la parte alta de este intervalo se presenta un cuerpo de arenitas de cuarzo de textura mediana a muy gruesa de color gris claro, con intraclastos de lodolitas e intercalaciones de capas medianas de lodolita de color negro con fragmentos de material vegetal. Espesor: 450 m. Edad: Jurásico superior.

Intervalo lodolítico arenítico (JGla)

Alternancia de lodolitas y limolitas de colores naranja y verde claro en capas gruesas con arenitas de cuarzo y líticas de textura mediana a gruesa de color violeta. Espesor: 150 m. Jurásico superior.

Formación Los Santos (b1s)

Unidad litoestratigráfica propuesta de manera formal por Cediel (1968). Por su carácter tabular y su color gris claro, que contrasta con la tonalidad naranja y ocre del infrayacente Grupo Girón, la unidad es un elemento morfológico distintivo en el paisaje del cañón de los ríos Suárez y Sogamoso. El contacto de la Formación Los Santos con el infrayacente Grupo Girón dibuja una cicatriz de erosión (**figs. 4, 5 y 9**). Laverde y Clavijo (1985), Laverde Montaña (1985) y Renzoni (1985) identifican la unidad en los alrededores de las poblaciones de Zapatoca, Los Santos y Contratación, y la interpretan como un depósito de origen continental anterior al ingreso marino del Cretácico (Etayo-Serna y Rodríguez 1985). Consta de arenitas de cuarzo de textura mediana a gruesa de colores gris claro y violeta, con lodolitas de color violeta, laminadas. El techo de esta unidad se caracteriza por la presencia de la icnofacies *Scoyenia*. Espesor: 150 m. Berriasiano.

Formación Cumbre (b1c)

Esta unidad representa el primer avance marino neto del mar Cretácico en la zona de estudio (Mendoza 1985). Renzoni (1985) identifica la unidad en la Cordillera de Los Cobardes, entre Chima y Contratación, en el límite SW del área del presente estudio, y la interpreta como el registro inicial de “medios de depósito en ambientes de aguas marinas tranquilas y someras, luego la progradación de un delta con medios de depósito debidos a ríos migrantes entre pantanos y al final la reinstalación de un ambiente marino poco profundo”. Se puede reconocer por la presencia de uno o varios niveles fosilíferos (bivalvos, gasterópodos, ostrácodos, escamas de peces) situados entre la parte alta de la Formación Los Santos y el Miembro Lagunetas de la

Formación Rosa Blanca (**figs. 5 y 10**). Consta de lodolitas fosilíferas de color entre gris y negro en capas delgadas y medianas con laminación plano-paralela mediana, intercaladas con arenitas de cuarzo fino y mediano de color gris claro (**figs. 6 y 14B**). Espesor: 25 m. Berriasiano.

Formación Rosa Blanca

A partir del esquema estratigráfico propuesto por Etayo-Serna y Guzmán-Ospitia (2019) se identificaron y diferenciaron cartográficamente en la Formación Rosa Blanca cinco unidades litoestratigráficas con rango de miembro. Estos nuevos miembros presentan localidades tipo en los alrededores de la población de Zapatoca y se denominan, de base a techo: Lagunetas, Carrizal, Zo, El Sapo y Zapatoca (**figs. 5, 6, 7 y 8**).

Miembro Lagunetas (b1-rl)

Morfológicamente corresponde a un filo (**fig. 11**). Consta de calizas dolomíticas y micritas fosilíferas de colores gris oscuro y negro, en capas medianas y gruesas. Hacia la región de Los Santos se presentan calizas dolomíticas, estromatolitos microbianos y estromatolitos con yesos hacia la parte inferior (Etayo-Serna y Guzmán-Ospitia 2019; Zamarrero de Julivert 1963; Cruz y Vargas 1972; Alfonso Pava 1985). Espesor: 83 m. Berriasiano.

Miembro Carrizal (b2-rc)

Morfológicamente corresponde a un valle (**fig. 12**). Consta de *wackestone* de color gris oscuro en capas gruesas, algunas de las cuales constituyen biostromas de bivalvos, en alternancia con *mudstone* terrígenos y calcáreos en capas medianas, y lodolitas terrígenas de color negro con laminación plana paralela mediana. Hay presencia frecuente de capas con *Thalassinoides* (Intervalo inferior de *Thalassinoides*). El contacto con el infrayacente Miembro Lagunetas representa una cicatriz de erosión (Etayo-Serna y Guzmán-Ospitia 2019). Espesor: 108 m. Valanginiano inferior.

Miembro Zo (b3-rz)

Morfológicamente corresponde a un filo. Consta de *packstone* y *wackestone* de color gris oscuro, en capas gruesas y medianas en alternancia con lodolitas terrígenas de color negro en capas medianas y gruesas (**fig. 13**). Característica de este intervalo es la presencia de bancos calcáreos medianos y gruesos, cuarzosos, con laminación plana-paralela e inclinada tangencial a la base y abundancia de conchas de foraminíferos aglutinantes. El contacto con el

infrayacente Miembro Carrizal representa una paraconformidad (Etayo-Serna y Guzmán-Ospitia 2019). Espesor: 42 m. Hauteriviano inferior (*pars*).

Miembro El Sapo (b3-rs)

Morfológicamente corresponde a un valle. Consta de *wackestone* de color gris oscuro en capas medianas y gruesas en alternancia con lodolitas terrígeno-calcáreas de color negro, en capas gruesas con laminación plana paralela mediana (**fig. 14**). Por la presencia de *Thalassinoides* se nombra "Intervalo superior de *Thalassinoides*" (Etayo-Serna y Guzmán-Ospitia 2019). Espesor: 80 m. Hauteriviano inferior (*pars*).

Miembro Zapatoca (b3-rza)

Morfológicamente corresponde a un filo que se destaca en el paisaje por sus tonalidades naranja y ocre (**fig. 15**). Consta de arenitas de cuarzo lodosas ferruginosas en capas tabulares gruesas que interdigitan con *wackestone* y *packstone* del bivalvo *Ceratostreon boussingaultii*, de color negro en capas medianas (Etayo-Serna y Guzmán-Ospitia). Espesor: 60 m. Edad: Hauteriviano inferior (*pars*).

Formación La Paja (b5-b4p)

La unidad presenta una morfología suave que genera valles. Está constituida por calizas con textura de *mudstone*, de color negro, en capas medianas y gruesas con formas que varían de plano-paralela a ondulosas, de aspecto nodular, debidas a engrosamientos y adelgazamientos, intercaladas con lodolitas terrígenas y lodolitas calcáreas de color negro en capas gruesas y muy gruesas (**figs. 6, 7 y 16**). Hay presencia de láminas de yeso paralelas a la estratificación. En la Formación La Paja de la región de la Mesa de Los Santos, González Oviedo y Espinosa Baquero (2012) reportan hallazgos de sales de potasio, que parecen corresponder a los niveles reportados por Forero Onofre y Sarmiento Rojas (1985) en la región de Villa de Leiva. El contacto con el infrayacente Miembro Zapatoca, de la Formación Rosa Blanca, es de tipo paraconforme y enmarca un hiato estratigráfico. Espesor: 300 m. Barremiano-Albiano inferior.

Formación Tablazo (b6t)

La unidad resale en el terreno (**figs. 6, 7 y 17**). En el Sinclinal de Zapatoca solo aflora la parte basal, mientras al NE del corregimiento de La Fuente y la Mesa de Barichara, la sucesión está completa. Está compuesta por biomicritas con texturas de *mudstone*, *wackestone* y *packstone* de color gris claro, macizas, en capas medianas y gruesas, intercaladas con arenitas de cuarzo de textura muy fina a mediana, fosilíferas, y lodolitas de color negro en capas gruesas y muy gruesas con arenitas de cuarzo. Espesor: 275 m. Albiano inferior *pars*-Albiano medio.

Formación Simití (b6s)

Es un conjunto litológico que genera morfología suave de valle y representa la unidad más joven aflorante en el cañón del río Sogamoso, en el sector de Barichara–Villanueva (**figs. 8, 9, 10 y 17A**). Se presenta incompleta en el núcleo de los sinclinales de La Fuente y Villanueva. Consta de lodolitas de color negro en capas gruesas, con laminación plano-paralela, intercaladas con capas medias de arenitas de cuarzo de textura fina y biomicritas *wackestone* en capas medianas a gruesas. Espesor: 125 m. Albiano medio (véase Etayo-Serna 2018).

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El primer mapa y perfil geológico publicado de esta región se debe a Hettner (1892, mapa I, lámina 2, corte 7), quien reconoce los elementos estructurales actualmente denominados Sinclinal de Zapatoca, Anticlinal del Suárez y Sinclinal de Villanueva, desarrollados sobre el Piso de Girón y el Piso de Villeta (compárese con el Corte Las Puentes, **fig. 19**). El elemento estructural más destacado corresponde a la Falla del Suárez (Julivert 1958a; 1958b; 1961; 1970; Julivert et al. 1964; Ward et al. 1969, 1973, 1977; Pulido González 1979), que presenta un trazo sinuoso en superficie que se ajusta a las curvas de nivel, lo que indica que rompe el terreno con ángulo de buzamiento relativamente bajo, con lo que se configura en este trecho de su extensión una falla de cabalgamiento (**figs. 3, 18 y 19**). La presencia de la Falla del Suárez, se evidencia tanto por el salto estratigráfico que representa poner en contacto el Intervalo arenítico inferior del Grupo Girón del Jurásico superior, con la Formación Tablazo del Albiano inferior, como por la adyacencia de dos sinclinales: el Sinclinal del El Coscal, en el bloque colgante, y el Sinclinal de La Fuente, en el bloque yacente (**figs. 3 y 18**). En general, el estilo estructural de escamación gruesa (*thick-skinned*) propuesto para las unidades del Jurásico superior (Grupo Girón), y sustentado en cambios fuertes de espesor a lado y lado de la Falla del Suárez (Julivert 1970; Shamel 1991; Colleta et al. 1990; Jiménez et al. 2016), no se ven reflejados en el terreno a lo largo del cauce del río Sogamoso.

En el bloque colgante de la Falla del Suárez se produjo como estructura principal el Sinclinal de Zapatoca, de dirección NNE-SSW, mientras que en el bloque yacente produjo el suave Sinclinal de Villanueva, de dirección general N-S, que constituye la Mesa de Barichara (**fig. 20**). Al S de la cabecera del corregimiento de La Fuente, el sinclinal homónimo presenta el desarrollo de ambos flancos (flanco E con buzamientos menores de 20° al W), mientras que al N del pueblo, y como efecto de la Falla del Suárez, solo aflora el flanco E de la estructura sinclinal (**figs. 3, 19 y 20**).

Entre el Sinclinal de La Fuente y el Sinclinal de Villanueva se desarrolla el Anticlinal del Suárez, con núcleo en el Grupo Girón (**figs. 3, 19 y 22**). Con respecto a la secuencia estratigráfica a lado y lado del cañón del río Sogamoso, este pliegue presenta el flanco W con buzamientos suaves

(menores de 20° al W) y alturas topográficas menores que en el flanco E (horizontal a subhorizontal), y con alturas topográficas mayores. Entre la confluencia del río Sogamoso con las quebradas del Platanalito y Los Alcurucos, el Anticlinal del Suárez presenta su mayor relieve estructural por deformación en los miembros superiores de la Formación Rosa Blanca, como resultado del desplazamiento de su eje por acción de la falla de La Novillera (**figs. 3 y 19**).

Al W del Sinclinal de Zapatoca, el plegamiento-fallamiento se desarrolla principalmente sobre el Grupo Girón y la Formación Los Santos. Los pliegues de segundo orden, tomando como referente el Sinclinal de Zapatoca, son el Anticlinal de La Unión, el Sinclinal de La Unión, el Anticlinal de Betulia y el Ainclinal de Betulia, todos con eje en dirección NNE-SSW (**figs. 23 y 24**). La falla principal es de tipo inverso (Falla de La Unión), de dirección NNE-SSW y vergencia al WNW, y presenta desplazamiento del orden de decenas de metros. El Anticlinal de La Unión y el Sinclinal de La Unión, hacia el sector de la quebrada El Guayabo, tienden a generar una estructura monoclinial asociada a numerosas estructuras de cabalgamiento tipo dúplex, relacionadas con el trazo principal de la falla de La Unión (**fig. 25**).

CONCLUSIONES

A partir del esquema estratigráfico propuesto por Etayo-Serna y Guzmán-Ospitia (2019), en la Formación Rosa Blanca se identificaron y diferenciaron cartográficamente cinco unidades litoestratigráficas con rango de miembro. Estos nuevos miembros presentan localidades tipo en los alrededores de la población de Zapatoca, y se denominan, de base a techo, Lagunetas, Carrizal, Zo, El Sapo y Zapatoca.

La Falla del Suárez, que es el elemento estructural más destacado de la región estudiada, presenta un trazo sinuoso en superficie que se ajusta a las curvas de nivel, lo que indica que rompe el terreno con ángulo de buzamiento relativamente bajo, con lo cual configura, en el trecho de su extensión, una falla de cabalgamiento. En su bloque colgante se localiza el Sinclinal de Zapatoca, y en bloque yacente presenta el Sinclinal de Villanueva.

AGRADECIMIENTOS

Al Profesor Fernando Etayo-Serna por su permanente orientación y asesoría en campo, así como por la revisión y sugerencias a la presente síntesis. A la geóloga Diana María Montoya Arenas, Coordinadora del Grupo de Estratigrafía del SGC, por su constante apoyo y asesoría en las actividades de campo. Al Profesor Darío Barrero Lozano por sus observaciones referentes a la cartografía geológica del sector de la Mesa de Los Santos. A la Ingeniera Yanneth Montaña Barrera por sus dedicadas y detalladas labores de edición del mapa geológico en ambiente SIG. Al auxiliar Robinson Sarmiento por su cordial acompañamiento en campo.

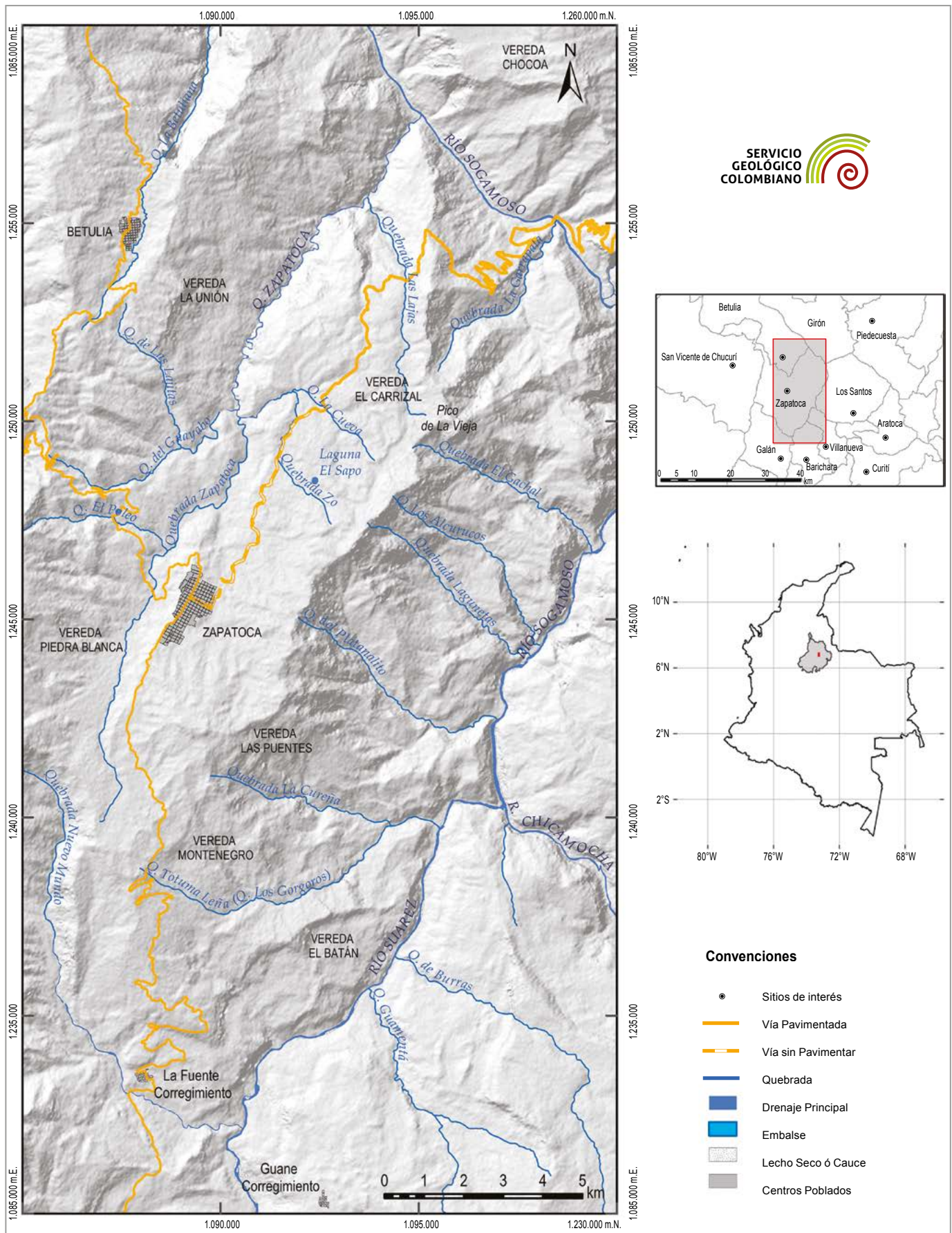


Figura 1. Localización de la región estudiada.

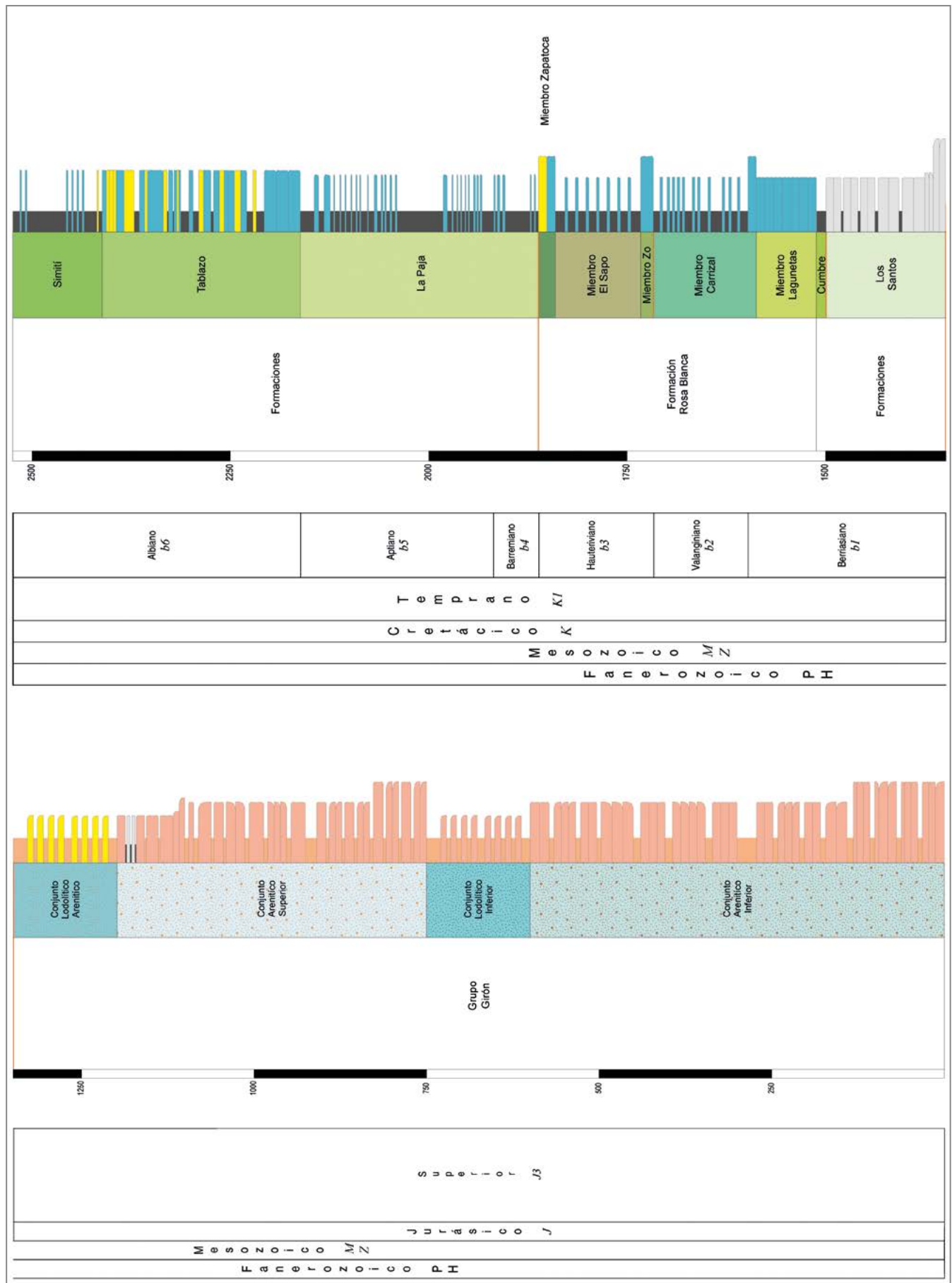


Figura 2. Columna estratigráfica generalizada del intervalo Mesozoico-Cenozoico aflorante en el cañón del río Sogamoso.

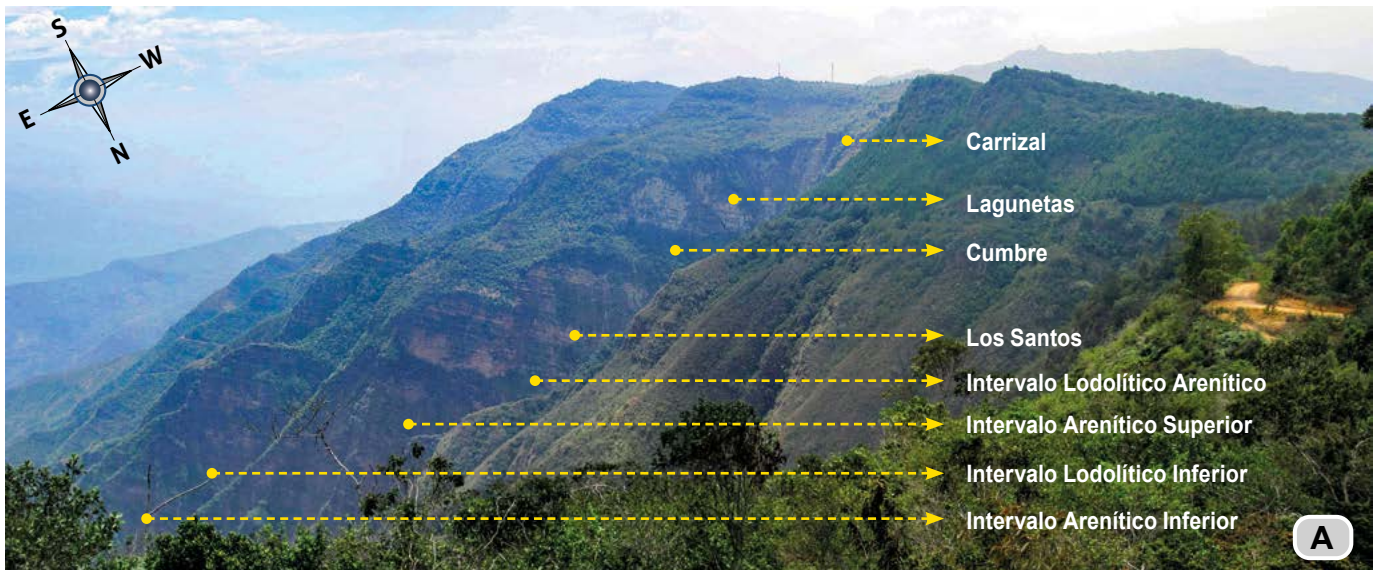


Figura 4. Panorámica de los intervalos del Grupo Girón en el cañón del río Sogamoso. **(A)** Sector quebrada del Platanalito: N:1.246.628, E:1.093.047, Z:1.952. **(B)** Sector quebrada Zapatoca: N:1.257.642, E:1.092.609, Z:1.289.



Figura 5. Carácter tabular de la sucesión del Jurásico y del Cretácico cerca del cruce de la carretera Girón-Zapatoca con el río Sogamoso (N:1.254.255, E:1.099.800, Z:772).



Figura 6. Panorámica de las unidades del Cretácico Inferior al E del río Sogamoso en (A) la Mesa de Los Santos y en (B) la Mesa de Barichara N:1.243.179, E:1.092.783, Z:1.424.

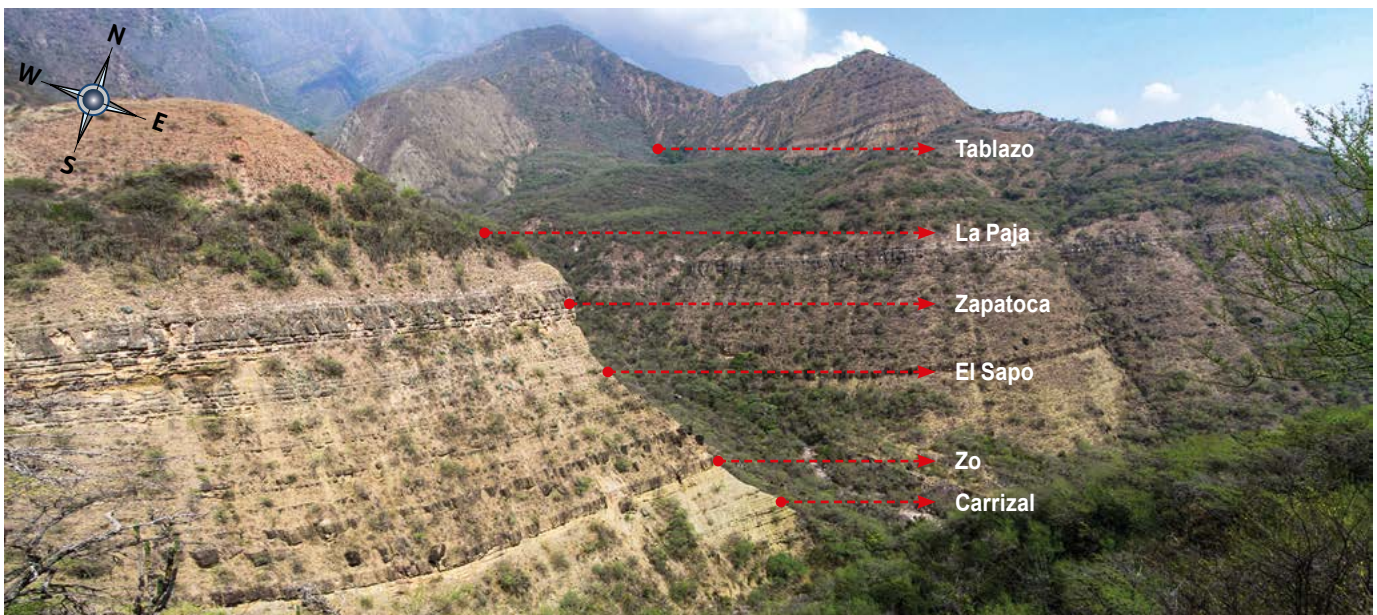


Figura 7. Panorámica de los miembros de la Formación Rosa Blanca cerca de la confluencia de la quebrada Platanalito con el río Sogamoso (N:1.242.067, E:1.095.307, Z:621).

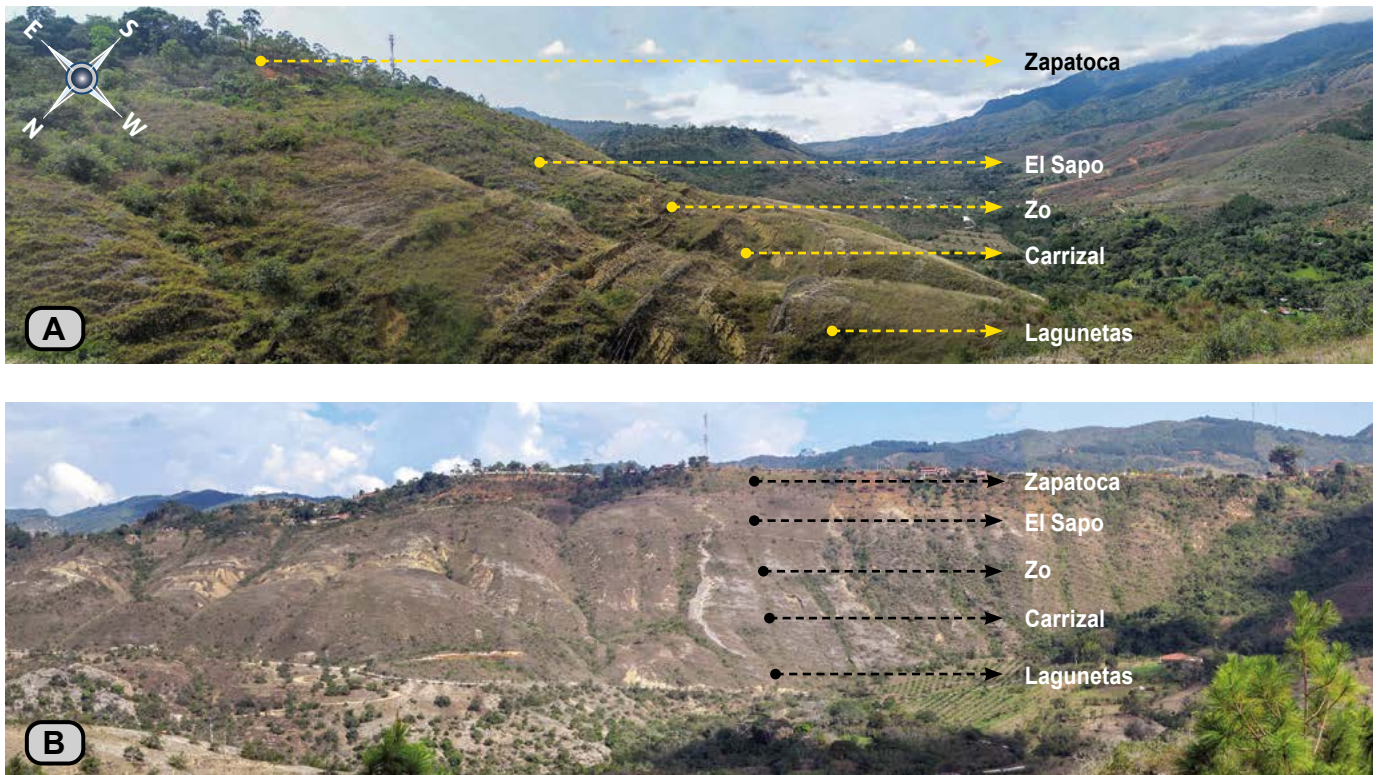


Figura 8. Panorámica de la Formación Rosa Blanca en los alrededores de Zapatoaca. (A) N:1.246.237, E:1.088.924, Z:1.672. (B) N:1.245.839, E:1.087.616, Z:1.604.

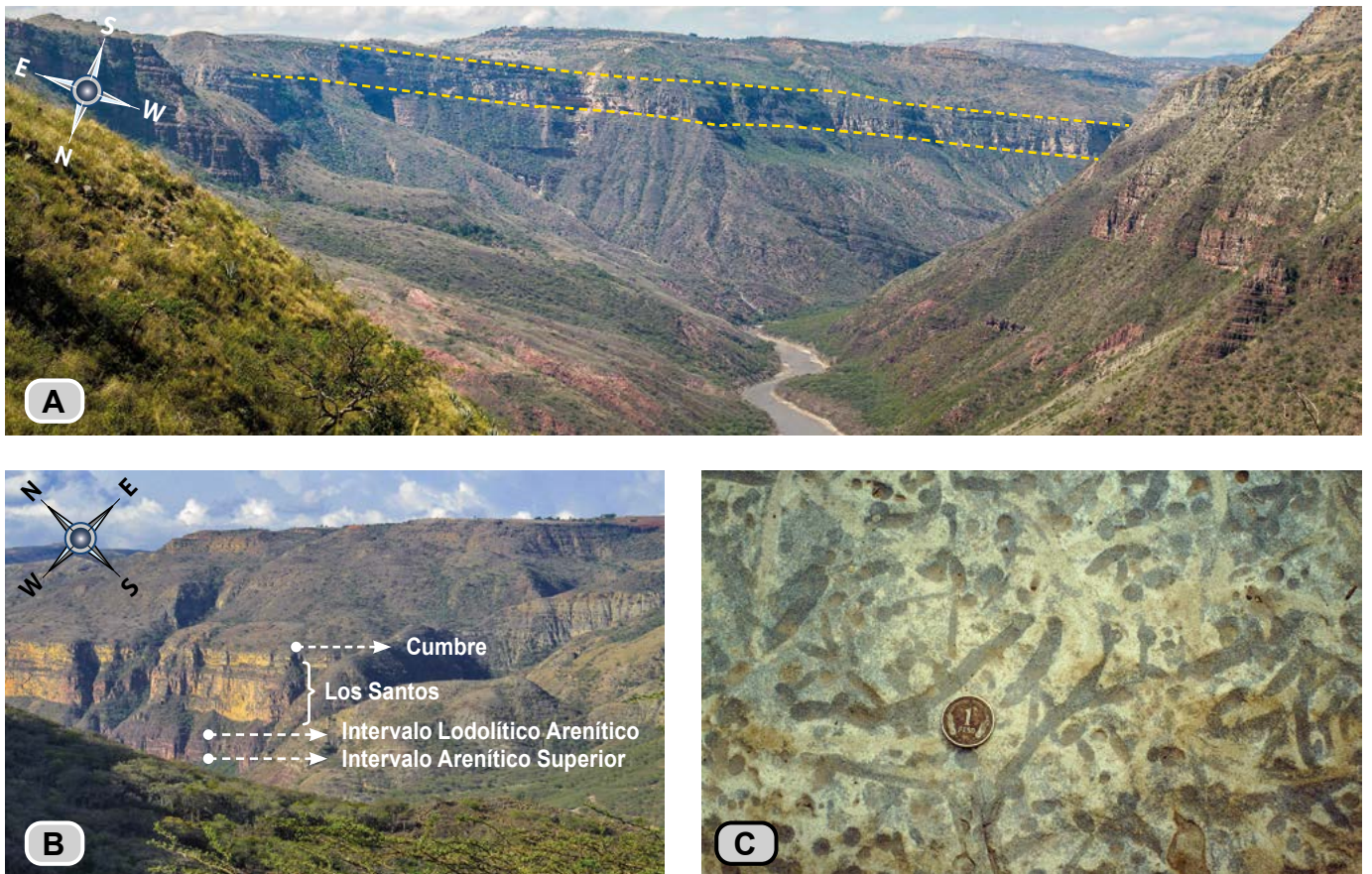


Figura 9. (A) Carácter tabular de la Formación Los Santos (N:1.254.255, E:1.099.800, Z:772). (B) Contraste tonal entre el Grupo Girón y la Formación Los Santos (N:1.242.067, E:1.095.307, Z:621). (C) Arenitas de cuarzo con *Scoyenia* en la quebrada La Lajita (N:1.250.013, E:1.089.839, Z:1.358).

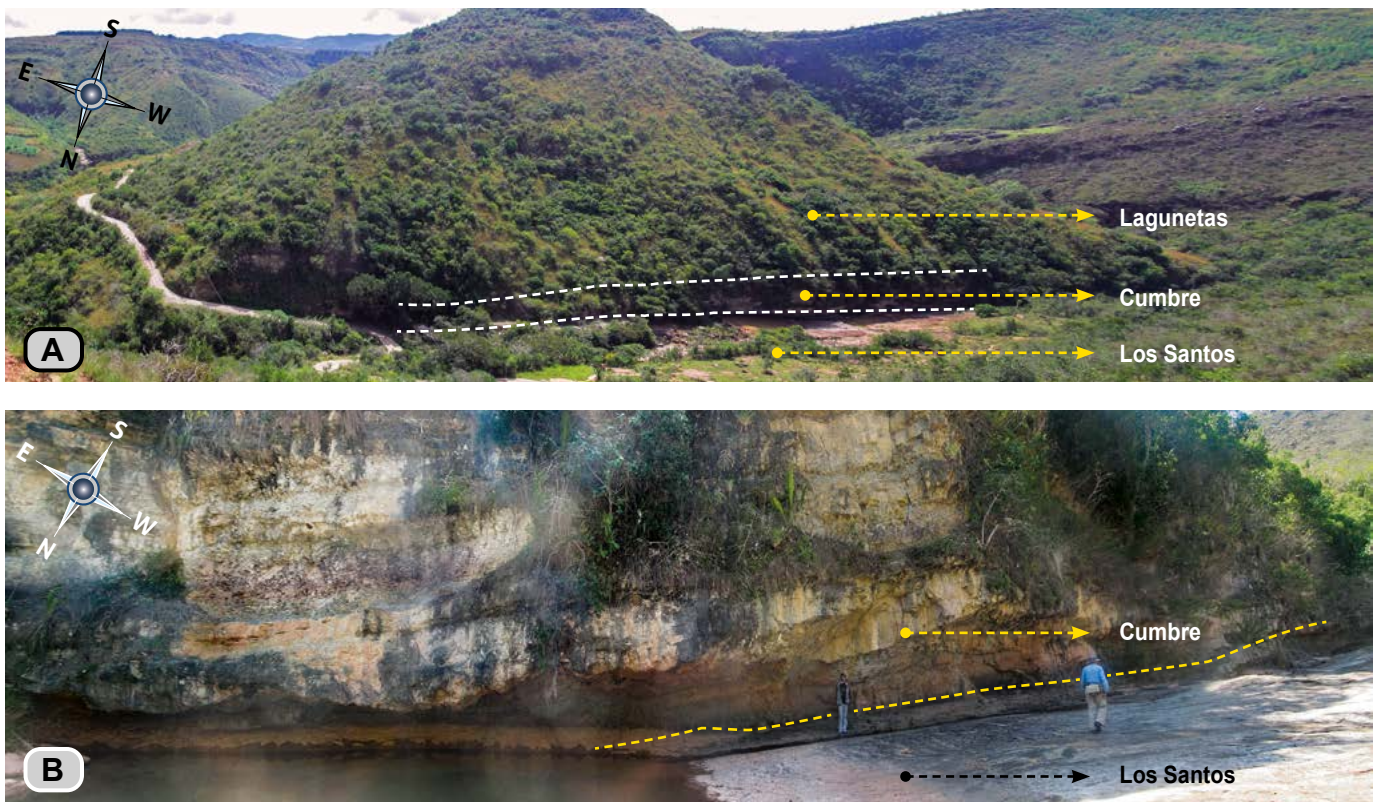


Figura 10. (A) Panorámica de la Formación Cumbre en la quebrada La Lajita (N:1.250.259, E:1.089.815, Z:1.429). (B) Intercalación de arenitas y lodolitas de color gris oscuro de la Formación Cumbre (N:1.250.013, E:1.089.839, Z:1.358).

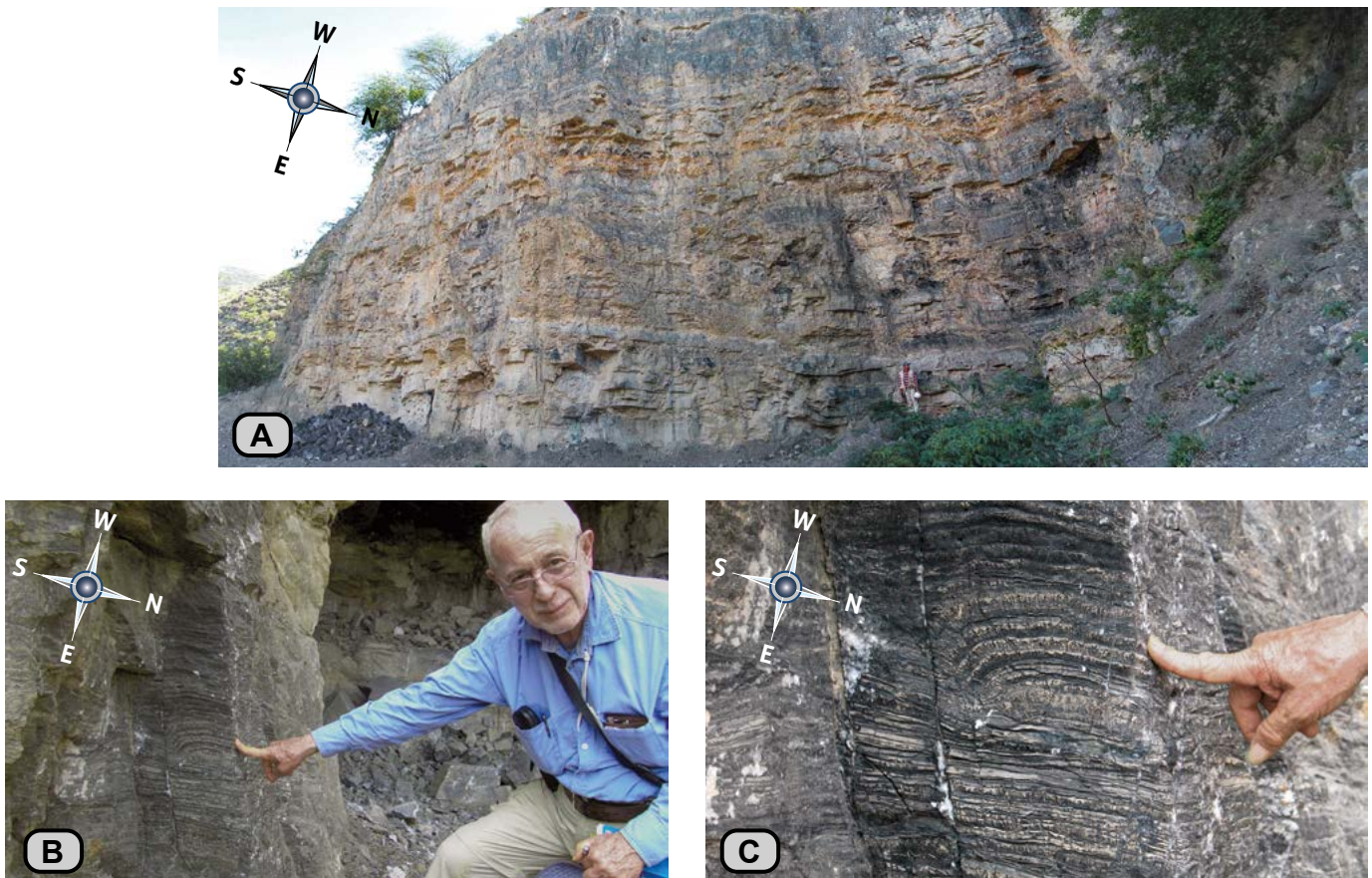


Figura 11. (A) Aspecto morfológico del Miembro Lagunetas en su facies de evaporitas, Formación Rosablanca (N:1.241.201, E:1.096.803, Z:463). (B y C) Microbialitas (estromatolitos) con laminación en domo (Logan et al. 1964) y laminadas (Reading 1999).



Figura 12. Miembro Carrizal de la Formación Rosa Blanca. **(A)** Aspecto morfológico suave (N: 1.251.348, E: 1.093.351, Z: 1.531). **(B)** Lodolitas fosilíferas, vía Zapatoaca-La Fuente (N: 1.235.394, E: 1.088.523, Z: 1.221). **(C)** Biomicritas-packstone conformando un biostroma de bivalvos (N: 1.246.237, E: 1.088.924, Z: 1.672).

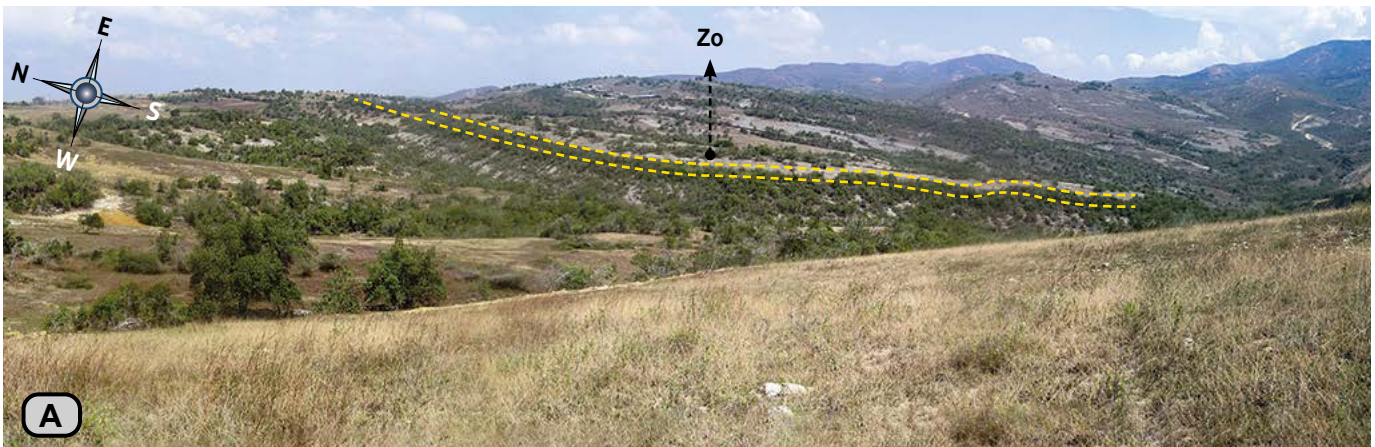


Figura 13. Miembro Zo de la Formación Rosa Blanca. (A) Aspecto morfológico (N:1.251.314, E:1.091.317, Z:1.534). (B) Capas tabulares gruesas de biomicritas-*packstone* (N:1.252.120, E:1.092.524, Z:1.556). (C) Biomicritas-*packstone* con laminación inclinada (N:1.252.032, E:1.092.541, Z:1.562).



Figura 14. Miembro El Sapo de la Formación Rosa Blanca. (A) Laguna El Sapo. (B) Lodolitas intercaladas con biomicritas-*packstone* hacia la parte alta de la unidad (N:1.248.093, E:1.092.741, Z:1.760).



Figura 15. Miembro Zapatoca de la Formación Rosa Blanca. (A) Aspecto morfológico suave (N:1.248.938, E:1.092.502, Z:1.679). (B) Arenitas de cuarzo lodosas ferruginosas, carretera Zapatoca-El Mirador (N: 1.244.512, E: 1.090.850, Z: 1.785).

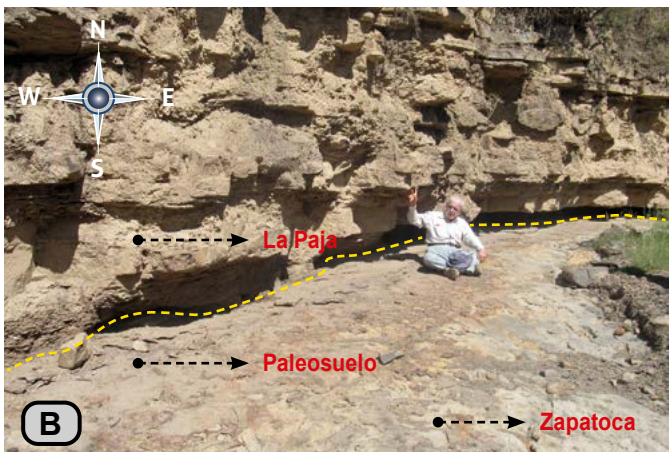


Figura 16. Formación La Paja en la Mesa de Los Santos. (A) Morfología suave de la unidad (N:1.242.775, E:1.102.523, Z:1.161). (B y C) Biomicritas *mudstone* y *wackstone* laminadas y en niveles de concreciones elipsoidales (N:1.243.553, E:1.099.110, Z:895).

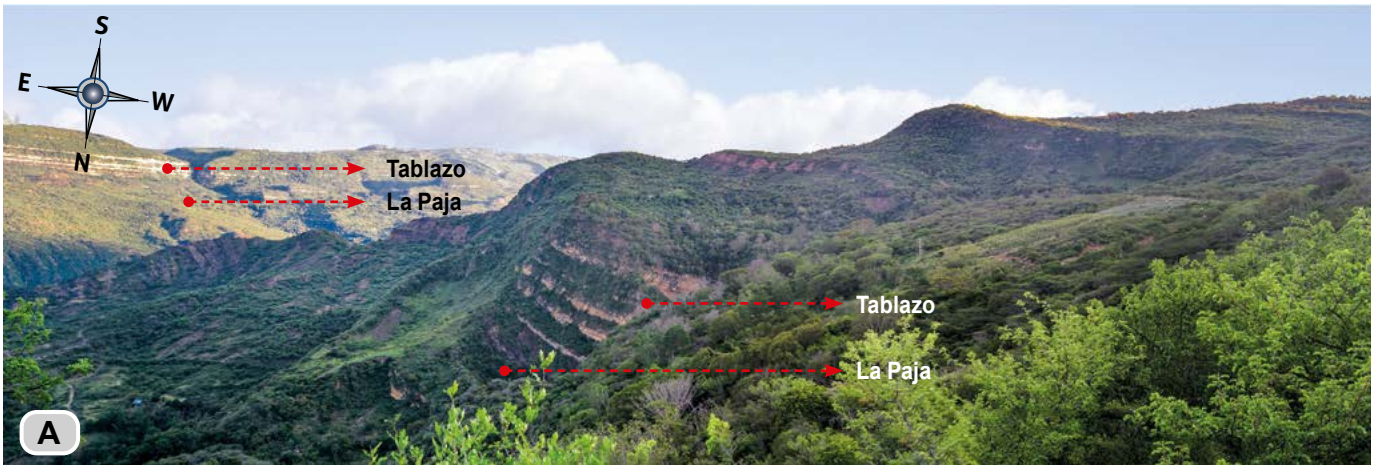


Figura 17. (A) Aspecto morfológico fuerte de la Formación Tablazo (N:1.239.212, E:1.092.786, Z:850). (B y C) Capas tabulares gruesas de biomicrita-packstone subhorizontales, en el núcleo del Sinclinal de Zapatoca (N:1.247.264, E:1.092.854, Z:1.857).

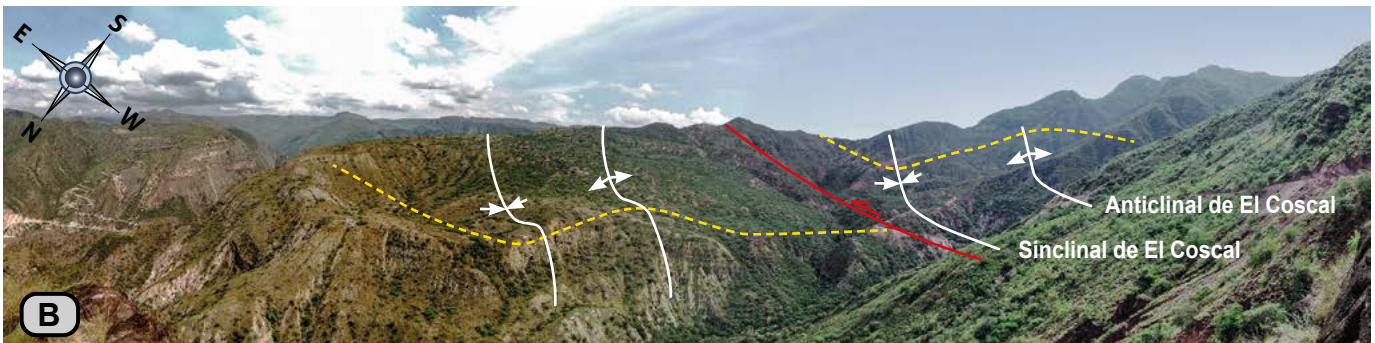


Figura 18. Falla del Suárez (en rojo) y plegamientos asociados. (A) Pliegues en el bloque colgante, vereda El Regadero (N:1.243.781, E:1.099.533, Z:1.007; comparar con "Corte C-Zapatoca", Fig. 19). (B) Pliegues en el bloque yacente, vereda Chocoa (N:1.246.915, E:1.088.009, Z:1.627).

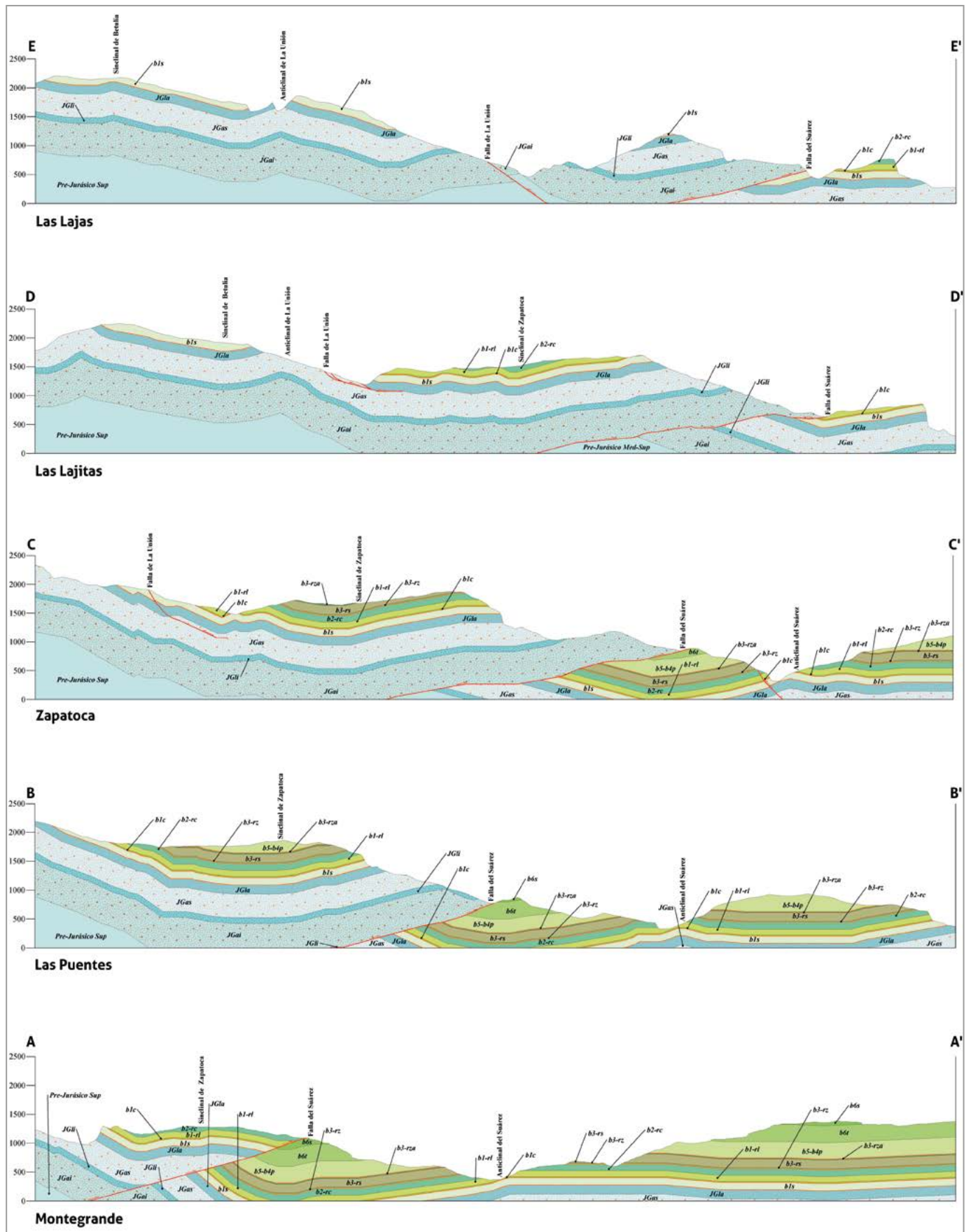


Figura 19. Perfiles geológicos de las unidades del Jurásico y el Cretácico en los alrededores del cañón del río Sogamoso (localización en la Fig. 3).

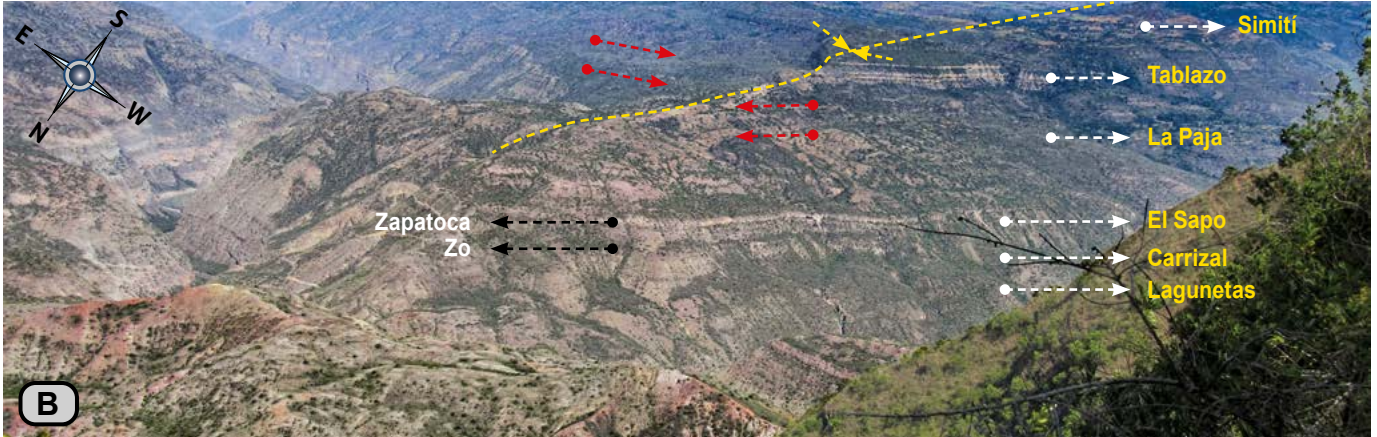
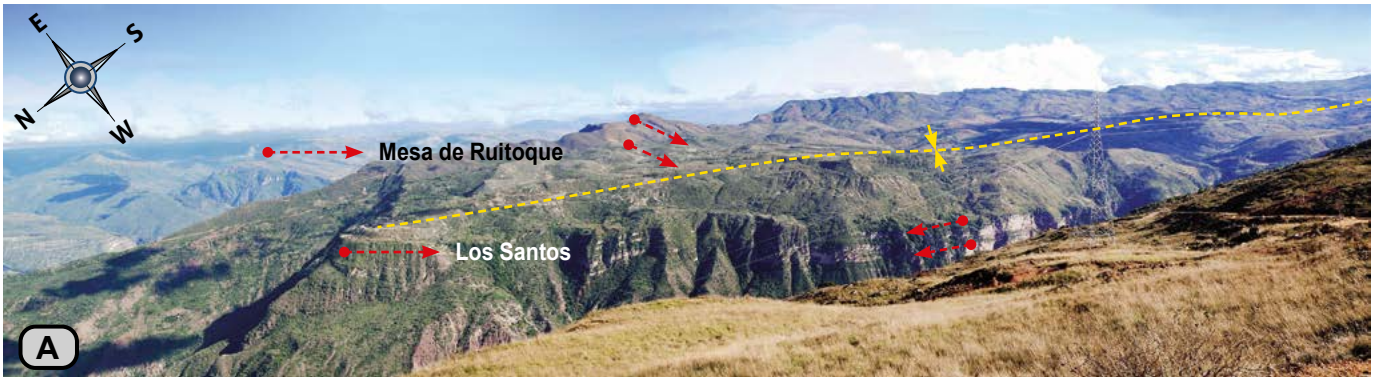


Figura 20. (A) Panorámica del Sinclinal de Zapatoca (N:1.255.939, E:1.089.474, Z:1.805). (B) Panorámica del Sinclinal de Villanueva en la Mesa de Barichara (N:1.243.179, E:1.092.783, Z:1.424).

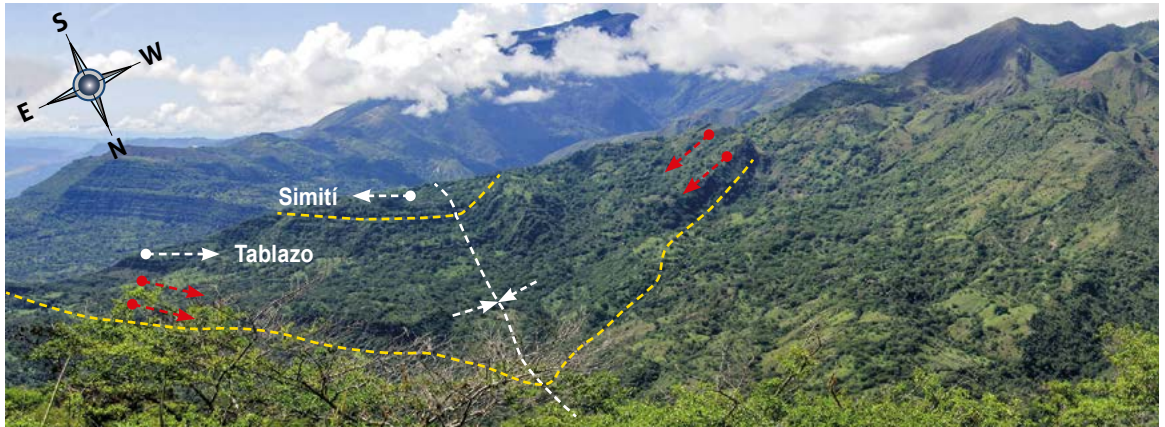


Figura 21. Panorámica del Sinclinal de La Fuente vista desde la vereda Loma Redonda (N:1.235.515, E:1.088.175, Z:1.253).

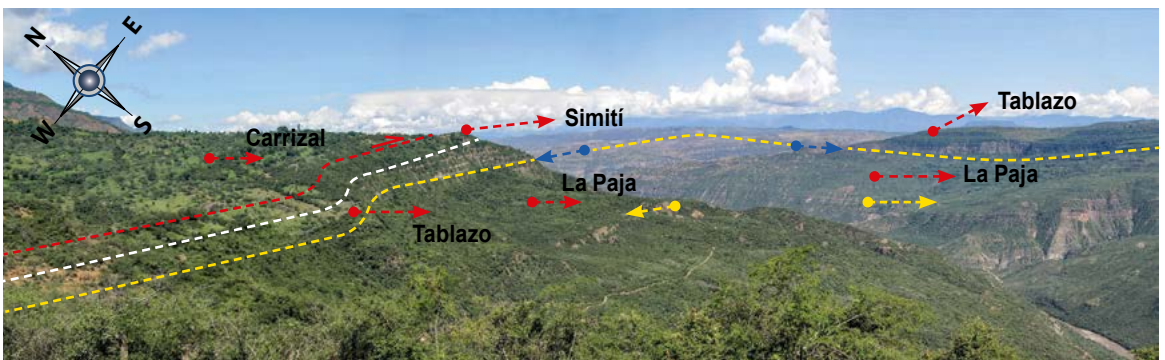


Figura 22. Anticlinal del Suárez (en amarillo) en el bloque yacente de la Falla del Suárez (en rojo) visto desde la vereda Monte Grande (N:1.234.815, E:1.089.627, Z:1.094).

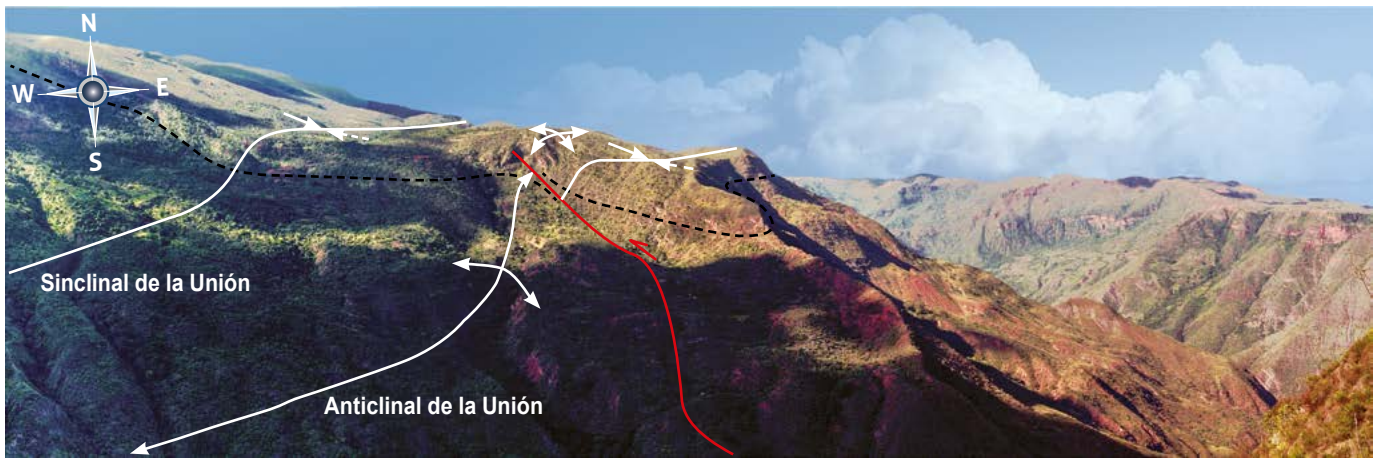


Figura 23. Falla La Concordia vista desde la vereda San Isidro (N:1.254.113, E:1.092.993, Z:1.194). El nivel punteado corresponde a la base de la Formación Los Santos.



Figura 24. Anticlinal de Betulia visto desde el Caserío Santa Bárbara (N:1.256.655, E:1.088.043, Z:1.806).



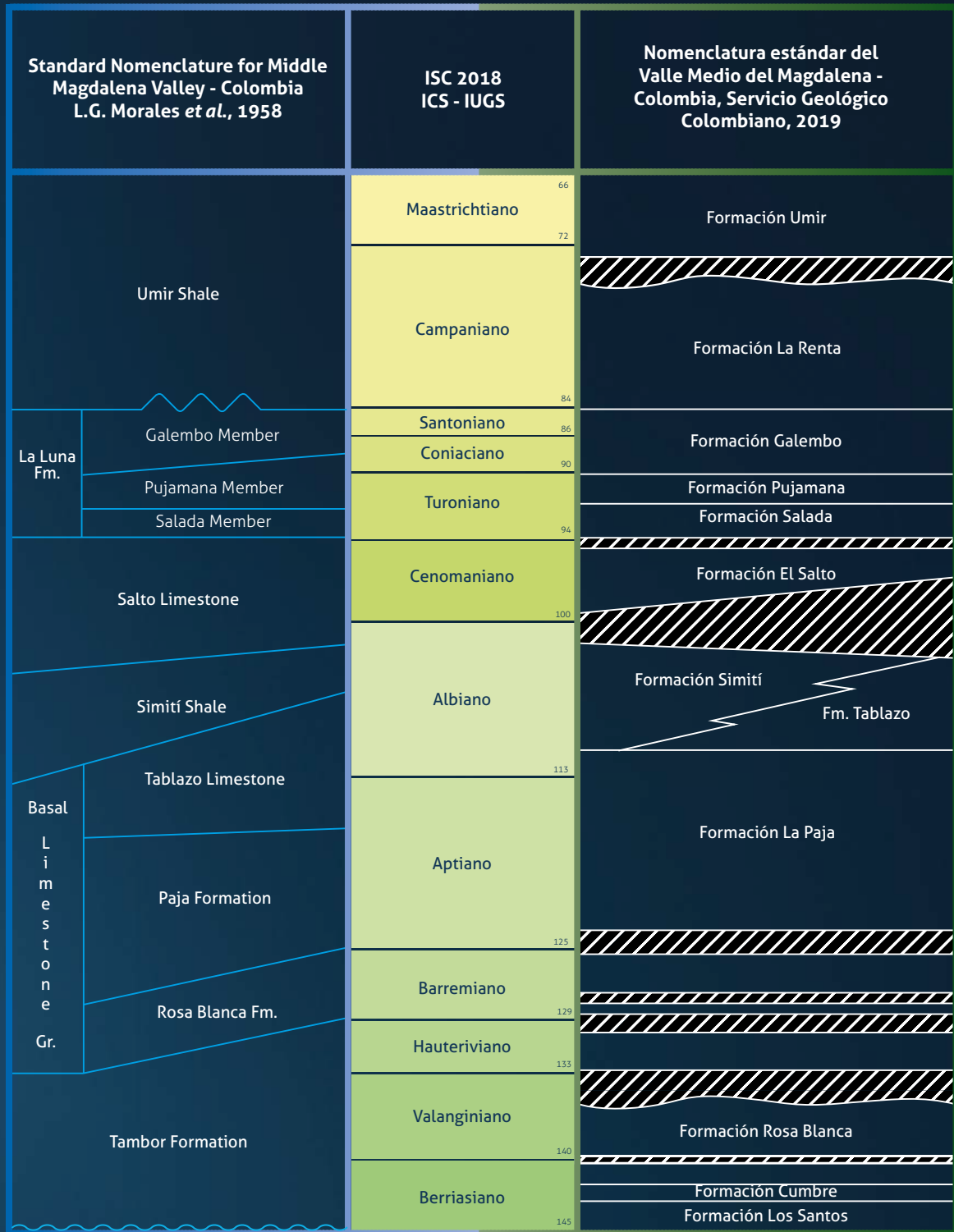
Figura 25. Plegamiento en el Grupo Girón y la Formación Los Santos al W de Zapatoaca. (A) A la derecha aparece la población de Zapatoaca (N:1.244.880, E:1.088.690, Z:1.656 msnm). (B) Vereda Santa Rosa (N:1.249.991, E:1.089.102, Z:1.656). La línea punteada amarilla corresponde a la base de la Formación Los Santos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfonso Pava, Carlos Arturo. 1985. "Los episodios evaporíticos de la Formación Rosablanca". En *Proyecto Cretácico, Contribuciones*, editado por Fernando Etayo-Serna y Fabio Laverde. Publicaciones Geológicas Especiales 16. Bogotá: Ingeominas.
- 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>.
- Cediel, Fabio. 1968. "El Grupo Girón: una molasa mesozoica de la Cordillera Oriental". *Boletín Geológico* 16 (1-3): 5-96.
- Colletta, Bernard, Françoise Hebrard, Jean Letouzey, Pierre Werner y Jean Luc Rudkiewicz. 1990. "Tectonic style and crustal structure of the Eastern Cordillera (Colombia) from a balanced cross section". En *Petroleum and tectonics in mobile belts*, editado por Jean Letouzey, 81-100. Paris: Technip.
- Cruz, Jaime y Rodrigo Vargas. 1972. "Informe sobre los yesos de la Formación Rosablanca en la Mesa de Los Santos". *Boletín Geológico* 20(3): 105-129.
- Dunham, Robert J. 1962. "Classification of carbonate rocks according to depositional texture". 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>.
- Etayo-Serna, Fernando, Giancarlo Renzoni y Darío Barrero. 1976. "Contornos sucesivos del mar cretáceo en Colombia". En *Memoria del Primer Congreso Colombiano de Geología*, editado por Fernando Etayo-Serna y Carlos Cáceres, 217-252. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Etayo-Serna, Fernando y Gloria Inés Rodríguez S. 1985. "Edad de la Formación Los Santos". En *Proyecto Cretácico, contribuciones*, editado por Fernando Etayo-Serna y Fabio Laverde, 1-13. Publicaciones Geológicas Especiales 16. Bogotá: Ingeominas.
- Etayo-Serna, Fernando. 1989. "Análisis facial del inicio del avance marino del Cretácico en la región SW del Macizo de Santander". V Congreso Colombiano de Geología. Excursión Pre-Congreso No. 2: 1-8. Bucaramanga.
- Etayo-Serna, Fernando y Georgina Guzmán-Ospitia. 2019. "Formación Rosa Blanca: subdivisión de la Formación y propuesta de Neoestratotipo. Sección laguna El Sapo, vereda El Carrizal, municipio de Zapatoca, 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.
- Etayo-Serna, Fernando. 2019. "'Formación' Simití: unidad ambigua en la estratigrafía del Valle Medio del Magdalena". 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.
- 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>.
- Forero Onofre, Hugo y Luis Sarmiento Rojas. 1985. "La facies evaporítica de la Formación La Paja en la región de Villa de Leiva". En *Proyecto Cretácico, Contribuciones*, editado por Fernando Etayo-Serna y Fabio Laverde. Publicaciones Geológicas Especiales 16. Bogotá: Ingeominas.
- González Oviedo, Leopoldo y Armando Espinosa Baquero. 2012. "Hallazgo de yacimientos de sales de potasio en Colombia". *Boletín de Geología* 34(1): 57-65.
- Hettner, Alfred. 1892. "Die Kordillere von Bogotá". *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 104. Traducido en *La cordillera de Bogotá. Resultados de viajes y estudios*, editado por Ernesto Guhl, 1966. Bogotá: Banco de la República.
- Hubach, Enrique. 1953. "Condiciones geológicas de las variantes de carretera en la región de Arcabuco-Barbosa-Oiba". Informe 952. Instituto Geológico Nacional.
- Hubach, Enrique. 1957. "Contribución a las unidades estratigráficas de Colombia (enumeración regional, de más reciente a más antiguo)". Informe 1212. Bogotá: Instituto Geológico Nacional.
- Ingram, Roy. L. 1954. "Terminology for the thickness of stratification and parting units in sedimentary rocks". *Geological of American Association Bulletin* 65 (9): 937-938. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1954\)65\[937:TFTTOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1954)65[937:TFTTOS]2.0.CO;2).

- Jiménez, Giovanni, Óscar López, Leonardo Jaimes y Ricardo Mier Umaña. 2016. "Variaciones en el estilo estructural relacionado con anisotropías de basamento en el Valle Medio del Magdalena". *Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales* 40 (155): 312-319. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.293>
- Julivert, Manuel. 1958a. "La morfoestructura de la zona de las Mesas al SW de Bucaramanga (Colombia S. A.)". *Boletín de Geología* 1: 9-34.
- Julivert, Manuel. 1958b. "Geología de la zona tabular entre San Gil y Chiquinquirá, Cordillera Oriental, Colombia". *Boletín de Geología* 3: 33-47.
- Julivert, Manuel, Darío Barrero y Jaime Navas G. 1964. "Geología de la Mesa de Los Santos". *Boletín de Geología* 18: 5-11.
- Julivert, Manuel. 1968. "Colombie (première partie), Précambrien, Paléozoïque, et intrusions d'âge mésozoïque-tertiaire". En *Lexique Stratigraphique International V. Amérique Latine*, dirigido por R. Hoffstetter, fascicule 4a. Paris: Centre National De La Recherche Scientifique.
- Julivert, Manuel. 1970. "Cover and Basement Tectonics in the Cordillera Oriental of Colombia, South America, and a Comparison with some Other Folded Chains". *Geological Society of America Bulletin* 81 (12): 3623-3646. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1970\)81\[3623:-CABTIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1970)81[3623:-CABTIT]2.0.CO;2).
- Karsten, Hermann. 1886. *Géologie de l'ancienne Colombie bolivarienne, Vénézuéla, Nouvelle-Grenade et Ecuador*. Berlin: R. Friedlander y Sohn.
- Laverde Montaña, Fabio y Jairo Clavijo. 1985. "Análisis facial de la Formación Los Santos, según el corte 'Tú y yo' (Zapatoca)". En *Proyecto Cretácico, Contribuciones*, editado por Fernando Etayo-Serna y Fabio Laverde. Publicaciones Geológicas Especiales 16. Bogotá: Ingeominas.
- Laverde Montaña, Fabio. 1985. "La Formación Los Santos: un depósito continental anterior al ingreso marino del Cretácico". En *Proyecto Cretácico, Contribuciones*, editado por Fernando Etayo-Serna y Fabio Laverde. Publicaciones Geológicas Especiales 16. Bogotá: Ingeominas.
- Mendoza F., Hernando. 1985. "La Formación Cumbre: modelo de transgresión marina rítmica de comienzos del Cretácico". En *Proyecto Cretácico, Contribuciones*, editado por Fernando Etayo-Serna y Fabio Laverde. Publicaciones Geológicas Especiales 16. Bogotá: Ingeominas.
- Montoya Arenas, Diana M. 2019a. "Formación La Paja: descripción de la Sección Tipo. Influencia de los tapices microbiales en su génesis". 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.
- Montoya Arenas, Diana M. 2019b. "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.
- Morales, Luis G. y The Colombian Petroleum Industry. 1958. General geology and oil occurrences of Middle Magdalena Valley, Colombia. En Lewis G. Weeks (ed.), *Habitat of oil*. A symposium; conducted by the American Association of Petroleum Geologists. Special Publication 18: 641-695. Tulsa.
- Navas, Jaime. 1963. "Estudio estratigráfico de Girón, al W del Macizo de Santander (Cordillera Oriental, Colombia)". *Boletín de Geología* 12: 19-33.
- 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>.
- Pulido González, Orlando. 1979. "Geología de las planchas 135 San Gil y 151 Charalá: Departamento de Santander". *Boletín Geológico* 23 (2): 39-78.
- Renzoni, Giancarlo. 1985. "Paleoambientes de la Formación Tambor en la quebrada Pujamanes". En *Proyecto Cretácico, Contribuciones*, editado por Fernando Etayo-Serna y Fabio Laverde. Publicaciones Geológicas Especiales 16. Bogotá: Ingeominas.
- Schamel, Steven. 1991. "Middle and Upper Magdalena Basins, Colombia". En *Active Margin Basins*, editado por Kevin T. Biddle, 283-303. Memoire 52: Tulsa: American Association of Petroleum Geologists. <https://doi.org/10.1306/M52531C10>.
- Scheibe, Ernst Albrecht. 1938. "Estudios geológicos sobre la cordillera Oriental de Colombia (cordillera de Bogotá)". En *Estudios geológicos y paleontológicos sobre la cordillera Oriental de Colombia*. Bogotá: Ministerio de Minas y Petróleos.
- Suppe, John. 1983. "Geometry and kinematics of Fault-Bend Folding". *American Journal of Science* 283 (7): 684-721. <https://doi.org/10.2475/ajs.283.7.684>.
- Téllez, Noel. 1964. "Geología de la Mesa de Barichara". *Boletín de Geología* 18: 12-21.
- Ward, Dwight E., Richard Goldsmith, Andrés Jimeno Vega, Jaime Cruz Buenaventura y Eduardo Gómez R. 1969. "Mapa geológico del cuadrángulo H-12 Bucaramanga". Bogotá: Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras.
- Ward, Dwight E., Richard Goldsmith, Jaime Cruz y Hernán Restrepo. 1973. "Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, departamento de Santander". *Boletín Geológico* 21 (1-3): 1-132.
- Ward, Dwight E. y Richard Goldsmith, U. S. Geological Survey, Andrés Jimeno V., Jaime Cruz B., Hernán Restrepo A. y Eduardo Gómez R. 1977. "Mapa Geológico del cuadrángulo H-12, Colombia, Bucaramanga, escala 1:100.000". Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras.
- Wheeler, Orby Clinton. 1929. "Report on the Palmira Series with Notes on Stratigraphy of the Umir, Lisama, and La Paz Formations near the Eastern part of the Mares Concession". Informe Geológico 37. Ecopetrol.
- Zamarreño de Julivert, Isabel. 1963. "Estudio petrográfico de las calizas de la Formación Rosablanca de la región de la Mesa de los Santos (cordillera Oriental, Colombia)". *Boletín de Geología* 15: 5-34.

Basin development and tectonic history of the Middle Magdalena Valley



“However, as our studies continue, more and more concealed breaks become apparent”

Portadilla: Standard nomenclature for the Middle Magdalena Valley adopted by the Servicio Geológico Colombiano.

Citación Etayo-Serna, Fernando. 2019. "Basin development and tectonic history of the Middle Magdalena Valley". 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.



Basin development and tectonic history of the Middle Magdalena Valley

Fernando Etayo-Serna



Hans Stille's work initiated tectonic studies in the Middle Magdalena Valley and introduced the word graben (Hubach 1929). Years later, Harrison wrote: "The Upper Magdalena Valley is a trough like depression or Graben (1930, 399. Notice the equivocal Upper) [...] that if could be flooded [...] would recall the northern end of the Red Sea". According to Harrison, this "trench [...] broke down in early Tertiary times" (*op. cit.*, 408). Likewise, pre-Paleozoic and Paleozoic rocks of Colombia were named basement, while cover was used for rocks of Mesozoic to Pleistocene age (Hubach 1929, after Stille 1907). The acceptance of a Tertiary age for the MMV led to the adoption of Dana's geosynclinal terminology to name the space of deposition of Cretaceous sediments in the MMV (Hubach 1929; Cizancourt 1933; Morales and The Colombian Petroleum Industry 1958; Bürgl 1961; Julivert 1961).

A thorough analysis of the distribution of Cretaceous sedimentary rocks in Colombia (Etayo, Renzoni and Barrero 1969, 1976) showed that these rocks did not fit a geosynclinal outline. Fabre (1983) reintroduced the idea of a graben, adding that it was active since the Early Cretaceous, and renamed it the Magdalena-Tablazo Basin.

Inasmuch as Harrison's paper was included in Section VI-Rift Valleys of the 15th International Geological Congress in Pretoria, terms such as Edward Suess's graben and J. W. Gregory's rift (Willis 1928) become almost synonymous and commutative in the geological literature on Colombia (Sarmiento Rojas 2001; Toro et al. 2002; Rolón 2004; Barrero et al. 2007).

OVERVIEW OF THE CRETACEOUS IN THE MIDDLE MAGDALENA VALLEY

The Río Magdalena basin consists of three geomorphically distinct sectors, each with a different geological history: (1) the south sector or Upper Magdalena Valley, extending from the riverhead to Honda, occupies the axial domain of a Mesozoic back-arc; (2) the middle sector or Middle Magdalena Valley, extends from Honda to El Banco and occupies the Mesozoic rifted central part of Colombia; and (3) the northeast lower sector, the Lower Magdalena Valley, goes from El Banco to Barranquilla and developed over a "triangular transtensional

basin" (Barrero et al. 2007) of late Cenozoic age (Cáceres, Cediél and Etayo-Serna 2003) (**fig. 1**).

The tectonic framework of the MMV basement intermittently affected its stratigraphic architecture. More field information is necessary to validate modern speculations not based on any direct observation and at the same time, as advised by J. T. Wilson (1990), we should not permit "Neglect of what is already known".

INTERPLAY OF TECTONISM AND SEA LEVEL CHANGES IN THE MMV DURING THE CRETACEOUS

In a plate tectonic setting, the Middle Magdalena Valley was generated during the "extensional stage" of a Late Triassic to Jurassic rifting episode that affected northwestern South América (Cáceres, Cediél and Etayo-Serna 2003) (**fig. 1**). The original structure of the MMV is that of an asymmetric rift that progressively slants to the west. Proximity to the faulted and raised block of the Santander Massif has caused up and down movements of basement blocks like piano keys, which caused the following features. **1**) An angular unconformity between Cretaceous Los Santos and Jurassic Jordán Formations (Notestein in Schuchert 1935; Julivert and Téllez 1963; Cediél 1968; Laverde 1995; Rolón and Carrero 1995) (**fig. 2A**). **2**) A disconformity between the lower upper Valanginian Carrizal Member and the lower Hauterivian Zo Member of the Rosa Blanca Formation (**fig. 2B**). **3**) Condensation of middle Barremian beds and a paraconformity between these and the upper lower Aptian beds of the La Paja Formation (Gaona, Maurrasse and Etayo-Serna 2013) (**fig. 2D**). **4**) A paraconformity between the cuspidal beds of the Rosa Blanca Formation and basal upper lower Barremian beds of the La Paja Formation (**fig. 2C**). **5**) Prograding and retrograding sequences in the upper beds of the Tablazo Formation (**fig. 3**). **6**) A composite hardground surface at the top of the Tablazo Formation, upper lower Albian (**fig. 2E**). **7**) Beveled contact between the Simití and El Salto Formations.

It has been demonstrated that "Compressional tectonics [...] controlled the stratigraphic and structural attributes of the southern Middle Magdalena Valley Basin since 70 Ma" (Gómez et al. 2003, 146).

BERRIASIAN - VALANGINIAN

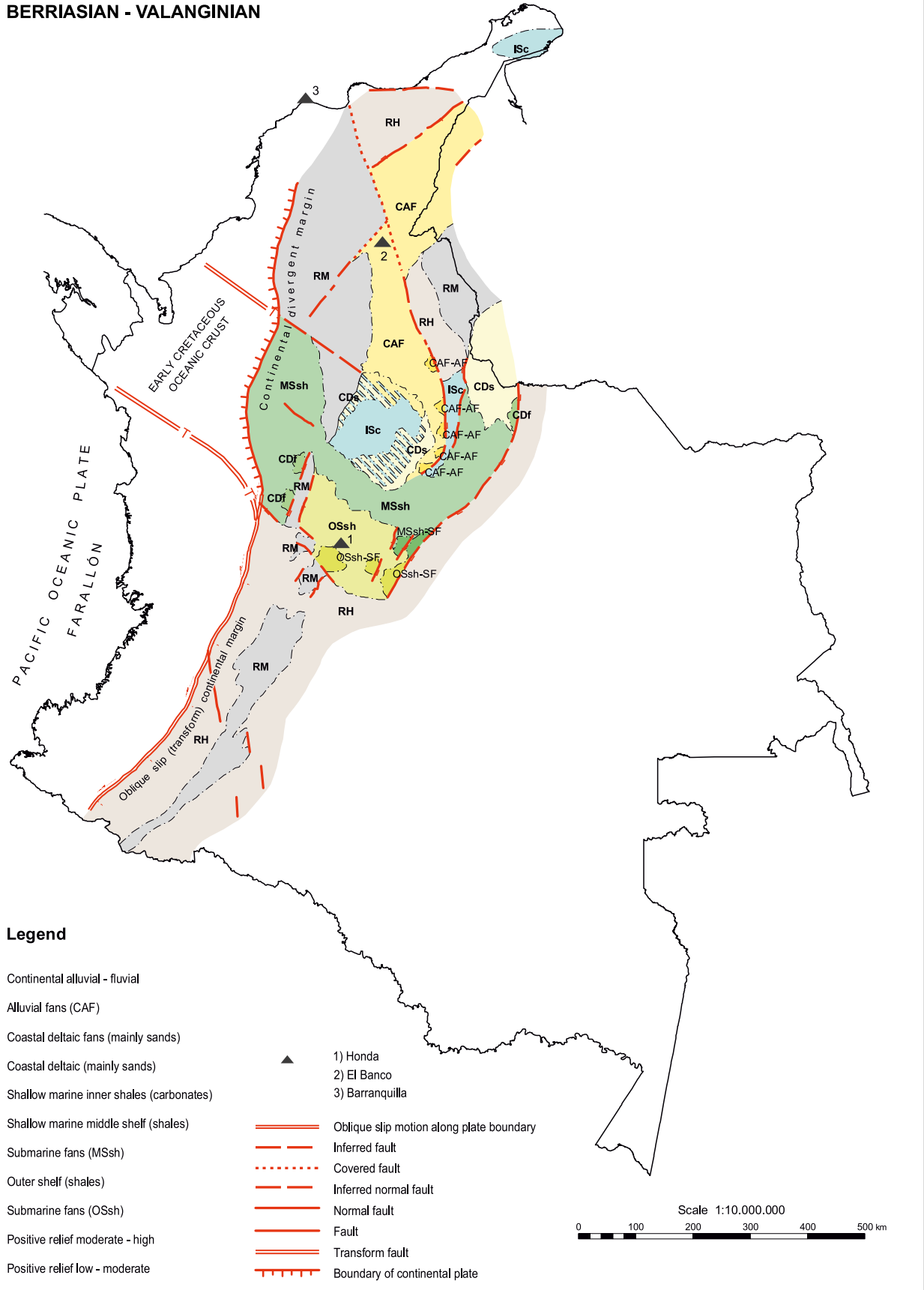


Figure 1. Taken from: Facies distribution and tectonic setting through the Phanerozoic of Colombia (Cáceres, Cediél and Etayo-Serna 2003).



Figure 2A. Angular unconformity between moderately dipping Jordán Formation beds and horizontal Los Santos Formation. Photo taken from N scarp of the Chicamocha River, Camino del Roto, looking SE. (see fig. 4). Photo by F. Etayo-Serna.



Figure 2C. Paraconformity between medial beds of the La Paja Formation (organic-rich marlstone, calcareous clay shales and clay shales) of upper lower Aptian age overlying condensed middle Barremian wackestone, Curiti Quarry. Photo by F. Etayo-Serna (Gaona, Maurrasse and Etayo-Serna 2013).



Figure 2D. Paraconformity between cuspidal beds of the Rosa Blanca Formation and basal beds of the La Paja Formation. Private road from Los Santos to El Carrancho gypsum mine. Photo by D. Montoya (see D. Montoya 2019a).



Figure 2E. Composite hardground surface at top of the Tablazo Formation. Eastern side of Lebrija-San Vicente de Chucurí road, near the bridge over the Sogamoso River (N: 1.269.645°, E: 1.081.053°, Z: 352 m). Photo by D. Montoya (see Montoya 2019b; Immenhauser et al. 2000, fig. 11).



Figure 2B. Disconformity between the upper beds of the Carrizal Member, slightly bent, and bed P at the base of the Zo Member, both of the Rosa Blanca Formation. W side of El Platanalito Creek near its confluence with the Sogamoso River. Photo by D. Montoya (Etayo-Serna and Guzmán Ospitia 2019).



Figure 3A. View of segments VII to V of the Tablazo Formation. A cliff section at the junction of the highway to San Vicente de Chucurrí and the road to Betulia (Estadero El Nuevo Ramo, km 22+200). Photography by D. Montoya, taken from the southern end of the bridge over Quebrada El Ramo. Notice the increase in bed thickness downdip in a fan-like arrangement from the top of the hill toward the river level.



Figure 3B. Oblique close-up picture to show the internal stratification of segment V of the Tablazo Formation. Observe the primary inclination of the bedding: sediments accumulated on a tilted bottom reflecting some significant tectonic episode, as demonstrated by the truncation at the top of both sets of beds (Ravnås and Steel 1998, fig. 2). Roadside outcrop in front of Estadero El Nuevo Ramo.



Figure 3C. Outcrop of stratigraphic segment V (conjunto N2 -dark- and conjunto O -light-) of the Tablazo Formation to show the fan-shaped arrangement of beds. Cerro El Tablazo (D. Montoya, this book 2019b, fig. 90A).

Global sea level rises seem reflected in the MMV stratigraphic sequence by the occurrence of Mediterranean short-lived ammonites of the early late Valanginian *Saynoceras verrucosum* (ORBIGNY, 1841), the late early Barremian *Nicklesia pulchella* (ORBIGNY, 1841) and *Parasaynoceras horridum* (ORBIGNY, 1850) (Etayo-Serna 1993; 2019), and the early middle Albian *Oxytropidoceras (Mirapelia) mirapelianum* (ORBIGNY, 1850) (Orbigny, 1842; Rawson 1993; Etayo-Serna 1993). It must be said here that oceanic surface waters (Tethyan) were circulating from E to W in the Early Cretaceous (Luyendyk, Forsyth and Phillips 1972; Etayo-Serna 1983).

THE MAPPABLE LITHOLOGIC UNITS AND THE GEOLOGICAL HISTORY OF THE MMV

The earliest Cretaceous lithostratigraphic unit recorded in the Hidrosogamoso region (figs. 2A and 4) is represented by the continental siliciclastic Los Santos Formation (1) (Cediel 1968; Etayo-Serna and Rodríguez 1985). Immediately above follows the transitional Cumbre Formation (2), from which diverse palynomorphs have been recovered at quebrada Aguablanca (zanjón Aguas Gordas): *Inaperturopollenites sp.*, *Araucariacites sp.*, *Classopollis sp.* (probably *Corollina ecopetrolis* Olivella), *Ephedripites sp.* and the spore *Cyathidites sp.* (D. Pons in Etayo-Serna 1989). Outcrops of the Cumbre Formation on the road to Platanalito gypsum mine yields shark teeth and bivalves similar to those of the Batá Formation (Etayo-Serna et al. 2003).

In ascending order above the Cumbre, the Rosa Blanca Formation (3) initiates with the Lagunetas Member (new), which shows an E to W change from sabkha deposits (supratidal) to stromatolitic limestone (subtidal); 80 m. The age of the Los Santos and Cumbre Formations and the Lagunetas Member, based on Walter's principle of contiguity of facies, is considered Berriasian.

Sealing an erosional scar, the oolitic calcareous basal bed of the Carrizal Member (new) follows, composed of conspicuous *Thalassinoides* beds and decimetric *wackestone* beds in alternation with calcareous *mudstone*; 110 m. The age of this member ranges from lower Valanginia to upper Valanginian, pars. Above the Carrizal Member in disconformable contact follows the Zo Member (new), composed of pluridecimetric cross-bedded *packstone* and *wackestone* that alternate with terrigenous *mudstone*; the occurrence of benthonic foraminifera is noticeable; 40 m.

In a rapid transition follows the El Sapo Member (new), composed of conspicuous *Thalassinoides* beds and decimetric *wackestone* in alternation with terrigenous calcareous *mudstone*; 80 m.

The upper part of the Rosa Blanca Formation is represented by the Zapatoca Member (new), composed of ferruginous metric sandstones in the lower part; 35 m, and *wackestone* and *packstone* of bivalves at the top; 25 m.

Members Zo, El Sapo and Zapatoca are dated Lower Hauterivian (Etayo Serna and Guzmán Ospitia 2019).

At the type section, the La Paja Formation (4), 290 m, is characterized by the alternation of dark calcareous and argillaceous *mudstones*. In segment I, calcareous *mudstones* are predominant, with organic matter and abundant Dasycladacean algae remains. Segment II has similar lithology but shows lenses of fibrous calcite and abundant gypsum lenses and veins. Segment III consists of predominantly argillaceous *mudstones* with organic matter. Segment IV comprises tabular thick-bedded calcareous *mudstone* (bindstones) interbedded with metric argillaceous *mudstones*. Segment V is composed of argillaceous *mudstones* with organic matter and conspicuous recrystallized bindstones toward its upper part. The accumulation of the La Paja Formation took place in the supratidal to lower intertidal domain. The La Paja Formation is dated lower Barremian to middle Barremian, excluding the lowermost Barremian for segment I. The upper Barremian and lower Aptian ammonite zones are not represented. Segment II represents the upper part of the lower Aptian, while Segment III corresponds to the upper Aptian. Segment IV and the lower part of Segment V correspond to the cuspidal upper Aptian, while the rest of segment V corresponds to the lower lower Albian (Montoya 2019a).

The Tablazo Formation (5), a noticeable stratigraphic and geomorphologic unit, generates four *cuestas* and three valleys; 270 m. The elements that form *cuestas* are calcareous *mudstone*, *wackestone* and *packstone* with minor proportions of fine to very fine quartzitic sandstone; on the contrary, the valley-forming units are predominantly made of argillaceous *mudstone*. The occurrence of *microcodium* microfossils and nodular rubble are reminders of subaerial exposure. Occasional organic matter is common at levels I to III, from which it decreases. The lower part of the unit looks transitional to the La Paja Formation. Tablazo sediments accumulated between the supratidal and middle parts of an oscillating shallow carbonate ramp. The Tablazo Formation represents the lower Albian and is an example of vertical tectonics influencing accumulation (Hubbard 1988; Montoya 2019b) (fig. 3).

The Simití Formation (6), 125 m, consists of dark, terrigenous, muscovitic and fissile *mudstone* (shales), interspersed throughout the unit with fine-grained, quartzitic sandstones with calcareous cement (Etayo-Serna 2019, fig. 5A), more often than not glauconitic. The accumulation of this unit started after an interlude of nondeposition and subaerial exposure of the top bed of the Tablazo Formation (fig. 2E): sea level rose possibly as an indirect consequence of the separation of Africa from South America; this way, the Tablazo ramp was rapidly inundated and at the same time received a great input of fine detrital particles from the mud discharges of a large southern river flowing E to W (Numpaque and Rolón 1998, fig. 5). Based on its ammonite content, the Simití Formation represents the lower middle Albian, pars. Exposures are poor.

The El Salto limestone (7) lies immediately above the Simití shales with a thickness of 7 m. It is a unit not formally establis-

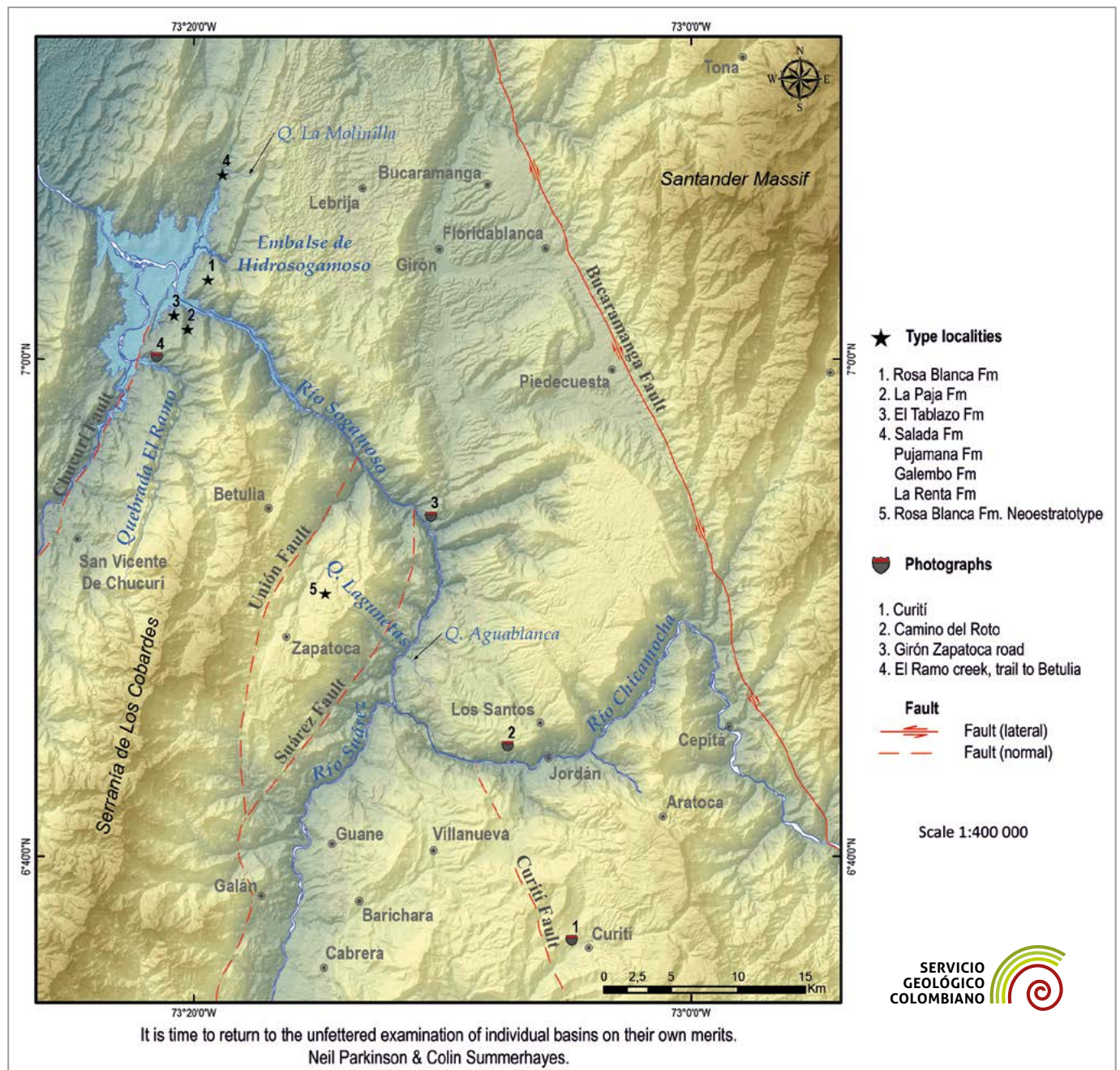


Figure 4. Map of localities mentioned in the text.

hed by Morales and The Colombian Petroleum Industry (1958) but has great significance to the geologic history of the MMV. From E to NW, Sogamoso River to Simití, the El Salto limestone—*wackestone* and *packstone* with *Rhynchostreon* remains—thickens from 7 m to 50 m and at the same time overlies younger beds; that is to say, its base makes a bevel in the Simití Formation illustrating a probable direct causal connection with coeval slanting to the west of the whole MMV basement (Terraza 2019).

Salada Formation (8); 118 m. The formation status is restated for this unit. It is “composed of hard, black thin bedded, finely laminated-limy shales that appear very much as slates on outcrop [...] presence of concretions and streaks of pyrite,

often mixed with limestone, and a strong bituminous odor yielded by the rock when freshly broken open” (Wheeler 1929). Large discoidal calcareous concretions in the lower segment. *Benueites* species of ammonites indicate a lower Turonian age (Terraza 2019).

Pujamana Formation (9); 57 m - 111 m. This unit is another restated formation. “It consists of black thin bedded calcareous shale. Hills composed of this shale slump badly”. Wheeler reports 325 m of thickness, but he himself advised “that amount might be excessive”. This same section was remeasured by Terraza (2019). At this point, it is worth remembering Ernst Cloos' caveat (1942, 402): “[...] the question arises whether or not thicknesses as measured in folded regions are thicknesses of depo-

sition". Specimens of the ammonites *Subprionocyclus* support referring this unit to the upper Turonian.

Galembó Formation (10); 96 m - 177 m. In this book, the Galembó is restated to the formation category. According to the precise original description "The Galembó is predominantly a limestone formation [...] the limestones are hard, black, (thin bedded), thinly laminated, fine textured, bituminous, occasionally shaly, and commonly occur in beds 4 to 6 inches thick separated by thin or minute shale partings. This rhythmic type of bedding is distinctly characteristic of the formation in the Sogamoso area [...] these limestones yield a distinct odor of oil when freshly broken" (Wheeler 1929). A rich ammonite collection has been gathered: *Prionocycloceras*, *Protexanites*, *Miotexanites*, *Peroniceras* (*Zuluiceras*) represent the Coniacian, while *Texanites*, *Plesiotexanites* and *Cocuyites* indicate the Santonian (see Terraza, chap. 5, this book).

La Renta Formation (11); 45 m - 77 m. It has been concluded that the separation of the phosphatic and siliceous sequence—of the upper part of the Galembó—into a distinct formation is necessary. The La Renta Formation has great paleogeographic significance because during the Campanian, there were particular oceanographic conditions that favored

a "South Tethyan phosphorite province" that included Colombia (Terraza 2019; Pufahl et al. 2003).

The last Cretaceous unit (12) that crops out in the Hidrosgamoso region is the Umir Formation (Morales and The Colombian Petroleum Industry 1958, 655), which lies unconformably on the La Renta or Galembó Formations 2019, in angular unconformity or in paraconformity (Maughan et al. 1979, fig. 6). The Umir, as measured along the new Bucaramanga-Barrancabermeja road, is 300 m thick and appears to be unconformably covered by the Lisama Formation of Paleocene palynological age. The Umir Formation consists mainly of dark to medium and light gray mudstone, light gray to greenish gray fine to medium grained muscovitic siltstone and sandstone in thin beds, increasing in thickness and abundance upsection. Interspersed cuneiform coal beds up to 1.5 m thick, herringbone cross-lamination and oscillation ripples are conspicuous. Locally, gastropods, bivalve and ammonite remains are found (Pérez 2014). *Sphenodicus pleurisepta* (Conrad 1857) is relatively frequent (Morales and The Colombian Petroleum Industry 1958, 656; Moreno-Sánchez 2019). According to Petters (1955), "brackish and fresh water deposits of Maestrichtian (*sic*) (Navarro) age were laid down along the western margin of the Bucaramanga Massif".

REFERENCES

- Barrero, Darío, Andrés Pardo, Carlos A. Vargas, and Juan F. Martínez. 2007. *Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a new Proposal*. Bogotá: Agencia Nacional de Hidrocarburos.
- Bürgel, Hans. 1961. "Historia geológica de Colombia". *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 11 (43): 137-191.
- Cáceres Girón, Carlos, Fabio Cediél Melo, and Fernando Etayo-Serna. 2003. *Maps of Sedimentary Facies Distribution and Tectonic Setting of Colombia through the Proterozoic and Phanerozoic*. Ingeominas: Bogotá.
- Cediél, Fabio. 1968. "El Grupo Girón, una Molasa Mesozoica de la cordillera Oriental". *Boletín Geológico* 16 (1-3): 5-96.
- Cizancourt, Henry De. 1933. "Tectonic Structure of Northern Andes in Colombia and Venezuela". *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists* 17 (3): 211-228.
- Cloos, Ernst. 1942. Distortion of stratigraphic thicknesses due to folding. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 28: 401-407. <https://doi.org/10.1073/pnas.28.10.401>.
- Cooper, Mark A., Fergus T. Addison, Ricardo Álvarez, Mario Coral, Rod H. Graham, Anthony B. Hayward, Spencer Howe, Jaime Martínez, Joaquín Naar, Ricardo Peñas, Andy J. Pulham, and Adriana Taborda. 1995. "Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia". *AAPG Bulletin* 79 (10): 1421-1443.
- Etayo-Serna, Fernando y Georgina Guzmán-Ospitia. 2019. "Formación Rosa Blanca: subdivisión de la Formación y propuesta de Neoestratotipo. Sección laguna El Sapó, vereda El Carrizal, municipio de Zapatoca, 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.
- Etayo-Serna, Fernando, and Gloria I. Rodríguez. 1985. "Edad de la Formación Los Santos". In *Proyecto Cretácico, Contribuciones*, edited by Fernando Etayo-Serna and Fabio Laverde, 1-13. Publicaciones Geológicas Especiales 16. Bogotá: Ingeominas.
- Etayo-Serna, Fernando, Giancarlo Renzoni, and Darío Barrero. 1976. Contornos sucesivos del mar Cretáceo en Colombia. In *Memorias Primer Congreso Colombiano de Geología*, edited by F. Etayo-Serna and Carlos Cáceres Girón, 217-252, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia and Ecopetrol.
- Etayo-Serna, Fernando, Nuria Solé De Porta, Jaime De Porta, and Tatiana Gaona. 2003. "The Batá Formation of Colombia is truly Cretaceous, not Jurassic". *Journal of South American Earth Sciences* 16: 113-117. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(03\)00048-8](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(03)00048-8).
- Etayo-Serna, Fernando. 1983. The Georgian heteromorph ammonite genera *Kutatissites* and *Pseudoaustraliceras* in Northwest Southamerica. *Geología Norandina* 7: 3-13.
- Etayo-Serna, Fernando. 1989. "Análisis facial del inicio del avance marino del Cretácico en la región SW del Macizo de Santander". V Congreso Colombiano de Geología. Excursión Pre-Congreso No. 2: 1-8. Bucaramanga.
- Etayo-Serna, Fernando. 1993. "Ammonitina Speciation and Eustacy". *AAPG Bulletin* 77 (2): 317.
- Etayo-Serna, Fernando. 2019. "Formación Simití: unidad ambigua en la estratigrafía del Valle Medio del Magdalena". 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.
- Fabre, Antoine. 1983. "La subsidencia de la Cuenca del Cocuy (cordillera Oriental de Colombia) durante el Cretáceo y el Terciario. Segunda parte: esquema de evolución tectónica". *Geología Norandina* 8: 21-27.
- Gaona-Narváez, Tatiana, Florentin J.-M.R. Maurrasse, and Fernando Etayo-Serna. 2013. "Geochemistry, palaeoenvironments and timing of Aptian organic-rich beds of the Paja Formation (Curití, Eastern Cordillera, Colombia)". In *Isotopic Studies in Cretaceous Research*, edited by Ana Voica Bojar, Mihaela C. Melinte-Dobriescu and Jan Smit, 31-48. Special Publications 382. London: Geological Society. <https://doi.org/10.1144/SP382.6>
- Gómez, Elías, Teresa E. Jordan, Richard W. Allmendiger, Kerry Hegarty, Shari Kelley, and Matthew Heizler. 2003. Controls on Architecture of the Late Cretaceous to Cenozoic Southern Middle Magdalena Valley Basin, Colombia. *GSA Bulletin* 115 (2): 131-147. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(2003\)115<0131:COAOT-L>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2003)115<0131:COAOT-L>2.0.CO;2).
- Harrison, John Vernon. 1930. "The Magdalena Valley, Colombia, South America". 15th International Geological Congress, South Africa, Comptes Rendus, V.2, Section VI. Rift Valleys: 399-409. Pretoria.
- Hubach, Enrique. 1929. "Determinación y apreciación general de las áreas petrolíferas de Colombia". *Boletín de Minas y Petróleos* 1 (1): 52-62.
- Hubbard, Richard J. 1988. "Age and significance of sequence boundaries on Jurassic and Early Cretaceous rifted continental margins". *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 72 (1): 49-72.
- Immenhauser, Adrian, Wolfgang Schlager, Stephen J. Burns, Robert W. Scott, Tini Geel, Jens Lehmann, Sjerry Van Der Gaast, and Liselotte J.A. Bolder-Schrijver. 2000. "Origin and correlation of discontinuity surfaces and marker beds, Nahr Umr Formation, northern Oman". In *Middle East Models of Jurassic/Cretaceous Carbonate Systems*, 209-225. Special Publication vol. 69. Tulsa: SEPM Society for Sedimentary Geology. <https://doi.org/10.2110/pec.00.69.0209>.
- Julivert, Manuel. 1961. "Las estructuras de valle medio del Magdalena y su significación". *Boletín de Geología* 6: 33-52.
- Julivert, Manuel, and Noel Téllez I. 1963. "Sobre la presencia de fallas de edad Precretácica y Post-Girón (Jura-triásico) en el Flanco W del Macizo de Santander (Cordillera Oriental, Colombia)". *Boletín de Geología* 12: 5-17.
- Julivert, Manuel. 1970. "Cover and Basement Tectonics in the Cordillera Oriental of Colombia, South America, and a Comparison with some Other Folded Chains". *Geological Society of America Bulletin* 81 (12): 3623-3646. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1970\)81\[3623:CABTIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1970)81[3623:CABTIT]2.0.CO;2).
- Luyendyk, Bruce Peter, Donald Forsyth, and Joseph D. Phillips. 1972. "Experimental Approach to the Paleocirculation of the Oceanic Surface Waters". *Geological Society of America Bulletin* 83 (9): 2649-2664. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1972\)83\[2649:EATTPQ\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1972)83[2649:EATTPQ]2.0.CO;2).
- Maughan, Edwin K., Francisco Zambrano O., Pedro Mojica G., Jacob Abozaglo M., Fernando Pachón P., and Raúl Durán R. 1979. "Paleontologic and Stratigraphic relations of Phosphate Beds in Upper Cretaceous Rocks of the Cordillera Oriental, Colombia". USGS report. Open File Report 79-1525. <https://doi.org/10.3133/ofr791525>.
- Morales, Luis G., and The Colombian Petroleum Industry. 1958. "General geology and oil occurrences of Middle Magdalena Valley, Colombia". In *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.
- Numpaque, Luis, and Luisa Fernanda Rolón. 1998. "Formación Areniscas de Chiquinquirá: características sedimentológicas y alternativas de nuevas oportunidades de roca almacenadora en la exploración de hidrocarburos en las cuencas Cordillera Oriental y SE de Valle Medio del Magdalena". XXX Conferencia Geológica de Campo 1997-1998. Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo.
- Orbigny, Alcide Dessalines De. 1842. *Coquilles et échinodermes fossiles de Colombie (Nouvelle-Grenade), recueillis de 1821 a 1833, par M. Boussingault, et décrits par Alcide d'Orbigny*. Paris: P. Bertrand Paris & Strasbourg.
- Parkinson, Neil, and Colin Summerhayes. 1985. "Synchronous Global Sequence Boundaries". *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 63 (5): 685-687.
- Pérez Ávila, Adrián. 2014. "Estratigrafía Formación Umir". Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- Petters, Victor. 1955. "Development of Upper Cretaceous Foraminiferal Faunas in Colombia". *Journal of Paleontology* 29 (2): 212-225.
- Pufahl, Peir K., Kurt A. Grimm, Abdulkader M. Abed, and Rushdi M.Y. Saqah. 2003. "Upper Cretaceous (Campanian) phosphorites in Jordan: implications for the formation of a South Tethyan Phosphorite giant". *Sedimentary Geology* 161 (3-4): 175-205. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(03\)00070-8](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(03)00070-8).
- Ravnås, Rodmar, and Ron J. Steel. 1998. "Architecture of Marine Rift-Basin Successions". *APPG Bulletin* 82 (1): 110-146.
- Rawson, Peter F. 1993. "The influence of sea-level changes on the migration and evolution of early Cretaceous (pre-Aptian) ammonites". In *The Ammonoidea: Environment, Ecology, and Evolutionary Change*, edited by M. R. House, 227-242. Systematics Association. Special volume 47. Oxford: Clarendon Press.
- Rolón, Luisa Fernanda. 2004. "Structural Geometry of the Jura-Cretaceous Rift of the Middle Magdalena Valley Basin-Colombia". Master thesis of Sciences in Geology. West Virginia University.
- Rolón, Luisa Fernanda, and Milton Carrero Melo. 1995. "Análisis estratigráfico de la sección cretácica aflorante al oriente del anticlinal de los Cobardes entre los Municipios de Guadalupe-Chima-Contratación, Dpto. de Santander". Trabajo de pregrado. Universidad Nacional de Colombia.
- Rolón, Luisa Fernanda, Juan Lorenzo, Allan Lowrie, and Darío Barrero. 2001. "Thrust, kinematics and Hydrocarbon migration in the Middle Magdalena Basin, Colombia, South America". GCS-SEPM Foundation 21st Annual Research Conference Petroleum Systems of Deep-Water Basins. Houston.
- Rolón Luisa, and Jaime Toro. 2003. "Abstract: Extensional Structures Related to the Jurassic-Cretaceous Rift of the Middle Magdalena Valley Basin-Colombia". *AAPG Bulletin* 87 (13. Supplement).

- Sarmiento-Rojas, Luis Fernando. 2001. "Mesozoic rifting and Cenozoic basin inversion history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes. Inferences from tectonic models". Ph. D. Thesis. Vrije Universiteit.
- Schuchert, Charles. 1935. "Colombia". In *Historical Geology of the Antillean-Caribbean Region or the Lands Bordering the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea*, 624-674. New York: John Wiley & Sons, Inc. Spanish Translation 1937, in *Boletín de Petróleos* 97-102: 265-354.
- Stille, Hans. 1938. *Estudios geológicos en la región del río Magdalena*. Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia 4: 125- 182. Traducción de Geologische Studien im Gebiete des Río Magdalena. Festschrift Adolf von Koenen: 277-358, Stuttgart 1907.
- Terraza Melo, Roberto. 2019. "'Formación La Luna': expresión espuria en la geología colombiana". 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.
- Toro, Jaime, François Roure, Sophie Lecornec-Lance, Nathalie Bordes-Lefloch, and William Sassi. 2002. "Structural and Thermal Evolution of the Cordillera Oriental, Colombia". AAPG Hedberg Conference "Deformation History, Fluid flow Reconstruction, and Reservoir Appraisal in Foreland Fold and Thrust Belts". May 14-18. Palermo-Mondello (Sicily-Italy).
- Wheeler, Orby Clinton. 1929. *Report on the Palmira Series with Notes on Stratigraphy of the Umir, Lisama, and La Paz Formations Near the Eastern Part of the Mares Concession*. Informe Geológico 37. Bogotá: Ecopetrol.
- Willis, Bailey. 1928. Dead Sea problem: rift valley or ramp valley? *Bulletin of the Geological Society of America* 39: 490-542.
- Wilson, J. Tuzo. 1990. "Some Controls that Greatly Affect Surface Responses to Mantle Convection Beneath Continents". In *The Restless Earth*, edited by Keith J. Carlson, 125-162. Nobel Conference XXIV. Chapter 5. San Francisco: Harper & Row.

Imagen satelital del embalse de Hidrosogamoso, donde se ve el cañón del río Sogamoso que fluye en dirección NW, y la ciudad de Bucaramanga ubicada aproximadamente a 30 km al oriente del sitio de presa del proyecto hidroeléctrico del río Sogamoso.
Dimensiones: ancho 46 km, largo 56 km
Fecha de adquisición: 4 de enero de 2015
Satélite: Landsat 8
Composición RGB: 432, Enhanced pancromatica
Fuente: Land Viewer, <https://lv.eosda.com/>

