

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 Zapatoaca; 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 Zapatoaca, 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 Zapatoaca 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 Zapatoaca 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.

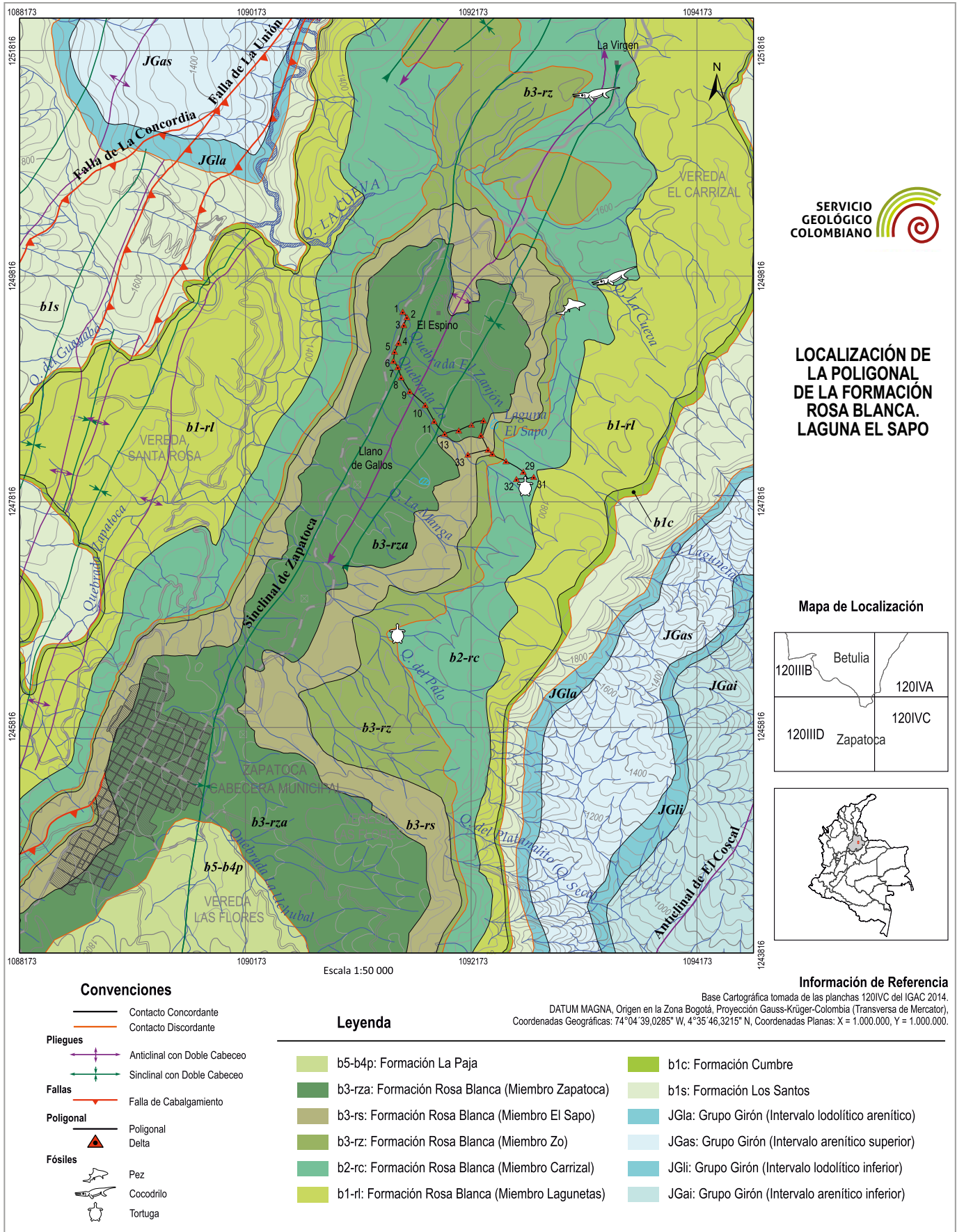


Figura 1. Localización y poligonal de la Formación Rosa Blanca, mapa tomado de Moreno-Sánchez (2019), sector de Zapatoaca.

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**).

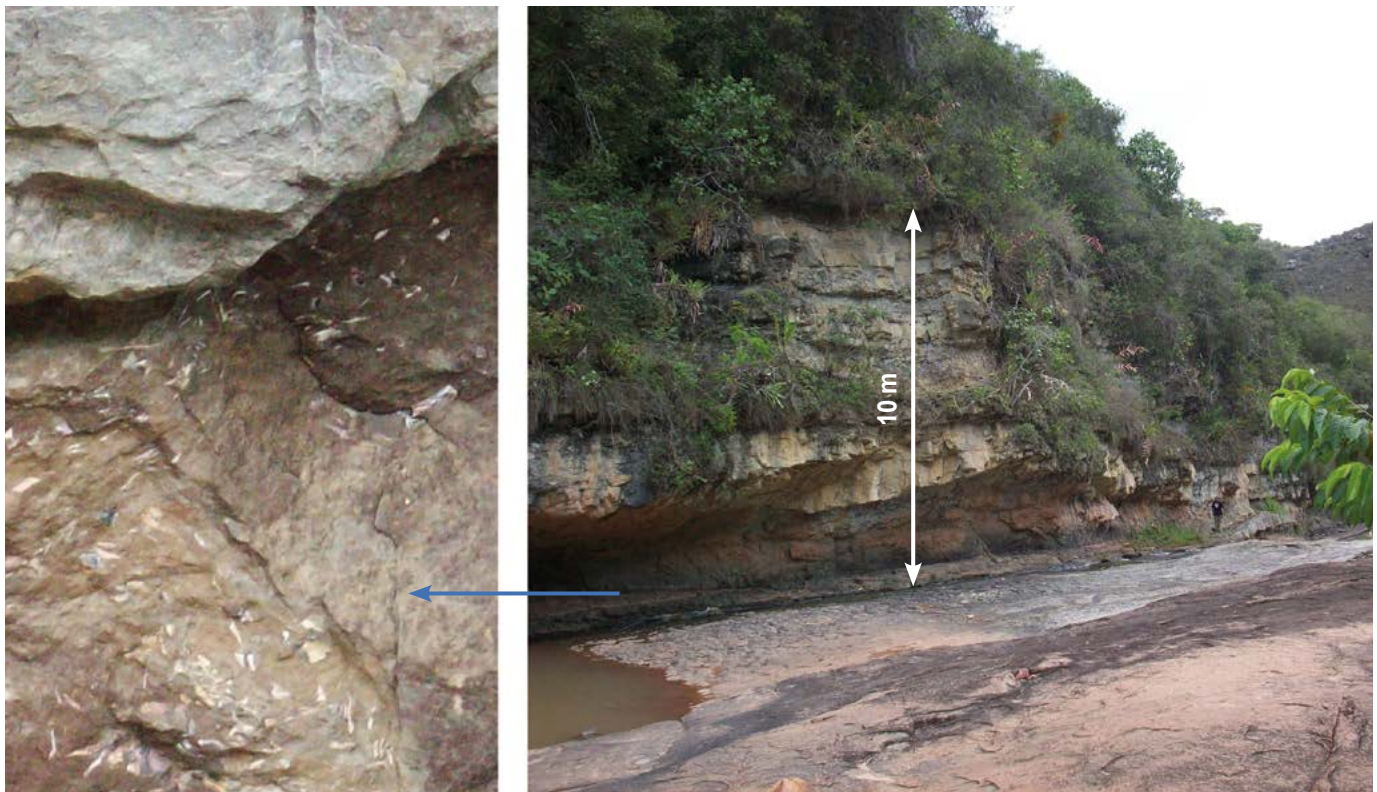


Figura 3A. Contacto entre el techo de la Formación Los Santos y la base de la Formación Cumbre, quebrada de Las Lajitas. Coordenadas: N:1.250.040, E:1.089.803, elevación: 1320 m. Nótese que la punta inferior de la flecha blanca señala el techo de la Formación Los Santos (N20E/10SE) con huellas de la 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 biolititos 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 biolititos 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**).

Piso	Este trabajo		Guzmán-O		Zamarreño	
	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	Ω	III	NIVEL LUMAQUÉLICO (47m) 44m	NIVEL DE BIOMICRITAS <u>Zona de Intraclastos</u> <u>Capa Oolítica</u>	
		I				
		II				
		III				
		III'				
	B. Areniscas Lodosas Ferruginosas con espesores métricos 35m	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				
G						
H						
Miembro Zo <i>Packstone y wackestone</i> con espesores pluridecimétricos en alternancia con lodolitas terrígenas 42m	I	II	Intercalación Caliza (5m)8a9m <u>Zona de Pellets</u>			
	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		NIVEL MARGOSO INFERIOR (36m) 34m	NIVEL DE INTRAMICRITAS	
		O				
		P		INTERCALACIÓN DE CALIZAS MARRÓN (9m)10m	NIVEL DE ESPARITA	
		Q				
		R		NIVEL INFERIOR DE CALIZAS Y DOLOMÍAS GRISES (96m) 92m	NIVEL DE MICRITAS FOSILÍFERAS <u>Capa Oolítica</u>	
		S				
		T		NIVEL DE MICRITA <u>Zona de Pelmicrita</u>		
		U				
V	NIVEL CON DOLOMÍAS O CALIZAS DOLOMÍTICAS <u>Zona Biolítico</u> <u>Zona Esparita</u>					
X						
Y						
Z						
α						
B E R R I A S I A N O	Miembro Lagunetas Calizas dolomíticas-Micritas fosilíferas 83m					
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 Zapatoca-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

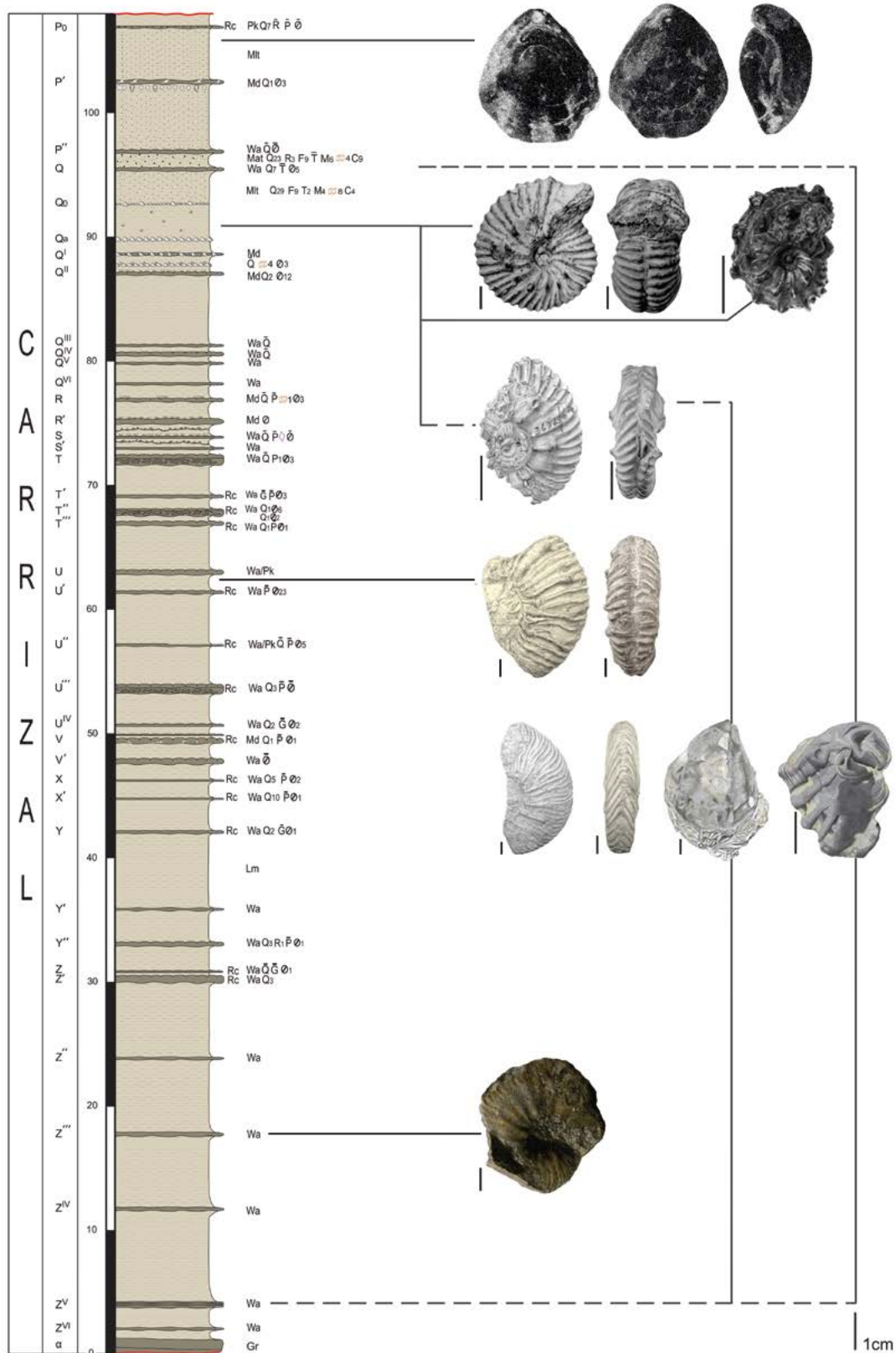


Figura 7. Miembro Carrizal (anexos 1.1 y 1.3). Véase la explicación de las convenciones en la figura 24 y en la lámina 11. Ilustración: Marie Jöelle Giraud.



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.

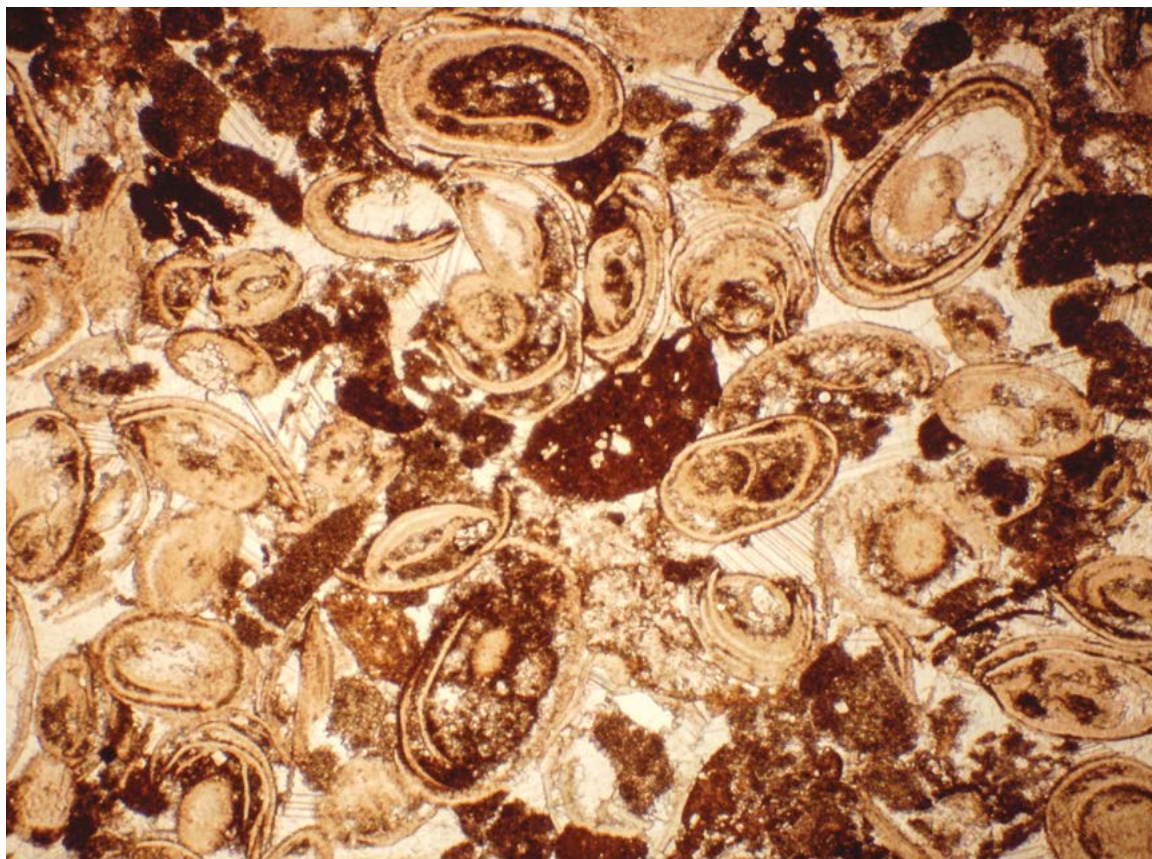


Figura 8B. Capa α (IGM36389 nicoles II). Sección delgada de muestra del bloque de la **figura 8A**. Grainstone de ooides. Aumento: 10x.

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.

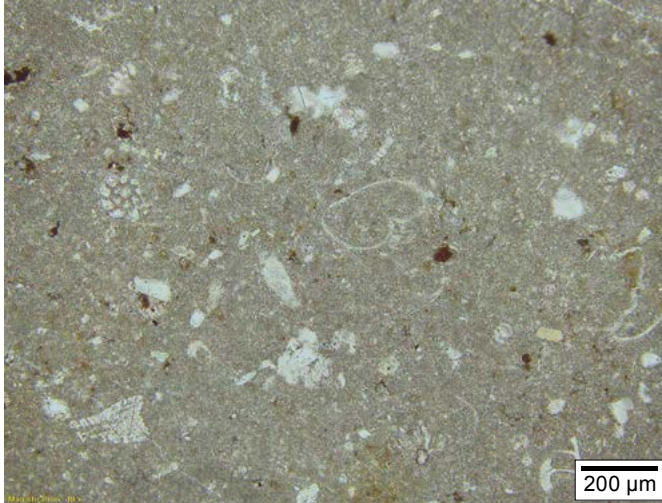
Capa X' (IGM36383). *Wackestone* con bivalvos, equinodermos, foraminíferos aglutinantes y porcelanáceos con textura desde limo hasta arena fina (13%); peloides con textura de arena (5%); cuarzo con textura de limo (10%) —algunos parecen de origen volcánico—, fragmentos de fosfatos y óxidos de hierro (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.

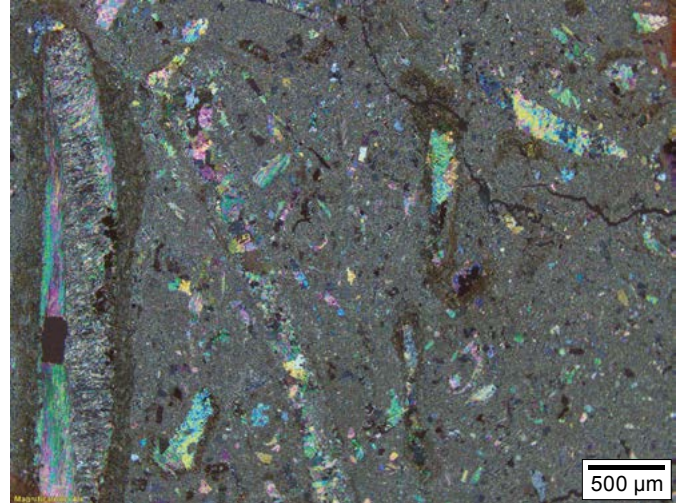
Capa V'. *Hardground*, color menos alterado *dusky yellow* 5Y 6/4, con pátina acentuada en el tope de la capa de color *moderate yellow* 5Y 7/6; intercalación *dark yellowish orange* 10YR 6/6. Espesor: 0,4 m.

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

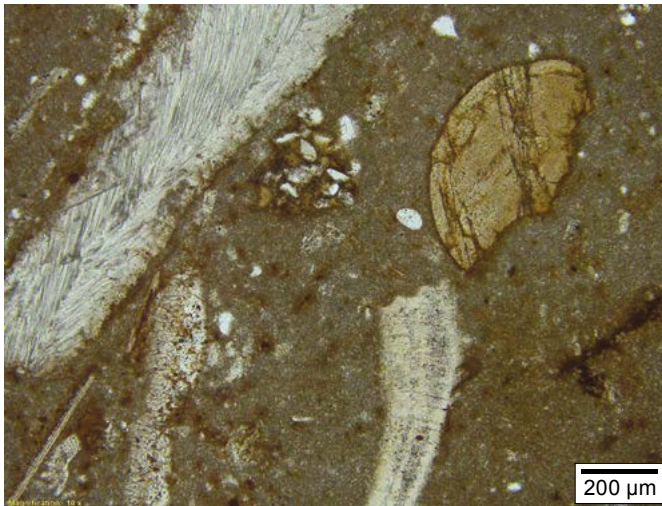
Lámina 1. Miembro Carrizal. Capas Z', Z, Y'', Y, X', X



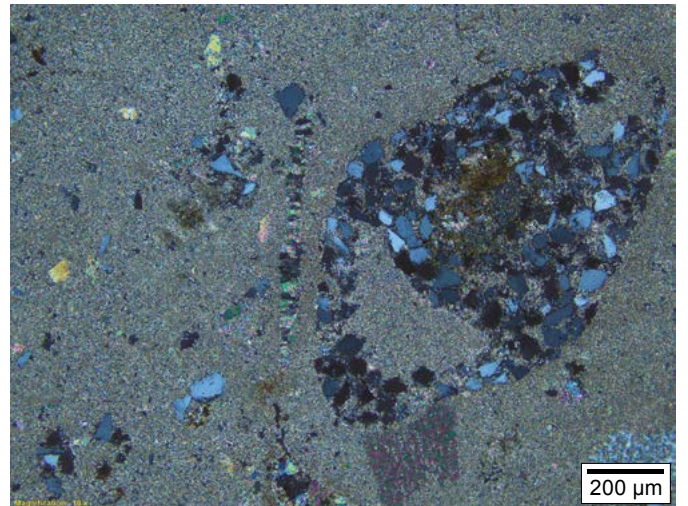
A. Capa Z' (II) IGM36388
Wackestone (*Biomicrota terrígena-Calculutita*). Esc. 200 μm



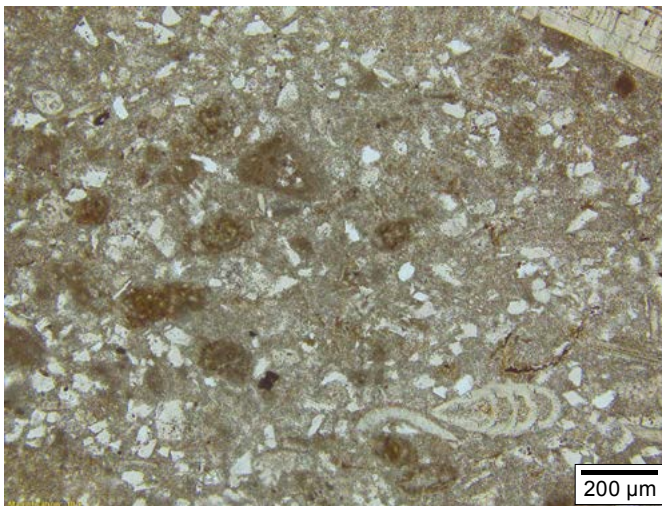
B. Capa Z (X) IGM36387
Wackestone (*Biomicrota-Calculutita arenosa*). Esc. 500 μm



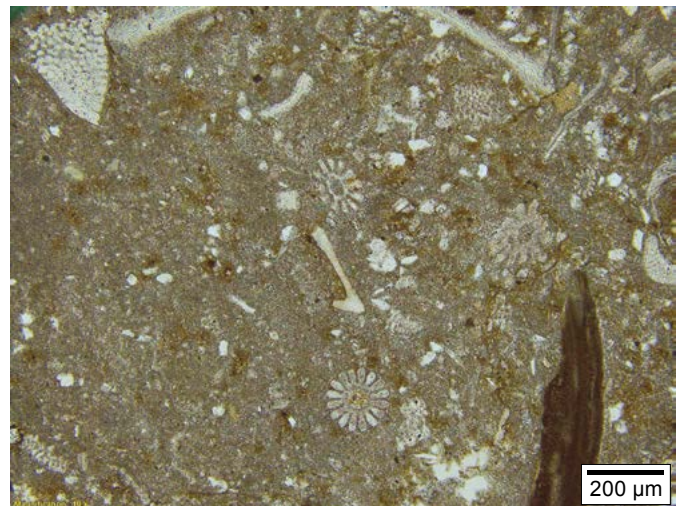
C. Capa Y'' (II) IGM36386a
Wackestone (*Biomicrota-Calculutita arenosa*). Esc. 200 μm



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



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



F. Capa X (II) 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.

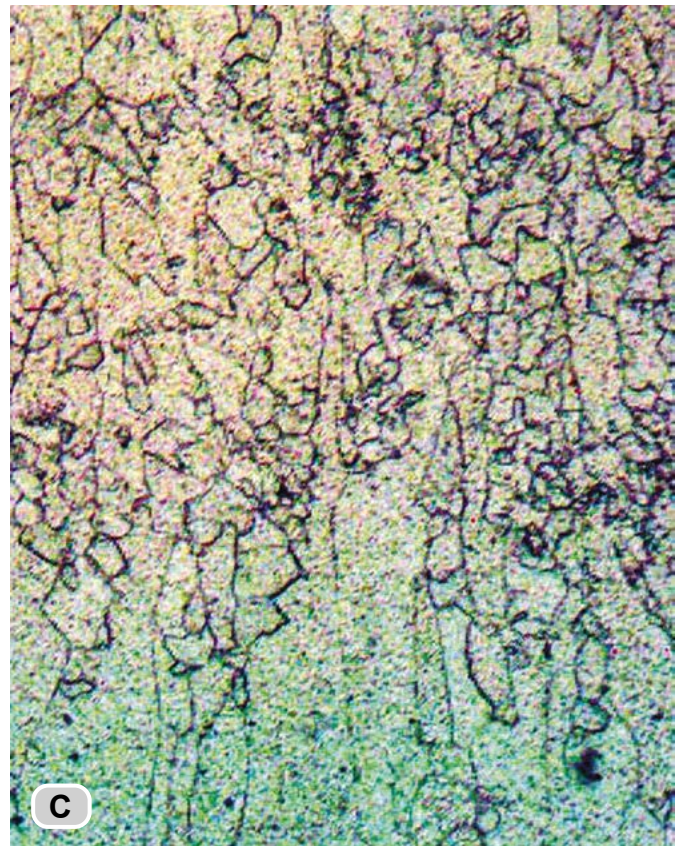
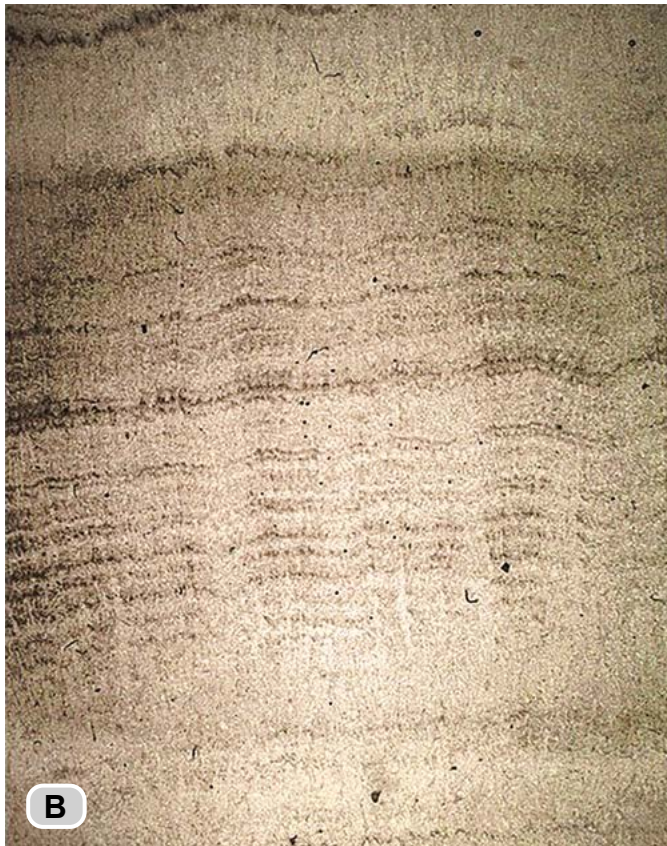
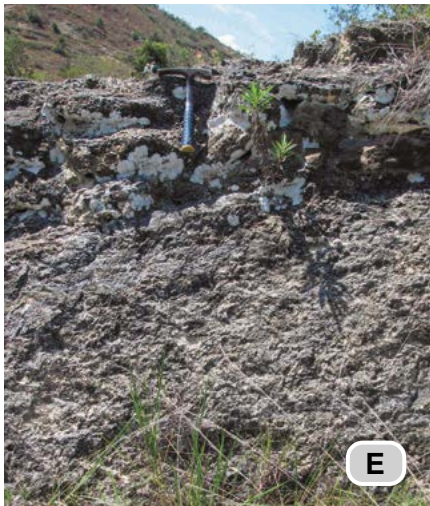


Figura 9B. (RT5584-Sapo 05) capa V. Imagen escáner de la superficie pulida de una muestra del paleoespeleotema de la fig. 9A. Esc. 1:2. Nótese la laminación festoneada (*scalloped lamination*). **Figura 9C.** Sección delgada del paleoespeleotema de la fig. 9A. Esc. 1.000 μm (Folk y Assereto 1976, figs.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

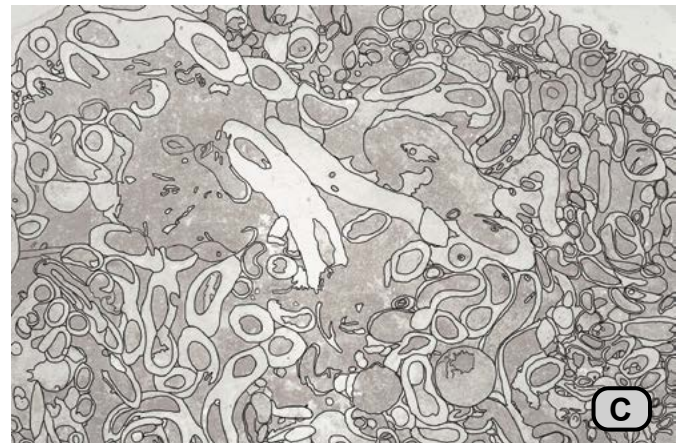
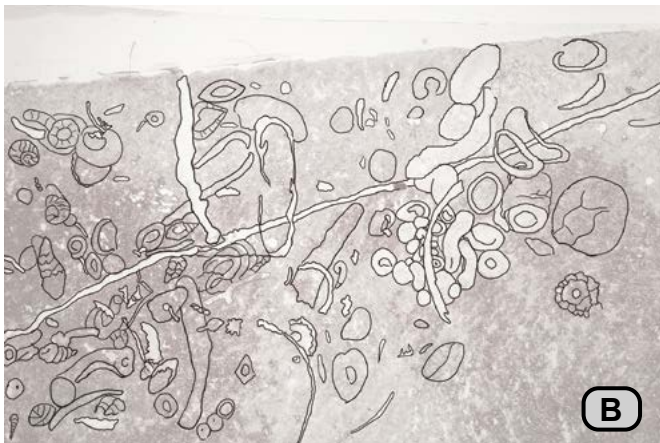
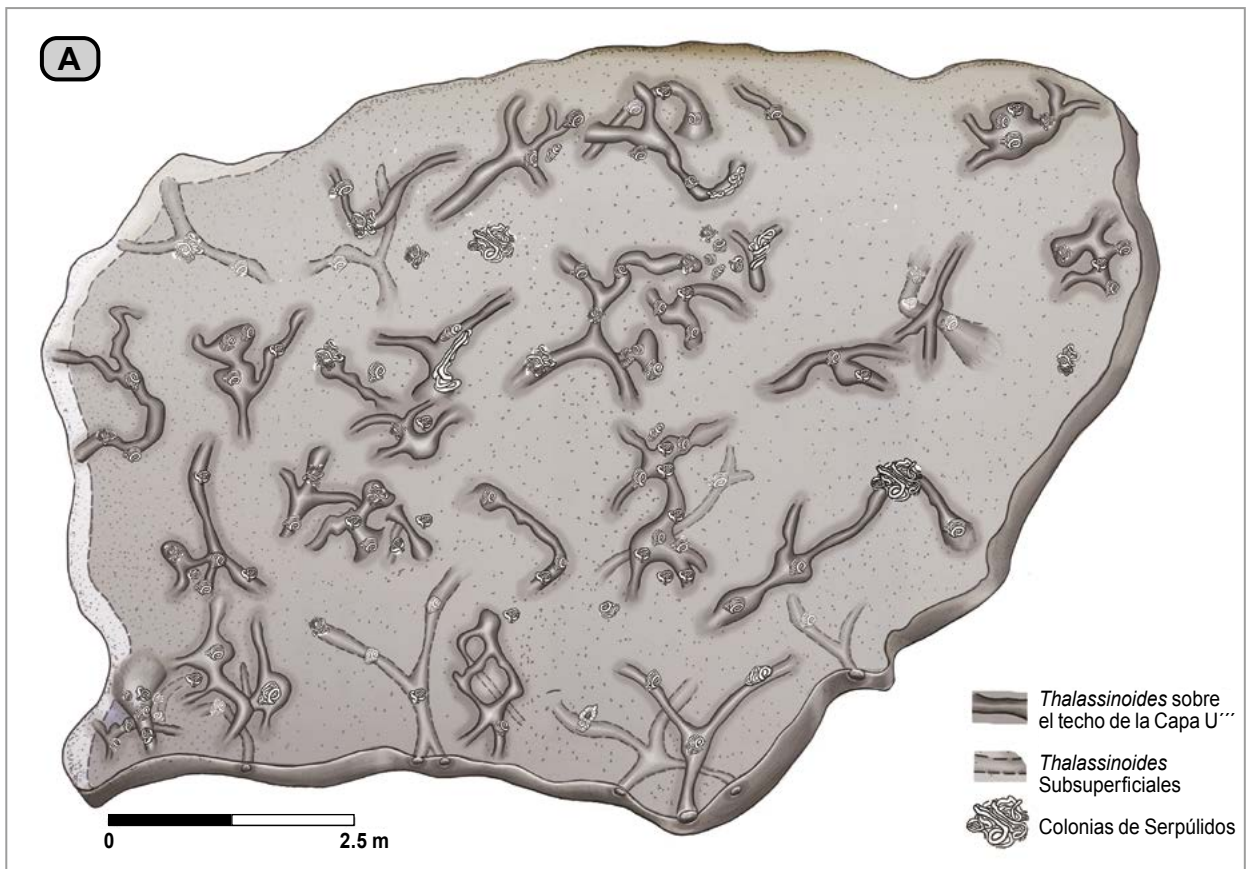


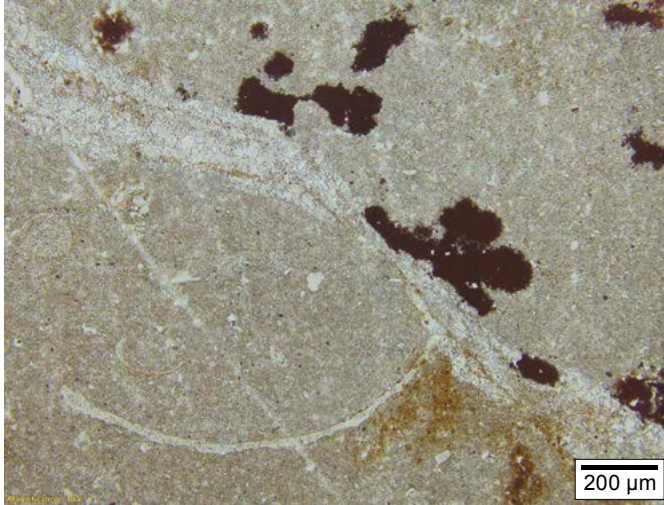
Figura 10A. (IGM36379). *Hardground* con *Thalassinoides* y serpúlidos, capa U''' (dibujo de terreno por GGO). Las figuras B y C ilustran los *boundstone* de serpúlidos en secciones verticales de las capas U''' y U'' (Ten Hove y Van den Hurk, 1993). Pellejos de acetato, escala 1 a 2 (B:IGM36379; C:IGM36378). 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%) (*Intramicrota ferruginosa-calcilita rudácea*); porosidad por fracturas (1%); aplastamiento de granos. Fragmentos de *Cerastostreon*, 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.

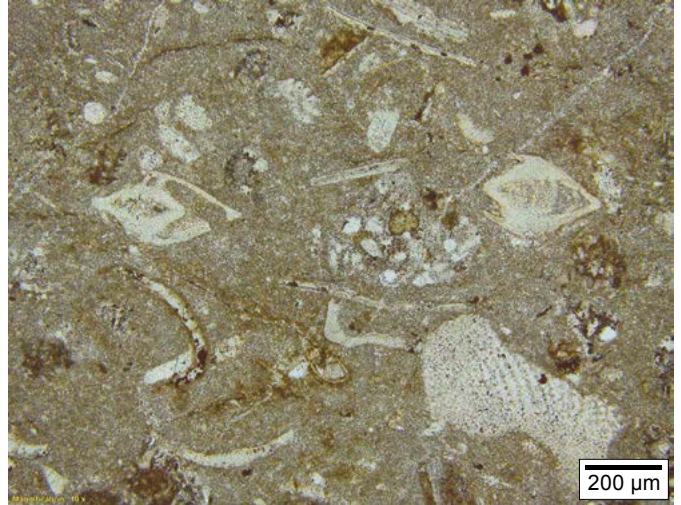
Capa U (IGM182270-IGM36375). *Wackestone*, localmente *boundstone* de colonias de serpúlidos (*Biomicrodita empaquetada*). *Hardground* de *Thalassinoides* que forman redes en mosaico poligonal. Color *pale yellowish orange* 10YR 8/5 y en mayor proporción *duky yellow* 5Y 6/4. Espesor: 0,3 m.

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

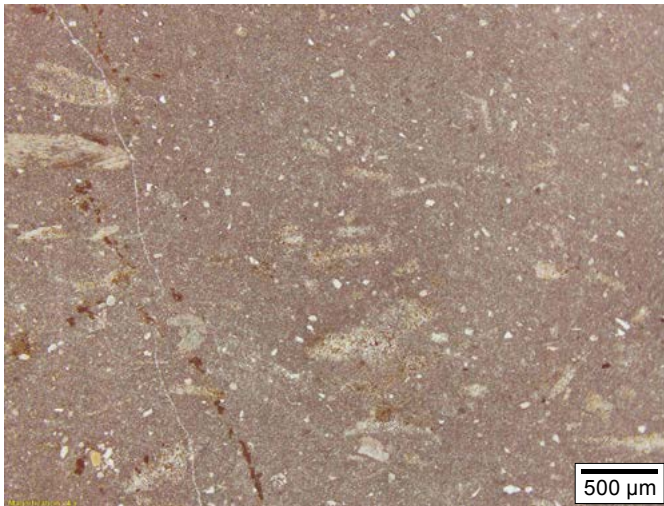
Lámina 2. Miembro Carrizal. Capas V, U^{IV}, U^{III}, U^{II}, U^I, T^{III}



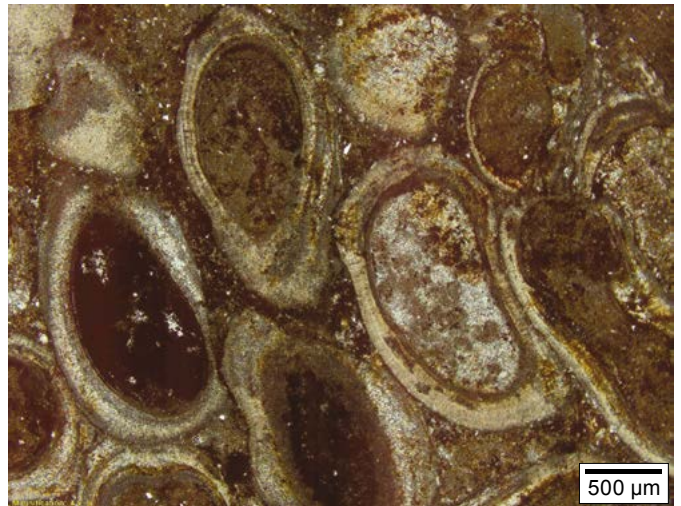
A. Capa V (uve) (||) IGM36381
Mudstone (*Micrita-Calculutita*). Esc. 200 µm



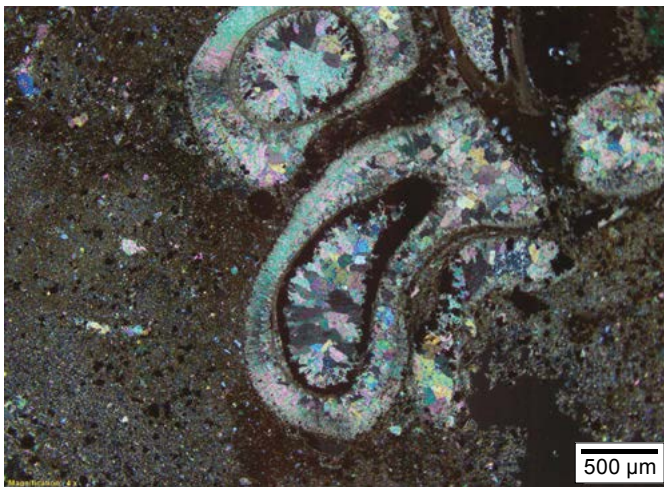
B. Capa U^{IV} (||) IGM36380
Wackestone (*Biomicrota-Calculutita arenosa*). Esc. 200 µm



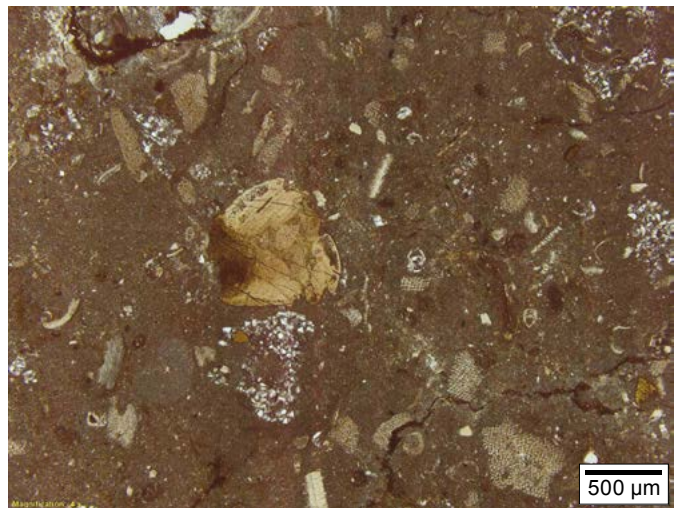
C. Capa U^{III} (||) IGM36379
Wackestone (*Biomicrota-Calculutita arenosa*). Esc. 500 µm



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 yellow* 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 yellow* 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**).

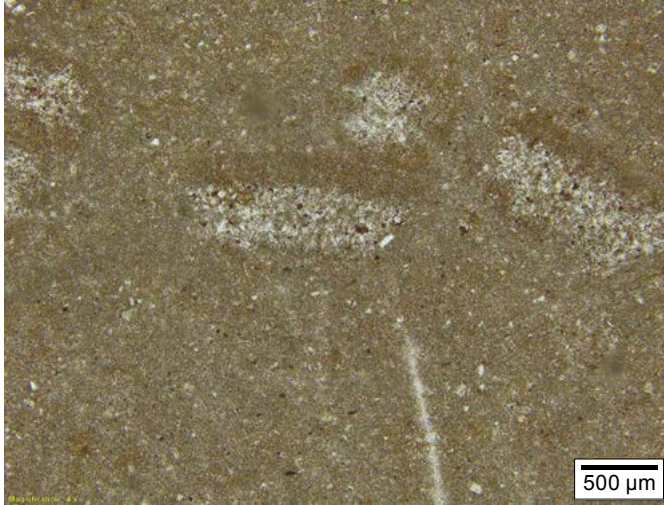
Capa S (RT5590). *Wackestone* con bivalvos, gasterópodos, foraminíferos aglutinantes y serpúlidos con textura limo hasta arena gruesa; fragmentos de filamentos de tapices microbianos; cuarzo con textura de limo en trazas; localmente se desarrolla dolomita microcristalina con textura de arena muy fina; 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 yellow* 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**).

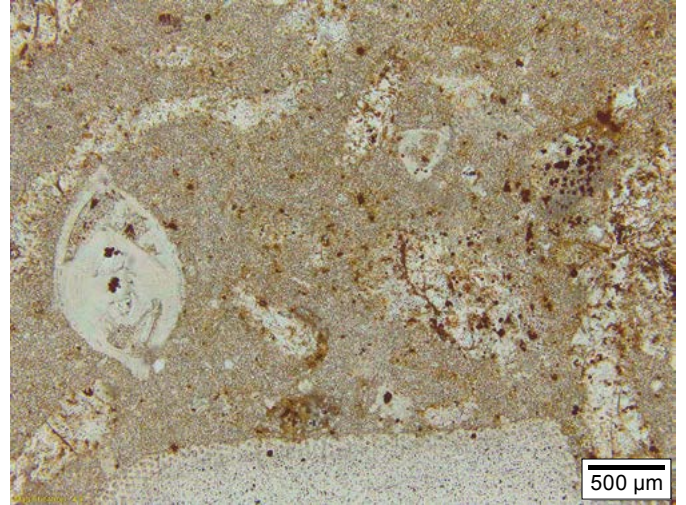
Capa R' (IGM183134). *Mudstone* con terrígenos con textura de arena fina; óxidos de hierro (*Micrita-calcilitita*). Un difractograma de arcillas en la muestra IGM 182284, de esta misma capa, dio el siguiente resultado: 5-15% de cuarzo; 15-30% calcita; 5-15% muscovita-illita; 50% amorfos. Biostroma de *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



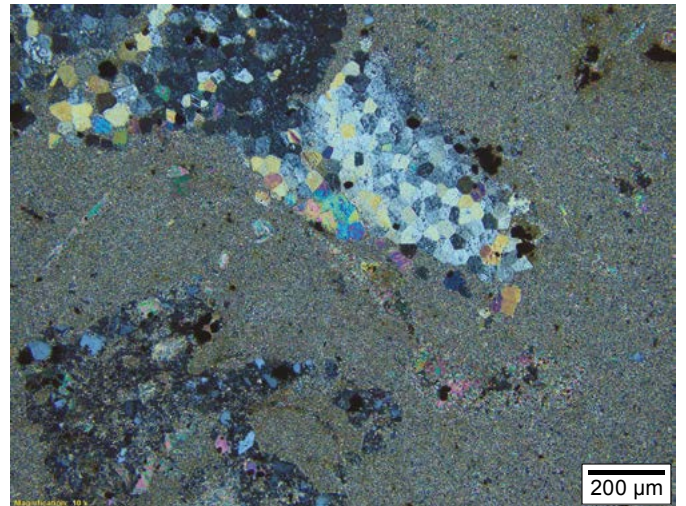
A. Tramo entre T'''- T'' (||) IGM36373
Mudstone (*Micrita-Calculutita*). Esc. 500 μm



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: *Selliithyris* 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.

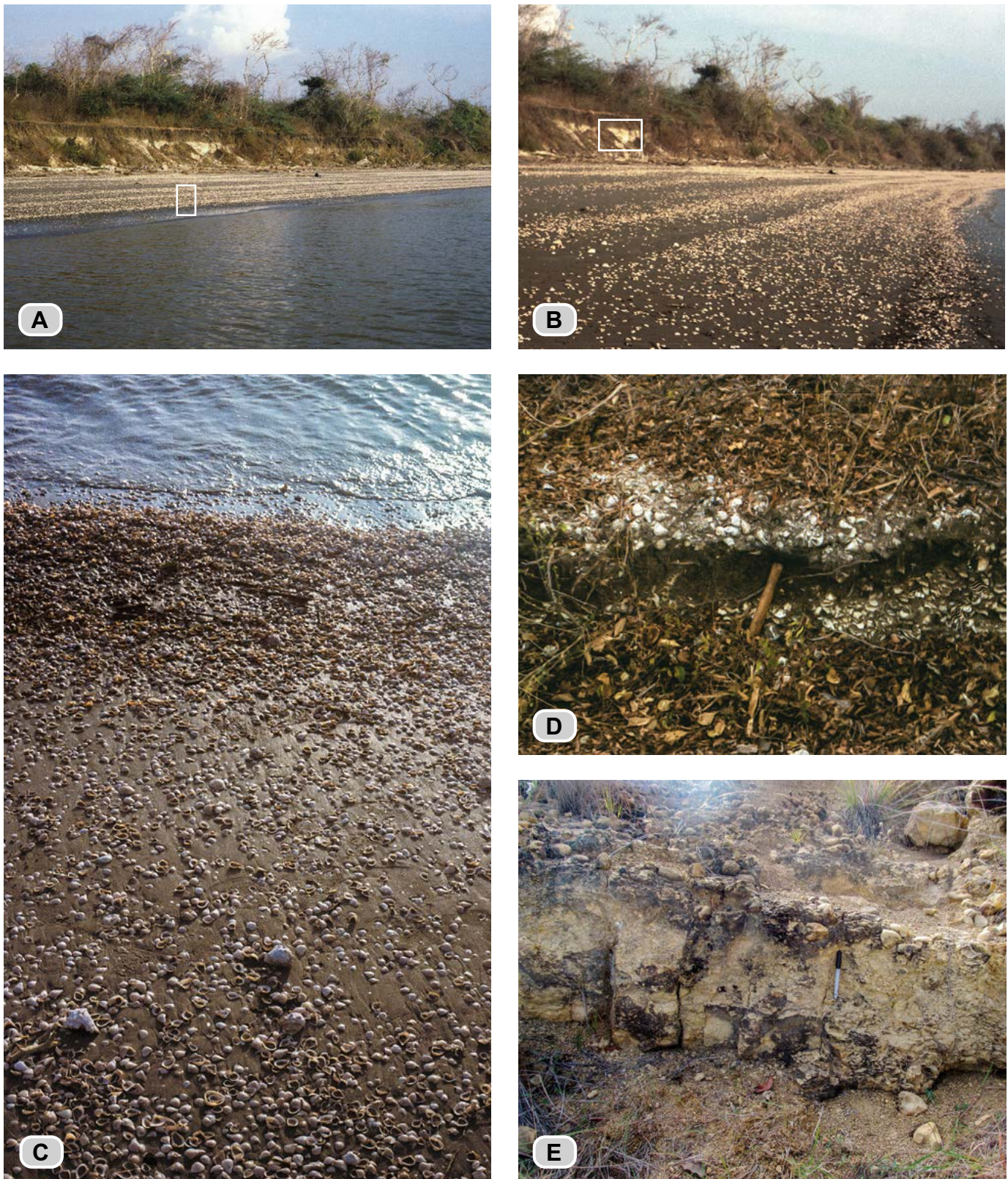


Figura 14. Fotografías de los concheros producidos por el mar de leva del 5 de marzo de 1986 en una playa al noreste de Cartagena. **A)** Nivel del mar en calma: en dirección al continente se observan los distintos niveles alcanzados por las olas de tormenta (recuadro vertical). **B)** Detalle de las 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



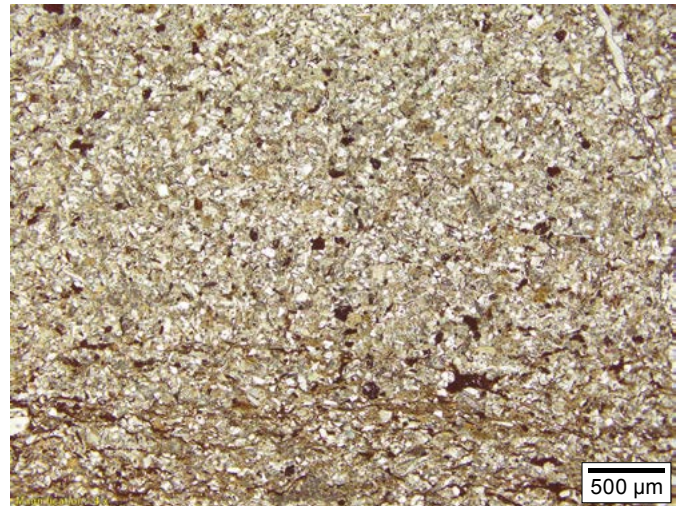
A. Capa Q'' (||) IGM36364
Mudstone (*Micrita ferruginosa-Calculutita*). Esc. 200 μm



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



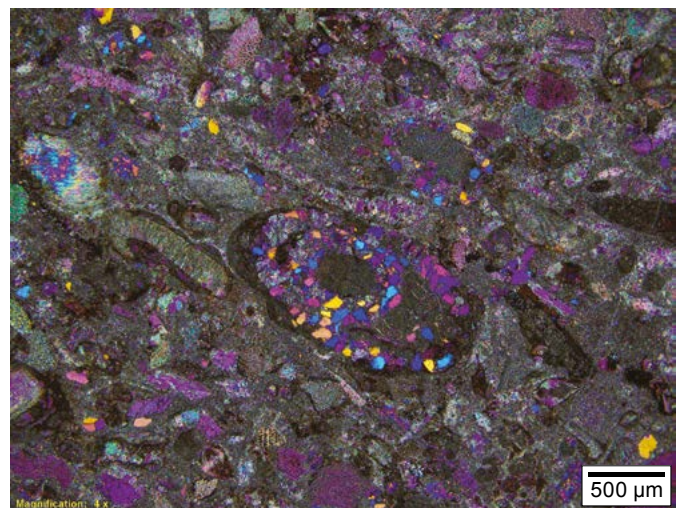
C. Capa Q techo (||) IGM36362
Wackestone (*Micrita-Calculutita arenosa*). Esc. 200 μm



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

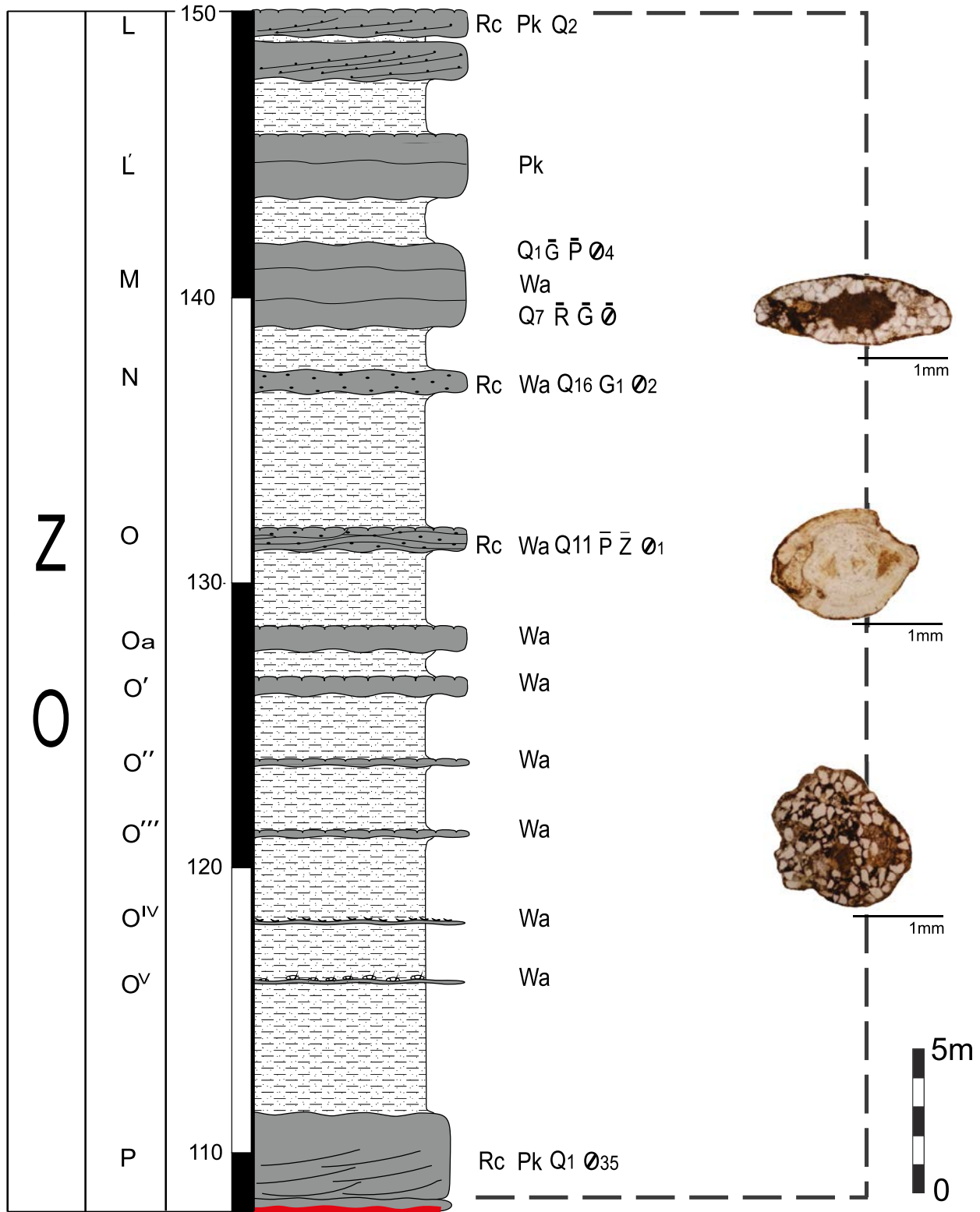


Figura 17. Miembro Zo (véanse los anexos 1.1 y 1.3). Ilustración: Marie Jöelle Giraud.

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.

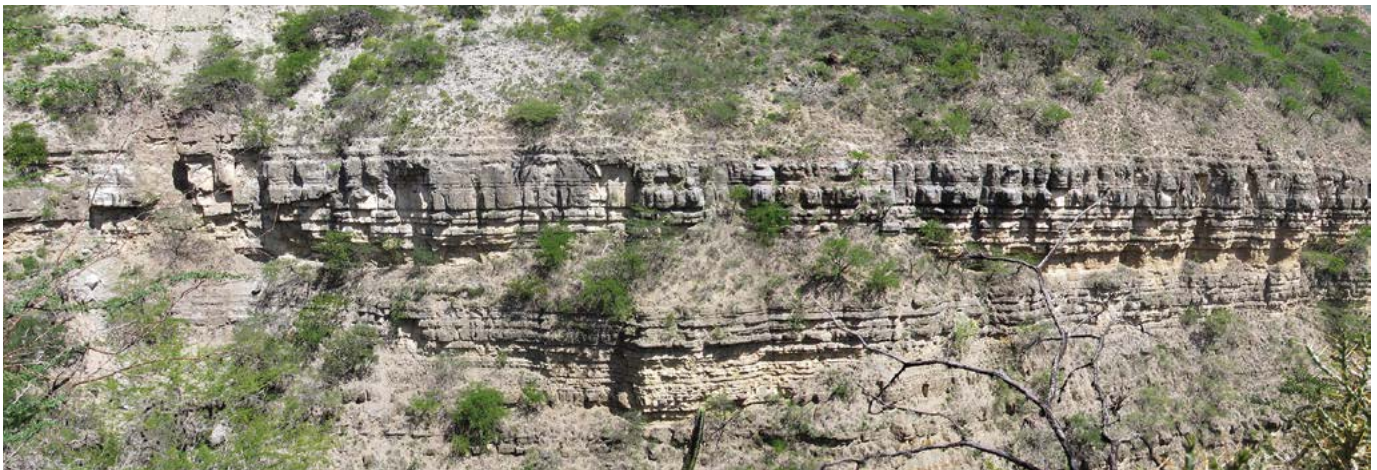


Figura 18B. Vista panorámica del contacto disconforme entre la capa P (base del Miembro Zo: banco superior en la fotografía) y las capas en forma de batea de la parte superior del Miembro Carrizal. Fotografía tomada desde un punto con coordenadas: N:1.242.018, E:1.095.174, elevación: 598 m, sobre el 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.

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 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.



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.

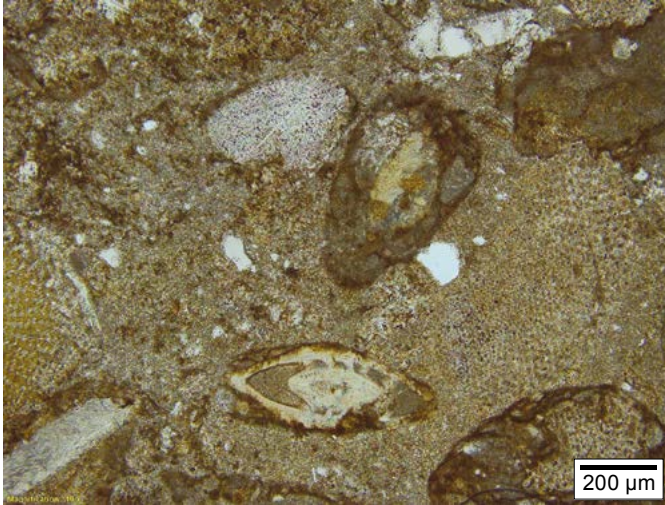
Capa L' (IGM182315). *Packstone*. *Hardground* muy compacto de *Thalassinoides* en enrejado amplio, casi imperceptibles hacia la base de la capa; placas y espinas de equinodermos y granos de cuarzo con textura de arena mediana. Color *medium gray* N5, *light brownish gray* 5YR 6/1. Espesor: 2,30 m.

Capa 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.

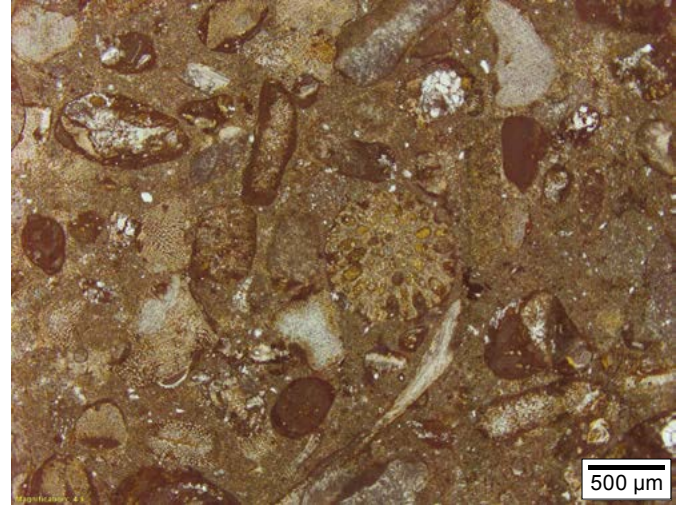


Figura 20. Afloramiento de caliza *packstone* perteneciente al Miembro Zo, con láminas inclinadas (Jansa 1975, fig.18B, 18C). Costado N carretera Zapatoa-Bucaramanga, quebrada del Palo. Coordenadas: N:1.247.287, E:1.090.806, elevación: 1586 m. Fotografía: Diana Montoya.

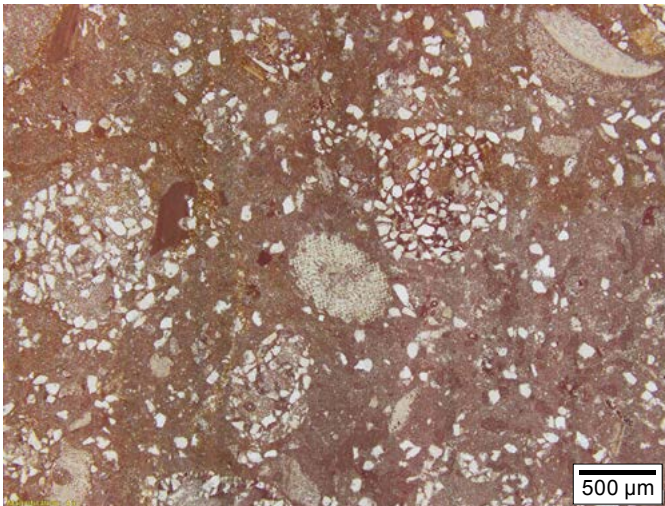
Lámina 5. Miembro Zo. Capas P, O, N, M, L



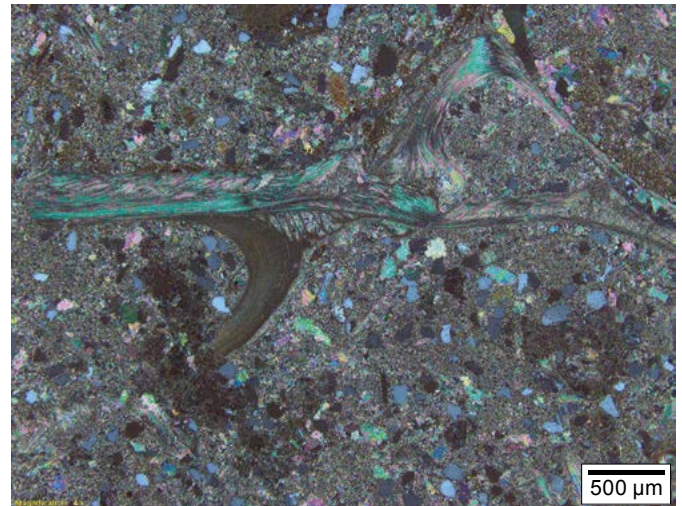
A. Capa P (II) IGM36358
Packstone (*Intrabiumicrita-Calcarenita gruesa*). Esc. 200 µm



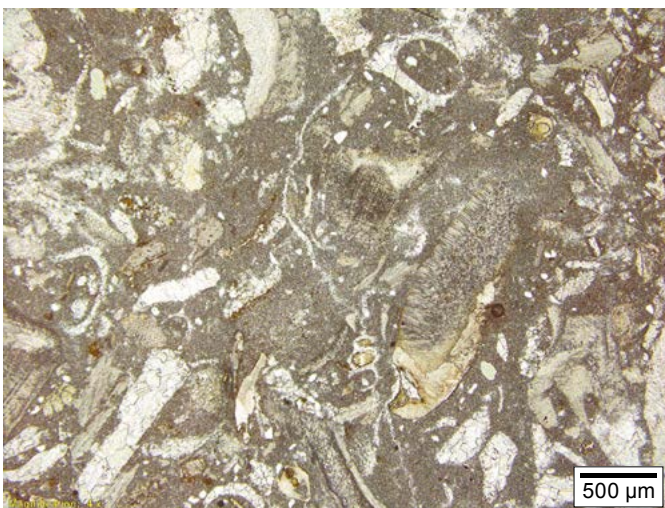
B. Capa P (II) IGM36358
Packstone (*Intrabiumicrita-Calcarenita gruesa*). Esc. 500 µm



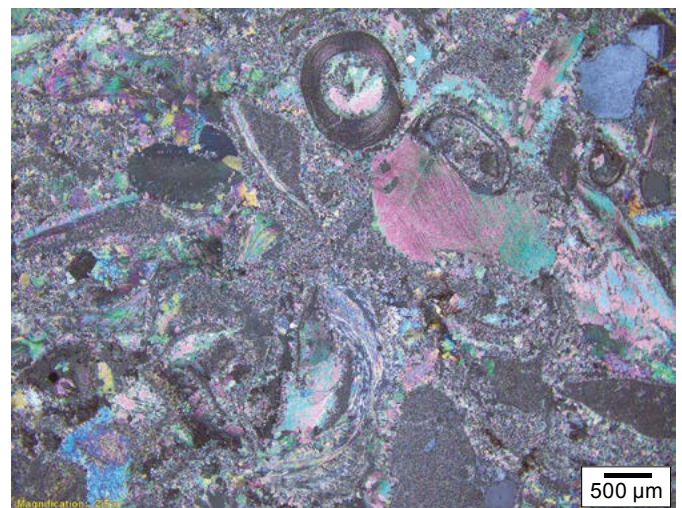
C. Capa O (II) IGM36357
Wackestone (*Biomicrita terrigena-Calculitita arenosa*). Esc. 500 µm



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



E. Capa M(base) (II) IGM36355
Wackestone (*Biomicrita-Calculitita 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).

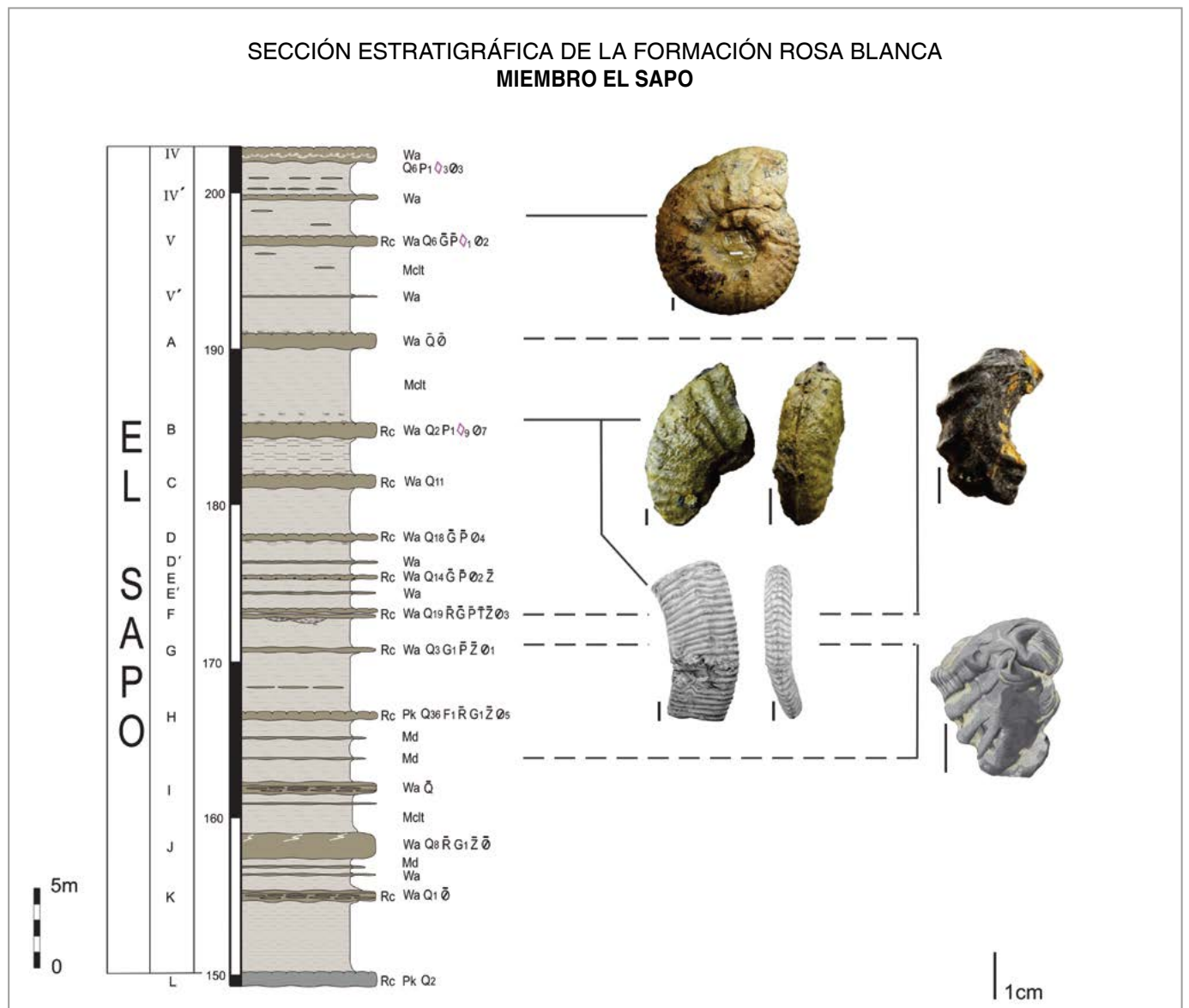


Figura 21. Miembro El Sapo (**anexos 1.1 y 1.3**). La amonita heteromorfa corresponde a *Shastrioceras? anglicum* (Doyle 1963). Para la identificación de los fósiles restantes ilustrados, ver lám. 11. Dibujo: Marie Jöelle Giraud.

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%) (*Biomcrita-calculutita 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%) (*Biomcrita-calculutita 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-calculutita 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%) (*Biomcrita terrígena-calculutita 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.

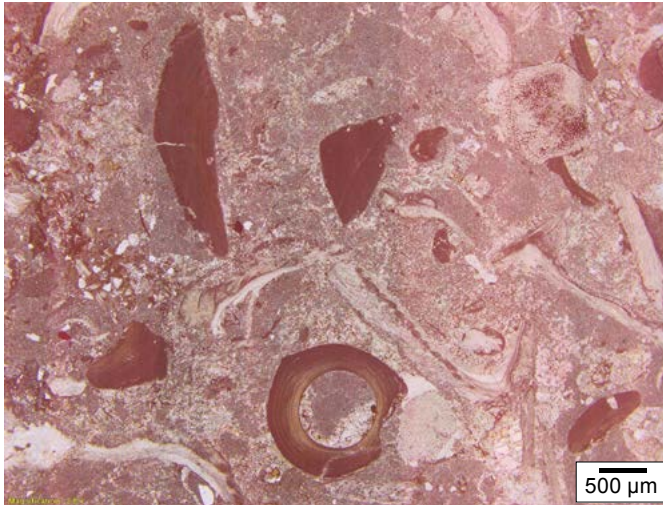
Capa E' (IGM183119). *Hardground* desarrollado sobre *Thalassinoides*; biostromas de *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) *sensu* Dietrich, 1938, con predominio de individuos de talla pequeña. Espesor: 0,1 m.

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%) (*Biomcrita terrígena-calculutita 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.

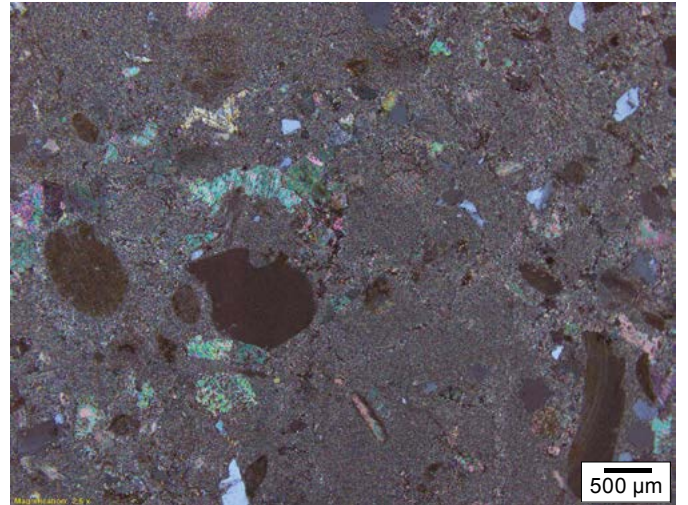
Capa D' (IGM182233). *Hardground* desarrollado sobre *Thalassinoides*. Espesor: 0,1 m.

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-

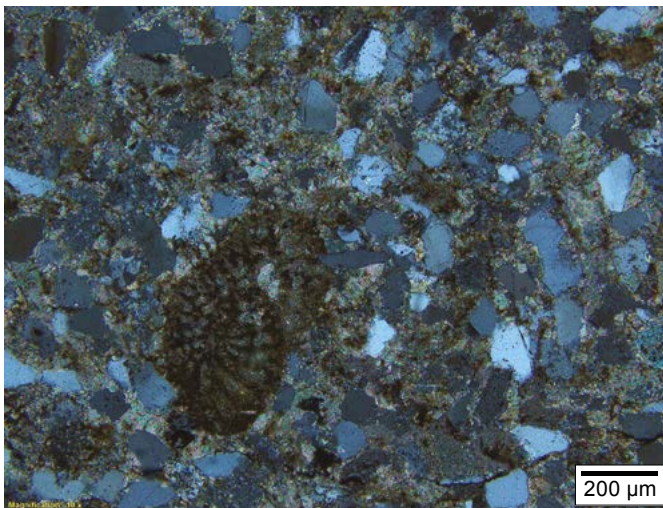
Lámina 6. Miembro El Sapo. Capas K, J, H, G, F, E



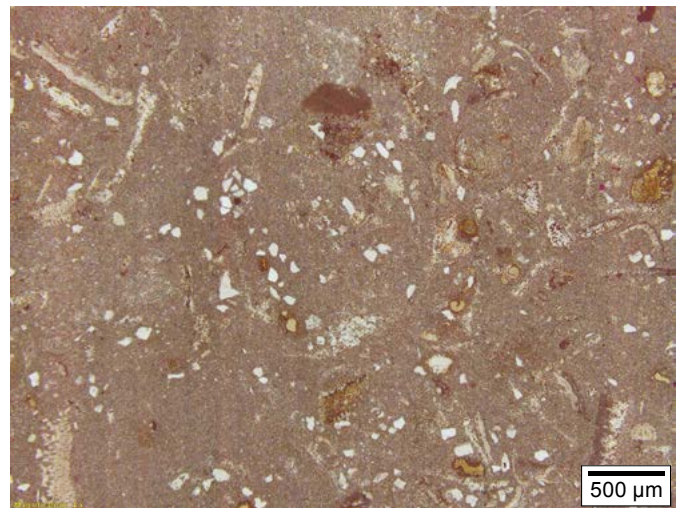
A. Capa K (||) IGM36352
Wackestone (*Biomicrota-Calculutita arenosa*) Esc. 500 µm



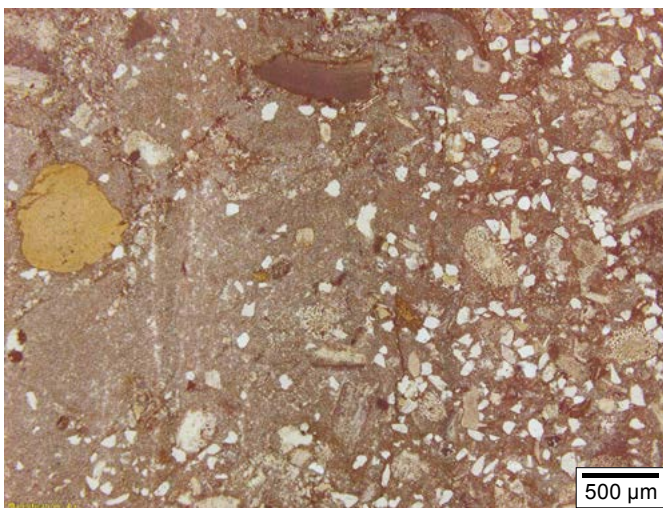
B. Capa J (X) IGM36351
Wackestone (*Biomicrota-Calculutita arenosa*) Esc. 500 µm



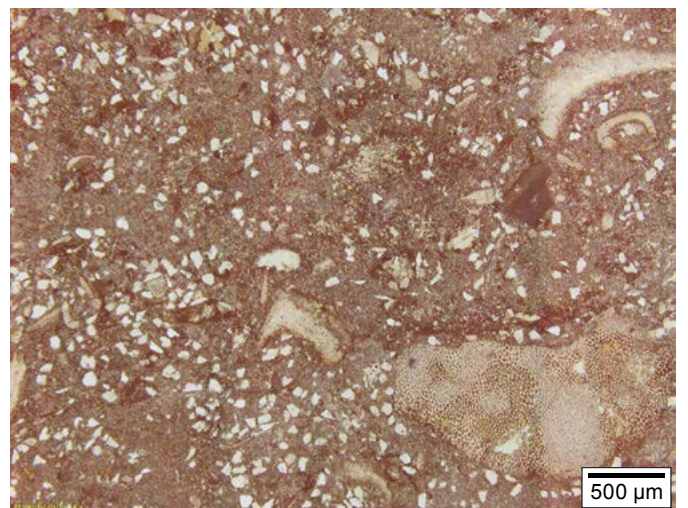
C. Capa H (X) IGM36349
Packstone (*Micrita terrígena-Calcarenita fina*) Esc. 200 µm



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.

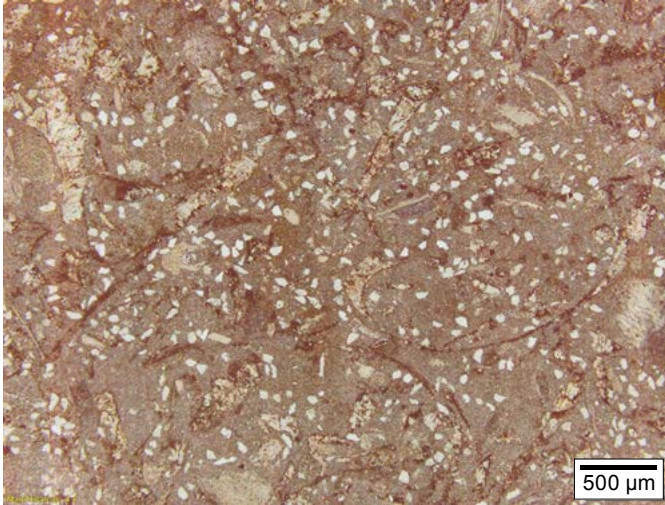
Capa IV (IGM36341 base). *Wackestone* con fragmentos de bivalvos, equinodermos, foraminíferos porcelanáceos y serpúli-

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.

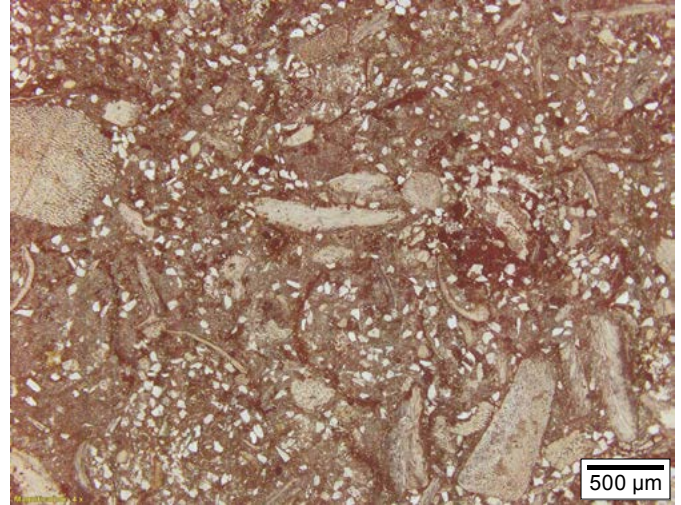
Capa IV, parte media. Biostroma de *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) sensu Dietrich, 1938, pequeños. Color *medium dark gray* N4 a *medium gray* N5 con manchas de color *yellowish gray* 5Y 7/2. Espesor: 0,7 m.

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.

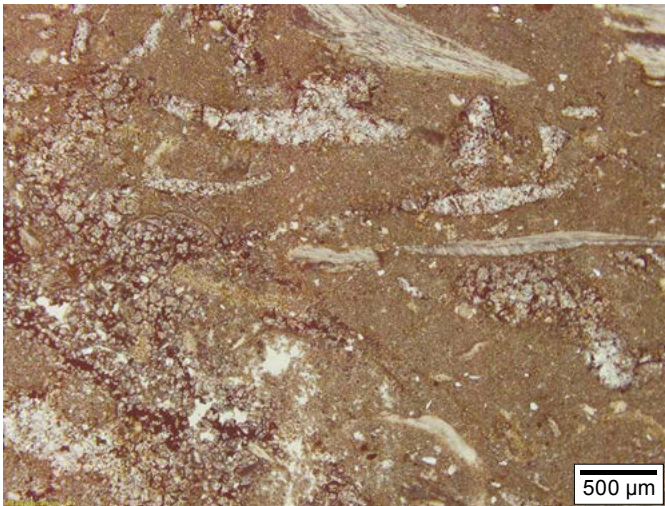
Lámina 7. Miembro El Sapo. Capas D, C, B, V, IV



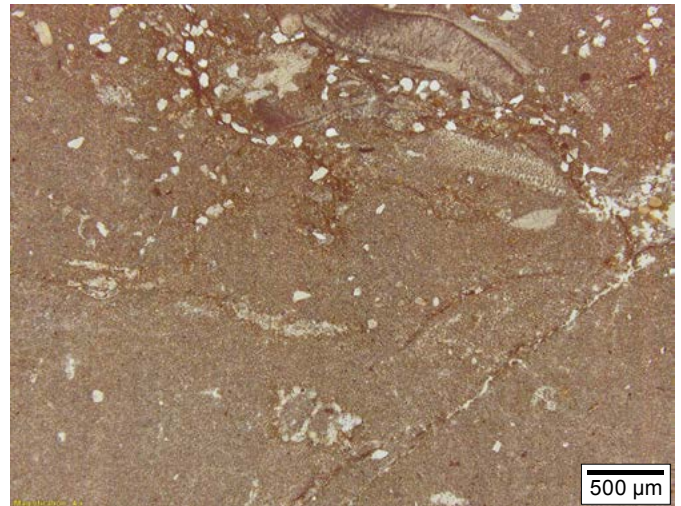
A. Capa D (||) IGM36345
Wackestone (*Biomicrota terrígena-Calculutita arenosa*). Esc. 500 μm



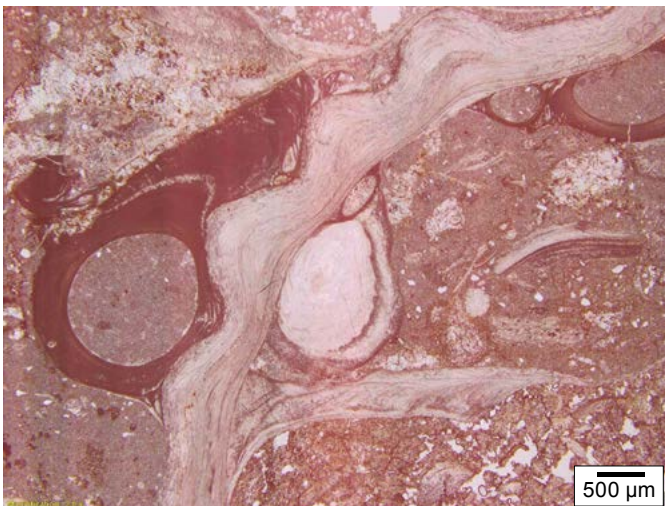
B. Capa C (||) IGM36344
Wackestone (*Biomicrota terrígena-Calcirrudita*). Esc. 500 μm



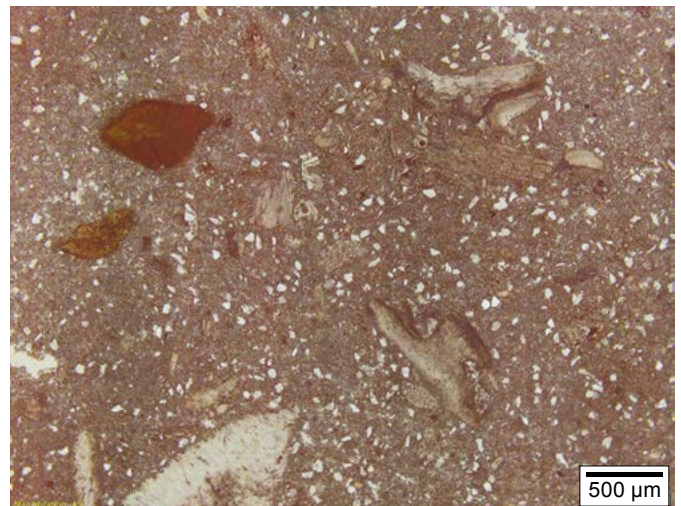
C. Capa B (||) IGM36343
Wackestone (*Dolobiomicrota-Calculutita arenosa*). Esc. 500 μm



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



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



F. Capa IV (techo) (||) IGM36339
Wackestone (*Biomicrota-Calculutita 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

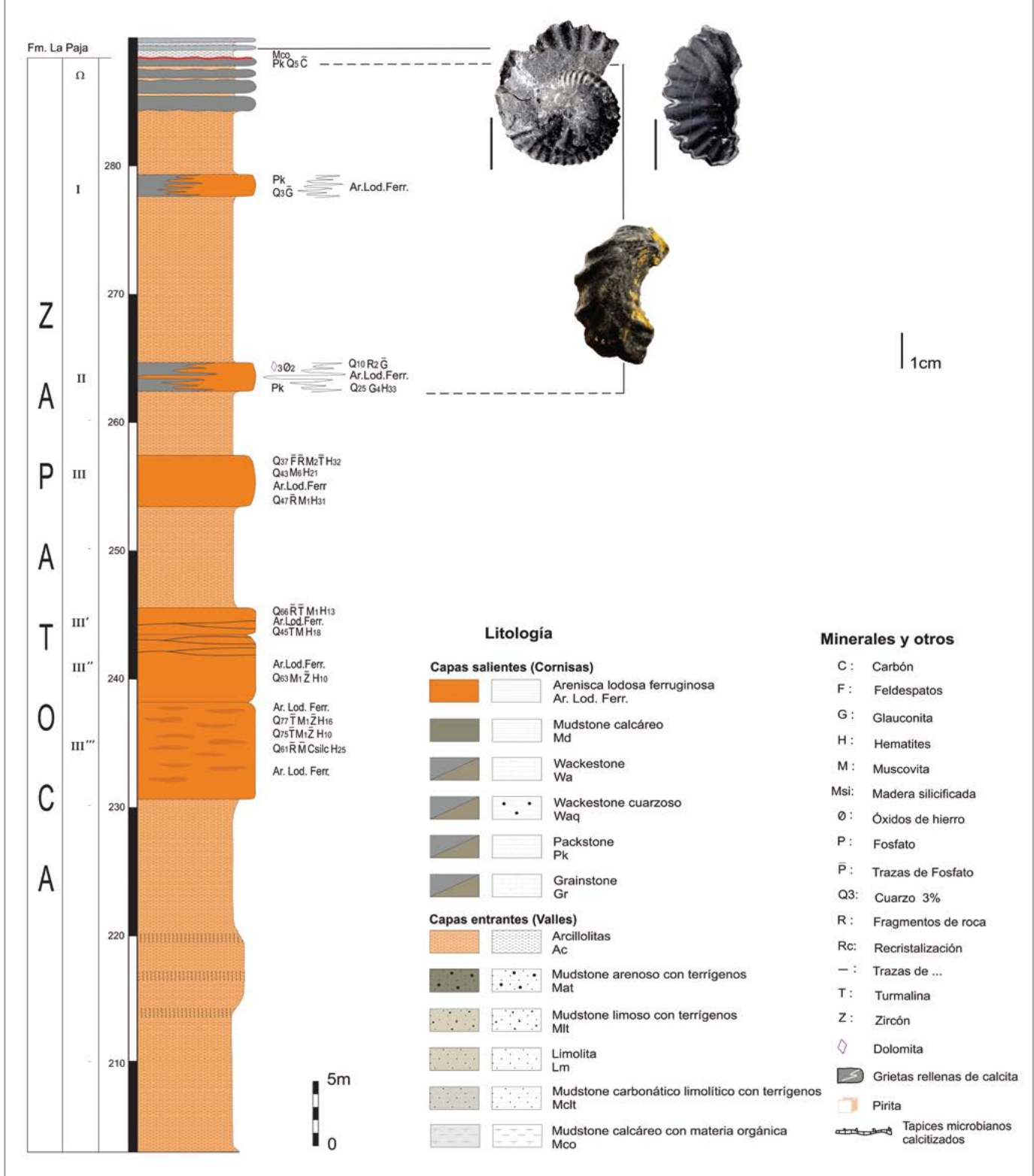
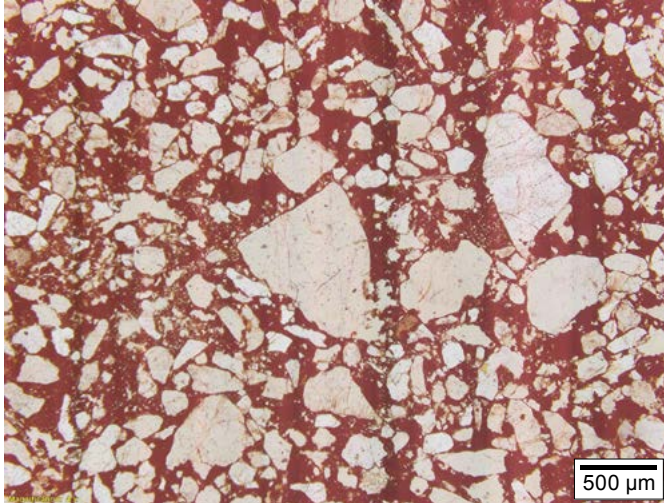
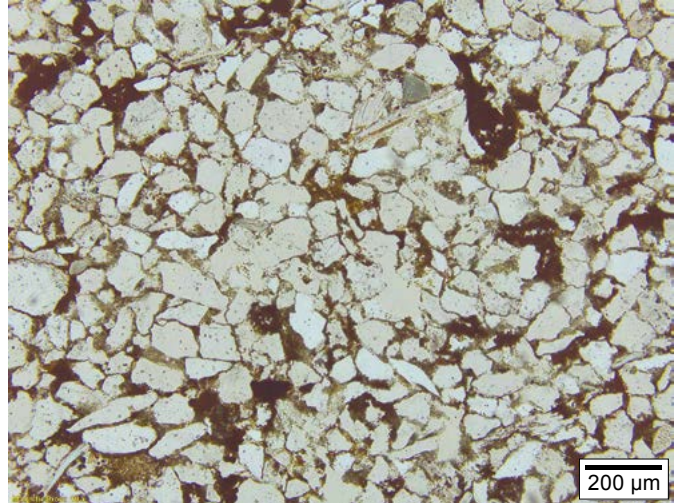


Figura 24. Miembro Zapatoca (anexos 1.1 y 1.3). Ilustración: Marie Jöelle Giraud.

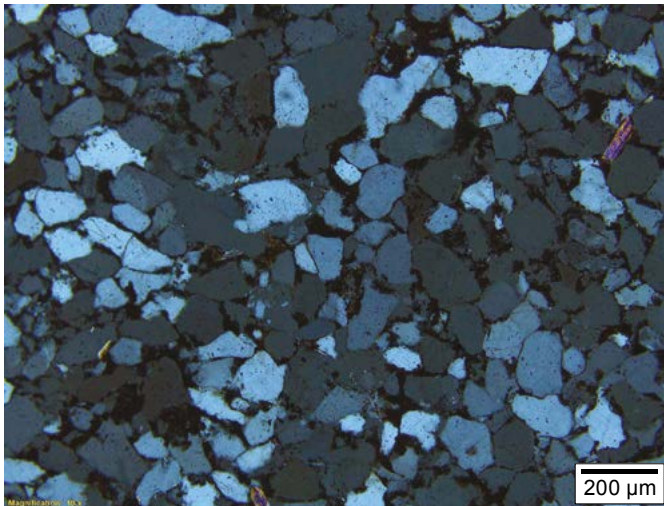
Lámina 8. Miembro Zapatocha. Capas III''', III'', III'



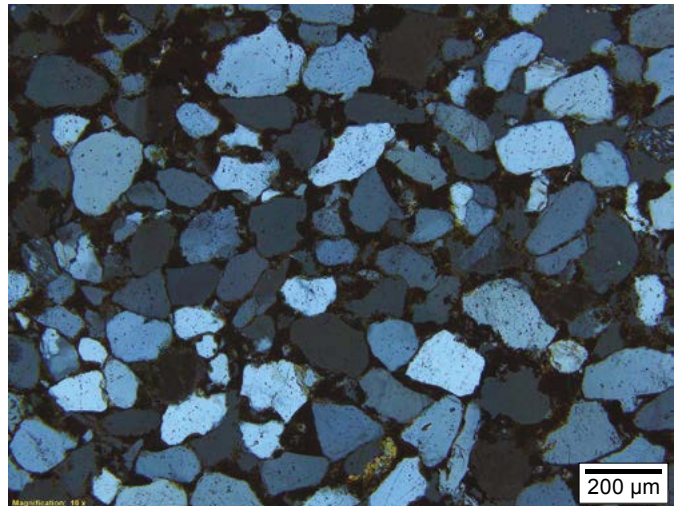
A. Capa III''' (base) (II) IGM183150
Arenisca lodosa. Esc. 500 µm



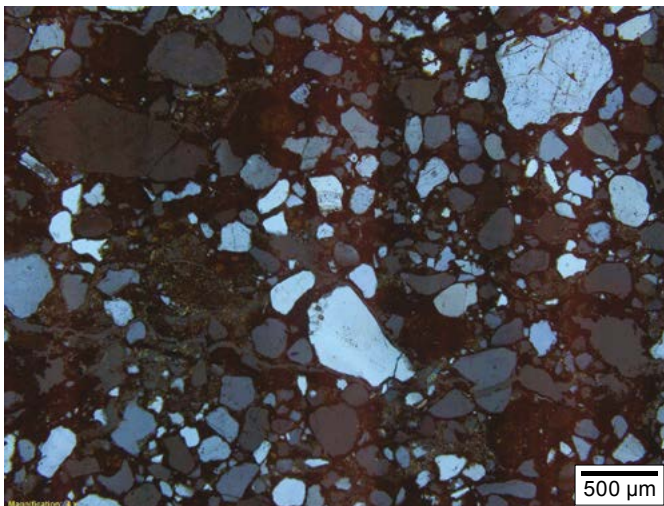
B. Capa III''' (II) IGM183149/5
Arenisca lodosa ferruginosa. Esc. 200 µm



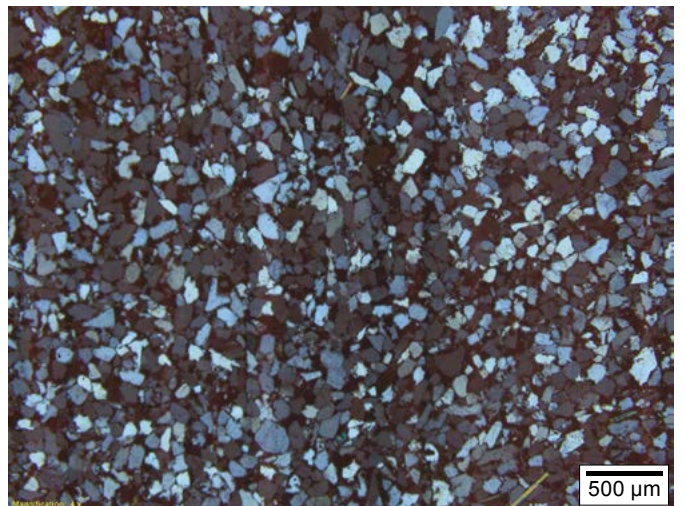
C. Capa III''' (X) IGM183149/4
Arenisca ferruginosa. Esc. 200 µm



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 *Thalassinoidea* 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.

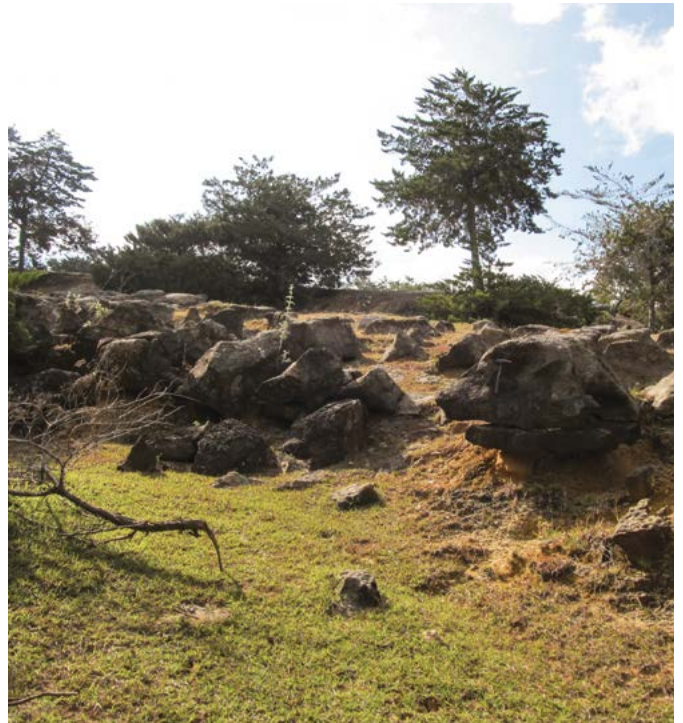
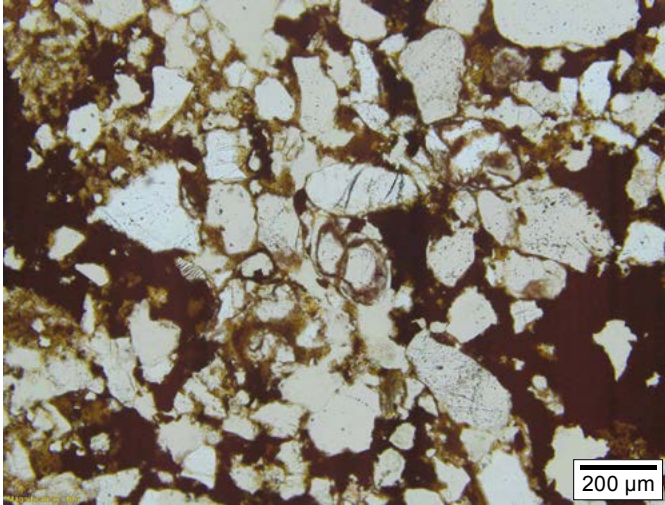


Figura 27. Techo del Miembro Zapatocha: capa Ω (Llano de Gallos). **Packstone** con *Ceratostreon boussingaultii* (ORBIGNY, 1842) *sensu* Dietrich, 1938. Fotografía: Adrián Pérez.

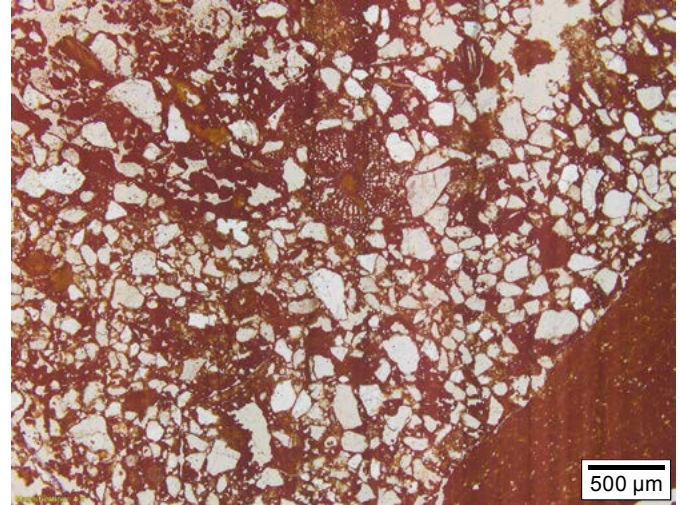


Figura 28. Contacto entre la Formación Rosa Blanca —piso— y la Formación La Paja —pared—. Coordenadas: N:1.243.523, E:1.099.110, elevación: 892 m. Fotografía: Diana Montoya.

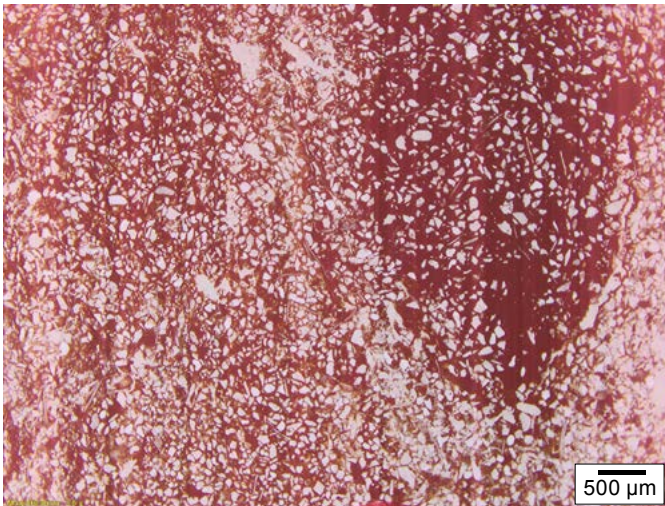
Lámina 9. Miembro Zapatoaca. Capas III, II



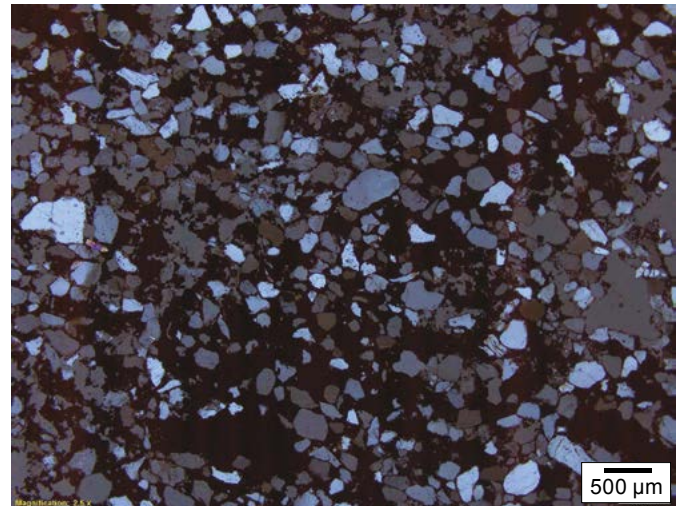
A. Capa III (base) (||) IGM183146/4
Arenisca lodosa ferruginosa. Esc. 200 μm



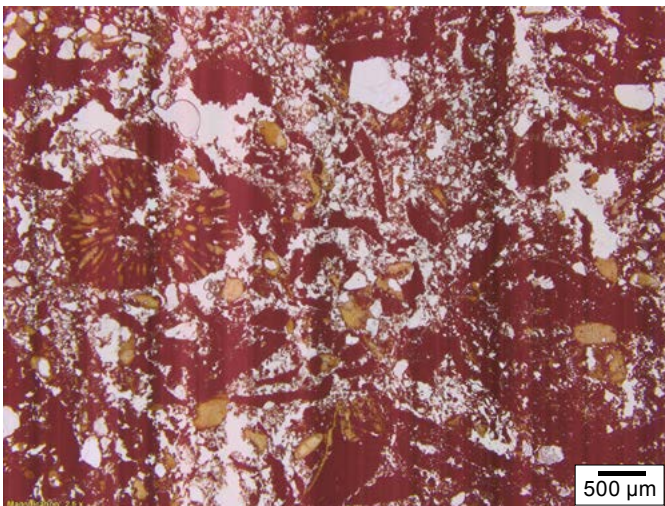
B. Capa III (base) (||) IGM183146/3
Arenisca lodosa ferruginosa. Esc. 500 μm



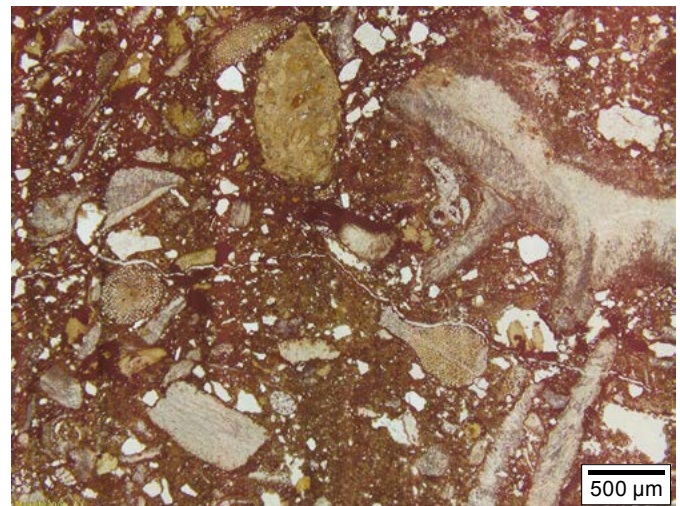
C. Capa III (base parte media) (||) IGM183146/2
Arenisca lodosa ferruginosa. Esc. 500 μm



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

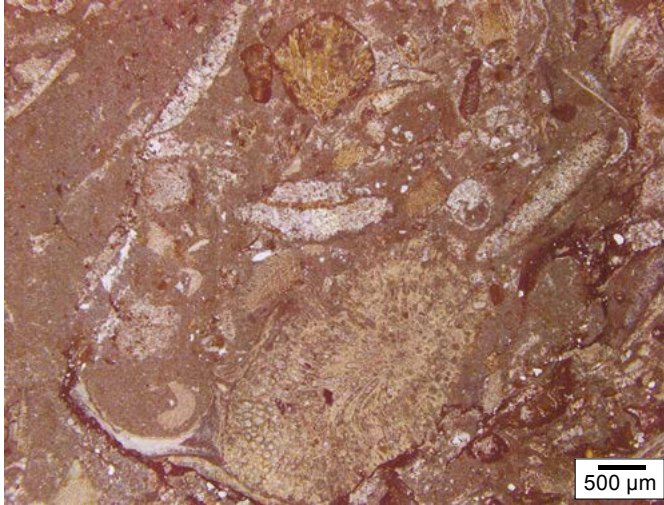


E. Capa II (facies arenosa) (||) IGM183144/2
Arenisca lodosa ferruginosa. Esc. 500 μm

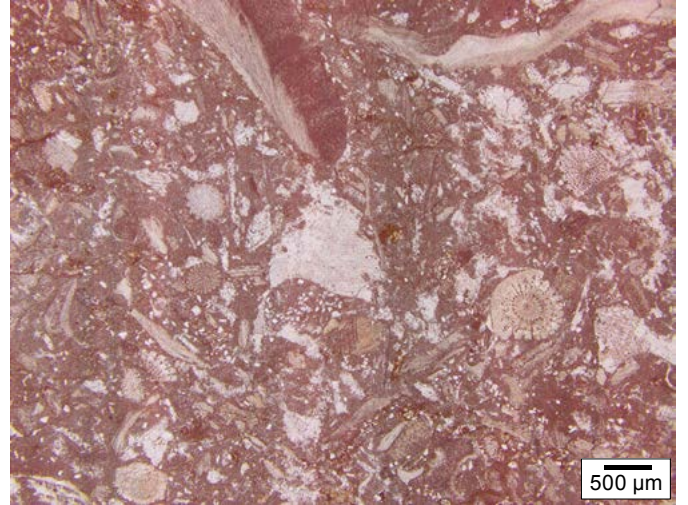


F. Capa II (facies calcárea) (||) IGM36337
Packstone (Biointramicrita terrígena-Calcirrudita fina). Esc. 500 μm

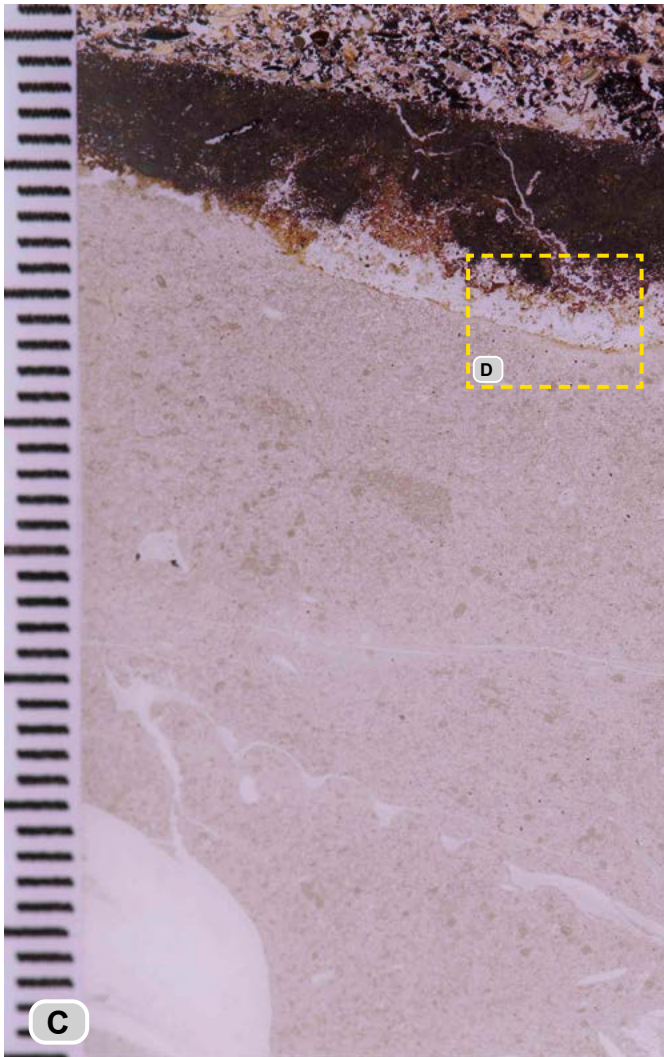
Lámina 10. Miembro Zapatoca. Capas I y Ω



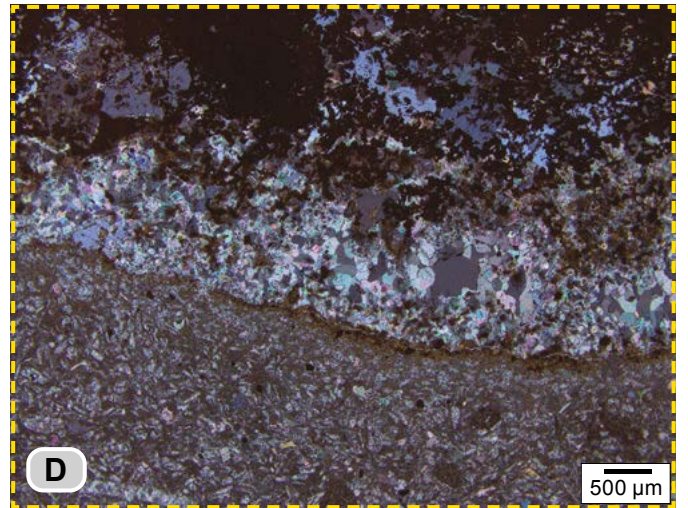
A. Capa I (techo) (||) IGM183143/2
Packstone (*Biointramicrita*-*Calcirrudita mediana*). Esc. 500 μ m



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



C



D

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



E

500 μ m

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 cronoestratigráfico 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 redépósito 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 *Terebratula 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

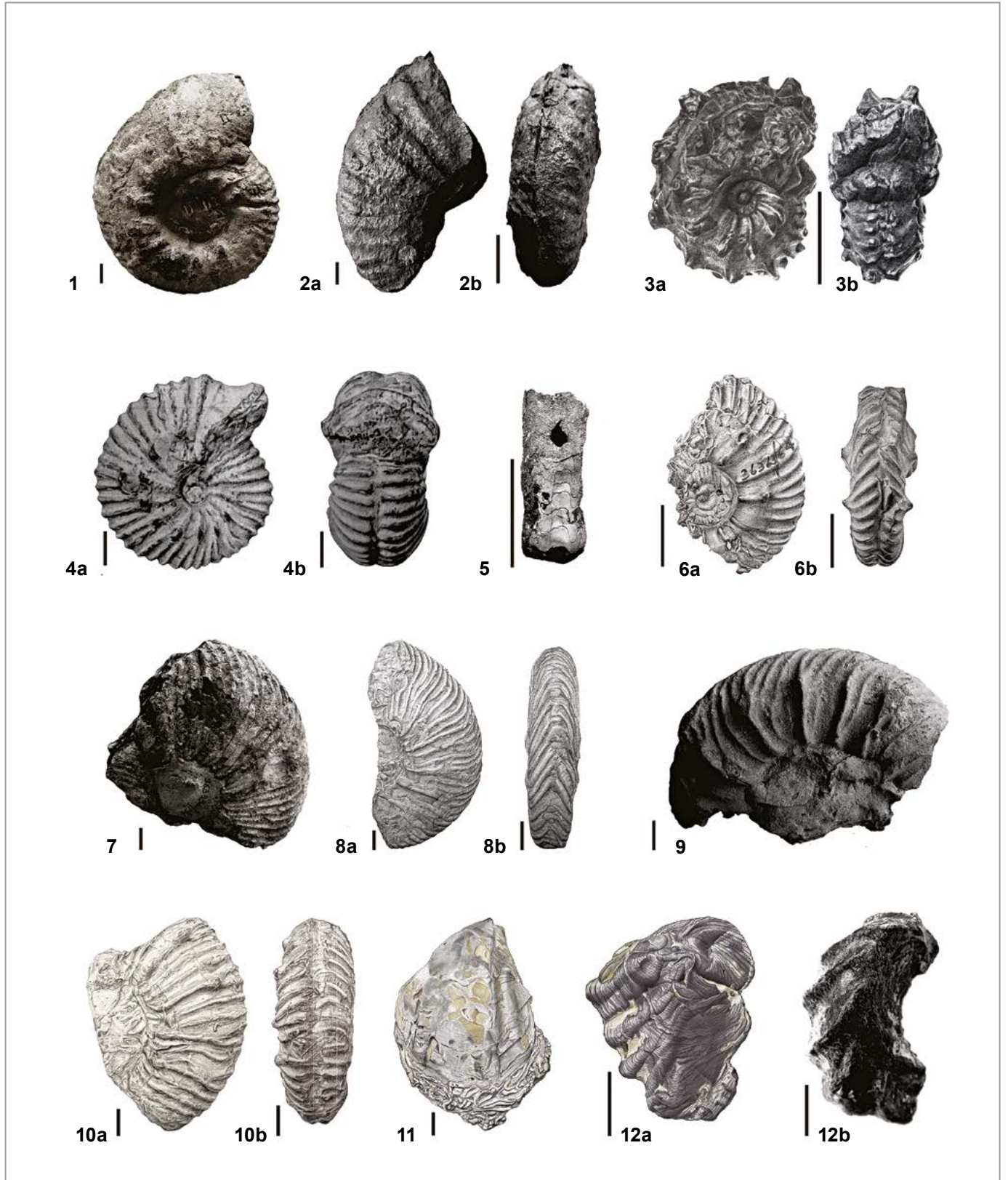


Lámina 11. 1) *Olcostephanus boussingaultii* (ORBIGNY, 1842). 2) *Oosterella colombiana* (HAAS, 1960). 3) *Saynoceras verrucosum* (ORBIGNY, 1841). 4) *Santafecites santafecinus* (ORBIGNY, 1842). 5) *Bochianites kiliani* (TURNER, 1962). 6) *Acantholissonia colombiana* (LEANZA, 1972). 7) *Lissonia riveroi* (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.