



**“Formación La Luna”: expresión espuria
en la geología colombiana**

*Somebody must touch the rock with geological
hammer and combine his knowledge
with what he sees*

Stanislaw Ostaficzuk

Portadilla: Capas basales de la Formación La Renta en la cabecera de la quebrada Aguablanca.
N:1.279.687, E:1.084.263, Z: 358

Citación: Terraza Melo, Roberto. 2019. "Formación La Luna: expresión espuria en la geología colombiana". En *Estudios geológicos y paleontológicos sobre el Cretácico en la región del embalse del río Sogamoso, Valle Medio del Magdalena*, dirección científica y edición de Fernando Etayo-Serna. Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia vol. XXIII. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

A b s t r a c t

The Hidrosogamoso Project in the Middle Magdalena Valley (around El Tablazo) presents upper Cretaceous strata refer as "La Luna Formation" (Morales and The Colombian Petroleum Industry 1958, 653-655) composed from base to top by the Salada, Pujamana, Galembó and La Renta formations. The contact with the underlying El Salto Formation is conformable, and with the overlying Umir Formation is disconformable (*sensu* Howe 1997, 135). The thickness of the stratigraphic interval is 316 m in the Aguablanca creek section, of which 118 m are from the Salada Formation, 57 m from the Pujamana Formation, 96 m from the Galembó Formation and 45 m from the La Renta Formation. In the Montebello ranch stratigraphic section, the measured thickness is 304 m, with 111 m (incomplete) for the Pujamana Formation, 177 m (incomplete) for the Galembó Formation and 16 m (incomplete) for the La Renta Formation; the Salada Formation and the lower part of the Pujamana Formation do not appear there; furthermore, the La Renta Formation is faulted and folded, and only the base was measured (16 m), but 693 m from the end of the section by the road to Montebello ranch in a monocline at the west flank of the Chucurí anticline, a measure track adds 61 m by which the La Renta Formation would have at least a thickness of 77 m. The thickening in the Pujamana, Galembó and La Renta formations in the Montebello stratigraphic section is explained by means of higher rates of tectonic subsidence and sediment supply in this area, related to normal faulting affecting the sedimentation in the Middle Magdalena Valley and the Hidrosogamoso project area.

A new lithostratigraphic unit for the Middle Magdalena Valley it is formally proposed and is called the Formación La Renta, characterized by his phosphorite content and fino-granular siliceous rocks, with local concentrations of benthic foraminifera of the *Siphogenerinoides* genera.

“Formación La Luna”: expresión espuria en la geología colombiana

Roberto Terraza Melo

5

RESUMEN

En el proyecto Hidrosogamoso del Valle Medio del Magdalena (sector del Tablazo y sus alrededores), el Cretácico superior correspondiente a la denominada “Formación La Luna” está compuesto de base a techo por las Formaciones Salada, Pujamana, Galembo y La Renta. El contacto geológico con la Formación El Salto infrayacente es concordante, y con la Formación Umir suprayacente es disconforme. El espesor de este intervalo estratigráfico es de 316 m en la sección estratigráfica por la quebrada Aguablanca, de los cuales 118 m corresponden a la Formación Salada, 57 m a la Formación Pujamana, 96 m a la Formación Galembo y 45 m a la Formación La Renta. En la sección estratigráfica de la hacienda Montebello el espesor medido fue de 304 m, con 111 m (incompleto) para la Formación Pujamana, 177 m para la Formación Galembo y 16 m (incompleto) para la Formación La Renta; allí no aflora la Formación Salada ni la parte más baja de la Formación Pujamana; además, la Formación La Renta está fallada y plegada, por lo cual solo se levantó la base; sin embargo, a 693 m de distancia del punto de finalización de la sección, por la vía que conduce a la hacienda Montebello, sobre un monoclin que pertenece al flanco occidental del anticlinal de Chucurí, se midió mediante poligonal un espesor de 61 m adicionales, por lo cual la Formación La Renta tendría por lo menos 77 m de espesor. El engrosamiento de las Formaciones Pujamana, Galembo y La Renta en la sección estratigráfica de Montebello se explica por una tasa mayor de subsidencia tectónica y aporte sedimentario hacia este sector, relacionada posiblemente con el movimiento de fallas normales que afectaron la sedimentación en la región del Valle Medio del Magdalena y zona del proyecto Hidrosogamoso.

La Formación Salada, en su parte inferior, es de calizas con textura *wackestone* (biomicrita rala) y *mudstone* calcáreo (micrita), de color negro, con abundante materia orgánica, arcillosas, compactas, con estratificación y laminación plana paralela bien desarrollada, y niveles de grandes concreciones micríticas de tamaño métrico hasta decimétrico hacia la parte baja de la formación; en el resto de la unidad las concreciones son centimétricas generalmente, y algunas contienen abundante pirita. Su parte superior es de *mudstone* terrígeno (lodolita) de color gris oscuro a negro, calcáreo a levemente calcáreo y no calcáreo, compacto, bien estratificado y laminado de forma plana paralela, con partición hojosa (*papery*), que le da un aspecto característico a la roca sedimentaria. El espesor de las capas es centimétrico generalmente, internamente finamente laminadas. Son comunes impresiones de amonitas y lamelibranquios (*Inoceramus* sp. y *Anomia* sp.); todas las secciones delgadas mostraron predominio de foraminíferos planctónicos. El contacto

inferior con la Formación El Salto es concordante y abrupto, y el superior con la Formación Pujamana es concordante transicional rápido. Morfológicamente genera escarpes poco pronunciados de baja altitud y menos prominentes que El Galembo. El espesor es de 118 m.

La Formación Pujamana es de *mudstone* terrígeno (arcillolitas y lodolitas) de color negro, muscovítico, con estratificación plana paralela discontinua; presenta intercalaciones de cuarzoarenitas de textura muy fina, limolitas y calizas con textura *mudstone*, con espesor desde 5 cm hasta menos de 2 m; es común la bioperturbación de las capas en grado variable, desde bajo (láminas irregulares) hasta alto (moteado distinto a indistinto), y la presencia de madrigueras horizontales en la base de capas de cuarzoarenitas y limolitas de cuarzo, particularmente. Se hallan algunas impresiones de amonitas y lamelibranquios. El contacto inferior con la Formación Salada es concordante transicional rápido, y el superior con la Formación Galembo es concordante y neto. Morfológicamente genera valles o depresiones entre las formaciones Salada y Galembo. El espesor varía de 57 m, en la sección estratigráfica por la quebrada Aguablanca, a 111 m (incompleto), en la sección levantada por la vía a la hacienda Montebello.

La Formación Galembo es de calizas con textura *mudstone* (micritas) y *wackestone* (biomicritas ralas) de foraminíferos planctónicos, principalmente, de color gris oscuro a gris parduzco, terrígenas (arcillosas) o con alto contenido de materia orgánica, compactas, estratificadas delgadamente de forma plana paralela, con laminación interna igualmente plana paralela. Son comunes concreciones micríticas de forma redondeada hasta elíptica, centimétricas hasta decimétricas, con restos de amonitas en volumen y restos de peces y lamelibranquios, especialmente hacia la base; generalmente las concreciones expiden fuerte olor a hidrocarburo cuando se rompen en estado fresco; son frecuentes capas delgadas continuas a lenticulares de *chert* negro intercaladas; las capas usualmente se ven onduladas debido al desarrollo de abundantes concreciones. En general, el espesor de las capas es centimétrico, con laminación interna delgada a mediana, plana paralela discontinua, por interposición de láminas de foraminíferos con textura *wackestone* a *packstone* paralela a la estratificación de la roca. El contacto inferior con la Formación Pujamana y el superior con la Formación La Renta son concordantes y netos. Morfológicamente genera escarpes pronunciados como el filo del Galembo, en la localidad tipo. El espesor varía entre 96 m, en la sección por la quebrada Aguablanca, hasta 177 m en la sección de Montebello.

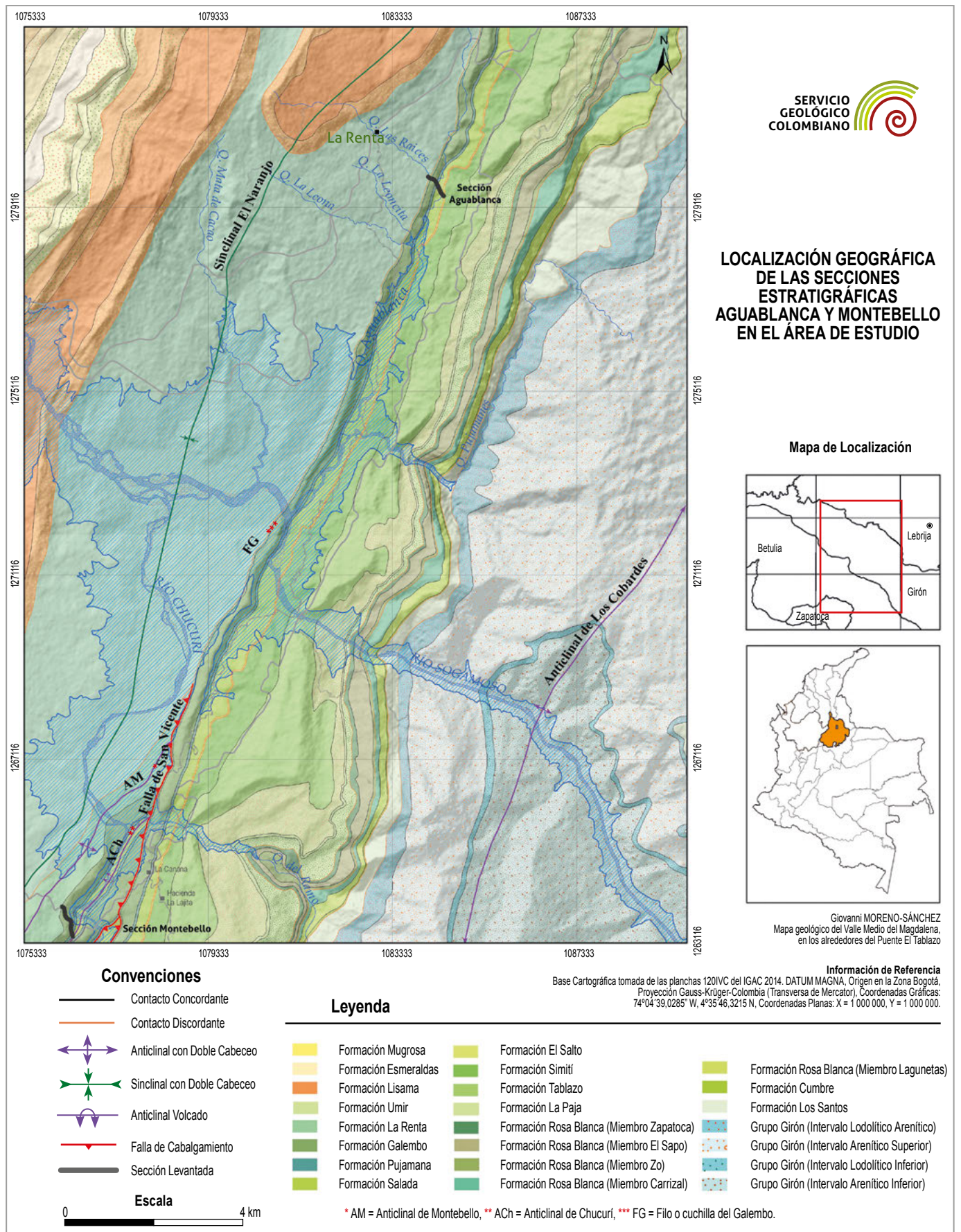


Figura 1. Localización geográfica de las secciones estratigráficas Aguablanca y Montebello (mapa tomado de Moreno-Sánchez 2019).

La Formación La Renta es litológicamente similar a la Formación Galembo, excepto que en la base aparecen capas medianas y gruesas (16 cm hasta 1,2 m) de fosforitas de peloides con textura *packstone* potencialmente explotables; también son comunes niveles delgados o lentes de *chert* negro interpuestos, capas entre delgadas y gruesas de calizas silíceas y presencia de foraminíferos bentónicos. El espesor de las capas varía de decimétrico a centimétrico, con estratificación plana paralela continua. El contacto inferior con la Formación Galembo es concordante y neto, y el superior con la Formación Umir es disconforme. El espesor oscila entre 45 m, en la sección por la quebrada Aguablanca, hasta por lo menos 77 m en la sección de Montebello.

Se propone de manera formal una nueva unidad litoestratigráfica para el Valle Medio del Magdalena, denominada *Formación La Renta*, que se caracteriza por su contenido de fosforitas y rocas de textura fino-granular y naturaleza silícea, con concentraciones locales de foraminíferos bentónicos del género *Siphogenerinoides*.

INTRODUCCIÓN

El intervalo estratigráfico del Cretácico superior equivalente a la “Formación La Luna” (*sensu* Morales y The Colombian Petroleum Industry 1958, 653-655), en el área del proyecto Hidrosogamoso del Valle Medio del Magdalena (VMM), está constituido, de antiguo a joven, por las Formaciones Salada, Pujamana, Galembo y La Renta; sus localidades tipo se encuentran en el sector de El Tablazo y sus alrededores, en las quebradas La Salada y Pujamanes, y en el filo conocido como de El Galembo; más adelante se discuten estos lugares. Debido a la inminente inundación de las localidades tipo por el llenado del embalse de Hidrosogamoso, se decidió efectuar estudios estratigráficos detallados con el propósito de redescubrir estas unidades, para lo cual se levantaron secciones estratigráficas en la cabecera de la quebrada Aguablanca (vereda La Renta, municipio de Lebrija, plancha 120-I-B del Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]) y en la carretera nueva, sustitutiva, que se desprende de la vía principal Lebrija-San Vicente de Chucurí, entre el sitio conocido como La Canana y la hacienda La Lajita, y que conduce a la hacienda Montebello (vereda Belmonte, municipio de Zapato-ca, plancha 120-I-D del Instituto Geográfico Agustín Codazzi).

En la quebrada Aguablanca se levantaron las Formaciones Salada, Pujamana, Galembo y La Renta (nueva formación), la infra-yacente Formación El Salto y las capas basales de la suprayacente Formación Umir, mientras que en Montebello se levantaron las Formaciones Pujamana, Galembo y La Renta, faltando la parte inferior de la Formación Pujamana y gran parte de la Formación La Renta (solo se levantaron los primeros 16 m).

Los puntos de inicio y finalización de la sección Aguablanca son N:1.279.300, E:1.084.440, Z:400 y N:1.279.727, E:1.084.198, Z:388; de la sección Montebello son N:1.263.142, E:1.076.426, Z:399 y N:1.263.739, E:1.076.194, Z:449. En la **fig.**

1 se muestra la localización de las secciones. En los **anexos 4.1 y 4.2** aparece el dibujo de las secciones estratigráficas. Geológicamente, el área de estudio se localiza sobre el flanco oriental del sinclinal de Nuevo Mundo o flanco occidental del anticlinal de Los Cobardes, pliegues de primer orden en este sector de la cordillera Oriental de Colombia. Entre estas estructuras mayores aparecen varios pliegues de menor magnitud, de los cuales hay que mencionar al sinclinal El Naranjo y al anticlinal de Chucurí, pues en sus flancos oriental y occidental, respectivamente, se localizan las secciones estratigráficas levantadas (véase **fig. 1**).

METODOLOGÍA

Las secciones estratigráficas se midieron con el bastón de Jacob; las lecturas se realizaron con aproximación al decímetro (desde 0,0 hasta 1,5 m), lo que implica mediciones con dos cifras significativas y una incertidumbre teórica del 1%, es decir, de $\pm 0,015$ m (Vacher 1998, 293); no obstante, el error en la práctica es de aproximadamente 3% ($\pm 0,05$ m por cada bastoneo de 1,5 m de longitud), precisión suficiente para representar capas de hasta 10 cm de espesor en el formato de toma de información estratigráfica de campo, con escala gráfica de 1:100.

La descripción en el terreno se hizo a escala centimétrica y decimétrica, utilizando la lupa de 10x; se efectuaban constantemente de dos a tres pruebas sucesivas con HCl al 10%, con posterior lavado de la muestra con agua corriente, para inferir de manera cualitativa la naturaleza de la roca (calcárea, mixta o terrígena). Los principales aspectos, como color, textura, composición, formas internas y externas de las capas, estructuras sedimentarias biogénicas e inorgánicas, contenido fosilífero y grado de bioturbación, se representaron sobre formatos previamente diseñados. La descripción de campo se refinó con el análisis microscópico de secciones delgadas.

Con el propósito de realizar una descripción lo más objetiva posible, se aplicaron las siguientes terminologías, tanto en afloramientos o muestras de mano como en secciones delgadas:

Para determinar cualitativamente la forma de partición de la roca se utilizó la propuesta de McKee y Weir (1953). Para la forma de láminas, juegos de láminas, capas o juegos de capas se usó la terminología propuesta por Campbell (1967). Para comparar el grado de selección en sedimentos o rocas sedimentarias clásticas, forma de estratos y tipos de contactos entre capas se emplearon los diagramas de Compton (1985). Para las rocas calcáreas se aplicó el sistema de identificación de Dunham (1962), basado en la textura deposicional. Se siguieron los lineamientos de Folk (1951, 1954, 1959, 1962, 1974) para determinar el grado de madurez textural, para identificar las rocas terrígenas de acuerdo a su textura y composición, así como para reconocer aspectos petrográficos importantes de las rocas sedimentarias calcáreas como complemento a la clasificación de Dunham (1962). Para los espesores de capas y láminas se manejó la propuesta de Ingram (1954) y Campbell (1967) (adaptadas por Reineck y Singh 1975); se uti-

lizó el término mediano(a) como sinónimo de medio(a) para significar espesores de estratos o láminas de tamaño intermedio entre muy delgado y muy grueso. Para comparar la forma de partículas sedimentarias se usaron los diagramas de Krumbein y Sloss (1969). Para describir el grado de destrucción progresiva de la laminación por bioperturbación o grado de bioperturbación se comparó con la secuencia de gráficos de Moore y Scruton (1957). Para representar la redondez de las partículas sedimentarias se empleó la escala de Powers (1953). Los tipos de estratificación lenticular y *flasser* se definieron de acuerdo con los diagramas propuestos por Reineck y Wunderlich (1968). Los diagramas de Terry y Chilingar (1955) se emplearon para estimar porcentajes de minerales o partículas, por volumen, en la descripción de muestras de mano. Para detallar la orientación de conchas o restos de conchas en estratos se acudió a la terminología de Kidwell, Fürsich y Aigner (1986). Para identificar los tipos de concentraciones de conchas se siguió a Fürsich (1995), que muestra las diferentes acumulaciones de conchas en mares epicontinentales, los principales factores que las controlan y su distribución sobre un perfil del fondo marino que tiene en cuenta el nivel base de las olas en tiempo de calma y en tiempo de tormenta; por ejemplo, la tempestita proximal o concentración de conchas por flujo de tormenta proximal se origina entre el nivel base del oleaje en tiempo de calma y el nivel base en tiempo de tormenta. Para establecer los diferentes colores de la roca en muestras húmedas o secas se comparó con la carta de colores de The Geological Society of America (1995).

Para evitar confusiones con el término *mudstone*, empleado de diferente forma y significado en la literatura sobre rocas sedimentarias (p. e., Dunham 1962; Folk 1954; Folk 1974, 27-32; Boggs 2009, 194-195; Lazar et al. 2015, 230-232), se utilizó el sistema de clasificación para rocas de textura fina de Lazar et al. (2015), con el propósito de aclarar dicho término, cuando se consideró necesario; por ejemplo, en la descripción del segmento 2 de la Formación Salada, en la sección estratigráfica por la quebrada Aguablanca, se habla de *Mudstone* calcáreo (micrita) de color negro (N1), arcilloso; en este caso se precisa el término *mudstone*, indicando entre paréntesis su equivalencia con la clasificación de calizas de Folk (1962) y agregando el sufijo calcáreo utilizado en el sistema de Lazar et al. (2015) para referirse a una roca sedimentaria fino-granular de composición predominantemente calcárea con algún componente terrígeno adicional, indicado por el término arcilloso.

Para las rocas sedimentarias con mezcla de partículas detríticas terrígenas y componentes autigénicos silíceos y calcáreos, se empleó la clasificación general de rocas sedimentarias de Williams, Turner y Gilbert (1954), que utiliza términos no considerados por otros sistemas de clasificación, como *chert*, *chert* calcáreo, porcelanita, caliza silícea, caliza arcillosa, arcillolita silícea, etc., útiles y prácticos para la descripción petrográfica, tanto macroscópicamente, en el campo, como microscópicamente, bajo el microscopio petrográfico. La expresión rico(a) en materia orgánica se refiere a una roca sedimentaria fino-granular, con predominio de constituyentes

menores a 62 μm o de textura limo o inferior, color oscuro (tono entre negro o gris oscuro y marrón oscuro), con un contenido de materia orgánica mayor del 1% en volumen, de composición terrígena, calcárea o mixta, finamente laminada o maciza. Este tipo de rocas ha sido ampliamente estudiado por su interés económico; descripciones de estas rocas se pueden consultar en Tourtelot (1979), Huyck (1989), Potter, Maynard y Depetris (2005) y Schieber (2003), entre otros. Las micritas y biomicritas con foraminíferos planctónicos (dominantes en las Formaciones Salada y Galembó), de coloración oscura, con materia orgánica > 1%, de textura entre *mudstone* y *packstone*, se consideran rocas ricas en materia orgánica.

Se efectuaron tomas de muestras para petrografía distanciadas estratigráficamente entre 5 y 20 m; el muestreo para paleontología fue sistemático, capa a capa; las muestras fueron georreferenciadas y localizadas sobre el dibujo de la respectiva columna estratigráfica. Básicamente se tomaron muestras para análisis microscópico de sección delgada, micropaleontología (palinología o foraminíferos) y macropaleontología (lamelibranquios y amonitas, especialmente). Las secciones delgadas se utilizaron para complementar y afinar la descripción macroscópica realizada en el campo, y no con el propósito de realizar un estudio petrográfico en el sentido estricto de la palabra.

Los análisis petrográficos presentaron limitaciones por el contenido alto de materia orgánica en varias muestras, especialmente de las Formaciones Salada y Galembó; rocas con contenidos de 5% o más de materia orgánica se consideran excepcionalmente ricas en materia orgánica (cf. *black shale* en Neuendorf, Mehl y Jackson 2011, 72), como es el caso de muchas de las muestras de las Formaciones Salada y Galembó. En el microscopio petrográfico, y en nicoles paralelos, la materia orgánica se observa de color negro o en distintas gamas de color marrón; el color negro se debe a que la materia orgánica está presente como una sustancia opaca, que no trasmite la luz, mientras que los tonos marrón se deben al paso parcial de la luz, porque su comportamiento óptico es el de un mineral subtranslúcido. En nicoles cruzados se aprecia totalmente extinguida, bien sea porque está como un material opaco o porque en su forma subtranslúcida se comporta ópticamente como una sustancia isotrópica no cristalina. En el área de estudio, la materia orgánica de las Formaciones Salada, Pujamana y Galembó habitualmente se encuentra mezclada o finamente diseminada con el lodo calcáreo micrítico, o con los minerales arcillosos que constituyen el soporte de la roca sedimentaria fino-granular, lo cual dificultó la diferenciación de estos constituyentes; por consiguiente, es posible que haya habido sobrestimación de los porcentajes de materia orgánica en algunas de las muestras analizadas. Con el método de Folk (1987) se identificó en el microscopio petrográfico tanto la materia orgánica opaca como la materia orgánica subtranslúcida, con base en los criterios de color antes expuestos.

Todas las figuras del texto con referencias de sitios geográficos tienen sus respectivas coordenadas planas de Gauss-Krüger, con origen Bogotá (cf. Sánchez 2004), la altura topo-

gráfica en metros sobre el nivel del mar y la dirección de toma de la fotografía en azimut, información abreviada de la siguiente manera, tomando como ejemplo el texto de la **fig. 3**: “Segmento 5; *wackestone* de color negro con grandes concreciones de forma lenticular de tamaño métrico; la sucesión está invertida; Formación Salada, m44,0-m50,0 (N:1.279.307, E:1.084.367, Z:332, Az:70°)”, donde N es la coordenada norte, E es la coordenada oriental, Z es la altura topográfica, y Az es la dirección, desde el punto de toma de la fotografía.

AGRADECIMIENTOS

Al director general del Servicio Geológico Colombiano, Ing. Oscar Paredes Zapata, y sus colaboradores, que apoyaron decididamente la realización de este trabajo. Al Dr. Fernando Etayo-Serna, director técnico del proyecto, quien efectuó las determinaciones paleontológicas, el marco bioestratigráfico y estuvo atento a las revisiones y sugerencias al manuscrito. Al geólogo José E. Arenas, que colaboró en el levantamiento de la sección estratigráfica en la hacienda Montebello. Al geólogo Adrián Pérez A., que realizó el muestreo petrográfico y geoquímico de la sección estratigráfica en la quebrada Aguablanca. Al Dr. Rubén Llinás, por los análisis petrográficos y los consejos útiles para la identificación de componentes terrígenos y calcáreos de tamaño fino-granular en secciones delgadas. Al señor Miguel Vargas del laboratorio Químico del Servicio Geológico Colombiano, por la elaboración de las secciones delgadas. A las autoridades locales y comunidades de los municipios de Betulia, Girón, Zapatoca, Los Santos, San Vicente de Chucurí y Lebrija, que permitieron la ejecución de las labores de campo. Las ilustraciones y fotografías fueron realizadas por el autor.

HISTORIA DE LA NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA

Formación La Luna *sensu* Morales y The Colombian Petroleum Industry 1958

Wheeler (1929, 7-11), en un reporte interno de la compañía Imperial Oil Ltd., describe la geología del costado oriental de la antigua concesión petrolífera De Mares, localizada en la cuenca alta del río Sogamoso, que incluye la zona de El Tablazo y sus alrededores, y el recientemente construido embalse de Hidrosogamoso. Del Cretácico superior, Wheeler define de base a techo a las Formaciones *Salada Limy Shales*, *Pujamana Shale* y *Galebo Limestone*, que representan lo que en la actualidad se conoce como “Formación La Luna” de Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958, 653-655).

Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958) estandarizan la nomenclatura estratigráfica utilizada por la industria del petróleo en el Valle Medio del Magdalena (VMM) e introducen la expresión “Formación La Luna”. Dicha formación estaría conformada por las Formaciones Salada, Pujamana y Galebo de Wheeler (*op. cit.*), pero con la categoría de miembros; señalan que el nombre es tomado de la localidad tipo del distrito de Perijá, en Venezuela, en el sentido de Hedberg y Sass (1937),

porque la litología es muy similar en Colombia, razón por la cual decidieron retener el nombre, y con ello demostrar “la notable extensión regional de la formación”. Su uso desde entonces ha continuado y es ampliamente aceptada por el gremio geológico.

Scherer, Savian y Peraza (2005, 69-70) hacen varios cuestionamientos a la Formación La Luna de Venezuela, respecto a la ubicación geográfica del estratotipo de la formación y de sus miembros constituyentes, así como de sus ambientes de acumulación y litofacies. El estratotipo formacional en la quebrada La Luna, al oeste de Villa del Rosario (estado de Zulia), mencionado en tres líneas por Garner (1926) con el nombre de *La Luna Limestone* y definido posteriormente por Hedberg y Sass (1937), indica un ambiente de deposición predominantemente anóxico, con aguas marinas de poca circulación y de profundidades que varían entre 100 y 800 m (según la microfaua) y de 100 a 200 m (según las amonitas), indica Scherer, Savian y Peraza (2005). Los miembros constitutivos de la unidad, de base a techo La Aguada, Chejendé y Timbetes, definidos por Renz (1959, 20-24), tienen sus estratotipos a unos 250 km al oriente del estrato tipo formacional (estados de Trujillo y Lara), en facies marinas de menor profundidad y de circulación abierta, con unos pocos episodios anóxicos; con excepción de la ciclicidad y de las concreciones típicas de la formación, estos estratotipos tienen aspectos muy diferentes de los de la sección tipo formacional (Scherer, Savian y Peraza 2005).

Erlich et al. (1999, figs. 3-5) publican dos “secciones cronoestratigráficas regionales” de los alrededores de la cuenca petrolífera de Maracaibo, en Venezuela, que abarcan el lapso Albiano-Maastrichtiano, una en sentido N-S (en el borde oriental de la sierra de Perijá), y otra en sentido SW-NE (sobre los Andes de Mérida), donde se puede apreciar la complejidad estratigráfica de la Formación La Luna, ya que muestran frecuentes cambios laterales de facies, límites variables en el tiempo como unidad litoestratigráfica (desde Albiano tardío hasta Maastrichtiano temprano), y diversa nomenclatura estratigráfica a nivel de miembros litológicos.

Como consecuencia de la información mencionada, es evidente que el argumento de Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958), de “la notable extensión regional de la formación La Luna”, por el cual introdujo la unidad desde Venezuela al VMM, no es aplicable en Colombia, **y por lo tanto, se propone su abandono**; en su lugar, se recomienda reestablecer la nomenclatura formacional de Wheeler (1929), es decir, las Formaciones Salada, Pujamana y Galebo, en orden estratigráfico ascendente. De hecho, hasta el mismo Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958, 653) aceptan que la Formación La Luna de Venezuela es distinta a la de Colombia, cuando afirma que “*However, in Colombia, the formation can be subdivided into three members the Salada, Pujamana and Galebo*”. Además, está totalmente justificado el rango de formación para las unidades Salada, Pujamana y Galebo, pues han sido ampliamente reconocidas y cartografiadas, tanto en superficie como en el subsuelo, en todo el VMM, es decir, mucho más allá de sus localidades tipo en el sector de El Tablazo y sus alrededores (Taborada 1965; Ward et al. 1973; Maughan et al. 1979; Ballesteros et al. 2013; Galvis et al. 2014; Moreno-Sánchez 2019).

Formaciones Salada, Pujamana y Galembo (Wheeler 1929)

Como ya se indicó, fue Wheeler (1929, 7-11) quien propuso las Formaciones Salada, Pujamana y Galembo para la antigua concesión De Mares del VMM, en la cuenca alta del río Sogamoso, en el sector de El Tablazo y sus alrededores; corresponden a las tres unidades superiores de la sucesión cretácica que él denominó *Palmira Series* (hoy en desuso), es decir, al *Salada Limy Shales, Pujamana Shale y Galembo Limestone*.

Formación Salada

Wheeler (1929, 7-8), ubica estratigráficamente la Formación Salada por encima de los *shales* del *Tablazo Pasture*, equivalente al *Simití Shale* o Formación Simití de Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958), con un espesor relativamente delgado, de 50 m. Los afloramientos representativos de la unidad se localizan sobre la ribera norte del río Sogamoso, enfrente de la desembocadura de la quebrada La Salada, indica Wheeler (1929). Este sector fue estudiado en el presente trabajo.

Wheeler (1929) hace la siguiente descripción de la Formación Salada:

This formation is quite distinctive from other parts of the Palmira series. It is composed of hard, black, thin bedded, finely laminated-limy shales that appears very much like slates on outcrop. Individual beds range from less than an inch to 2 or 3 inches thickness. There are two or three beds of black fine textured limestone in the formation. Two outstanding characteristics in the Salada Formation that were not noted in the underlying part of the Palmira section were the presence of concretions and streaks of pyrite, often mixed with limestone, and a strong bituminous odor yielded by the rocks when freshly broken open. The concretions of pyrite were sometimes practically pure; others were intimately mixed with concretions of limestone or formed the nucleus of limestone concretions. They are elliptical in cross section and usually around 5" to 6" in their greatest dimension. The bituminous odor noted from the freshly broken rock, if present in any of the underlying formations is exceptional, since it was expected and looked for but not found in any instance lower in the section. No fossils were seen in any of the Salada beds, although it is probable that microfossils are abundant (*sic*).

En el subsuelo (Taborda 1965, 132, antigua Concesión De Mares del VMM), el *shale* de la Formación Salada es muy calcáreo y contiene capas delgadas de caliza arcillosa; es muy duro y de color marrón oscuro a gris parduzco o negro, con fracturas rellenas con calcita; el espesor reportado por Taborda (1965) varía entre 350' (107 m) y 430' (131 m); el contacto con la unidad suprayacente (Formación Pujamana) lo describe como conforme y gradacional.

La expresión topográfica de la Formación Salada es de escarpes bajos sobre la ribera norte del río Sogamoso (Wheeler 1929).

En la publicación de Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958, 649, en el aparte *Standard Nomenclature*, fig. 6), el término *Salada* aparece con rango de miembro litoestratigráfico y se encuentra ubicado en la base de la "Formación La Luna"; además, correlacionan el Salada de la Concesión De Mares (= Formación Salada de Wheeler) con la Caliza Salto (*Salto Limestone*) más el Miembro Salada de la "Formación La Luna"; sin embargo, Julivert (1968, 424) indica que "no hay que interpretar esta figura en el sentido de pensar que la Caliza Salto formara la parte inferior del Salada de Ecopetrol, sino que como indican Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958, 653), esta caliza no ha sido reconocida hasta ahora en el área de la concesión De Mares, explotada por Ecopetrol". En los trabajos de estratigrafía (véase la sección estratigráfica por la quebrada Aguablanca) y de cartografía geológica detallada elaborados para el presente estudio (véase el mapa geológico de Moreno-Sánchez 2019) se demostró la presencia de la Formación El Salto, de aspecto litológico muy característico y completamente diferente al de la Formación Salada que le suprayace.

En el trabajo de compilación estratigráfica publicado por Macellari (1988, 385, 391, figs. 10 y 15) se postula una inconformidad entre la Formación El Salto y la suprayacente Formación Salada en la cuenca del VMM, entre lo que él denomina *ciclos deposicionales 3 y 4*.

Formación Pujamana

De acuerdo con Wheeler (1929, 8-9), la Formación Pujamana aflora en el valle de la quebrada Pujamana y ocupa la parte intermedia entre los *shales* calcáreos de la Formación Salada y la caliza de la Formación Galembo. Wheeler señala que se conoce poco de esta formación y que solo se han visto unos pocos cientos de pies de la parte inferior de la unidad; aflora en colinas bajas al lado oriental del río Sogamoso, donde consiste de *black thin bedded calcareous shale*. Esta misma localidad se estudió en la presente investigación.

Según Taborda (1965, 133), en el subsuelo esta unidad consiste casi completamente de *shale* no calcáreo a levemente calcáreo, delgadamente estratificado, de color gris a gris parduzco, fósil, con abundantes escamas y fragmentos de huesos de peces sobre los planos de estratificación, así como fragmentos de pelecípodos y otros fragmentos de conchas; ocasionalmente, se encuentran capas delgadas de areniscas grises de textura muy fina; en la parte inferior de la formación se han visto estructuras similares a *varves*; el espesor reportado para la Formación Pujamana varía entre 700' (214 m) y 770' (235 m); Taborda (1965) describe el contacto con la unidad suprayacente (Formación Galembo) como gradacional.

En la publicación de Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958) aparece la expresión *Pujamana* con jerarquía de miembro litoestratigráfico, y lo sitúan en la parte media de la “Formación La Luna”.

Formación Galembo

Wheeler (1929, 9-11) indica que el Galembo representa la formación más alta de la denominada *Palмира Series*, con 182 m de espesor; los afloramientos característicos están en el filo o cuchilla del Galembo y al costado occidental de la quebrada Pujamana, cerca de su desembocadura en el río Sogamoso. La cuchilla del Galembo también se exploró para el presente estudio.

The Galembo is predominantly a limestone formation. There are many shale or limy shale breaks but most of these are so thin that they amount to more partings. The limestones are hard, black, (thin bedded), thinly laminated, fine textured, bituminous, occasionally shaly, and commonly occur in beds 4 to 6 inches thick separated by thin or minute shale partings. This rhythmic type of bedding is distinctly characteristic of the formation in the Sogamoso area. Thin layers of regularly or irregularly bedded black chert are common throughout the formation, but are apparently more abundant low in the section. Like the rocks of the Salada formation, these limestones yield a distinct odor of oil when freshly broken. Concretions of limestone usually several inches long are common... There is a fossils fish horizon 125' below the top of the formation that is remarkably persistent from the Sogamoso to at least the upper Colorado river and which is highly characteristic of the upper Galembo (*sic*). (Wheeler 1929).

Taborda (1965, 133) indica que en el subsuelo la Formación Galembo consiste de una proporción variable de: 1. Caliza arcillosa, marrón oscuro, con cristales de calcita diseminados, delgadamente estratificada en parte, con muescas por disolución sobre las superficies de estratificación y escamas de peces de color azul; y 2. *Shale* marrón oscuro a negro, calcáreo, delgadamente estratificado, con cristales finos de calcita diseminados sobre los planos de estratificación. Presenta fracturas rellenas con calcita, que varían desde una fracción de milímetro hasta 5 mm de ancho; localmente abundan escamas de peces y fragmentos de huesos, y se encuentran algunas capas delgadas de *chert* negro. El espesor de la unidad reportado por Taborda (1965) en el área del Llanito es de 900' (275 m); el pozo Llanito No. 4, muestra claramente la existencia de un contacto abrupto con la suprayacente Formación Umir.

Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958) emplean el término *Galembo* con categoría de miembro litoestratigráfico, y lo localizan en la parte superior de la “Formación La Luna”.

Las Formaciones Salada, Pujamana y Galembo fueron reconocidas por Wheeler (1929) y Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958) en el costado oriental de la Concepción De Mares, desde el río Cascajales (hoy en día río Vergeliano, al sur del municipio de Carmen de Chucurí, plan-

cha IGAC 135-San Gil a escala 1:100.00) hasta la cuenca alta del río Sogamoso (hoy conocido como caserío El Tablazo y sus alrededores, que incluye la confluencia de los ríos Chucurí y Sogamoso, el filo del Galembo y el curso inferior de las quebradas Aguablanca, Pujamanes y Azufrada).

Julivert (1958, 12, fig. 2) también diferencia estratigráficamente y cartográficamente las Formaciones Salada, Pujamana y Galembo, en el río Sogamoso. En ese mismo sector, el Servicio Geológico Colombiano (antiguo Ingeominas), en la década de los años setenta realizó la cartografía geológica del cuadrángulo H-12, Bucaramanga (Ward et al. 1973; 1977), y la exploración de roca fosfórica en el Cretácico superior, equivalente a la “Formación La Luna” (Maughan et al. 1979), logrando reconocer las tres formaciones (en ese tiempo, *miembros*). No obstante, su separación en algunas áreas fue difícil debido a inconformidades de bajo ángulo, cambios de facies e interdigitación entre ellos (p. e., Maughan et al. 1979, 29).

En el presente trabajo se diferenciaron las tres formaciones, porque tienen características litológicas, expresiones morfológicas y posiciones estratigráficas claras, que permiten separarlas de las unidades infrayacentes y suprayacentes.

Las dudas que se han presentado acerca de las localidades tipo de las Formaciones Salada y Pujamana son válidas (p. e., Maughan et al. 1979; Bernal, 2009), ya que para la Formación Salada se menciona la quebrada La Salada (véase Wheeler 1929, 8; Morales y The Colombian Petroleum Industry 1958, 653), que no aparece en los mapas topográficos del IGAC de los años 1954 y 1975; tampoco aparece en el *Diccionario Geográfico de Colombia* (IGAC 2015) en lo concerniente a la región de El Tablazo y sus alrededores, y tampoco en un mapa antiguo de la Oficina Nacional de Minas con solicitudes de áreas para explotación de hidrocarburos de la cuenca media y baja del río Sogamoso, de principios del siglo XX (Perry 1923).

Respecto a la Formación Pujamana, se cita como localidad tipo el valle de la quebrada Pujamana (véase Wheeler 1929, 8; Morales y The Colombian Petroleum Industry 1958, 654); sin embargo, la citada quebrada aparece con distintos nombres en la base topográfica del IGAC a escala 1:25.000 (120-I-B): en las cabeceras figura como Pujamanes, en la parte media como Guapuchera o Pujama, y en la parte baja como Pujamán, pero no aparece la quebrada Pujamana, lo cual puede generar confusión. Se deduce de Wheeler (1929) y Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958) que la quebrada Pujamana es la misma Pujamanes, Pujama o Pujamán que aparece en la toponimia del IGAC.

Con el llenado del embalse del río Sogamoso fueron cubiertas las secciones tipo de las Formaciones Salada, Pujamana y Galembo, por lo cual será necesario establecer neoestratotipos para estas unidades.

Tabla 1. Nomenclatura estratigráfica para el Cretácico superior en el proyecto Hidrosogamoso

Edad (M.a) - Piso ICS chart/2016	Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958) - VMM	Hidrosogamoso (2019)
66,0		FORMACIÓN UMIR
72,1		
CAMPANIANO	UMIR SHALE	FORMACIÓN LA RENTA
83,6		
SANTONIANO		
86,3		
CONIACIANO	LA LUNA FORMATION	FORMACIÓN GALEMBO
89,8		
TURONIANO	GALEMBO MEMBER	FORMACIÓN PUJAMANA
93,9		
	PUJAMANA MEMBER	FORMACIÓN SALADA
	SALADA MEMBER	
CENOMANIANO	SALTO LIMESTONE	FORMACIÓN EL SALTO
100,5		
ALBIANO	SIMITI SHALE	FORMACIÓN SIMITÍ
112,2		FORMACIÓN TABLAZO

Nota: La edad numérica en los límites de los pisos se tomó de la Carta Estratigráfica Internacional de la Comisión Internacional de Estratigrafía, elaborada por Cohen et al. (2013, actualizada al 2016). Los polígonos con líneas diagonales corresponden a faltantes (gaps) en el registro estratigráfico.

En la **tabla 1** se muestra la nomenclatura estratigráfica establecida para el Cretácico superior en el proyecto Hidrosogamoso. Más adelante se discutirá sobre la necesidad de establecer una nueva unidad litoestratigráfica con rango de formación en la parte alta de la Formación Galembó, donde son frecuentes niveles de *chert* o porcelanitas, foraminíferos bentónicos y capas de fosforita potencialmente explotables; esta nueva unidad se denominará *Formación La Renta*.

DESCRIPCIÓN LITOESTRATIGRÁFICA POR LA QUEBRADA AGUABLANCA

En la quebrada Aguablanca se levantaron las Formaciones Salada, Pujamana Galembó y La Renta, la infrayacente Formación El Salto y las capas basales de la suprayacente Formación Umir. Los puntos de inicio y finalización de la sección Aguablanca son N:1.279.300, E:1.084.440, Z:400 y N:1.279.727, E:1.084.198, Z:388 (**fig. 1**). La descripción de esta sección estratigráfica se hará de base a techo, con base en segmentos estratigráficos.

Formación El Salto

La sección estratigráfica por la quebrada Aguablanca inicia con la Formación El Salto, en las coordenadas N:1.279.300, E:1.084.440, Z:400, plancha IGAC 120-I-B a escala 1:25.000.

Formación El Salto (m0,0-m7,2). *Wackestone* (biomicritala) de bivalvos, de color gris parduzco (5YR 4/1), en capas gruesas y muy gruesas (1-2 m de espesor), de aspecto macizo, tabulares, con 30-35% de fragmentos de 2-6 cm de diámetro de conchas de bivalvos (p. e., *Rhyncostreon* sp.), embebidas en una matriz compuesta por micrita y fragmentos de bivalvos de menor tamaño (entre 1-3 mm de diámetro), con bordes desgastados, flotantes y orientadas paralelamente a la estratificación (**láms. 1/A, 1/B, tabla 2**; muestras RT-5467 y RT-5468). Corresponde a una acumulación de conchas por olas en tiempo de calma (*sensu* Fürsich 1995); este tipo de acumulaciones se producen en zonas costeras de playa y anteplaya por encima del nivel normal de acción del oleaje. No presenta buena exposición, por lo cual su límite inferior (con la Formación Simití) y su límite superior (con la Formación Salada) no son visibles. La expresión morfológica de la Formación El Salto en el área corresponde a un escarpe poco acentuado de baja altitud (**fig. 2**).

Formación Salada

Inicia en las coordenadas N:1.279.304, E:1.084.429, Z:382, plancha IGAC 120-I-B a escala 1:25.000.

Segmento 1 (m7,2-m24,5). Cubierto por suelo con derrubios de *mudstone* calcáreo (micrita) similar al del segmento 2. **Segmento 2 (m24,5-m34,0).** *Mudstone* calcáreo (micrita) de color negro (N1), arcilloso, rico en materia orgánica (>1%), deleznable, bien estratificado y laminado, en capas

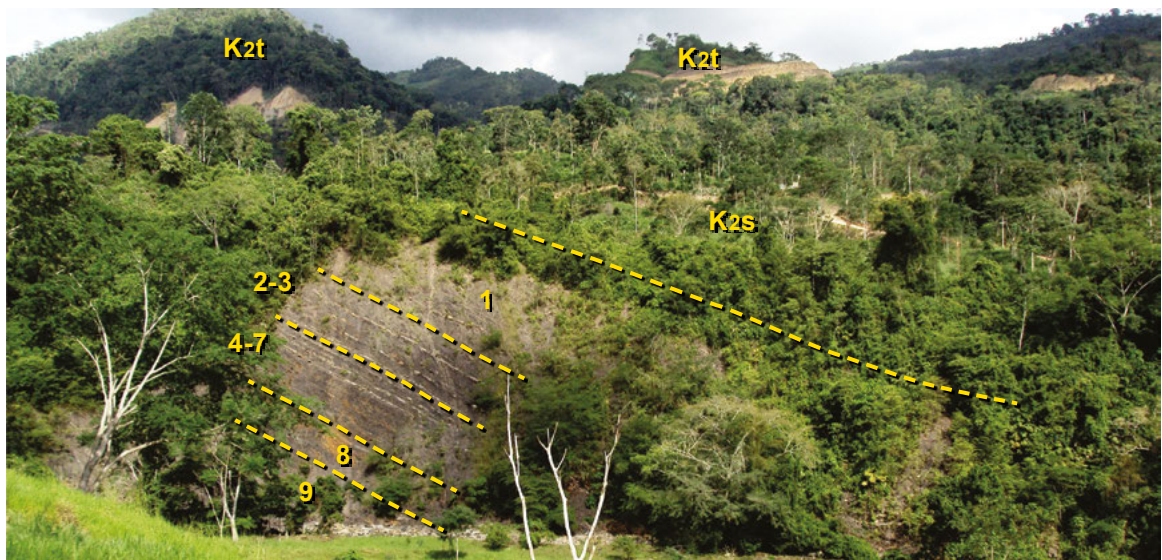


Figura 2. Panorámica de la Formación Salada en la quebrada Aguablanca (la sucesión está invertida). Se destacan niveles de concreciones métricas en la parte inferior de la unidad (segmentos 2-3 y 4-7); los escarpes más acentuados (en la fotografía, arriba) los genera la Formación Tablazo (K_2t); el escarpe intermedio poco pronunciado de baja altitud corresponde a la expresión morfológica de la Formación El Salto (K_{2s}) (N:1.279.343, E:1.084.174, Z:392, Az: 83°). Los números en la fotografía representan los segmentos estratigráficos 1, 2 a 3, 4 a 7, 8 y 9.

delgadas y láminas delgadas a medianas de forma plana paralela continua. Entre m26,5 y m32,0 es conspicua la aparición de un nivel de concreciones centimétricas a métricas (desde 16×13 cm hasta más de $0,3 \times 5,0$ m de sección transversal), de color negro parduzco y gris parduzco (5YR 2/1, 5YR 4/1), micríticas, de forma ovoide, elíptica, esférica o en forma de lentes alargados (**fig. 2**).

Segmento 3 (m34,0-m39,5). *Mudstone* terrígeno (lodolita) de color negro (N1), rico en materia orgánica, calcáreo, blando, en capas delgadas y láminas delgadas a medianas de forma plana paralela discontinua (**fig. 2**). En el m35,5 aparece una concreción lenticular de $0,4 \times 2,0$ m, micrítica, de color negro parduzco y gris parduzco (5YR 2/1, 5YR 4/1).

Segmento 4 (m39,5-m43,5). *Wackestone* (biomicrita rala) de foraminíferos planctónicos (20-25% del volumen total de la roca), color negro parduzco (5YR 2/1), terrígeno (arcilloso y arenoso), rico en materia orgánica, duro, en capas delgadas y láminas entre muy delgadas y medianas de forma plana paralela, continua y discontinua (**fig. 2**, lám. 1/C; muestra RT-5466). En la parte inferior (m40,2) se destaca una concreción de forma bastante elongada, de $0,4 \times 5,0$ m, de micrita de color negro a gris parduzco (5YR 2/1, 5YR 4/1); en la parte superior (m42,0-m43,5) abundan concreciones elipsoidales y esféricas, centimétricas (desde 15×5 cm hasta 20×44 cm de sección transversal), de micrita de color gris oscuro (N3) con abundante pirita.

Segmento 5 (m43,5-m53,0). *Wackestone* (biomicrita rala) de foraminíferos planctónicos (20-40%), arcilloso, rico en materia orgánica, de color negro parduzco a negro grisáceo (5YR 2/1-N2), bien laminado, en capas y láminas delgadas de forma plana paralela continua (**fig. 2**, láms. 1/D, 1/E, tabla 2; muestra RT-5469), partición hojosa. En la parte superior (m51,2-m53,0), la roca es más dura que en el resto del seg-

mento; el m51,2 presenta lentes de pirita de 40 cm de largo \times 1 cm de espesor espaciados cada 20 cm; entre el m50,0-51,2 y el m52,5 aparecen niveles de concreciones elipsoidales de micrita, ricas en pirita, de color gris medio (N5), centimétricas (de 2×10 cm o 5×6 cm hasta 4×23 cm o 9×36 cm de sección transversal). En la parte media (m49,7) aparece un nivel de pirita alterada de 5 cm de espesor con apariencia nodular. En la base (m43,5-m46,5) se encuentran concreciones métricas (de $0,7 \times 3,2$ m y de $0,5 \times 2,3$ m de sección transversal, **fig. 3**), de forma lenticular, compuestas por micrita de color gris parduzco (5YR 4/1). Entre las concreciones aparecen dos capas de *wackestone* (biomicrita rala) de foraminíferos planctónicos (20-25%), de color gris parduzco (5YR 4/1), tabulares, duras, laminadas, con espesores de 20 y 10 cm (m44,7 y m45,3, respectivamente).

Segmento 6 (m53,0-m56,2). *Mudstone* calcáreo (micrita) de color negro grisáceo (N2), rico en materia orgánica, duro, bien estratificado y laminado (**figs. 2 y 4**), en capas y láminas delgadas plano-paralelas continuas, partición hojosa. En la base (m53,0-m55,0) hay capas y láminas delgadas de pirita de forma lenticular de 3-20 mm de espesor.

Segmento 7 (m56,2-m69,5): *Wackestone* (biomicrita rala), de color negro grisáceo (N2), rico en materia orgánica, arcilloso, duro, con 20-25% de foraminíferos planctónicos, textura arena muy fina, bien estratificado y laminado (**fig. 2**, lám. 1/F; muestra APA-2787), en capas y láminas delgadas de forma plana paralela continua, partición hojosa. En la parte superior (m65,0-m68,0) e inferior (m56,2-m57,2) abundan concreciones centimétricas y decimétricas (tamaño variable entre 2×4 cm hasta 4×20 cm de sección transversal), de forma esférica y elipsoidal, compuestas por micrita de color gris medio (N5). En la base (m57,2) se destaca morfológicamente, por su resistencia a la erosión, una capa



Figura 3. Segmento 5; *wackestone* de color negro con grandes concreciones de forma lenticular de tamaño métrico; la sucesión está invertida; Formación Salada, m44,0-m50,0 (N:1.279.307, E:1.084.367, Z:332, Az:70°).

tabular de *wackestone* (biomicrita rala) de foraminíferos planctónicos (15-20%), de color negro grisáceo (5YR 2/1), de 30 cm de espesor, con láminas delgadas a medianas planas paralelas continuas (**fig. 5**). Entre m57,5 y m57,8 aparecen láminas delgadas, lenticulares (40 cm × 2 mm), de cuarzoarenita con textura muy fina, intercaladas en la biomicrita; encima, aparece una capa delgada (8 cm de espesor) de arcilolita de color gris medio oscuro (N4) en contacto neto. Las concreciones de la parte superior contienen restos de amonitas en volumen (muestra APA-2784, m67,6).



Figura 4. Segmentos 5 y 6; *wackestone* de color negro, rico en materia orgánica, con estratificación delgada plana paralela continua; la sucesión está invertida; Formación Salada, m50,0-m56,0 (N:1.279.390, E:1.084.391, Z:340, Az: 150°).

Segmento 8 (m69,5-m89,3). *Wackestone* (biomicrita rala) de foraminíferos planctónicos (10-35% del volumen total de la roca), de color negro grisáceo (N2), rico en materia orgánica, arcilloso, compacto, bien estratificado y laminado (**láms. 1/G, 1/H, tabla 2**; muestras APA-2788, APA-2790), partición hojosa, en capas y láminas delgadas, de forma plana paralela continua. En la parte superior (m87,5-m89,3) abundan concreciones micríticas con pirita, de color gris medio (N5), forma elipsoidal o



Figura 5. Base del segmento 7; estrato tabular de *wackestone* de coloración oscura con tonalidad marrón por meteorización, de 30 cm de espesor, que en la fotografía se destaca morfológicamente a la derecha; la sucesión está invertida; Formación Salada, m56,0-m59,0 (N:1.279.295, E:1.084.360, Z:332, Az:140°).

subesférica, tamaño centimétrico (desde 3 × 3 cm hasta 3 × 8 cm), así como impresiones de bivalvos (*Anomia* sp.); en el resto del segmento las concreciones son ocasionales a nivel de afloramiento. En la parte más alta del segmento (m77,1) aparece una intercalación de 30 cm de espesor de lodolita terrígena-calcárea de color negro grisáceo (N2), rica en materia orgánica, más blanda que la biomicrita. Entre m82,5 y m83,0 aparecen láminas delgadas lenticulares de pirita de 1-3 mm de espesor y de 4-6 m de longitud, separadas cada 5 a 15 cm estratigráficos.

Segmento 9 (m89,3-m100,2). En la base (m89,3-m94,8), dominio de *mudstone* terrígeno con carbonato de calcio (lodolita terrígena-calcárea), con un nivel intercalado de *wackestone* fosilífero (biomicrita rala) en m92,0-m93,7, rico en materia orgánica y arcilloso. Hacia el techo (m94,8-m100,2), predominio de calizas fosilíferas con textura *wackestone* y *mudstone*, arcillosas y ricas en materia orgánica, con un nivel de lodolita terrígena-calcárea intercalada (m96,4-m96,9). La roca es de color negro grisáceo (N2), en capas delgadas hasta gruesas, planas paralelas continuas y discontinuas; muestra láminas delgadas a medianas planas paralelas discontinuas. Los *wackestone* contienen 20-25% de foraminíferos planctónicos dispuestos paralelamente a la estratificación, conformando láminas delgadas discontinuas (**lám. 2/A**; muestra APA-2792).

Se presentan niveles de concreciones centimétricas, de sección transversal elíptica o subesférica, a veces esférica, compuestas por micrita, con dimensiones de 2 × 3 cm hasta 4 × 10 cm. Los *wackestone* de la parte más superior (m97,7-m100,2) son compactos y presentan mayor abundancia de concreciones que el resto del segmento. En las capas cuspidales (m99,0-m100,2) se encuentran impresiones de amonitas y de bivalvos (*Anomia* sp. e *Inoceramus* sp., muestra APA-2795).

Segmento 10 (m100,2-m125,0). Sucesión espesa de *mudstone* terrígeno (lodolita terrígena) de color negro grisáceo y gris oscuro (N2, N3), más bien compacto, rico en materia orgánica, bien estratificado y laminado (de forma plana paralela



Figura 6. Segmento 10; lodolita terrígena alternando con lodolita terrígena levemente calcárea, de color negro, con estratificación delgada, plana paralela continua; la sucesión está invertida; Formación Salada, m110,0-m125,0 (N:1.279.437, E:1.084.396, Z:335, Az:62°).

la) (fig. 6, láms. 2/B, 2/C, tabla 2; muestra APA-2800), con partición hojosa. Las capas son delgadas y continuas, mientras que las láminas son medianas y discontinuas. Tanto en la parte inferior (m101,0-m101,8; m104,9-m109,0) como en la superior (m112,4-m115,3; m119,0-m125,0), las lodolitas terrígenas varían entre calcáreas y levemente calcáreas; las lodolitas de la base del segmento (m100,2-m101,0) presentan diaclasamiento en varias direcciones, con espaciamiento centimétrico. En la parte media del segmento (m109,0-m110,5) se intercala un nivel de caliza con textura *mudstone* (micrita) arcillosa, de color, estratificación y laminación similares a las lodolitas. En el m113,0-m114,0 y m124,0-m125,0 se encuentran láminas lenticulares de cuarzoarenita muy fina, de hasta 6 mm de espesor, espaciadas cada 2 o 4 cm.

Formación Pujamana

Inicia en las coordenadas N:1.279.513, E:1.084.347, Z:336, plancha IGAC 120-I-B a escala 1:25.000.

Segmento 1 (m125,0-m141,6). Suprayace al segmento 10 de la Formación Salada, en contacto concordante transicional rápido. Es un segmento siliciclástico (terrígeno), grano-creciente, que comienza con arcillolitas en la base (m125,0-m136,3), sigue con lodolitas (m136,3-m138,4), continúa con una alternancia de limolitas de cuarzo con cuarzoarenitas (m138,4-m140,3) y finaliza con cuarzoarenitas con cemento calcáreo (m140,3-m141,6). Las arcillolitas y lodolitas son de color negro grisáceo (N2), estratificadas en capas delgadas y láminas entre delgadas y medianas de forma plana paralela discontinua; las lodolitas presentan aproximadamente 1% de muscovita orientada paralelamente a la laminación de la roca. Las limolitas son cuarzosas y arenosas (40% de partículas de cuarzo con textura arena fina), de color gris oliva (5Y 4/1), en capas medianas a gruesas y láminas delgadas a medianas, levemente ondulosas, no paralelas, discontinuas. Las cuarzoarenitas superiores (m140,3-m141,6) son de color gris oliva (5Y 4/1), con textura arena muy fina, arcillosas, con cemento calcáreo; se encuentran en capas entre medianas y

gruesas, con estratificación levemente ondulosa paralela discontinua y laminación interna, delgada a mediana, levemente ondulosa no paralela discontinua. Las cuarzoarenitas (lám. 2/D; muestra APA-2811) que alternan con las limolitas de cuarzo muestran estratificación y laminación similar a estas últimas. El cambio litológico es gradual entre las distintas litologías del segmento. En la base (m126,0) hay impresiones de amonitas en las arcillolitas (muestra APA-2833).

Segmento 2 (m141,6-m151,2). Segmento siliciclástico (terrígeno), grano-creciente, compuesto por arcillolitas (m141,6-m142,3), lodolitas (m142,3-m150,8) y limolitas (m150,8-m151,2) de color negro grisáceo y gris oscuro (N2, N3), en capas delgadas, planas paralelas, discontinuas. Las limolitas muestran laminación mediana levemente ondulosa no paralela discontinua, mientras que las arcillolitas y lodolitas exhiben laminación entre delgada y mediana, plana paralela discontinua, y son ricas en materia orgánica (láms. 2/E, 2/F, tabla 2; muestra APA-2813).

Segmento 3 (m151,2-m152,0). Lodolita terrígena de color negro grisáceo (N2), con estratificación y laminación plana paralela discontinua, en capas delgadas y láminas entre delgadas y medianas.

Segmento 4 (m152-m 153,5). Cubierto.

Segmento 5 (m153,5-m160,5). Sucesión terrígena, grano-creciente, con arcillolitas en la base (m153,5-m155,0) suprayacidas por lodolitas (m155,0-m158,6), ambas litologías de color negro grisáceo (N2), en capas delgadas y láminas entre delgadas y medianas, planas paralelas discontinuas. El techo del segmento está compuesto principalmente por cuarzoarenita (m158,6-m160,5), de color negro oliva (5Y 2/1), textura que varía de arena muy fina a limo grueso, arcillosa, calcárea, glauconítica, con hasta 2% de muscovita (láms. 2/G, 2/H, tabla 2; muestra APA-2815); la estratificación y laminación es ondulosa no paralela discontinua, y exhibe capas delgadas y láminas medianas, cuando no están destruidas por la bioperturbación; la base de estas cuarzoarenitas presenta diaclasas en varias direcciones, espaciadas centimétricamente.

Segmento 6 (m160,5-m172,0). Sucesión grano-creciente, mixta, terrígena y calcárea, compuesta de base a techo por *mudstone* terrígeno (arcillolitas, m160,5-m166,2; lodolitas, m166,2-m168,5), lodolitas terrígenas-calcáreas (m168,5-m171,5) y *wackestone* (biomicritas ralas) limosos (m171,5-m172,0). El paso de lodolita terrígena-calcárea a biomicrita limosa es gradual rápido. Las arcillolitas y lodolitas terrígenas son de color negro grisáceo (N2), en capas delgadas y láminas entre delgadas y medianas, planas paralelas discontinuas. Las lodolitas terrígenas-calcáreas son de color negro oliva (5Y 2/1), estratificadas en capas delgadas planas paralelas discontinuas, con laminación interna entre delgada y mediana, plana paralela discontinua (m168,5-m169,4), o levemente ondulosa no paralela discontinua (m169,4-m171,5), de tipo lenticular a

onduloso. Las calizas con textura *wackestone* son de color gris oliva (5Y 4/1), limosas (10,4% de partículas de cuarzo con textura de limo grueso), con laminación interna levemente ondulosa no paralela discontinua, destruida parcialmente por bioperturbación moderada a alta (lám. 3/A, tabla 2; muestra APA-2819), e impresiones de bivalvos (*Inoceramus* sp.). En el m170,0, entre las lodolitas terrígenas-calcáreas se intercala una capa delgada de caliza con textura *mudstone*, arenosa, de color negro oliva (5Y 2/1), de aspecto macizo y forma nodular.

Segmento 7 (m172,0-m174,0). Lodolita terrígena de color gris oscuro (N3), blanda, finamente laminada, en capas delgadas y láminas muy delgadas, planas paralelas discontinuas. En la parte media (m173,0) aparecen nódulos y capas nodulares de 4 cm de espesor de limolita ferruginosa.

Segmento 8 (m174,0-m180,3). Cubierto por derrubios.

Segmento 9 (m180,3-m181,5). Lodolita terrígena de color gris oscuro (N3), laminada, fracturada; en la base aparece una capa de 25 cm de espesor de caliza con textura *mudstone*, de color gris oscuro a negro grisáceo (N2-N3), duro, homogéneo; en sección delgada se aprecia con textura brechoide (lám. 3/C; muestra APA-2820).

Formación Galembó

Inicia en las coordenadas N:1.279.538, E:1.084.269, Z:340, plancha IGAC 120-I-B a escala 1:25.000.

Segmento 1 (m181,5-m183,0). Suprayace de forma concordante y neta al segmento 9 de la Formación Pujamana. Está constituido por *mudstone* calcáreo (micrita) de color negro grisáceo a negro parduzco (N2-5YR 2/1), fracturado (fracturas subparalelas y transversales a la estratificación, discontinuas, espaciadas centimétricamente, que dan aspecto brechoide a la roca).

Segmento 2 (m183,0-m198,2). *Wackestone* (biomicrita rala) de foraminíferos planctónicos (15-50%) con textura de arena fina, color negro grisáceo a gris parduzco (N2-5YR 2/1), rico en materia orgánica (lám. 3/D, tabla 2; muestra APA-2821), en capas medianas a gruesas y láminas delgadas a medianas, de forma plana paralela continua. Entre m188,5 y 188,8 la roca presenta aspecto nodular; hacia la parte superior (m196,5-m198,5) es levemente fosfático (<5%) y con menor contenido de materia orgánica (lám. 3/E; muestra APA-2822). Entre m183,0 y m186,5 la roca está fracturada. En m196,5 se intercala una capa de *chert* negro (N1) de 14 cm de espesor. Entre m186,5 y m198,2 se encuentran concreciones micríticas de color gris oscuro, gris medio oscuro o gris oliva (N3, N4, 5Y 4/1), de forma elipsoidal y esférica, las más abundantes de tamaño centimétrico (de 6 × 12 cm hasta 4 × 17 cm), y las de menor abundancia de tamaño métrico (desde 0,33 × 1,1 m hasta 0,7 × 1,5 m de sección transversal), estas últimas compuestas por *wackestone* internamente laminado, similar en textura al de la roca hospedante.

En estas concreciones son comunes restos de amonitas en volumen (muestras APA-2838, APA-2840).

Segmento 3 (m198,2-m217,5). *Mudstone* calcáreo (micrita) fosilífero, de color negro grisáceo a negro parduzco (N2-5YR 2/1), con 1-10% de foraminíferos planctónicos con textura que varía de arena muy fina a fina, rico en materia orgánica, bien estratificado; principalmente en capas delgadas y en menor proporción en capas medianas a gruesas (m200,0-m201,5), planas paralelas y continuas (fig. 7), con laminación interna entre delgada y mediana, plana paralela, continua y discontinua. Presenta concreciones subsféricas y elipsoidales, de tamaño centimétrico y decimétrico, primordialmente (desde 4 × 7 cm o 10 × 10 cm hasta 60 × 40 cm), y en menor proporción métricas (1,3 × 0,6 m), de composición micrítica y color que varía de negro a gris oliva (N1-5Y 4/1), sin fósiles. En la parte media del segmento (m206,0-m209,0) se intercala un nivel de calizas con textura *wackestone* (biomicrita rala) de foraminíferos planctónicos (25-30%) dispuestos en láminas delgadas, continuas y discontinuas, paralelas a la estratificación (láms. 3/F, 3/G, tabla 2; muestra APA-2823); el color es negro grisáceo a negro parduzco (N2-5YR 2/1), se presenta en capas delgadas, con laminación entre delgada y mediana, plana paralela continua bien desarrollada. En m213,0 aparece una capa delgada (de 10 cm de espesor) de *chert* negro de forma lenticular.



Figura 7. Techo del segmento 3, segmento 4 y base del segmento 5; calizas (*mudstone* con alternancias de *wackestone*) de color negro, ricas en materia orgánica, en capas delgadas, planas paralelas continuas; Formación Galembó, m213,5-m221,0 (N:1.279.579, E:1.084.268, Z:342, Az:334°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 8 × 15 cm.



Figura 8. Techo del segmento 3 y segmento 4; calizas de color negro con textura *mudstone* y *wackestone*, ricas en materia orgánica; el segmento 4 está fracturado y deformado a nivel decimétrico; Formación Galembó, m216,5-m219,5 (N:1.279.579, E:1.084.265, Z:341, Az:333°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 8 × 15 cm.

Segmento 4 (m217,5-m219,5). *Wackestone* (biomicrita rala) de foraminíferos planctónicos (25-30%), de color negro (N1) (figs. 7 y 8), fracturado y deformado a nivel decimétrico.

Segmento 5 (m219,5-m253,2). *Mudstone* calcáreo (micrita), de color negro grisáceo, negro parduzco o gris parduzco (N2, 5YR 2/1, 5YR 4/1), rico en materia orgánica, con 1-10% de foraminíferos planctónicos con textura de arena muy fina, dispuestos paralelamente a la laminación de la roca; se presenta en capas y láminas delgadas a medianas, planas paralelas, continuas y discontinuas (fig. 9). Son frecuentes las



Figura 9. Base del segmento 5; caliza negra con textura *mudstone*, rica en materia orgánica, en capas delgadas a medianas planas paralelas, continuas y discontinuas; Formación Galembó, m219,5-m224,0 (N:1.279.580, E:1.084.260, Z:343, Az:330°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 8 × 15 cm.

concreciones elipsoidales, y menos comunes las esféricas, de composición micrítica, color negro grisáceo y gris parduzco (N2, 5YR 4/1), duras, algunas con restos de amonitas, especialmente hacia la porción inferior del segmento (muestra RT-5474); el tamaño varía de centimétrico a decimétrico (desde 4 × 7 cm hasta 25 × 50 cm) (fig. 10); solo en m226,7 aparece una concreción métrica (1,6 × 0,45 m). En la parte alta del segmento (m248,0-m251,7), la roca está fracturada y plegada a nivel centimétrico y decimétrico.



Figura 10. Concreciones micríticas centimétricas, con sección elíptica, en la base del segmento 5; Formación Galembó, m225,5 (N:1.279.580, E:1.084.258, Z:343, Az:225°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 8 × 15 cm.

En la parte media (m235,0-m236,0, fig. 11) y superior (m245,0; m249,5-250,0) del segmento aparecen cinco intercalaciones delgadas (entre 3 y 13 cm de espesor) de arcillolita blanda, me-



Figura 11. Capas delgadas intercaladas de arcillolita (indicadas con flechas rojas), meteorizada, de color amarillento, en la porción superior del segmento 5; Formación Galembó, m234,5-m236,0 (N:1.279.598, E:1.084.260, Z:344, Az:230°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 8 × 15 cm.

teorizada, de color anaranjado muy pálido (10YR 8/2) o gris amarillento (5Y 7/2). Tanto en la base (m220,5-m226,0) como en el tramo intermedio (m236,0-m240,0) son comunes capas medianas y delgadas (desde 4 hasta 20 cm de espesor) de *chert* negro (N1), generalmente de forma lenticular (fig. 12).

En m228,8-m230,0; m232,3-m232,8; m234,5-m236,0; m242,5-m242,8 y m251,7-m252,0 se intercalan capas tabulares gruesas (de 33 a 50 cm de espesor) o juegos de tabulaciones delgadas de calizas ricas en materia orgánica con textura *wackestone* (biomicrita rala) con 16,8% o 34,4% de foraminíferos planctónicos, principalmente, con textura de arena fina (láms. 3/H, 4/A, tabla 2; muestras APA-2827 y APA-2830). La roca exhibe el mismo color, estratificación y laminación que el *mudstone* calcáreo que compone la mayoría de este segmento (fig. 13). En este segmento (m251,7-m252,0) se registra la primera aparición de foraminíferos bentónicos, que coexisten con foraminíferos planctónicos, con un 5% de los 34,4% de foraminíferos que contiene la muestra APA-2830 (véase lám. 4/A, tabla 2).

Segmento 6 (m253,2-m261,0). *Wackestone* (biomicrita rala) de color negro grisáceo, gris parduzco y negro oliva (5YR 2/1, 5YR 4/1, 5Y 2/1), rico en materia orgánica, con 15-30% de foraminíferos planctónicos con textura de arena fina, dispuestos en láminas delgadas a medianas, planas paralelas discontinuas (lám. 4/B; muestra APA-2831); se encuentra en



Figura 12. *Chert* negro de forma lenticular en la base del segmento 5; Formación Galembó, m224,0 (N:1.279.580, E:1.084.258, Z:343, Az:225°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 8 × 15 cm.



Figura 13. Capa gruesa de *wackestone* de foraminíferos planctónicos (identificada con el número 65), en la base del segmento 5; Formación Galembó, m231,5-m235,5 (N:1.279.595, E:1.084.260, Z:343, Az:240°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 8 × 15 cm.

capas delgadas y medianas, planas paralelas continuas (fig. 14). En el m258,9 aparece una capa delgada intercalada, de 10 cm de espesor, de limolita calcárea de color negro grisáceo (5YR 2/1), más blanda que la biomicrita. Hacia la parte alta del segmento (m259,0-m260,0) hay fracturamiento centimétrico y plegamiento decimétrico (fig. 14).

Segmento 7 (m261,0-m265,8). *Mudstone* calcáreo (micrita) fosilífero de color negro oliva y negro parduzco (5Y 2/1, 5YR 2/1), con 5-10% de foraminíferos planctónicos, rico en materia orgánica, en capas y láminas delgadas y medianas, planas paralelas discontinuas (fig. 15). En la parte más alta (m264,8-m265,8), la micrita es más blanda que en el resto del segmento. En la parte media (m262,2 y m263,0) se intercalan dos capas gruesas, de 50 y 30 cm de espesor, de caliza con textura *wackestone* (biomicrita rala), con 25-30% de foraminíferos planctónicos, separadas por una capa delgada de 10 cm de arcillolita negra (N1); encima de la capa de 30 cm aparece otra intercalación, pero de limolita calcárea negra (N1) (fig. 16).



Figura 14. Porción superior del segmento 6; *wackestone* de color negro con tonalidad clara por meteorización, en capas delgadas y medianas, planas paralelas continuas; en la fotografía, a la derecha la roca se observa fracturada centimétricamente y plegada decimétricamente; Formación Galembó, m257,0-m260,0 (N:1.279.632, E:1.084.429, Z:345, Az:345°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 8 × 15 cm.



Figura 15. Base del segmento 7 (m261,5); detalle de calizas negras con textura *mudstone* de tonalidad blanquecina por meteorización, fosilíferas, en capas delgadas de forma plana paralela discontinua; Formación Galembó (N:1.279.658, E:1.084.337, Z:348, Az:298°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 6 x 17 cm.



Figura 16. Base del segmento 7 (m263,0-m264,5) con *mudstone* calcáreo fracturado; en la parte central de la fotografía aparece una concreción micrítica de tamaño métrico, igualmente fracturada; Formación Galembó (N:1.279.654, E:1.084.353, Z:348, Az:329°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 6 x 17 cm.

Entre el m263,0 y el m264,5 aparece una concreción muy grande elipsoidal, de 1,1 x 3 m de sección transversal, compuesta por micrita de color negro oliva (5Y2/1) (**fig. 16**).

Segmento 8 (m265,8-m277,2). *Wackestone* (biomicrita rala) de color negro grisáceo, gris oliva y negro oliva (5YR 2/1, 5Y 4/1, 5Y 2/1) (**fig. 17**), de foraminíferos bentónicos (m275-m276,1 con 25-35%) o de foraminíferos planctónicos (m276,1-m277,2; m271-m274,9; m265,8-m267,8 con 15-35%), flotantes o dispuestos en láminas, en el soporte de lodo calcáreo que constituye la roca (**lám. 4/C**; muestra 2833A); la roca es rica en materia orgánica; presenta aproximadamente 10% de terrígenos de cuarzo con tamaño limo en la parte media del segmento (m271,0-m273,2). El segmento muestra estratificación mediana a gruesa en el techo (m275,0-m 277,2), delgada a mediana en la parte intermedia (m267,8-m275,0), y mediana en la base (m265,8-267,8); la forma de las capas y láminas es plana paralela, continua y discontinua.



Figura 17. Techo del segmento 8; *wackestone* de color negro (por meteorización presenta una pátina de coloración blanca) en capas delgadas y medianas, planas paralelas continuas; Formación Galembó, m272,0-m272,5 (N:1.279.675, E:1.084.276, Z:350, Az:298°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 6 x 17 cm.

En la parte inferior (m267,8-m271,3) se intercalan calizas con textura *mudstone* (micritas) de color negro oliva y gris oliva (5Y 2/1, 5Y 4/1), con abundantes concreciones micríticas, de tamaño decimétrico hasta métrico (desde 35 x 45 cm hasta 0,3 x 2,1 m), de forma lenticular (**fig. 18**), sin macrofósiles, duras, con fractura concoide, y un contenido de 10-15% de foraminíferos bentónicos. La micrita es más blanda que el *wackestone* suprayacente y presenta alto contenido de materia orgánica donde están las concreciones (m268,8-m271,3).

En la parte superior aparecen dos capas delgadas (10 cm de espesor cada una) de limolita calcárea (m273,1) y de limolita de cuarzo (m273,9); una capa mediana (20 cm de espesor) de caliza con textura *packstone* de foraminíferos planctónicos (50-60%), de color negro grisáceo (5YR 2/1), homogénea (m274,0), y una capa mediana (12 cm de espesor) de *chert* fosilífero de foraminíferos planctónicos con textura *wackestone*, de color negro (N1) en m276,8.



Figura 18. Parte inferior del segmento 8; concreción micrítica de tamaño métrico, de forma lenticular, hospedada en *mudstone* calcáreo negro rico en materia orgánica; Formación Galembó, m269,0 (N:1.279.678, E:1.084.270, Z:353, Az:270°). Escala: longitud del martillo = 28 cm.



Figura 19. Techo del segmento 8 (Formación Galembó) y base del segmento 9 (Formación La Renta); *wackestone* de color negro (con pátina de tonalidad clara por meteorización) en capas delgadas, planas paralelas continuas; se intercalan capas gruesas de fosforita (Fo) con textura *packstone* en la base de la Formación La Renta, m277,2-m283,0 (N:1.279.687, E:1.084.263, Z:358, Az:30°). Escala: espesor de la capa de fosforita (Fo) = 1,0 m.

A partir de este segmento inicia la Formación La Renta

Segmento 9 (m277,2-m288,5). *Wackestone* (biomicrita rala) de color negro parduzco (5YR 2/1), con 15-40% de foraminíferos planctónicos con textura de arena fina, flotantes en el lodo calcáreo que soporta la roca; entre m279,5 y m280,6 contiene 15-20% de foraminíferos planctónicos (textura de arena fina) y 5-10% de foraminíferos bentónicos (textura de arena mediana), orientados paralelamente a la estratificación; se presenta en capas delgadas y láminas delgadas a medianas, planas paralelas y continuas (**fig. 19**).

Se encuentran varias intercalaciones delgadas y medianas (de 6 hasta 20 cm) de calizas con textura *packstone* (bioesparita) entre m281,4-m 281,7 y m285,9-m286,5; dos capas de 25 y 40 cm de caliza fosfática con textura *packstone*, con 10-20% de aloquímicos fosfáticos, en m282,3 y m283,0; dos capas de 35 cm y 1,2 m de fosforita con textura *packstone* en m279,5 y m280,6, de aspecto homogéneo (**fig. 20**), y una capa de 16 cm



Figura 20. Segmento 9; capa gruesa de aspecto homogéneo, de fosforita con textura *packstone*, de color gris parduzco con pátina de tonalidad blanca por meteorización; Formación La Renta, m281,0 (N:1.279.692, E:1.084.256, Z:360, Az: 305°). Escala: dimensión de la tarjeta blanca = 6 × 17 cm.

de caliza fosfática con textura *wackestone*, con 32,0% de aloquímicos fosfáticos constituidos por peloides, restos de peces (huesos y vértebras) y foraminíferos planctónicos y bentónicos (**láms. 4/D, 4/E, 4/F, tabla 2**; muestra APA-2838). Los aloquímicos de las fosforitas y de las calizas fosfáticas con textura *packstone* muestran buen calibrado, textura de arena fina y arena mediana, respectivamente, y en su mayoría corresponden a peloides, en el caso de las fosforitas, y a foraminíferos bentónicos y planctónicos, en el caso de las calizas fosfáticas con textura *packstone*; tanto las capas de fosforita como las capas fosfáticas de calizas con textura *packstone* y *wackestone* muestran bases netas y una textura mucho más gruesa (partículas fosfáticas y bioclastos entre 0,25-2 mm de diámetro) que contrasta significativamente con las capas de *wackestone* fosilífero de foraminíferos planctónicos y bentónicos en las que se intercalan (con tamaño de bioclastos entre 0,125-0,25 mm), lo cual se interpreta como resultado de la deposición rápida de peloides fosfáticos, foraminíferos y restos de peces, producto de olas de tormenta o flujos de tormen-



Figura 21. Segmento 9; tormentitas de peloides fosfáticos, foraminíferos y restos de peces, acumuladas por olas de tormenta o flujos de tormenta proximal, que dan origen a fosforitas con textura *packstone*; se evidencian dos eventos principales amalgamados de tormenta (1, 2); la base de la capa (línea roja punteada) fosiliza una superficie de erosión; Formación La Renta, m281,0 (N:1.279.692, E:1.084.256, Z:360, Az:335°). Escala: longitud del martillo = 28 cm.

ta proximal (concentraciones de conchas por olas de tormenta o tempestitas proximales, *sensu* Fürsich 1995) (**fig. 21**), lo que sugiere que la acumulación de estos sedimentos se dio sobre un fondo marino con profundidades que varían entre el nivel normal de acción de las olas y la base de las tormentas. Entre m283,4 y m284,6 aparece un paquete intercalado de caliza con textura *mudstone* (micrita), de color gris oliva (5Y 2/1), silíceo (con aproximadamente 25% de sílice).

En la parte superior del segmento (m284,6-m287,5) son comunes concreciones micríticas de color gris oliva (5Y 2/1), de forma ovoide, decimétricas (de 25 × 50 cm hasta 34 × 85 cm de sección transversal); justo encima del nivel de concreciones, en m287,5 y m288,3 aparecen capas delgadas lenticulares de 5 y 10 cm de espesor, respectivamente, de *chert* fosilífero de foraminíferos planctónicos de color negro (N1) con textura *wackestone*. En la base del segmento (m278,3) se intercala una capa mediana de 15 cm de espesor de limolita calcárea.

Segmento 10 (m288,5-m290,0). *Packstone* (biomicrita empaquetada) de foraminíferos planctónicos con variación textural a *wackestone* (biomicrita rala), de color negro parduzco (5YR 2/1), rico en materia orgánica, en capas delgadas, planas paralelas continuas, con laminación interna, delgada a mediana, plana paralela discontinua a levemente ondulosa no paralela discontinua (**láms. 4/G, 4/H, tabla 2**; muestra APA-2843). Bajo el microscopio se observa microbioperturbación leve (véase **lám. 4/G**, muestra APA-2843); la roca es dura. En la base del segmento (m288,5-m289,8) son comunes capas lenticulares delgadas (de 5 a 10 cm de espesor) de *chert* negro fosilífero de foraminíferos planctónicos con textura *packstone*.

Segmento 11 (m290,0-m300,0). *Wackestone* (biomicrita rala) de color negro grisáceo (N2), duro, con 10-40% de foraminíferos planctónicos con textura arena muy fina a fina, y hasta 1% de foraminíferos bentónicos (entre m292,4 y m298,0), en capas delgadas y medianas, planas paralelas con-

tinuas, con laminación interna, delgada a mediana, plana paralela discontinua, parcialmente destruida por bioperturbación moderada (**lám. 5/A**; muestra APA-2845). Entre m292,4 y m293,3 se intercalan capas gruesas y homogéneas de fosforita con textura *packstone* (capa de 29 cm de espesor), y de caliza con textura *packstone* de foraminíferos bentónicos (capa de 33 cm de espesor), separadas por un estrato de 28 cm de limolita de cuarzo; también aparece una capa delgada (10 cm de espesor en m292,0), de caliza con textura *packstone* de foraminíferos planctónicos, laminada internamente, así como una capa de lodolita (*mudstone* terrígeno) de color gris oscuro (N3), de 20 cm en m297,5. Ocasionalmente, en la base del segmento (m293,5) aparecen concreciones micríticas de forma ovoide y tamaño decimétrico (de 17 × 47 cm de sección transversal).

El techo del segmento, pero principalmente la base, presenta varias intercalaciones delgadas (de 5-7 cm de espesor) de forma lenticular, de *chert* negro (N1), fosilífero (con foraminíferos planctónicos) y textura *wackestone*.

Segmento 12 (m300,0-m322,2). *Mudstone* calcáreo (micrita) de color gris parduzco, negro parduzco o negro oliva (5YR 4/1, 5YR 2/1, 5Y 2/1), rico en materia orgánica, compacto, en capas delgadas y medianas de forma plana paralela continua (**fig. 22**), ocasionalmente discontinua (especialmente en la parte superior del segmento). Internamente las capas muestran laminación delgada a mediana, plana paralela discontinua (**lám. 5/B**; muestra APA-2846). En la base de la sucesión (m300,0-m301,5), la micrita está silicificada, por lo cual se encuentra endurecida. Presenta niveles intercalados de calizas con textura *wackestone* con 10-15% de foraminíferos bentónicos entre m310,5 y m311,4; con 33,2% de bioclastos (foraminíferos bentónicos) y ricos en materia orgánica (33,6%) entre m317,7-m318,2 (**lám. 5/C, tabla 2**; muestra APA-2848), o con 25-30% de foraminíferos bentónicos y 5% de peloides fosfáticos entre m318,8-m319,5. En el m318,2 aparece una capa delgada de 7 cm de espesor de arcillolita



Figura 22. Segmento 12; calizas con textura *mudstone*, de color gris parduzco y pátina marrón claro por meteorización, en capas delgadas y medianas plano-paralelas continuas; en el centro destaca una concreción elipsoidal micrítica de 30 × 90 cm; Formación La Renta, m305,0-m320,0 (N:1.279.676, E:1.084.222, Z:373, Az:215°). Escala: ancho del cauce de la quebrada = 1,5-2,0 m.

blanda de color amarillo oscuro (5Y 6/4). Adicionalmente se intercalan capas delgadas de arcillolita laminada (de 5 cm de espesor en m320,3) y de lodolita terrígena-calcárea laminada (de 10 y 13 cm de espesor en m315,7 y en m316,5, respectivamente). En los 3 m basales del segmento (m300,0-m303,0) se intercalan con frecuencia capas delgadas lenticulares de *chert* negro (N1) con espesores de 6 a 13 cm.

Según el contenido de aloquímicos es posible separar tres niveles de calizas con textura *mudstone*, que de base a techo son: **1)** Con 1% de restos de peces y 1-5% de foraminíferos planctónicos con textura de arena muy fina, entre m300,0 y m306,0; **2)** Con 2-5% de foraminíferos bentónicos entre m306,0 y m310,5; y **3)** Con 3-5% de foraminíferos bentónicos y 2-3% de peloides fosfáticos entre m315,0 y m 316,5.

En la parte baja de este segmento (m308,7) ocasionalmente se ven concreciones micríticas ovoides, de color gris parduzco (5YR 4/1) y tamaño centimétrico (30 × 70 cm de sección transversal).

Formación Umir

Inicia en las coordenadas N:1.279.642, E:1.084.211, Z:377, plancha IGAC 120-I-B a escala 1:25.000.

Base de la Formación Umir (m322,8-m350,0). Suprayace de forma disconforme al segmento 12 de la Formación La Renta. Según las recomendaciones del profesor Howe (1997, 133), una disconformidad es un contacto discordante donde existe una superficie de erosión marcada entre las rocas más jóvenes y las rocas sedimentarias más antiguas, y las superficies de estratificación de ambas unidades son esencialmente paralelas.

Evidencias de esta inconformidad se pueden observar en la base del segmento (m322,2-m322,8), donde aparece una capa gruesa de 57 cm, de una arenita de textura fina con cemento calcáreo, de aspecto homogéneo, glauconítica, fosfática e intraclástica (**lám. 5/D, tabla 2**; muestra APA-2849); los primeros 20 cm de esta capa contienen 10-15% de intraclastos de forma ovoide, de 0,5-1,0 cm de diámetro, compuestos por caliza fosfatizada con textura *mudstone*, flotantes en el soporte arenoso; también contiene 3-5% de peloides fosfáticos con textura de arena gruesa. El contacto inferior de esta capa, con las calizas micríticas del segmento 12 de la infra-yacente Formación La Renta, es abrupto, y se observa un fuerte contraste composicional y textural; los estratos que están por encima y por debajo de esta superficie muestran paralelismo; probablemente, los intraclastos micríticos provengan de la erosión y posterior acumulación de las calizas con textura *mudstone* de la parte superior de la Formación La Renta (segmento 12); por las razones antes mencionadas, se interpreta que esta superficie representa un contacto disconforme (**fig. 23**).

La base de la Formación Umir está constituida predominantemente por arcillolitas de color negro parduzco, marrón amarillento oscuro o negro grisáceo (5YR 2/1, 10YR 4/2, N2), calcáreas a levemente calcáreas, con variación local a calizas arcillosas con textura *mudstone* (**láms. 5/E, 5/F, tabla 2**; muestra APA-2853), macizas, en capas delgadas con estratificación plana paralela discontinua, sin laminación interna evidente (**fig. 24**). Hacia la parte inferior de la unidad se encuentran dos tramos cubiertos (m323,5-m330,0; m331,5-m334,0). En la parte más baja (m322,8-m323,5) afloran limolitas arcillosas, calcáreas, ricas en materia orgánica, compactas y con olor a hidrocarburo.



Figura 23. Techo del segmento 12; capa de arenita fosfática glauconítica, de color gris parduzco, homogénea, con 10-15% de intraclastos micríticos con textura de guijarro mediano, flotantes en los primeros 20 cm de la capa (se observan muy bien en la parte derecha de la fotografía); la base del estrato (línea roja punteada) corresponde a una superficie de disconformidad; Formación Umir, m322,2 (N:1.279.642, E:1.084.211, Z:377, Az:120°). Escala: longitud del martillo = 33 cm.



Figura 24. Base de la Formación Umir; lodolitas terrígenas negras, levemente calcáreas, sin laminación interna evidente; Sección estratigráfica Aguablanca, m340,0-m350,0 (N:1.279.695, E:1.084.200, Z:385, Az:014°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.

Entre m334,0-m335,0; m338,8-m339,5 y m343,5-m350,0 se intercalan frecuentemente (cada 3, 7, 20 o 25 cm) capas lenticulares, muy delgadas y delgadas (de 0,5-2 cm de espesor), de limolitas de color marrón moderado (5YR 4/4), compactas, silíceas. En la parte superior (m347,0) las arcillolitas contienen algunos nódulos silíceos, de forma ovoide, de 3-4 cm de diámetro.

DESCRIPCIÓN LITOESTRATIGRÁFICA POR LA VÍA A LA HACIENDA MONTEBELLO

De forma similar a la descripción de la columna realizada por la quebrada Aguablanca, la descripción de la sección por la carretera a la hacienda Montebello se hará de base a techo, con base en segmentos estratigráficos. En esta sección se levantaron las Formaciones Pujamana, Galembo y La Renta, faltando la parte inferior de la Formación Pujamana y gran parte de la Formación La Renta (solo se levantaron los primeros 16 m); los puntos de inicio y finalización de la sección de Montebello son N:1.263.142, E:1.076.426, Z:399 y N:1.263.739, E:1.076.194, Z:449 (véase **fig. 1**).

Formación Pujamana

La sección estratigráfica por la carretera que conduce a la hacienda Montebello inicia con la Formación Pujamana en las coordenadas N:1.263.142, E:1.076.426, Z:399, plancha IGAC 120-I-D a escala 1:25.000; no se observa el contacto con la infrayacente Formación Salada.

Segmento 1 (m0,0-m9,8). Sucesión grano-creciente, principalmente terrígena, con arcillolitas en la base y arenitas en el techo. Se compone de arcillolita (m0,0-m6,0), blanda, de color gris oscuro, gris medio claro o gris parduzco claro (N3, N6, 5YR 6/1), con estratificación y laminación delgada plana paralela discontinua, algo muscovítica (<1% textura de limo grueso); en el techo presenta algunas láminas delgadas lenticulares

de limo de cuarzo (m4,5-m6,0). Le siguen lodolitas (m6,0-m7,0) y limolitas (m7,0-m7,6), de color gris medio y marrón claro (N3, 5YR 5/6), muscovíticas (1%), con estratificación delgada, plana paralela discontinua, y laminación mediana, lenticular en las lodolitas, y lenticular y ondulosa en las limolitas. El techo del segmento es de cuarzoarenitas (m7,6-m 9,8), de color gris muy claro y negro parduzco (N8, 5YR 4/1), textura muy fina, con estratificación levemente ondulada no paralela discontinua y laminación heterolítica ondulosa (láminas delgadas de arcillolita alternan con láminas medianas de arenita muy fina).

En el techo del segmento (m9,5-m9,8) aparece una capa tabular de 30 cm de caliza fosilífera con textura *wackestone*, de color gris medio oscuro (N4), maciza, con 20-30% de fragmentos (de aproximadamente 1 cm de diámetro) de bivalvos que muestran imbricación (**lám. 5/G**; muestra RT-5395), con techo y base netos, lo que sugiere tormentitas acumuladas por debajo del nivel normal de acción de las olas y por encima del nivel de las tormentas, siguiendo los criterios de Fürsich (1995).

Segmento 2 (m9,8-m27,0). Sucesión terrígena grano-creciente (**fig. 25**), compuesta de base a techo por arcillolita (m9,8-m16,4) de color gris oscuro, marrón claro, naranja amarillento oscuro o gris medio claro (N3, 5YR 5/6, 10YR 6/6, N6), meteorizada, con estratificación y laminación delgada plana paralela discontinua, fracturada; se intercalan algunas capas muy delgadas (de 1 cm de espesor) de limolitas oxidadas, color naranja amarillento oscuro y rojo moderado (10YR 6/6, 5R 4/6), entre m12,0 y m13,0. Continúan lodolitas de color gris oscuro (N3) de aspecto macizo, micáceas (1-2% de muscovita fina con textura de limo grueso), entre m16,4 y m28,0 (**lám. 5/H**; muestra RT-5361). En el techo del segmento (m26,0-m27,0) aparecen limolitas de cuarzo de color gris parduzco (5YR 4/1), mal expuestas, macizas, con 1-2% de muscovita con textura de limo grueso. Se encuentran impresiones de amonitas hacia la base del segmento (m19,5, muestra RT-5473).



Figura 25. Segmento 2; sucesión terrígena grano-creciente de color gris oscuro a marrón claro constituida por arcillolitas en la base hasta limolitas de cuarzo en el techo; el cambio litológico es gradual; Formación Pujamana, m17,0-m27,0 (N:1.263.186, E:1.076.401, Z:399, Az:260°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.

Segmento 3 (m27,0-m50,0). Sucesión espesa de lodolitas terrígenas de color gris oscuro (N3), de aspecto macizo (no se aprecia la estratificación, **fig. 26**), con 1-2% de muscovita fina con textura de limo grueso, **láms. 6/A, 6/B, tabla 2;** muestra RT-5362). En el m33,0 y m39,0 presenta láminas lenticulares muy delgadas de limo grueso de cuarzo; local-

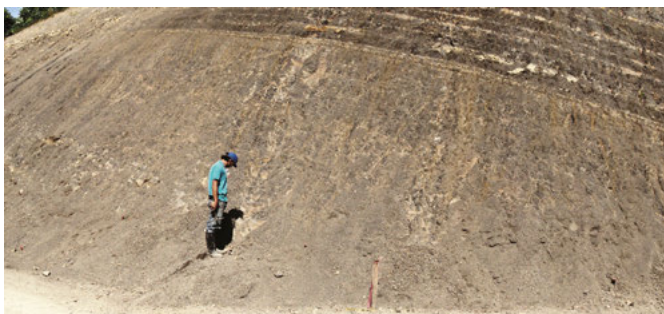


Figura 26. Parte superior del segmento 3, lodolitas de color gris oscuro con tonalidad marrón claro por meteorización, aspecto macizo, muscovíticas; Formación Pujamana, m44,0-m50,0 (N:1.263.229, E:1.076.390, Z:400, Az:242°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.

mente es levemente calcárea (m37,5) y con impresiones de bivalvos. En el m42,8 y m44,8 aparecen capas medianas (de 15 cm y de 10 a 20 cm de espesor) de calizas micríticas de color gris oscuro (N3), terrígenas (lodosas), nodulares y discontinuas.

Segmento 4 (m50,0-m59,0). Sucesión mixta, terrígena y calcárea (**fig. 27**), constituida en la base (m50,0-m54,0) y en el techo (m56,7-m59,0) por lodolitas de color gris oscuro (N3), macizas, muscovíticas (1-2% de muscovita con textura de limo grueso); la parte inferior presenta intercalaciones cada 20 a 50 cm estratigráficos, de cuarzoarenitas de textura muy fina, color marrón amarillento moderado (10YR 5/4), arcillosas, bioturbadas (**lám. 6/C;** muestra RT-5363), de base irregular y neta, en capas delgadas y medianas (5-22 cm de espesor) de forma tabular; y una intercalación de 18 cm de espesor (m50,7) de caliza con textura *mudstone*, terrígena, de color gris parduzco (5YR 4/1).

En la parte media del segmento, gradual y rápidamente en la vertical (aproximadamente en el m54,0), las lodolitas cambian a limolitas de cuarzo de color gris medio oscuro (N4), en capas delgadas y láminas delgadas a medianas, planas paralelas discontinuas; las limolitas continúan hasta el m56,0 con intercalaciones de calizas con textura *mudstone*, aspecto macizo, forma tabular, base neta e irregular, con espesores de 10 a 33 cm, y con 7-10% de restos de bivalvos, las cuales se interpretan como tormentitas acumuladas por oleaje en tiempo de tormenta (en el sentido de Fürsich 1995); en el m55,7 aparecen concreciones elipsoidales micríticas en las limolitas, de 20 cm en su diámetro mayor.

En el techo del segmento (m56,0-m59,0), y alternando con lodolitas, aparecen capas tabulares de calizas con textura *mudstone*, de color gris medio oscuro, negro oliva o gris oliva (N4, 5Y 2/1, 5Y 4/1), macizas, con espesores entre 30 y 70



Figura 27. Segmento 4; lodolitas y limolitas de color gris oscuro, con capas intercaladas frecuentemente, de cuarzoarenita de textura muy fina y de caliza con textura *mudstone*, de tonalidad marrón amarillento; las capas competentes (arenitas y calizas) son tabulares, con bases netas e irregulares; Formación Pujamana, m50,0-m59,0 (N:1.263.252, E:1.076.355, Z:400, Az:223°). Nótese de izquierda a derecha la estratificación plana con forma divergente, o en forma de cuña, que sugiere basculamiento del fondo debido a tectonismo concomitante con la sedimentación.

cm, más gruesas en la parte inferior y más delgadas en la parte superior, con bases netas e irregulares, y techos ondulados. La capa más baja, de 70 cm (m56,0), varía gradualmente en la vertical, de caliza terrígena (arenosa) con textura *mudstone*, en su parte inferior, a cuarzoarenita arcillosa, y esta, a su vez, a limolita y lodolita (**fig. 28**); contiene 3% de restos de bivalvos flotantes en el soporte micrítico. En el m57,4 aparece una capa de 10 cm de espesor de cuarzoarenita fosilífera, con textura fina, con 5-7% de restos de bivalvos distribuidos homogéneamente, también con base neta e irregular. El segmento finaliza con una capa de caliza con textura *mudstone* de 30 cm de espesor, en la cual aparece una concreción micrítica lodosa de $0,2 \times 1,7$ m, de forma lenticular y color gris oliva (5Y 4/1). Infrayaciendo esta capa aparecen concreciones micríticas decimétricas (de 20×10 cm), elipsoidales, en una capa de 20 cm de lodolita perteneciente al techo del segmento.



Figura 28. Detalle de la parte superior del segmento 4; capa tabular de 70 cm de caliza con textura *mudstone*, fosilífera, arenosa, que varía gradualmente hacia el techo a lodolita; Formación Pujamana, m56,0-m59,0 (N:1.263.258, E:1.076.376, Z:402, Az:257°). Escala: longitud del martillo = 28 cm.

Segmento 5 (m59,0-m64,7). Sucesión mixta, terrígena y calcárea (**fig. 29**), compuesta en la base (m59,0-m60,2) por limolitas arcillosas de color gris medio oscuro (N4), algo muscovíticas (<1% con textura de limo grueso), en capas delgadas, planas paralelas discontinuas, y láminas delgadas a medianas levemente onduladas, no paralelas discontinuas; en el m59,8 presenta laminación heterolítica lenticular con láminas intercaladas de 3 mm de espesor de cuarzoarenita de grano muy fino. En la parte media (m60,2-m60,3) aparece una capa mediana de 12 cm de espesor, tabular, de contactos irregulares y netos, de cuarzoarenita con textura muy fina, del mismo color que las limolitas. El techo del segmento (m60,3-m64,7) es de lodolitas muscovíticas (1-2% con textura de limo grueso, diseminada en la roca), de color gris oscuro (N3) con estratificación y laminación similar a la de las limolitas infrayacentes; entre m61,8 y m62,3 se intercala una capa gruesa de 50 cm de espesor de caliza con textura *mudstone* de color gris medio oscuro (N4), maciza, dura, de forma tabular, con base y techo planos a ondulados; encima de esta capa aparecen 50 cm de limolita de cuarzo, calcárea, de color gris oscuro (N3), que pasa gradualmente en la vertical a lodolita.

Segmento 6 (m64,7-m73,8). Sucesión de lodolitas terrígenas de color gris oscuro (N3-N4), muscovíticas (1-2%), en capas delgadas y láminas delgadas a medianas, planas paralelas discontinuas; en la parte superior (m72,3) presenta laminación lenticular y ondulosa heterolítica por granulometría (láminas delgadas de cuarzoarenita de textura muy fina, intercaladas). Presenta interposiciones frecuentes de capas tabulares resistentes a la erosión, por lo cual resaltan topográficamente (**fig. 30**), de cuarzoarenita de textura muy fina, calcárea, con espesores de 20 cm (m64,7), 30 cm (m67,8) y 80 cm (m73,0), esta última de aspecto macizo por bioperturbación (**lám. 6/D**; muestra RT-5366), y con base y techo transicionales; cuarzoarenita con textura de arena muy fina, pirítica (5-10%), en capas de 4 y 5 cm entre m66,3 y m67,0; cuarzoarenita de tex-

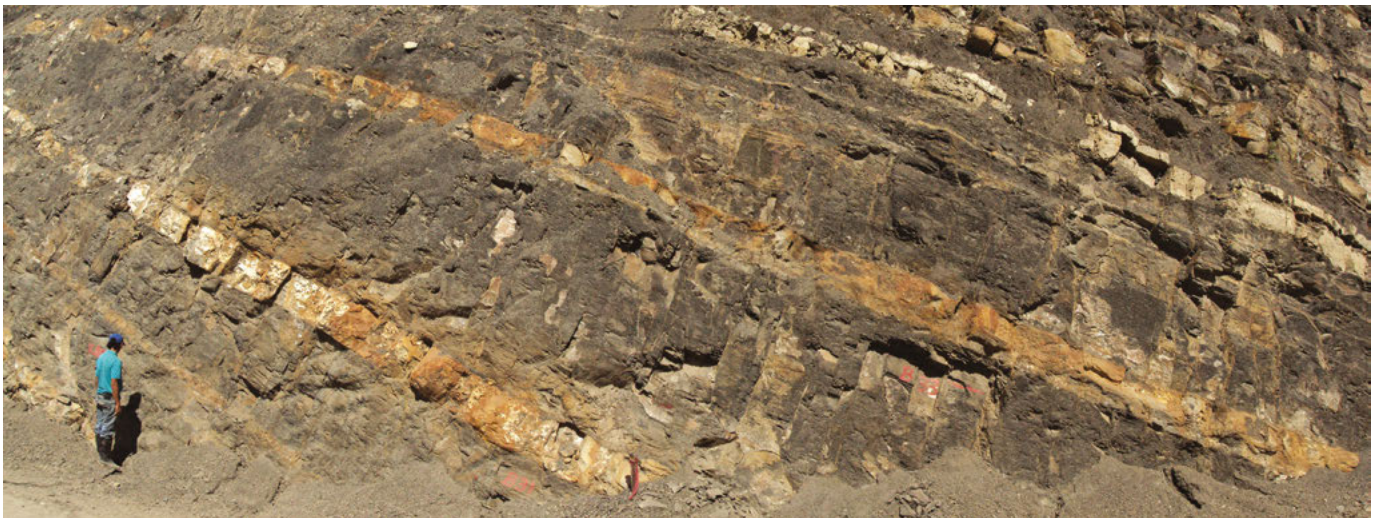


Figura 29. Segmento 5; lodolitas y limolitas de coloración gris con intercalaciones de cuarzoarenita de textura muy fina y caliza con textura *mudstone*; Formación Pujamana, m59,0-m65,0 (N:1.263.252, E:1.076.355, Z:400, Az:264°). Escala: altura de la persona = 1,7 m. Nótese, de izquierda a derecha, la estratificación plana con forma divergente, o en forma de cuña, que sugiere basculamiento del fondo debido a tectonismo concomitante con la sedimentación.



Figura 30. Segmento 6; lodolitas terrígenas de color gris oscuro con intercalaciones frecuentes de cuarzoarenita de textura muy fina, calizas con textura *mudstone* y limolitas de cuarzo que resaltan topográficamente; Formación Pujamana, m65,0-m74,0 (N:1.263.298, E:1.076.371, Z:406, Az:264°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.

tura muy fina, fosilífera, de color naranja grisáceo (10YR 7/4), con base y techo netos e irregulares, en capas de 40 y 16 cm, entre m67,4 y m68,0; caliza terrígena con textura *mudstone*, laminada, de 30 cm en m69,5; caliza con textura *mudstone* maciza de 40 cm en m69,0; y capas de limolita de cuarzo con espesor de 10 cm en m70,2 y de 40 cm en m71,1, esta última fosilífera, con base y techo transicionales.

Segmento 7 (m73,8-m80,4). Sucesión de lodolitas terrígenas de color gris oscuro (N3), muscovíticas (1-2% con textura de arena muy fina), en capas delgadas, planas paralelas discontinuas (**fig. 31**), con laminación interna levemente ondulosa no paralela discontinua. En la parte alta se intercalan capas tabulares de cuarzoarenita laminada, de color gris oscuro y gris medio (N3, N5), de textura muy fina, con espesores de 25 y 15 cm (m77,0 y m77,7 respectivamente), con techo y base transicionales; en el m78,0 se intercala un banco de 50 cm de caliza con textura *mudstone*, macizo, de base neta e irregular, que suprayace a 15 cm de caliza arenosa con

textura *mudstone*, meteorizada, de color naranja amarillento oscuro (10YR 6/6). En la parte más alta del segmento (m80,0) aparece una capa de 40 cm, tabular, de base neta, de cuarzoarenita con textura de arena muy fina, color naranja grisáceo (10YR 7/4), silíceo, dura, fosilífera (20-25% de restos de bivalvos), cuyo origen se atribuye a una concentración de conchas por olas de tormenta (*sensu* Fürsich, 1995).

Segmento 8 (m80,4-m96,4). Sucesión terrígena en general, grano-creciente, con arcillolitas en la base y lodolitas en el techo, con capas tabulares de calizas, limolitas calcáreas y lodolitas terrígenas-calcáreas intercaladas (**fig. 32**). Las arcillolitas (m80,4-m81,8; m84,0-m89,7) son de color negro grisáceo a gris oscuro (N2, N3), en capas delgadas y láminas delgadas a medianas, planas paralelas discontinuas (**lám. 6/E**; muestra RT-5367). Las lodolitas (m82,2-m82,9; m87,7-m96,0) son de color gris oscuro (N3), algo muscovíticas (1% con textura de limo grueso), en capas delgadas, planas paralelas discontinuas, con laminación interna levemente ondulosa no paralela discontinua.



Figura 31. Segmento 7; lodolitas terrígenas de color gris oscuro en capas delgadas, planas paralelas discontinuas; Formación Pujamana, m74,0-m81,0 (N:1.263.308, E:1.076.2.367, Z:406, Az:242°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.



Figura 32. Segmento 8; sucesión terrígena, grano-creciente, de arcillolitas en la base y lodolitas en el techo, con intercalaciones de calizas (*packstone*), limolitas calcáreas y lodolitas terrígenas-calcareas; Formación Pujamana, m85,0-m93,0 (N:1.263.329, E:1.076.2.360, Z:409, Az:255°). Altura de la persona = 1,7 m. Nótese, de izquierda a derecha, la estratificación plana con forma divergente, o en forma de cuña, indicativa de tectonismo concomitante con la sedimentación.

Se intercalan capas tabulares de limolita de cuarzo, de color gris oscuro (N3), calcárea, de 40 y 15 cm (m81,8 y m88,4, respectivamente), con estratificación delgada, plana paralela discontinua; caliza con textura *mudstone*, arenosa, de color gris medio oscuro y naranja amarillento oscuro (N4, 10YR 6/6 superficialmente), con espesores 40, 12 y 30 cm (m82,9, m83,5 y m87,2 y m91,5), en capas macizas, con 2-3% de restos de conchas de bivalvos en m91,5; caliza con textura *packstone* de color gris medio oscuro (N4), forma tabular, maciza, base neta y espesor de 40 cm (m96,0), con restos de bivalvos orientados paralelamente a la estratificación y con distribución homogénea dentro de la capa (**lám. 6/F**; muestra RT-5368), los cuales, se interpreta, fueron acumulados por flujos de tormenta proximal (*sensu* Fürsich, 1995); limolita de cuarzo (m91,2) de color gris oscuro (N3), de 20 cm de espesor, arcillosa; y lodolita terrígena-calcareá de color gris oscuro (N3), en capas de 12 y 25 cm (m83,3 y m83,6, respectivamente).

Segmento 9 (m96,4-m101,8). Sucesión mal expuesta, parcialmente cubierta por derrubios de pendiente (m97,5-m98,9 y m100,2-m100,4) (**fig. 33**), compuesta por arcillolita (m96,4-m97,5), de color negro grisáceo a gris oscuro (N2, N3), finamente laminada de manera discontinua; por lodolita terrígena-calcareá con olor a hidrocarburo (m98,9-m99,8), de color negro grisáceo y gris parduzco claro (N2, 5YR 6/1), en capas muy delgadas, planas paralelas continuas, laminadas delgadamente, con intercalaciones de 12 y 20 cm de espesor de caliza bioclástica con textura *grainstone*; y por limolitas arenosas (m99,8-m101,8), calcáreas, de color negro oliva a marrón oliva moderado (5Y 2/1, 5Y 4/4), en capas delgadas, planas paralelas continuas y laminación discontinua, delgada a mediana, con interposiciones de 25 y 15 cm de espesor de caliza con textura *grainstone* de color gris oscuro (N3), maciza y con fuerte olor a hidrocarburo.

Segmento 10 (m101,8-m110,5). Segmento cubierto por derrubios (**fig. 33**).

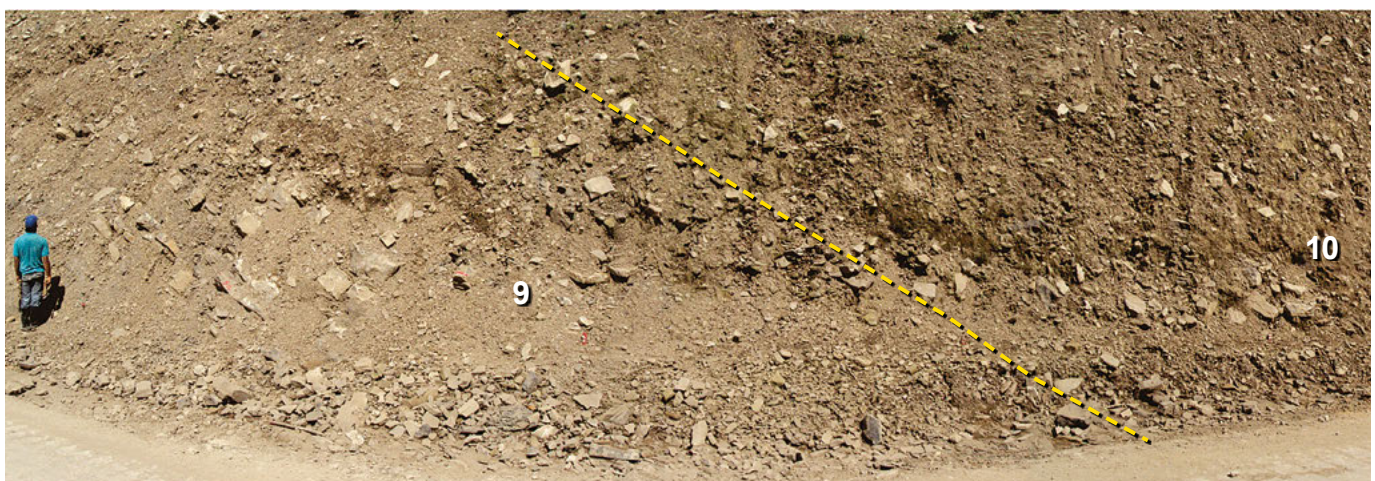


Figura 33. Segmento 9 y parte del 10; el segmento 9 está parcialmente cubierto por derrubios de pendiente y está compuesto por arcillolita, lodolita terrígena-calcareá y limolitas arenosas de coloración oscura con intercalaciones de caliza bioclástica con textura *packstone* con fuerte olor a hidrocarburo; el segmento 10 está cubierto por derrubios de pendiente; Formación Pujamana, m97,0-m109,0 (N:1.263.355, E:1.076.353, Z:410, Az:272°). Altura de la persona = 1,7 m.

Formación Galembo

Inicia en las coordenadas N:1.263.375, E:1.076.352, Z:411, plancha IGAC 120-I-D a escala 1:25.000; no se observa el contacto con la suprayacente Formación Umir.

Segmento 1 (m110,5-m128,0). *Wackestone* (biomicrita rala), de foraminíferos planctónicos dispuestos en láminas muy delgadas y medianas (de 1-10 mm de espesor), paralelas a la estratificación; algunas láminas de foraminíferos presentan textura *packstone*; el color de la roca es gris oscuro, negro parduzco, gris parduzco o marrón pálido (N2, N3, 5YR 2/1, 5YR 4/1, 5YR 5/2), y se dispone en capas subtabulares, entre delgadas y gruesas, discontinuas (**fig. 34**), con laminación interna delgada a mediana, plana paralela discontinua, excepto en la base (m110,5-m101,0), que es levemente ondulosa no paralela discontinua. El contenido de materia orgánica en la roca es superior al 1%. Se intercalan dos capas de caliza con textura *mudstone* de color gris oscuro (N3), terrígenas, duras, macizas, de forma tabular, de 32 y 10 cm de espesor en m118,7 y m120,0, respectivamente. Entre m115,0-m115,9 aparecen *packstone* fosilíferos ricos en materia orgánica (62,4% de fo-

raminíferos planctónicos, 31,2% de materia orgánica, **láms. 6/G, 6/H**; muestra RT-5369), en capas entre medianas y gruesas, planas paralelas discontinuas, con laminación interna delgada a mediana, igualmente plana paralela discontinua.

Abundan en este segmento concreciones micríticas decimétricas (de 10-30 cm de diámetro mayor), de forma redondeada y elipsoidal, color negro grisáceo a gris oscuro (N2, N3), generalmente con restos de amonitas en volumen (muestras RT-5385, RT-5386, RT-5487, RT-5491, RT-5492, RT-5493, RT-5496), orientadas paralelamente a la estratificación; hacia la base (m113,0) aparecen nódulos silíceos elipsoidales de 10 × 15 cm de sección transversal.

Entre m123,0 y m126,0 aparecen algunas fallas de cabalgamiento subparalelas a la estratificación, cuyo salto estratigráfico es bajo; en m125,0 hay una falla pequeña inversa (con salto de pocos centímetros según el buzamiento), que afecta la charnela de un pliegue anticlinal decimétrico (**fig. 35**), el cual involucra capas delgadas de lodolita (de 3 a 6 cm de espesor), de color marrón amarillento moderado (10YR



Figura 34. Segmento 1; *wackestone* de tonalidad marrón en capas subtabulares, delgadas a gruesas, discontinuas; Formación Galembo, m115,0-m123,0 (N:1.263.396, E:1.076.350, Z:412, Az:258°). Escala altura de la persona = 1,7 m.

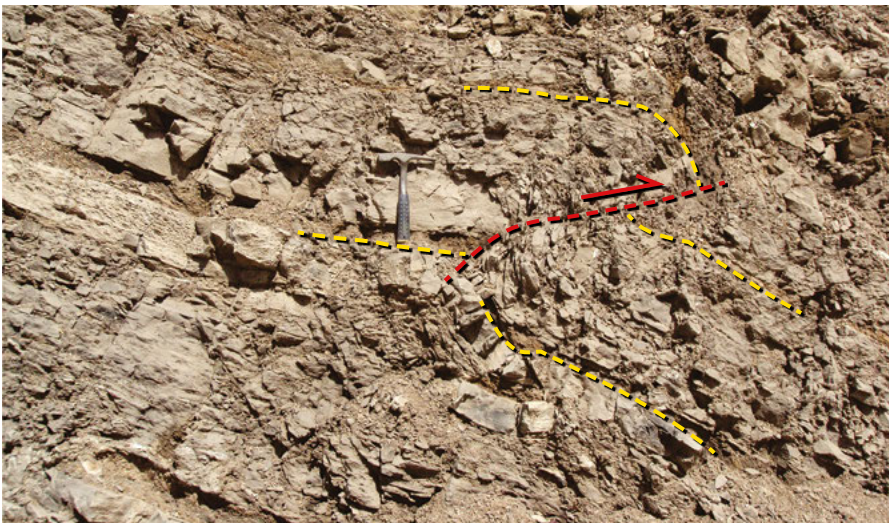


Figura 35. Detalle en la parte alta del segmento 1; falla inversa con salto de pocos centímetros que afecta la charnela de un pliegue anticlinal decimétrico; Formación Galembo, m123,0-m126,0 (N:1.263.563, E:1.076.329, Z:425, Az:262°). Escala: longitud del martillo = 28 cm.

5/4), meteorizadas, intercaladas en la sucesión; a través de estos niveles incompetentes de lodolita se observan fallas de cabalgamiento subparalelas a la estratificación con poco salto estratigráfico, como ocurre en m127,5.

Segmento 2 (m128,0-m140,8). *Mudstone* calcáreo (micrita), terrígeno, de color gris oscuro, gris medio claro o gris parduzco (N3, N6, 5YR 4/1), en capas subtabulares discontinuas (**fig. 36**); en la parte media (m132,0-m135,5) las capas varían de medianas a gruesas, y en el resto del segmento son delgadas; presenta laminación poco manifiesta, delgada a mediana o mediana a gruesa, plana paralela discontinua.

Se intercalan calizas con textura *wackestone* de foraminíferos planctónicos (10-20%) entre m131,8-m134,5 y entre m135,5-m138,0 del mismo color y con similar estratificación y laminación que los *mudstone*. En la parte inferior

(m128,0-m129,0) aparecen calizas con textura *wackestone-packstone*, de color gris oscuro o gris parduzco (N3, 5YR 4/1), laminadas por foraminíferos planctónicos, en capas medianas o delgadas planas paralelas discontinuas.

En la parte superior (m134,5-m138,0) se presenta *chert* negro (N1) en capas medianas de 10-25 cm de espesor, de las cuales la inferior (m134,5) corresponde a una capa de *chert* nodular fosilífero con 16,8% de foraminíferos planctónicos (**láms. 7/A, 7/B, 7/C, tabla 2**; muestra RT-5371); el *chert* se dispone en forma de núcleo hacia el centro de un estrato de *wackestone* de foraminíferos planctónicos (**fig. 37**).

Son comunes concreciones micríticas, elipsoidales, decimétricas, prácticamente en todo el segmento, con diámetro de 3 × 15 cm de sección transversal; menos comunes son los nódulos silíceos de color negro (N1), de formas y tamaños simi-



Figura 36. Segmento 2; calizas con textura *mudstone* de coloración marrón en capas subtabulares discontinuas; en la parte central de la fotografía se distinguen capas delgadas de lodolita meteorizada de coloración naranja (indicadas por flechas amarillas); Formación Galembó, m133,0-m136,0 (N:1.263.435, E:1.076.344, Z:414, Az:268°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.



Figura 37. Detalle en la parte media del segmento 2; *wackestone* de color gris parduzco con un núcleo de *chert* fosilífero de tonalidad gris oscura hacia el centro de la capa; Formación Galembó, m134,5-m135,0 (N:1.263.425, E:1.076.349, Z:413, Az:317°). Escala: longitud de la cabeza del martillo = 17,0 cm.

lares a los de las concreciones. Hacia la parte inferior del segmento (m129,0-m133,0) las concreciones presentan restos de amonitas en volumen (muestras RT-5387, RT-5497, RT-5498, 36228, 36228, 36231, 36234, 36243, 36243). Tanto en el techo (m135,0-m138,0) como en la base (m128,0-m130,0), aparecen fallas de cabalgamiento subparalelas a la estratificación, así como capas delgadas de lodolita con espesores entre 3 y 6 cm (fig. 36), de color naranja amarillento oscuro (10YR 6/6).

Segmento 3 (m140,8-m142,0). Cubierto por derrubios de pendiente (fig. 38).

Segmento 4 (m142,0-1 m179,0). Sucesión potente de *wackestone* (biomicrita rala) de foraminíferos planctónicos (10-40%), de color negro grisáceo a gris medio oscuro, negro parduzco o gris parduzco (N2-N4, 5YR 2/1, 5YR 4/1), rico en materia orgánica (lám. 7/D; muestra RT-5373), estratificado en capas que varían de delgadas a medianas, planas paralelas discontinuas (fig. 39); en la parte media, levemente onduladas paralelas dis-

continuas (m155,8-m168,0); presenta laminación interna entre delgada y mediana, levemente ondulosa no paralela discontinua (m155,7-m167,0; m171,5-m174,7), y plana paralela discontinua (m144,0-m155,7; m167,0-m171,5; m174,7-m179,0).

En la base (m146,8-m147,2; m149,4-m150,0) y en la parte superior (m177,7-m178,3) se intercalan capas medianas y gruesas de calizas con textura *mudstone*, de color gris oscuro o gris parduzco (N3, 5YR 4/1), macizas y laminadas, de forma tabular, con espesores de 40 a 60 cm; en la parte inferior (m142,5-m144,0; m147,2-m149,4; m153,5-m153,9) y superior (m171,0-m171,5) hay interposiciones de *packstone* (bioesparita pobremente lavada) de foraminíferos planctónicos, rico en materia orgánica (lám. 7/E, tabla 2; muestra RT-5372), en capas que varían de delgadas a gruesas, planas paralelas discontinuas; en la base del segmento (m142,0-m142,5) afloran calizas con textura *grainstone* (bioesparita) de foraminíferos planctónicos, color gris medio oscuro y rosa naranja grisáceo (N4, 10R 8/2), en capas y láminas delgadas, planas paralelas continuas.



Figura 38. Segmento 3, cubierto con derrubios de pendiente; Formación Galembó, m140,5-m135,0 (N:1.263.452, E:1.076.343, Z:413, Az:276°). Escala: longitud de la estaca con plástico rojo = 50 cm.



Figura 39. Parte alta del segmento 4; calizas con textura *wackestone*, de tonalidad gris parduzco, en capas tabulares planas paralelas discontinuas; Formación Galembó, m169,0-m176,0 (N:1.263.545, E:1.076.333, Z:421, Az:268°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.

En diferentes posiciones estratigráficas de este segmento aparecen capas delgadas (entre 4 y 12 cm de espesor) de *chert* negro o gris oscuro (N1, N3), de forma lenticular o tabular, fosilífero, con 10-30% de foraminíferos planctónicos dispuestos en láminas entre delgadas y medianas discontinuas, paralelas a la estratificación, e inmersos en un soporte silíceo finamente cristalino (**fig. 40**).

También son comunes en este segmento, concreciones micríticas elipsoidales de color gris oscuro (N3), generalmente de tamaño decimétrico (de 5 × 8 cm hasta 20 × 50 cm de diámetro de sección transversal) (**fig. 41**); en menor proporción se hallan concreciones métricas de forma lenticular (0,5 × 2 m en m171,0; 0,65 × 3,5 m entre m158,0 y m159,0; 0,8 × 1,2 m en m153,0; 0,5 × 3,7 m en m133,5); en la parte



Figura 40. Detalle en la parte alta del segmento 4; capas lenticulares delgadas de *chert* de color negro, interpuestas en calizas con textura *wackestone*; Formación Galembó, m160,0-m161,5 (N:1.263.526, E:1.076.337, Z:416, Az:273°). Escala: longitud del martillo = 28 cm.



Figura 41. Detalle en la parte baja del segmento 4; concreciones micríticas elipsoidales de tonalidad marrón con tamaño decimétrico; Formación Galembó, m153,0-m155,0 (N:1.263.492, E:1.076.340, Z:415, Az:273°). Escala: longitud del martillo = 28 cm.



Figura 42. Detalle en la parte alta del segmento 4; capa de *wackestone* con forma de montículo, de base plana y techo convexo; Formación Galembó, m174,0-m175,0 (N:1.263.548, E:1.076.332, Z:422, Az:278°). Escala: longitud del martillo = 28 cm.

superior del segmento (m174,0; m176,0) aparecen capas con forma de montículo, de base plana y techo convexo (**fig. 42**), de 1,8 m de largo × 0,6 m de alto; muchas de las concreciones contienen fósiles de amonitas (muestras RT-5390, RT-5390A, RT-5391, RT-5506, RT-5507, RT-5508, RT-5511, RT-5512, RT-5513, 36253, 36255, 36256) y restos de peces.

Segmento 5 (m179,0-m193,5). *Mudstone* calcáreo (micrita) fosilífero de color gris parduzco a gris oscuro (5YR 4/1, N3), con 3-10% de foraminíferos planctónicos, rico en materia orgánica; muestra estratificación y laminación delgada a mediana, plana paralela discontinua (**fig. 43**). En la parte inferior (m183,5-m184,0) se intercala una capa gruesa de caliza fosilífera con textura *wackestone* a *packstone*, rica en materia orgánica, que contiene 54,4% de foraminíferos planctónicos dispuestos en láminas delgadas a medianas discontinuas (**lám. 7/F, tabla 2**; muestra RT-5375); en la porción superior (m186,0-m189,0; m190,5-m192,3) aparecen capas delgadas planas paralelas continuas y discontinuas de calizas fosilíferas con textura *wackes-*

tone, igualmente ricas en materia orgánica y en foraminíferos planctónicos. En el m188,5 se interpone una capa delgada de 10 cm de *chert* negro (N1), lenticular, con 15% de foraminíferos planctónicos. En el m180,3 se intercala un nivel delgado de 5 cm de espesor de lodolita de color naranja amarillento oscuro (10YR 6/6), meteorizada; en la base de esta capa se observa una falla de cabalgamiento con poco salto estratigráfico.

Son comunes las concreciones calcáreas micríticas de color gris oscuro (N3), de forma elipsoidal y dimensiones decimétricas, desde 8 × 15 cm hasta 20 × 45 cm de sección transversal; en la base (m180,0-m182,0), dichas concreciones son más pequeñas (de 2 a 7 cm de diámetro mayor); hacia la parte media del segmento (m186,0 y m187,5) aparecen concreciones grandes de 0,3 × 1,2 m y de 0,6 × 3 m de sección transversal, esta última con laminación interna plana paralela (**fig. 44**). Hacia el techo del segmento (m189,0), hay una capa con forma de montículo de base plana y techo convexo, de 2 m de largo × 60 cm de alto, laminada internamente.



Figura 43. Parte superior del segmento 5; *mudstone* calcáreo (micrita) de color gris parduzco a gris oscuro con estratificación delgada a mediana, plana paralela discontinua; Formación Galembó, m181,0-m190,0 (N:1.263.576, E:1.076.326, Z:426, Az:264°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.



Figura 44. Parte media del segmento 5; concreción grande, micrítica, de forma elipsoidal, con laminación interna plana paralela; Formación Galembó, m186,0-m187,5 (N:1.263.579, E:1.076.325, Z:426, Az:256). Escala: longitud del martillo = 28 cm.

Segmento 6 (m193,5-m194,8). Calizas con textura *packstone* (biomicrita empaquetada) de foraminíferos planctónicos (50-60% del volumen total de la roca), color gris parduzco (5YR 4/1), con estratificación delgada, plana paralela discontinua (**fig. 45**); muestran laminación interna, delgada a mediana, plana paralela continua bien desarrollada; hay alternancia de láminas medianas con textura *wackestone* en la roca (**lám. 7/G**; muestra RT-5376).

Segmento 7 (m194,8-m208,5). *Mudstone* calcáreo (micrita) fosilífero con 3-5% de foraminíferos planctónicos, color gris parduzco y gris oscuro (5YR 4/1, N3), con estratificación delgada, plana paralela continua (**fig. 46**); muestra laminación delgada a mediana, igualmente plana paralela continua; la roca es rica en materia orgánica. En la base (m196,5-m197,7; m198,2-m199,5) muestra interposiciones de caliza fosilífera con textura *wackestone* de foraminíferos planctónicos (25-35% del volumen total de la roca); en el techo (m207,0-m208,5), la roca presenta un contenido mayor de foraminíferos planctónicos (hasta 50 o 60%), variando texturalmente a caliza fosilífera con textura *packstone* (**lám. 7/H**; muestra RT-5377); ambos tipos de roca son ricas en materia orgánica y de color gris parduzco o gris oscuro (5YR 4/1, N3). La parte media (m201,0-m203,5), de constitución micrítica, está cubierta por derrubios.

En la parte superior del segmento (m205,5 y m207,4) aparecen capas delgadas (5 a 10 cm de espesor) de *chert* negro fosilífero (N1) con 10-15% de foraminíferos planctónicos, mal expuestas. En la parte inferior (m194,8-m198,0) son comunes las concreciones micríticas elipsoidales de tamaño decimétrico (desde 8 × 10 cm hasta 50 × 90 cm de sección transversal); en el m200,5 hay una concreción métrica de 0,6 × 2 m (**fig. 46**).

Segmento 8 (m208,5-m216,0). Segmento cubierto por derrubios de calizas con textura *mudstone* y *wackestone* (**fig. 47**).

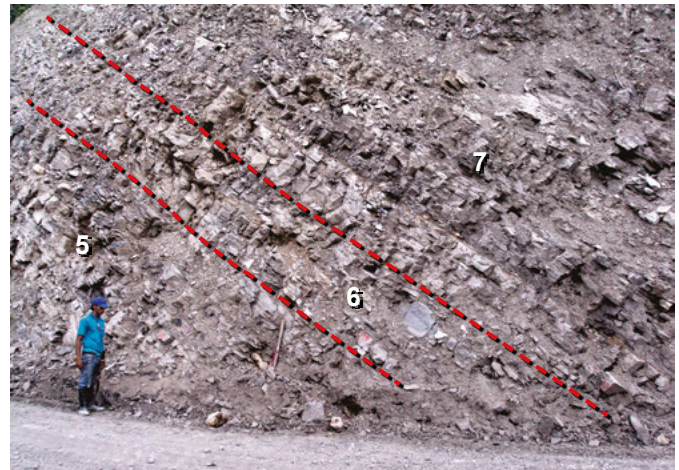


Figura 45. Segmento 6 (parte central de la fotografía); *packstone* de color gris parduzco con estratificación delgada, plana paralela discontinua; Formación Galembó, m193,0-m195,0 (N:1.263.585, E:1.076.323, Z:426, Az:244°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.



Figura 46. Parte baja del segmento 7; *mudstone* calcáreo (micrita) alternando con *wackestone* de color gris parduzco con estratificación delgada, plana paralela continua; en la fotografía, a la derecha se destaca una concreción grande, micrítica, de forma elipsoidal, de 0,6 × 2 m de diámetro; Formación Galembó, m195,0-m201,0 (N:1.263.602, E:1.076.305, Z:430, Az:244°).



Figura 47. Segmento 8; cubierto por derrubios de *mudstone* y *wackestone*; Formación Galembó, m208,5-m216,0 (N:1.263.613, E:1.076.291, Z:430, Az:221°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.

Segmento 9 (m216,0-m255,0). Sucesión espesa de *mudstone* calcáreo (micrita) fosilífero, de color negro parduzco, gris parduzco o gris oscuro (5YR 2/1, 5YR 4/1, N3), rico en materia orgánica, arcilloso (entre m234,0-m242,0), con 1-10% de foraminíferos planctónicos (**fig. 48, láms. 8/A, 8/B, tabla 2**; muestras RT-5380 y RT-5398); en general, la estratificación es delgada, plana paralela continua y discontinua, excepto en la parte superior (m238,5-m242,0 y m248,3-m255,0) que es gruesa o mediana; la laminación interna varía entre delgada y mediana, plana paralela discontinua, por la orientación paralela a la estratificación de foraminíferos planctónicos. Entre m242,0 y m244,2 el segmento está cubierto por derrumbios de pendiente.

En la parte baja del segmento (m220,8-m222,2; m231,5-m234,0) se intercalan *wackestone* (biomicritas ralas) de foraminíferos planctónicos (10-34,8% dispuestos en láminas del-

gadas a medianas, discontinuas, paralelas a la estratificación), de color gris oscuro o gris parduzco (N3, 5YR 4/1), ricos en materia orgánica (**lám. 8/C, tabla 2**; muestra RT-5378), en capas delgadas planas paralelas continuas con laminación interna delgada a mediana, plana paralela discontinua; entre m231,5-m234,0 los *wackestone* son arcillosos.

En la parte inferior (m229,5-m234,0), la roca está plegada suavemente a escala métrica (pliegue anticlinal con su correspondiente sinclinal, **fig. 49**).

Entre m245,2 y 246,0 la caliza con textura *mudstone* es silíceo, por lo cual se encuentra endurecida; en la parte baja del segmento (m219,0-m222,0) se presentan capas delgadas de forma tabular, lenticular o nodular, de *chert* negro (N1), con espesores desde 4 cm hasta 15 cm. En m247,4 hay una capa tabular intercalada de lodolita silíceo de 10 cm de espesor.



Figura 48. Parte media del segmento 9; *mudstone* calcáreo (micrita) de color gris parduzco con estratificación delgada, plana paralela continua; en el lado izquierdo de la fotografía se intercala un paquete de *wackestone* que se observa de tonalidad más clara; Formación Galembó, m232,0-m239,0 (N:1.263.637, E:1.076.249, Z:441, Az:267°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.



Figura 49. Parte baja del segmento 9; pliegue suave anticlinal de escala métrica en calizas con textura *mudstone* y *wackestone* de color gris oscuro, con estratificación delgada, plana paralela continua; Formación Galembó, m228,0-m232,0 (N:1.263.631, E:1.076.262, Z:435, Az:226°). Escala: altura de la persona = 1,7 m.

Son comunes niveles de concreciones micríticas de color gris oscuro (N3) de forma elipsoidal o subesférica, generalmente de tamaño decimétrico (desde 6 × 13 cm hasta 30 × 67 cm, de sección transversal, **fig. 50**), especialmente en la parte media del segmento (m231,0-m239,0); ocasionalmente se observan concreciones métricas de 0,3 × 1,0 m en m231,0 o de 0,5 × 2,4 m en m232,5; restos de peces y fragmentos de amonitas en volumen se encuentran en algunas concreciones (muestras RT-5379, RT-5394, RT-5396, RT-5397A, RT-5517, RT-5518, 36233, 13/6/29-1, 13/6/29-2).



Figura 50. Parte alta del segmento 9; huecos dejados por la extracción de concreciones micríticas de forma elipsoidal, de tamaño decimétrico; Formación Galembó, m244,0-m247,0 (N:1.263.650, E:1.076.223, Z:442, Az:270°). Escala: longitud del martillo = 33 cm.

En el m288,3 del segmento 10 inicia la Formación La Renta

Segmento 10 (m255,0-m304,0). Sucesión espesa de *wackestone* (biomicrita rala) de foraminíferos planctónicos (10-40%), de color negro parduzco, gris parduzco o negro grisáceo (5YR 2/1, 5YR 4/1, N2), ricos en materia orgánica o arcillosos (láms. 8/D, 8/E; muestras RT-5407 y RT-5409), principalmente en capas delgadas, en menor proporción entre delgadas y medianas (m292,3-m301,5), de forma plana paralela discontinua (fig. 51); exhiben laminación interna delgada a mediana, plana paralela discontinua, con baja bioperturbación (lám. 8/D; muestra RT-5407); entre m255,0-m256,2; m279,5-m282,3; m290,0-m292,0; m292,3-m295,5 y m298,8-m299,8 la biomicrita contiene, adicionalmente, desde trazas (<1%) hasta 5% de foraminíferos bentónicos (véase lám. 8/E, tabla 2; muestra RT-5409); la primera aparición de foraminíferos bentónicos se da en el intervalo m255,0-m256,2 en la muestra RT-5400 con <1%; entre m258-m260 la biomicrita es de solo foraminíferos bentónicos. Entre m255,0-m256,2; m270,5-m272,3; m279,5-m282,3; m295,5-m298,8 y m301,5-304,0 las biomicritas son en parte silíceas,

por lo cual tienden a romper de forma prismática y con fractura concoidea. El segmento presenta mala exposición debido a que los taludes de la vía donde se realizó el levantamiento estratigráfico estaban siendo cubiertos con pasto para estabilizarlos geotécnicamente (fig. 51).

En distintas posiciones estratigráficas del segmento (m274,5-m276,0; m285,3-m285,6; m287,8-m288,3; m288,8-m289,5) se intercalan calizas con textura de *mudstone* de foraminíferos planctónicos (7-10%), de color, estratificación y laminación similar a la de las biomicritas (lám. 8/F; muestra RT-5405); la roca es en parte silícea en los tres últimos niveles (m285,3-m285,6; m287,8-m288,3 y m288,8-m289,5), mientras que en el primer nivel es arcillosa (m274,5-m276,0); entre m264,0-m264,8 la roca es bastante silícea, por lo cual se puede considerar como porcelanita (en el sentido de Williams, Turner y Gilbert 1954, 270-271), con carbonatos y terrígenos (calcáreo-lodoso). En la parte superior del segmento (m288,3-m288,8 y m292,0-m292,3) aparecen capas gruesas y medianas de fosforita de peloides con textura *packstone*, de color naranja muy pálido o blanco (10YR 8/2, N9), muy meteorizadas, en capas tabulares de 50 y 30 cm de espesor (fig. 52).

Entre m290,0-m290,1 y m298,8-m299,3 se intercalan tres capas delgadas (de 2 a 10 cm de espesor) de lodolita de color marrón amarillento oscuro o pálido (10YR 6/2, 10YR 6/6), meteorizada, blanda, laminada; también se intercala lodolita fosfática de color naranja muy pálido (10YR 8/2) en m299,8-m300,1; lodolita terrígena-calcárea, color negro grisáceo o negro parduzco (N2, 5YR 2/1) en m256,2-m256,3 y m264,8-m265,7; lodolita de color negro grisáceo a naranja amarillento oscuro (N2, 10YR 6/6) en m274,2-m274,5; y arcillolita rica en materia orgánica, levemente calcárea (4% bioclastos, 1,6% esparita) en m267,0-m268,5 (láms. 8/G, 8/H, tabla 2; muestra RT-5403).

La parte inferior del segmento (m255,5-m256,5 y m270,2-m271,5) muestra algunas concreciones micríticas decimétricas, de color gris oscuro (N3) y forma elíptica, con tamaños desde 12 × 5 cm hasta 20 × 30 cm de sección transversal, estériles en fósiles.



Figura 51. Parte inferior del segmento 10, *wackestone* de coloración gris parduzca, en capas delgadas, planas paralelas discontinuas, parcialmente cubierto con mallas sobre las cuales se siembra pasto para su estabilización geotécnica; Formación Galembó, m270,0-m274,0 (N:1.263.706, E:1.076.200, Z:446, Az:275°).



Figura 52. Parte superior del segmento 10; capa mediana de fosforita (parte central de la fotografía) con textura *packstone*, de color naranja muy pálido, en avanzado estado de meteorización; Formación La Renta, m292,0-m292,3 (N:1.263.731, E:1.076.202, Z:448, Az:270°). Escala: longitud del martillo = 33 cm.

RESTITUCIÓN DE LA NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA DE WHEELER (1929) PARA EL CRETÁCEO SUPERIOR EN EL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA

Con la estandarización de la nomenclatura estratigráfica realizada por la industria del petróleo en la cuenca del VMM (Morales y The Colombian Petroleum Industry 1958), las formaciones Salada, Pujamana y Galembó, establecidas originalmente por Wheeler (1929) para la estratigrafía del Cretácico superior en la Concesión De Mares del VMM fueron agrupadas bajo el concepto de “Formación La Luna”, que representaría un depósito sedimentario eminentemente de *shale* calcáreo, separado en tres “Miembros” con los mismos nombres utilizados por Wheeler (1929) (Morales y The Colombian Petroleum Industry 1958, 653-655). La presente investigación precisa el carácter litológico de las Formaciones Salada, Pujamana y Galembó, y muestra la inconveniencia de esta agrupación. En algunas publicaciones se ha puesto en duda la existencia de las Formaciones Salada y Pujamana (p. e., Bernal 2009); esta investigación reivindica la existencia e identidad de las Formaciones originales de Wheeler.

La sección estratigráfica de la “Formación La Luna” expuesta en la quebrada La Sorda fue propuesta por Sarmiento, Puentes y Sierra (2015, 24, fig. 1) “como la localidad de referencia principal para la Formación La Luna del VMM y los miembros que la componen”, en virtud de que las secciones tipo fueron inundadas con el llenado del embalse de Hidrosogamoso; no obstante, de acuerdo con los trabajos de cartografía geológica detallada realizados para este libro (Moreno-Sánchez 2019) se comprobó que la sucesión descrita por estos autores corresponde casi exclusivamente a la Formación Galembó descrita en esta investigación. Se resalta que esta sección ha sido estudiada en el pasado por varios autores con fines distintos, tales como exploración de roca fosfórica (Zambrano 1969, 4-9, fig. 2, 2A; Maughan et al. 1979, 30-35, *plate 1, column 5; plate 2, column 7*); estudios de roca

generadora de hidrocarburos en la “Formación La Luna” (Zumberge 1984, 127-128); cartografía geológica regional (Ward et al. 1973, 73-74), o estudios de materia orgánica y quimioestratigrafía en la “Formación La Luna” (Rangel, Parra y Niño 2000, 1268-1276). Lo anterior pone de manifiesto la importancia de precisar estratigráfica, litológica y paleontológicamente a qué se hace referencia cuando se habla de la “Formación La Luna” en un determinado lugar. Se reitera la inconveniencia de haber reducido las formaciones originales de Wheeler (1929) a miembros, incluyéndolas en la “Formación La Luna”, cuya localidad tipo está en Venezuela muy lejos del área tipo de las formaciones Salada, Pujamana y Galembó, lo cual ha generado confusión, ya que tradicionalmente se ha considerado la “Formación La Luna” como la unidad generadora de hidrocarburos en el VMM; sin embargo, como ya se indicó, varias publicaciones sobre esta unidad hacen alusión a la Formación Galembó, lo que plantea un interrogante muy importante a la industria del petróleo: ¿cuál de las tres unidades (Salada, Pujamana o Galembó) es en realidad la unidad generadora de hidrocarburos en el VMM? Con la presente investigación claramente se puede descartar la Formación Pujamana.

FORMACIÓN LA RENTA, NUEVA FORMACIÓN

De conformidad con las recomendaciones de la *International stratigraphic guide* (Salvador 1994, 19), se propone de manera formal en el presente estudio la diferenciación y nominación de una nueva unidad litoestratigráfica para el Valle Medio del Magdalena, denominada *Formación La Renta*.

Esta nueva unidad corresponde al intervalo superior de la denominada Formación Galembó y se caracteriza por contener roca fosfórica en capas con estratificación centimétrica a decimétrica, y rocas de textura fino-granular y naturaleza silíceas, con concentraciones locales de foraminíferos bentónicos del género *Siphogenerinoides*. Su localidad tipo se establece en la quebrada Aguablanca, y corresponde a los segmentos 9-12 (m277,2-m322,2) de la sección estratigráfica levantada en la quebrada del mismo nombre (véase **anexo 4.1**), y a la porción alta del segmento 10 (m288,3-m304,0) en la sección de Montebello (véase **anexo 4.2**). El nombre La Renta, seleccionado por eufonía, deriva del caserío homónimo que se encuentra por la antigua vía Lebrija-San Vicente de Chucurí (plancha 109-III-D, cuadrícula J8), situado en la quebrada Las Raíces, afluente de la quebrada Aguablanca, nombre no disponible por haber sido aplicado previamente a otra unidad cretácica de Colombia (Julivert 1968, 114). Como sección de referencia se establece la que corresponde a los afloramientos sobre el flanco occidental del anticlinal de Montebello por la vía a la hacienda homónima (véase **fig. 1**).

Esta unidad tiene como justificación particular el hecho de que constituye un elemento estratigráfico de especial interés para la economía agrícola del país por su contenido de fosfatos utilizados en la industria de los fertilizantes.

Los puntos de inicio y finalización de los afloramientos en la sección tipo de la Formación La Renta son N:1.279.687, E:1.084.263, Z:358 y N:1.279.642, E:1.084.211, Z:376 (plancha 120-I-D, cuadrículas A9-A10); el espesor medido fue de 45 m (véase **anexo 4.1**). En las **figs. 19 y 22** se muestran afloramientos típicos de la base y el techo, respectivamente, de esta unidad; las **figs. 20 y 21** ilustran capas de roca fosfórica peculiares en la Formación La Renta; las muestras APA-2838 (**láms. 4/D, 4/E, 4/F**), APA-2843 (**láms. 4/G, 4/H**), APA-2845 (**lám. 5/A**), APA-2846 (**lám. 5/B**) y APA-2848 (**lám. 5/C**) pertenecen a esta nueva unidad litoestratigráfica. En la **tabla 1** se muestra la nomenclatura propuesta.

Se debe tener en cuenta que esta nueva formación presenta diferentes espesores según el sitio donde su techo aflore, debido a la discordancia con la base de la suprayacente Formación Umir; su límite inferior se debe establecer en la base de la primera capa o conjunto de capas de fosforita, asociadas a *cherts* o porcelanitas con microfósiles de foraminíferos bentónicos.

Ballesteros et al. (2013) y Vélez (2014) incluyen en el Grupo Olini el intervalo estratigráfico representado por la Formación La Renta en los pozos estratigráficos perforados por Ecopetrol en cercanías a Barrancabermeja (p. e., La Luna-1), localizados aproximadamente a 55 km al occidente de la sección tipo de esta nueva Formación La Renta, en la quebrada Aguablanca. Esto no parece conveniente, por cuanto el significado estratigráfico del Grupo Olini en el Valle Superior del Magdalena es controversial.

ASPECTOS PETROGRÁFICOS DE LAS FORMACIONES SALADA, PUJAMANA, GALEMBO Y LA RENTA

En la **tabla 2** y en las **láms. 1 a 9** (al final del capítulo) se muestra una síntesis petrográfica de los aspectos más rele-

vantes de los diferentes tipos de rocas presentes en las formaciones Salada, Pujamana, Galembó y La Renta en el proyecto Hidrosogamoso. En todas las láminas, la base de las figuras corresponde a la base de la muestra respectiva, excepto en los siguientes casos, **láms. 2/C, 2/D, 2/F, 5/F, 6/B, 8/G y 8/H**, el vértice superior derecho de la figura corresponde al techo de la muestra; el lado derecho de la **lám. 5/D** corresponde al techo de la muestra. En la **lám. 9** los bioclastos de color claro con formas globulares corresponden a foraminíferos planctónicos.

AMBIENTES DE DEPÓSITO Y TECTÓNICA SEDIMENTARIA PARA LAS FORMACIONES SALADA, PUJAMANA, GALEMBO Y LA RENTA

En general, las distintas facies presentes en las formaciones Salada, Galembó y La Renta permiten interpretar fondos de acumulación con morfología casi llana o con un ángulo de pendiente muy bajo, como lo refleja el predominio casi total de estratificación plana paralela en estas unidades. La acumulación de sedimentos se dio predominantemente por debajo del nivel base de las olas con mar en calma, sobre fondos con niveles de energía bajos, como lo sugiere el predominio de litofacies fino-granulares delgadamente laminadas de forma plana paralela; la sedimentación en la Formación Pujamana fue ligeramente influida por el oleaje, lo cual se expresa en las litofacies arenosas, con estratificación y laminación levemente ondulosa paralela y no paralela, presentes en esta formación. La abundancia de materia orgánica (>1%) en las muestras de las formaciones Salada, Galembó y La Renta indica que durante la acumulación de estas unidades los niveles de oxígeno fueron mínimos sobre el fondo (interfase agua-sedimento o a unos pocos centímetros por debajo), lo que impidió su oxidación y posterior destrucción bacteriana; un contenido mucho menor en la Formación Pujamana sugiere un fondo

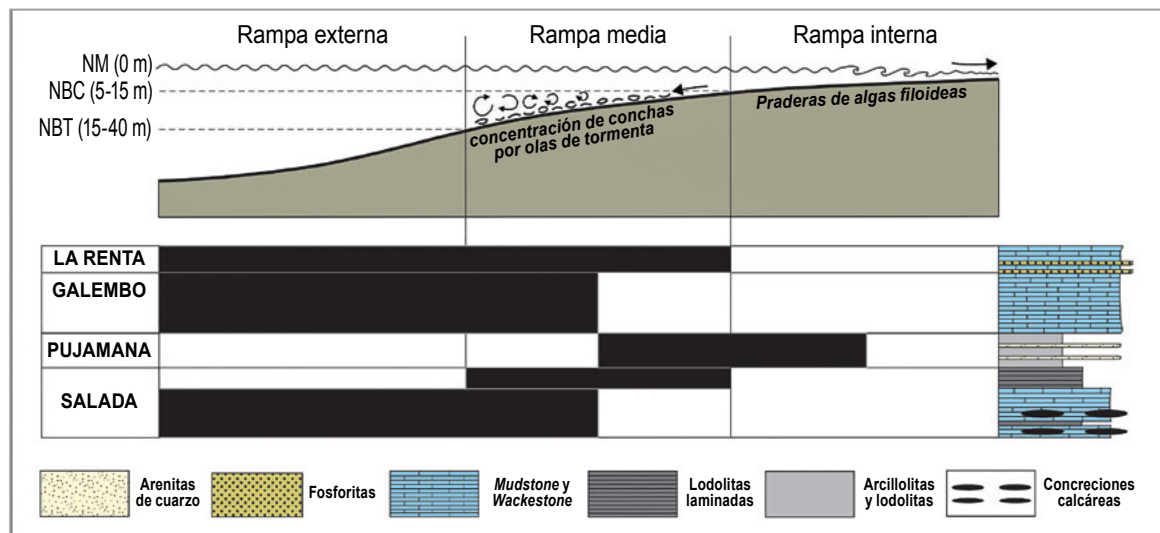


Figura 53. Diagrama que ilustra el modelo sedimentario de rampa homoclinal interpretado para las formaciones Salada, Pujamana, Galembó y La Renta del Cretácico superior en el proyecto Hidrosogamoso. Adaptado de Bodin, Godet, Vermeulen, Linder y Föllmi (2006). Se siguen las subdivisiones de la rampa propuestas por Burchette y Wright (1992). NM = nivel medio del mar (0 m), NBC = nivel base de las olas con mar en calma (5-15 m), NBT = nivel base de las olas en tiempo de tormenta (15-40 m).

más aireado; esta condición del fondo, explica la casi completa ausencia de bioperturbación en las formaciones Salada, Galembó y La Renta, mientras que en la Formación Pujamana la bioperturbación fue significativamente mayor, ya que alcanzó un grado alto (moteado distinto a indistinto), con excepción de algunos niveles arenosos y lodolíticos hacia la parte baja y media, donde la bioperturbación es baja (láminas irregulares). La aparición de foraminíferos bentónicos hacia la parte superior de la Formación Galembó y en la Formación La Renta (a partir del segmento 5 de la sección en la quebrada Aguablanca, m251,7), junto con la desaparición de la fauna megascópica de amonitas y bivalvos (desde el m240,0 en la parte superior del segmento 5 en la sección de Aguablanca) ya es indicativo de condiciones más someras del medio sedimentario. Se observan unos tipos específicos de bivalvos fósiles (inocerámidos o anomias, principalmente), que abundan especialmente en la porción inferior de la Formación Salada, lo que sugiere algún tipo de restricción ambiental sobre el fondo, posiblemente relacionada con anoxia sobre el mismo. La masa de agua fue rica en fauna planctónica, como lo demuestra la profusión de foraminíferos planctónicos en las formaciones Salada, Galembó y La Renta, y la relativa abundancia de amonitas y peces fósiles de diferentes especies, especialmente en la Formación Galembó.

La forma o perfil del fondo para el lapso Turoniano-Santoniano, o tiempo de acumulación de las formaciones Salada, Pujamana, Galembó y La Renta, debió corresponder a una rampa homoclinal (**fig. 53**), es decir, una rampa con pendiente uniforme, sin un quiebre significativo de la pendiente, donde las facies de aguas muy someras cambian gradualmente a las facies más profundas. En las rampas homoclinales, la inclinación del fondo normalmente es $<1^\circ$ (Read 1982, 196), y las facies se acumulan y localizan en cinturones paralelos a las curvas batimétricas (o a la línea de costa, si la batimetría del fondo se ajusta o coincide con esta línea), desde la zona de rompiente de las olas hasta las zonas más profundas de mar abierto. En este modelo, las facies más someras y de granulometría gruesa se hallan en dirección de tierra firme (en el caso de Hidrosogamoso, estas facies no están presentes; sin embargo, ellas deben localizarse hacia el oriente; p. e., véase los mapas de facies de Villamil 1998, 164, fig. 2C; Villamil, Arango y Hay 1999, 195-197, figs. G, H; y Cáceres, Cediell y Etayo-Serna 2003, 30-36, mapas 10-12), y las facies más finas, distales y profundas, se encuentran en dirección de mar abierto (en el caso del área de estudio, estas facies están representadas en la Formación Salada y en la parte inferior del Galembó); en el modelo de rampa homoclinal, las facies gruesas cambian gradualmente a facies fino-granulares a medida que se avanza hacia mar abierto (Ahr 1973, 222-223).

La aparición de restos fósiles de filamentos de algas calcáreas (*phylloid algae?*) en la formación Salada (muestras APA-2790, m84,0, segmento 8, **láms. 1/H, 9/A, 9/B**; APA-2792, m92,8, segmento 9, **láms. 9/C, 9/D** y APA-2796, m99,0, segmento 9, en la sección de Aguablanca) y Galembó (muestras

APA-2821, m189,6, segmento 2, **lám. 9/E** y APA-2823, m206,6, segmento 3, **lám. 3/G**, en la sección de Aguablanca; APA-5369, m115,8, segmento 1, **láms. 6/H, 9/F, 9/E**; RT-5371, m134,6, segmento 2 y RT-5375, m183,9, segmento 5, **láms. 7/F, 9/F** en la sección de Montebello) sugiere que la acumulación de sedimentos se dio en ambientes marinos muy someros con suficiente luminosidad para sustentar las algas; los restos de algas alcanzan entre $<1\%$ y 25% del volumen total de la roca, y se encuentran en calizas con textura *packstone* y *wackestone* de foraminíferos planctónicos, finamente laminadas, ricas en materia orgánica; las algas se encuentran en fragmentos aislados, generalmente de forma alargada (filamentos) y en lentes muy pequeños; los fragmentos están recristalizados a calcita entre fina y muy finamente cristalina, con tamaños entre $20 \times 20 \mu\text{m}$ hasta $0,04 \times 11,2 \text{ mm}$, dispuestos paralelamente a la laminación de la roca; los lentes (véase **láms. 9/A, 9/B, 9/C, 9/D**) están compuestos internamente por fragmentos de algas con textura *grainstone* y varían en tamaño desde $0,2 \times 0,8 \text{ mm}$ hasta $0,9 \times 7,2 \text{ mm}$. Tanto fragmentos como lentes sugieren transporte y acumulación debidos a la acción de corrientes marinas unidireccionales inducidas por las mareas, el oleaje normal o las tormentas; se interpreta que estas corrientes removieron fragmentos de algas filoideas? desde las zonas menos profundas, bien iluminadas y oxigenadas de la rampa interna (zona fótica donde proliferaban las algas *in situ*) y los transportaron hasta los medios sedimentarios tranquilos, bajos en oxígeno o anóxicos, y ricos en materia orgánica de la rampa media y externa, en donde se acumulaban las facies fino-granulares de las formaciones Salada y Galembó; los lentes de algas probablemente se originaron de manera similar a como se forma la estratificación y laminación *flaser* simple, con lentes aplanados, descrita por Reineck y Singh (1980, 113-118), lo que sugiere profundidades de acumulación en el rango de la bajamar hasta submareal, si la rampa es dominada por las mareas, o profundidades cercanas o un poco por debajo del nivel base medio de las olas (5-15 m de profundidad) o de las tormentas (15-40 m de profundidad), asumiendo que la rampa sea dominada por olas y tormentas (**fig. 53**; *fairweather wave-base* [nivel base de las olas con mar en calma] y *storm wave base* [nivel base de las tormentas] en Allaby 2013, 213 y 559, respectivamente). En la **tabla 2** se especifica la proporción de algas filoideas? (del total de bioclastos) en las muestras analizadas.

La aparición de conchillas de foraminíferos planctónicos calcáreos, en láminas delgadas y muy delgadas (entre 0,2 a 2 mm de espesor), de apariencia lenticular, tanto a nivel mesoscópico como microscópico (p. e., **láms. 1/C, 1/D, 1/E, 1/F, 3/F, 3/H, 4/B, 4/C, 4/G, 4/H, 5/A, 5/B, 7/E, 8/C, 8/D**), y en donde las conchillas se disponen con su eje mayor paralelo a la estratificación de la roca (en el caso de conchillas o restos de conchillas con formas elongadas), y presentan textura *packstone* a *wackestone*, se interpreta como consecuencia de la acción de corrientes marinas (de origen mareal, por oleaje normal o por las tormentas), justo después de su acumulación por suspen-

sión o caída por gravedad sobre el fondo; las corrientes orientan las conchillas y remueven parcial o casi totalmente el material fino de la matriz entre las conchillas, lo que da origen a las láminas de foraminíferos con textura *packstone* o *wackestone*. Este mecanismo de acumulación se observa en las facies de calizas con textura *wackestone* y *packstone* presentes en las Formaciones Salada, Galembó y La Renta.

La sucesión de facies en las secciones levantadas permite interpretar, en el caso del Pujamana, acumulación sobre fondos marinos de rampa homoclinal media a interna (antepaya inferior) siliciclástica; en el Salada, el Galembó y La Renta las condiciones fueron similares, es decir, rampa homoclinal media a externa de carbonatos, exceptuando la parte superior del Salada, que se interpreta en rampa media siliciclástica, principalmente (allí se encuentran lentes aislados de cuarzoarenita de textura muy fina, embebidos en lodolita levemente calcárea, similar a la laminación *flaser* simple con lentes aplanados de Reineck y Singh, 1980, 113-118). Las capas de fosforitas generadas por tormentas de la base de La Renta sugieren rampa media de carbonatos. El carbonato proviene principalmente de las conchillas de foraminíferos planctónicos, y en menor proporción de la desintegración, posiblemente, de las algas filoideas? calcáreas que abundaban en las zonas más proximales al continente de la rampa (**fig. 53**).

En conclusión, se interpreta que las formaciones Salada, Pujamana, Galembó y La Renta se acumularon sobre un medio marino somero (<40 m de profundidad) de costa afuera, cuya forma o perfil representa una rampa homoclinal, entre media e interna (Formación Pujamana) o rampa media a externa (Formaciones Salada y Galembó) (**fig. 53**); los niveles de oxígeno fueron pobres sobre el fondo durante la acumulación de las formaciones Salada, Galembó y La Renta, lo que preservó la materia orgánica (algo manifiesto por el contenido de materia orgánica >1% en estas unidades), y un poco más oxigenado cuando se depositaban los sedimentos de la Formación Pujamana (evidente por su menor contenido de materia orgánica <1% y mayor grado de bioperturbación, que alcanza hasta un moteado que varía de distinto a indistinto). En la masa de agua, de salinidad normal y comunicada con el mar abierto, abundaron nutrientes que permitieron la proliferación de peces, amonitas y foraminíferos planctónicos. En la zona eufótica de la rampa se desarrollaron algas calcáreas filoideas?

Respecto a las concreciones micríticas, comunes en la Formación Salada y abundantes en las formaciones Galembó y La Renta, muchas presentan deformación de la roca huésped en los bordes de la concreción, lo cual sugiere dos posibilidades: **1)** un origen singenético, donde la concreción crece sobre el fondo marino o a una muy poca profundidad de enterramiento de la interface agua-sedimento, antes de que se produzca la compactación del sedimento; luego, la compactación causa la deformación de las capas alrededor de la concreción, siempre y cuando no haya cementación temprana que consolide la roca huésped; **2)** la segunda alternativa es un origen diagené-

tico en el que la concreción se desarrolla por crecimiento desplazativo (*displacive growth*) durante la diagénesis, que ocurre si la roca huésped tiene una plasticidad suficiente como para permitir su deformación por crecimiento de la concreción; la deformación de la roca huésped se da como consecuencia del crecimiento de la concreción y por la compactación tardía de la roca huésped, antes de que ella logre una completa rigidez (Sellés-Martínez 1996, 197). Weeks (1953, 1957) estudió el origen de las concreciones en los *shales* cretácicos del VMM, y sugirió un origen diagenético temprano de estas estructuras; la deformación de la roca huésped alrededor de las concreciones debió ocurrir cuando el sedimento aún era lo suficientemente plástico como para fluir alrededor de la misma. El hecho de que las concreciones contengan fósiles de peces y amonitas, completos y sin deformación (como ocurre en muchas de las concreciones de la Formación Galembó), apunta a un origen diagenético temprano, ya que se requiere una cementación rápida de estos restos de organismos y del crecimiento posterior de la concreción con la suficiente anticipación para detener la descomposición de los restos orgánicos y para resistir la compresión ejercida por la sobrecarga posterior de los sedimentos.

A las grandes concreciones de tamaño métrico, de textura *wackestone* de foraminíferos planctónicos (similar a la roca encajante) que presentan laminación interna plana paralela, y que se observan en la Formación Galembó (sección de Aguablanca: segmento 2, m191,0-m193,0; sección de Montebello: segmento 5, m186,5-m187,0), se les puede atribuir un origen diagenético temprano; las láminas internas en concreciones sugieren que ellas fueron retenidas durante la cementación de la concreción, después de la sedimentación, lo que implica que la concreción habría heredado la laminación de la roca huésped. La estratificación paralela dentro de concreciones, asociada a deformación y a cambios de espesor de la roca huésped (como ocurre hacia los bordes de las concreciones de *wackestone* laminado encontradas en la Formación Galembó), implica la preservación de capas paralelas dentro de la concreción, lo que refleja el crecimiento temprano de la misma, antes de la compactación de la roca huésped (Sellés-Martínez 1996, 196-197).

Las capas con forma de montículo, de base plana y techo convexo, descritas en la Formación Galembó (sección estratigráfica Montebello, segmentos 4 y 5, m142,0-m179,0 y m179,0-m193,5, respectivamente, véase **fig. 42**), corresponden a concreciones en las que se observa deformación de la roca huésped en su parte superior; esto sugiere que la roca huésped por debajo de la estructura se compactó lo suficiente como para soportar el peso de la concreción, a medida que esta crecía e impedía que ella se desarrollara hacia abajo. La flexión de la laminación en la roca huésped, por encima y a los lados de la concreción, indica que durante la formación de la estructura el sedimento aún no estaba compactado; luego, durante el proceso diagenético, el sedimento se compacta y la laminación se flexiona alrededor de la concreción; esto implica que el proceso de sedimentación y el crecimiento de la concreción se produjo de forma simultánea o casi simultánea.

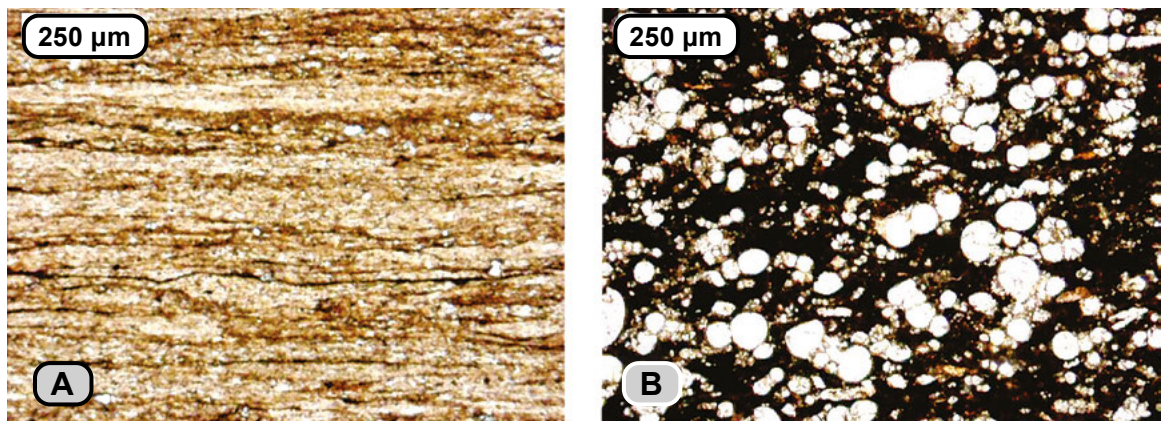


Figura 54. A) Láminas finas discontinuas de materia orgánica opaca (de color negro) coexisten con materia orgánica subtranslúcida (de color marrón más claro) en una lodolita terrígena rica en materia orgánica; la materia orgánica subtranslúcida se encuentra mezclada con minerales arcillosos. Techo de la Formación Salada, segmento 10, m123,0, sección estratigráfica de Aguablanca. Microfotografía de la sección delgada APA-2800, nicoles paralelos, a 50 aumentos. **B)** Materia orgánica opaca de color negro impregnando el soporte micrítico de una caliza con textura *packstone* de foraminíferos planctónicos (que se observan de color blanco). Base de la Formación Galembó, segmento 5, m183,9, sección estratigráfica de Montebello. Microfotografía de la sección delgada RT-5375, nicoles paralelos, a 50 aumentos. La parte superior de las figuras corresponde al techo de las muestras.

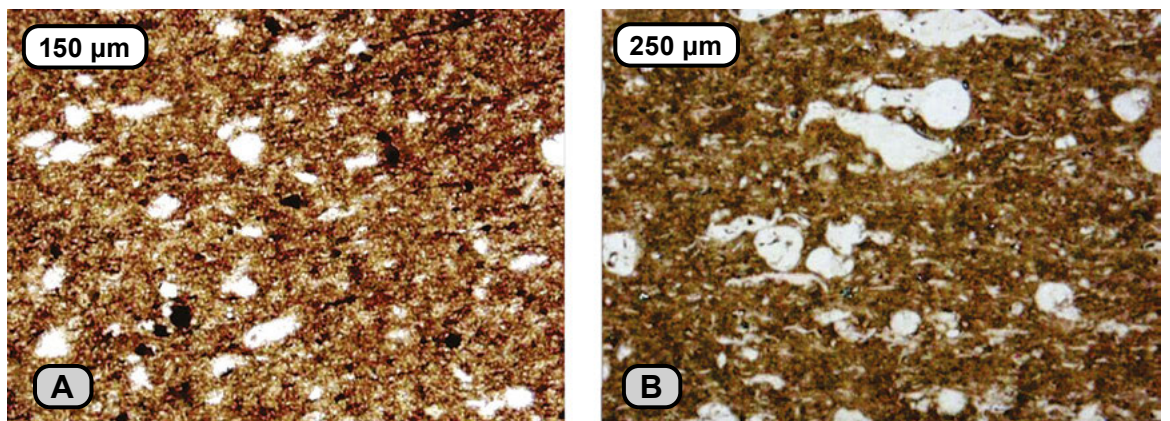


Figura 55. A) Arcillolita limosa fosilífera con materia orgánica subtranslúcida (de tonalidad marrón), finamente diseminada en la roca. Techo de la Formación Galembó, segmento 10, m268,3, sección estratigráfica de Montebello. Microfotografía de la sección delgada RT-5403, nicoles paralelos, a 100 aumentos. **B)** Materia orgánica subtranslúcida (de color marrón), mezclada con micrita, haciendo parte del soporte de una caliza fosilífera de foraminíferos planctónicos con textura *wackestone*. Formación Galembó, segmento 5, m251,8, sección estratigráfica de Aguablanca. Microfotografía de la sección delgada APA-2830, nicoles paralelos, a 50 aumentos. La parte superior de las figuras corresponde al techo de las muestras.

Respecto del contacto disconforme entre las formaciones Galembó (La Renta en este trabajo) y Umir en el área tipo, tanto Morales y The Colombian Petroleum Industry (1958, 655), Ward et al. (1973, 76-77) como Maughan et al. (1979, 37-39) consideran dicho contacto discordante, basados en diferencias notables de espesor de la Formación Galembó, y por la presencia de capas conglomeráticas (provenientes del Galembó, según ellos) en la base de la Formación Umir. Aparentemente, en el subsuelo de la Concesión de Mares del VMM (zona de Barrancabermeja) también se presenta esta disconformidad; Taborda (1965, 133) señala que en el pozo Llanito No. 4, se observa claramente la existencia de un contacto abrupto entre la Formación Galembó y la suprayacente Formación Umir. Evidencias de esta disconformidad, se indicaron en la descripción de la sección estratigráfica por la quebrada Aguablanca, en el intervalo m322,8-m350,0 correspondiente a la base de la Formación Umir.

Acerca de las facies silíceas (*cherts*, porcelanitas, lodolitas silíceas o calizas silíceas *sensu* Williams, Turner y Gilbert

1954, 270-271), generalmente en capas delgadas o lentes, comúnmente descritas en la “Formación La Luna y sus miembros constitutivos” (p. e., Maughan et al. 1979, 31, 35 y 37; Ward et al. 1973, 73-74; Rangel, Parra y Niño 2000, 1269, 1272; Sarmiento, Puentes y Sierra 2015, 28-29), en este estudio solamente se observaron en la Formación Galembó y La Renta, sean ellas de origen primario o secundario (más adelante se hablará del tema). Wheeler (1929, 8) describe capas delgadas de *chert* negro estratificado de forma regular o irregular en la Formación Galembó, aparentemente más abundantes en la parte baja de la unidad. De igual manera, las facies ricas en fosfatos (fosforitas y rocas calcáreas con abundancia de fosfatos) con textura granular tipo *wackestone* a *grainstone*, compuestas principalmente por peloides, fragmentos de peces o foraminíferos bentónicos fosfatizados, en capas macroscópicamente superiores a 1 cm, únicamente se vieron en la base de la Formación La Renta.

Respecto a las facies ricas en fosfatos de la Formación La Renta, estas corresponden a fosforitas granulares (*sensu* Glenn et

al. 1994, 752-753). Según este autor, las fosforitas granulares presentan textura de limolita, arenisca y algunas veces conglomerado, compuestas principalmente de partículas fosfáticas que muestran alguna evidencia de transporte y acumulación bajo la influencia de corrientes de fondo; el material cementante de las partículas normalmente es calcáreo, silíceo o fosfático, y usualmente presentan matriz arcillosa. Föllmi et al. (1992, 165-168) y Föllmi (1996, 79-83) se refieren a este tipo de depósitos como fosfatos alóctonos. De acuerdo con estos autores, el origen de estas acumulaciones se debe a depósitos por flujos de sedimento por gravedad, ricos en fosfatos, provenientes de la erosión de capas fosfáticas condensadas localizadas en la parte superior de ciclos sedimentarios grano-crecientes de escala métrica (1 a 15 m). En esta investigación no se reconocieron dichos ciclos sedimentarios ni las capas fosfáticas condensadas. En la Formación La Renta, la textura de las fosforitas es de arenitas de grano fino a medio, relativamente bien calibradas, con granos fosfáticos predominantemente de peloides, fragmentos de huesos y vértebras de peces y foraminíferos completos (tanto bentónicos como planctónicos), cementados por carbonato; estos granos muestran un claro origen alóctono, es decir, que han sido arrastrados y depositados por flujos turbulentos debidos a la acción de las tormentas; las fosforitas de los segmentos 9 y 11 en la sección de Aguablanca y del segmento 10 en la sección de Montebello son de este tipo (véase **fig. 21**).

Como se indicó en el capítulo de Metodología, la materia orgánica en las secciones delgadas se observa generalmente de color negro o en varios tonos de color marrón (en nicoles paralelos), o se aprecia totalmente extinguida (en nicoles cruzados). Ella se encuentra mezclada o finamente diseminada con el lodo calcáreo micrítico o con los minerales arcillosos que constituyen el soporte de la roca, lo cual dificulta la diferenciación y estimación de estos constituyentes en las muestras. Por esta razón, y por no contar con análisis geoquímicos de carbono orgánico total (TOC), ni con estudios del tipo de materia orgánica y su evolución térmica, se utilizó el antiguo método de Folk (1987), que permitió identificar la materia orgánica opaca de la materia orgánica subtranslúcida; no obstante, su cuantificación fue aproximada y posiblemente sobrevalorada. Con el método de Folk (1987), la materia orgánica opaca se ve de color negro, y la materia orgánica subtranslúcida se aprecia en distintas gamas de color marrón; esta distinción es importante porque el color refleja la madurez termal de la roca, un criterio valioso en la exploración de hidrocarburos; los colores negros o grises indican materia orgánica altamente madurada, y los marrones sugieren materia orgánica de madurez intermedia (Folk 1987, 194).

La materia orgánica presente en las secciones delgadas corresponde predominantemente a materia orgánica subtranslúcida y, en menor proporción, a materia orgánica opaca; estos dos tipos de materia orgánica se diferencian muy bien con la técnica descrita por Folk (1987, 193-194), que consiste en colocar una tarjeta de color blanco debajo de la sección delgada y observar sus constituyentes bajo luz oblicua reflejada. Con esta técnica, la materia orgánica sub-

translúcida se aprecia de color marrón moderado (5YR 3/4, 5YR 4/4), marrón oscuro (5YR 2/2), marrón grisáceo (5YR 3/2) o marrón claro (5YR 5/6). En nicoles paralelos, su comportamiento es similar al de un mineral subtranslúcido, es decir, que alcanza a transmitir parte de la luz, mientras que la materia orgánica opaca no transmite la luz y se observa de color negro. Ambos tipos de materia orgánica aparecen en las formaciones Salada, Pujamana, Galembo y La Renta, pero son más abundantes en las formaciones Salada y Galembo. La materia orgánica opaca se presenta entre <1% y 34,8% del volumen total de la roca, en láminas muy finas discontinuas (desde 40 × 20 μm hasta 15 × 3.500 μm), haciendo parte del armazón de lodolitas terrígenas (**fig. 54/A**) o como una pasta opaca, enmascarando o impregnando el soporte o la matriz de calizas con textura *wackestone* y *packstone* de foraminíferos planctónicos (**fig. 54/B**). La materia orgánica subtranslúcida oscila entre 9,4-49,4% del volumen total de la roca, y se encuentra de manera difusa o mezclada con micrita o minerales arcillosos, tanto en el soporte como en la matriz de rocas similares a las descritas anteriormente (**figs. 55/A, 55/B**). En varias muestras analizadas coexisten ambas clases de materia orgánica; no obstante, en otras muestras solo se encuentra un tipo específico de ella. En la **tabla 2** se discriminó el tipo de materia orgánica y su porcentaje en aquellas muestras en que fue posible hacerlo.

Un aspecto diagenético exclusivo de la Formación Salada es la presencia de concreciones calcáreas micríticas, ricas en piritita, que fueron observadas en los segmentos 4, 5, 6 y 8 de la sección estratigráfica por la quebrada Aguablanca, además de la aparición de láminas delgadas lenticulares de piritita en el segmento 8. Wheeler (1929, 8) señala como característica relevante de esta unidad la presencia de concreciones con piritita y venas de piritita.

El aumento de espesor de las formaciones Pujamana y Galembo en la sección estratigráfica de Montebello, de mínimo 96% para la primera y de 37% para la segunda, se puede atribuir a una tasa mayor de subsidencia tectónica y aporte sedimentario hacia el sector de Montebello, probablemente relacionado con el movimiento de fallas normales que afectaron la sedimentación en la región del Valle Medio del Magdalena y en la zona del proyecto Hidrosogamoso. En Montebello se tiene evidencia de tectonismo actuando sobre la sedimentación, en la porción superior de la Formación Pujamana; allí se observa estratificación plana con forma divergente, o en forma de cuña (véase, p. ej., **figs. 27, 29 y 32**), lo que sugiere variaciones laterales rápidas en la tasa de acumulación, o inclinación progresiva de la superficie de deposición, y su efecto es el engrosamiento lateral paulatino de la sucesión hacia el W.

ROCAS VOLCÁNICAS EN EL CRETÁCICO SUPERIOR DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA Y EL POSIBLE ORIGEN DE LA SÍLICE

Ballesteros et al. (2013, 30-31) reportan capas de rocas volcánicas piroclásticas intercaladas en la sucesión cretácica de edad Turoniano-Santoniano (Formaciones Salada, Puja-

mana y Galembo) perforada por el pozo La Luna-1, específicamente en las Formaciones Salada (donde ocurren localmente) y Galembo (con ocurrencia frecuente).

En las Formaciones Galembo y La Renta, tanto en la sección de Aguablanca (segmento 5: m235,0-m236,0, m245,0, m249,5-m250,0; segmento 12: m318,2) como en la sección de Montebello (segmento 1: m123,0-m126,0, m127,5; segmento 2: m135,0-m138,0; segmento 10: m290,0-m290,1, m298,8-m299,3) se encontraron capas entre delgadas y medianas (2 a 13 cm de espesor) de arcillolitas o lodolitas de coloración naranja o amarilla, meteorizadas y blandas, que llaman la atención por su color, composición y textura contrastantes, ya que se encuentran intercaladas entre capas de caliza con textura *mudstone* o *wackestone* de foraminíferos planctónicos, ricas en materia orgánica (véase **fig. 11**). Estas capas se interpretaron como cenizas volcánicas alteradas; desafortunadamente el material está muy meteorizado. Un análisis de difracción de rayos X realizado por el Laboratorio Químico del Servicio Geológico Colombiano a la muestra RT-5371A (m135,0, segmento 1, sección de Montebello) da como resultado caolinita $[Al_2Si_2O_5(OH)_4] = 78,8\%$, cuarzo (SiO_2) = 8,3%, calcita ($CaCO_3$) = 6,7%, anatasa (TiO_2) = 3,9% y sepiolita $[Mg_4Si_6O_{15}(OH)_2 \cdot 6H_2O] = 2,2\%$. Aunque los resultados no son concluyentes, los minerales identificados sugieren capas de origen volcánico piroclástico, totalmente devitrificadas y alteradas por meteorización.

¿Fue este vulcanismo cretácico la fuente de sílice que dio origen a las capas de *cherts* y porcelanitas presentes en la Formación Galembo y La Renta del VMM? Hasta la fecha, para explicar la formación de capas sedimentarias de *cherts* y porcelanitas se han propuesto procesos deposicionales, diagenéticos o tectónicos (véase Villamil 1994; Villamil, Arango y Hay 1999; Cortés 1994; Terraza 2003), pero no se ha enfrentado el problema del origen de la sílice. La sílice puede ser un producto de alteración de materiales volcánicos o un precipitado derivado de la disolución de conchillas de organismos silíceos como diatomeas, radiolarios y espículas de esponjas (Friedman 2003, 131). Bürgl (1959, 99) insinúa que el vulcanismo es la fuente de sílice de los *cherts* y porcelanitas cretácicas de la cordillera Oriental.

Numerosas capas entre delgadas y medianas de *cherts*, con espesores entre 3 y 30 cm, generalmente de forma lenticular y discontinuas (similares a lo que Boggs, 2009, 484-485, denomina *chert* nodular), de color negro, gris parduzco o negro parduzco (N1, N2, 5YR 4/1, 5YR 2/1) son comunes en las Formaciones Galembo y La Renta, tanto en la sección de Aguablanca como en la de Montebello; dichas capas son el producto de la silicificación parcial o total de calizas fosilíferas con textura *mudstone* o *wackestone*. En la muestra RT-5371 (segmento 2, sección Montebello, **láms. 7/A, 7/B y 7/C, tabla 2**) se muestra una caliza con textura *wackestone* de foraminíferos planctónicos silicificada parcialmente (la roca en campo se describió como *chert* fosilífero calcáreo), donde

la matriz micrítica fue reemplazada por cuarzo criptocristalino, y la esparita, que originalmente rellenaba cámaras de foraminíferos, fue substituida por cuarzo microcristalino. La sustitución de carbonato por sílice se produce en la etapa inicial de la diagénesis, durante el entierro de los sedimentos, cuando bioclastos y otros granos aloquímicos sufren disolución, y luego hay re-precipitación del carbonato, para formar la roca calcárea. Posteriormente se da la sustitución del carbonato por la sílice. La fuente probable de sílice para producir este reemplazo debió ser biogénica; las conchillas de diatomeas y radiolarios debieron aportar la sílice al disolverse, y esta re-precipitó como microcuarzo durante el proceso de silicificación.

EDAD DE LAS FORMACIONES SALADA, PUJAMANA, GALEMBO Y LA RENTA

Por Fernando Etayo-Serna

La edad de las formaciones del Cretácico superior investigadas en el presente trabajo se fundamenta en el estudio de moluscos fósiles adelantado por el Dr. Fernando Etayo-Serna.

En la Formación El Salto, unidad infrayacente a la Formación Salada, es notoria la presencia de *Rhynchostreon squamatum* (ORBIGNY), molusco bivalvo cuya mayor abundancia en el Cretácico de Colombia se presenta en el Cenomaniano (Gao-na 2003).

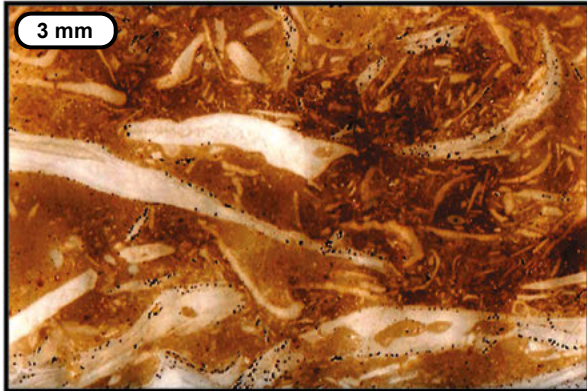
En la Formación Salada únicamente se recuperaron algunos *Inoceramus* s.l. y concentraciones de *Anomia colombiana* y *Benuettes* sp., especies consideradas del Turoniano inferior (Villamil 1996).

En capas de la base de la Formación Pujamana se coleccionaron amonitas del género *Subprionocyclus* del Turoniano superior.

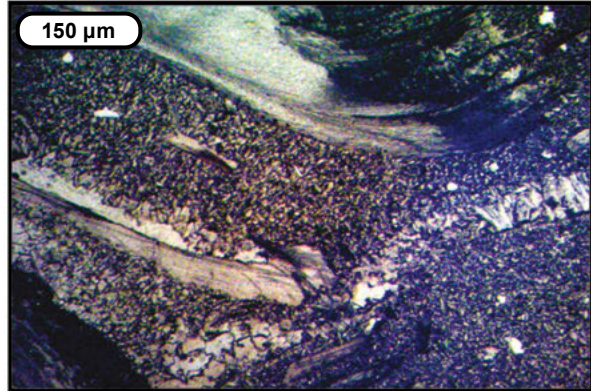
En la Formación Galembo, las capas del tercio inferior de la unidad suministraron numerosos bivalvos del género *Didymotis* junto con amonitas de los géneros *Prionocycloceras* y *Protexanites*, que indican el Coniaciano inferior; procedentes del tercio medio de esta formación se encontraron amonitas de los géneros *Paralenticeras* y *Zuluiceras* del Coniaciano superior; en la parte baja del tercio superior de esta unidad se coleccionaron amonitas de los géneros *Plesiotexanites*, *Texanites* y *Cocuyites*, que indican el Santoniano.

De la Formación La Renta no se recuperó ningún macrofósil; sin embargo, con apoyo en estudios micropaleontológicos anteriores (Petters 1955), los abundantes foraminíferos bentónicos calcáreos reconocibles en las numerosas capas delgadas de la Formación La Renta corresponderían a la Zona de *Siphogenerinoides cretácea*, del Campaniano.

Lámina 1. Formaciones El Salto y Salada



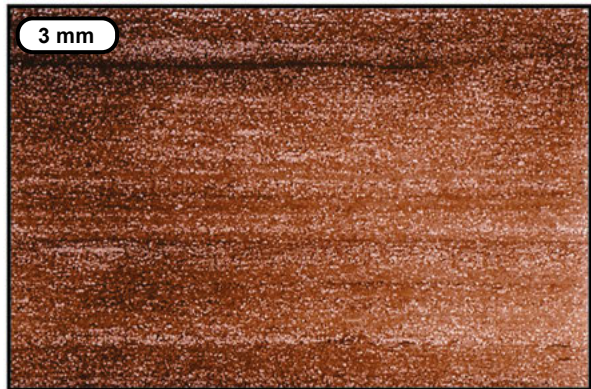
A (ESC. SD RT-5467, 0,3X)



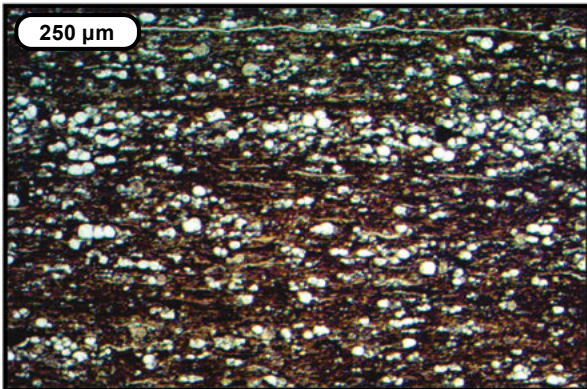
B (MIC. SD RT-5468, 10X, NC)



C (ESC. SD RT-5466, 0,3X)



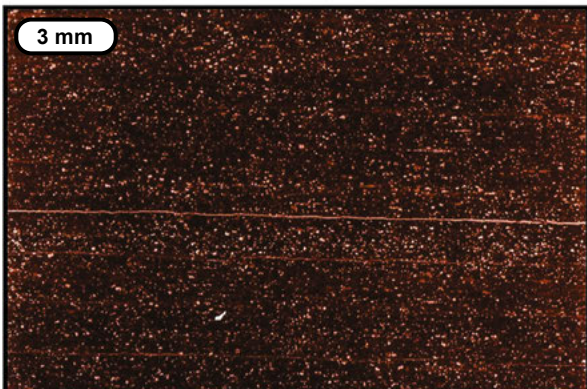
D (ESC. SD RT-5469, 0,3X)



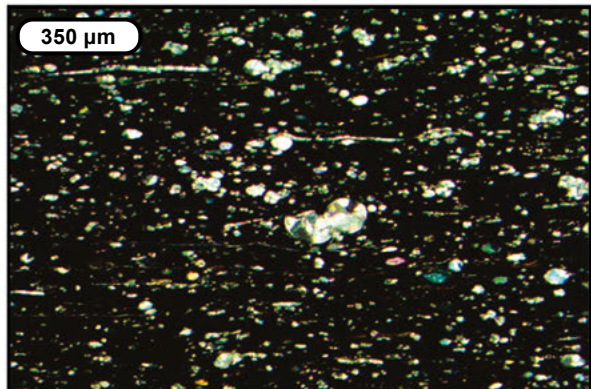
E (MIC. SD RT-5469, 4X, NP)



F (ESC. SD APA-2787, 0,3X)



G (ESC. SD APA-2788, 0,3X)



H (MIC. SD APA-2790, 3,2X, NC)

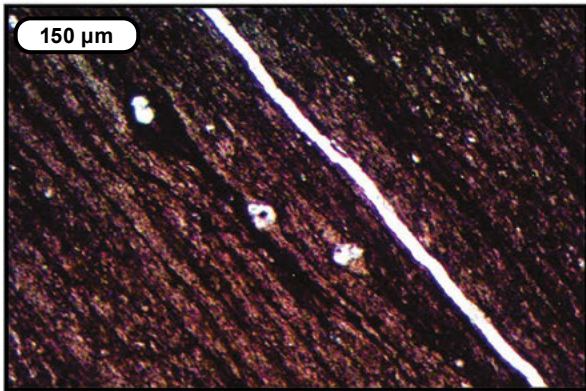
Lámina 2. Formaciones Salada y Pujamana



A (ESC. SD APA-2792, 0,3X)



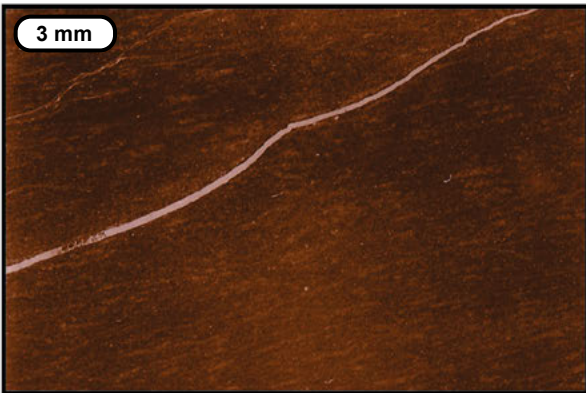
B (ESC. SD APA-2799, 0,3X)



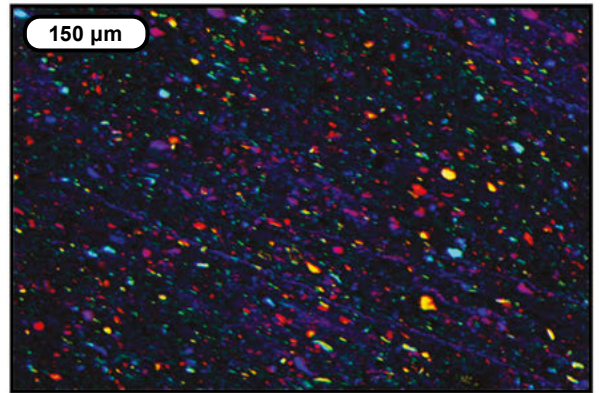
C (MIC. SD APA-2800, 10X, NP)



D (ESC. SD APA-2811, 0,3X)



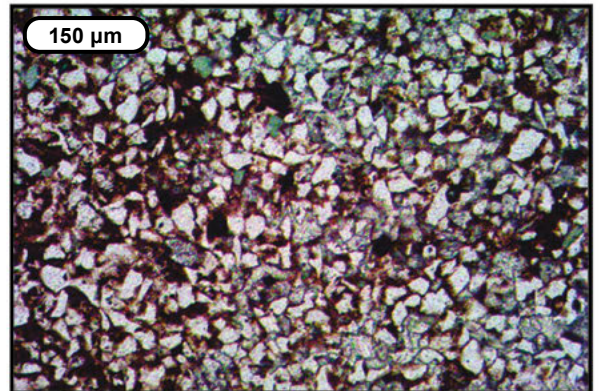
E (ESC. SD APA-2813, 0,3X)



F (MIC. SD APA-2813, 10X, NC, 1 λ)

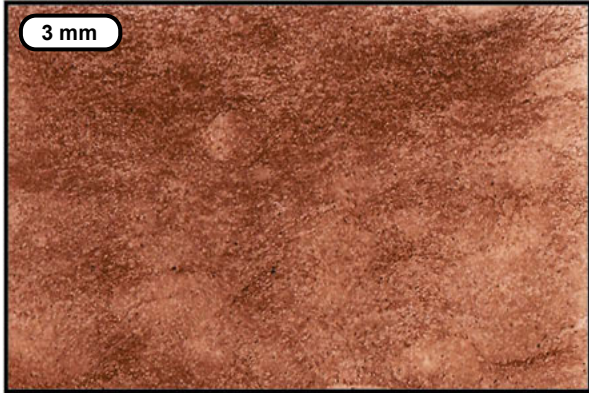


G (ESC. SD APA-2815, 0,3X)

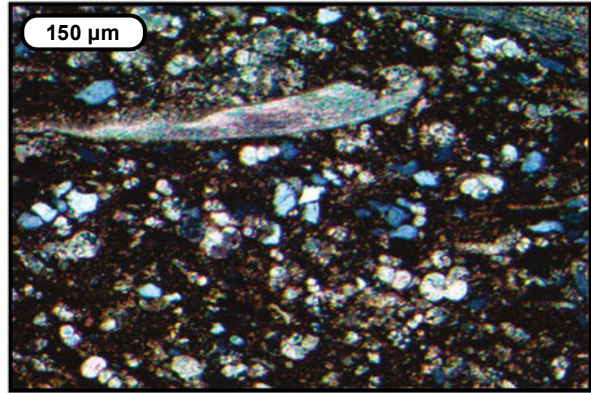


H (MIC. SD APA-2815, 10X, NP)

Lámina 3. Formaciones Pujamana y Galembo



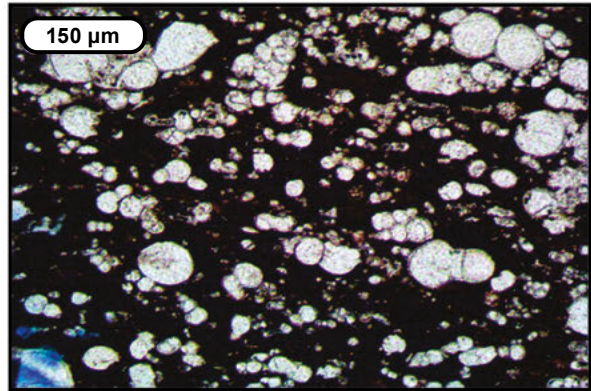
A (ESC. SD APA-2819, 0,3X)



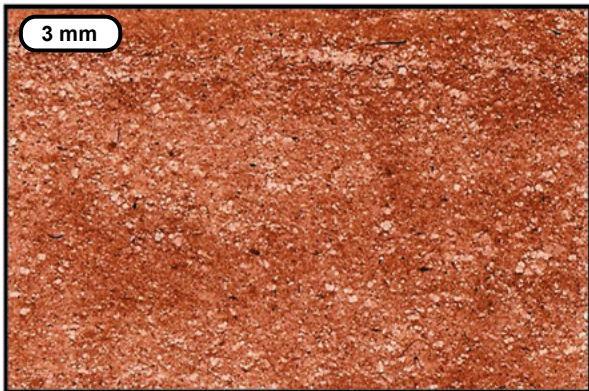
B (MIC. SD APA-2819, 10X, NC)



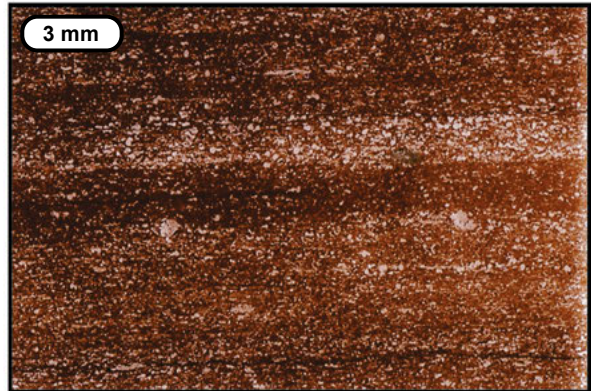
C (ESC. SD APA-2820, 0,3X)



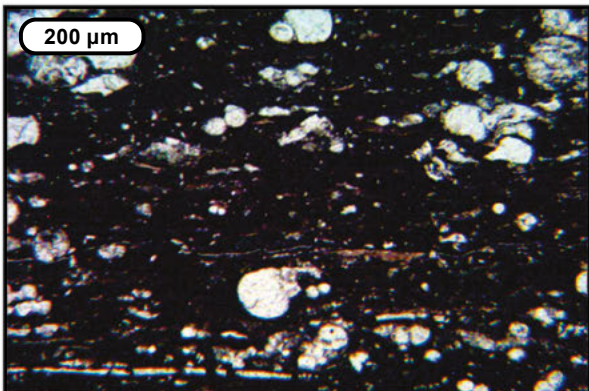
D (MIC. SD APA-2821, 10X, NP)



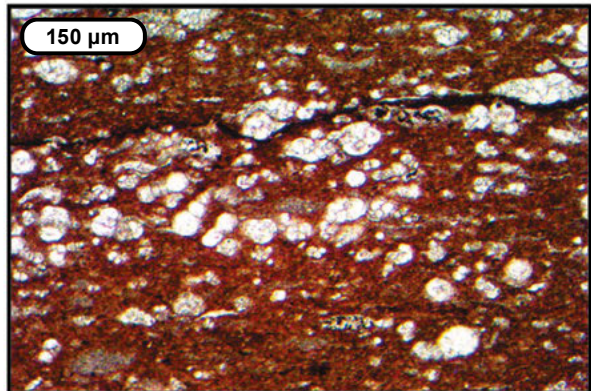
E (ESC. SD APA-2822, 0,3X)



F (ESC. SD APA-2823, 0,3X)

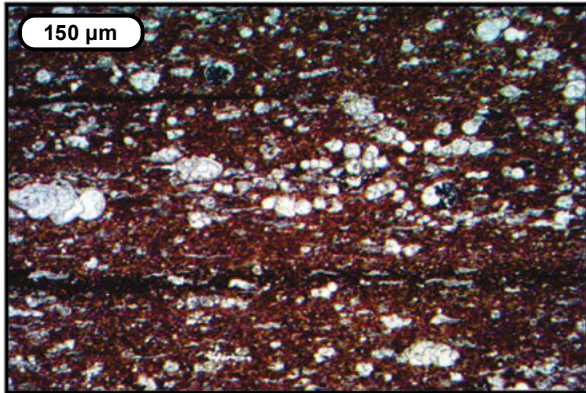


G (MIC. SD APA-2823, 6,3X, NP)

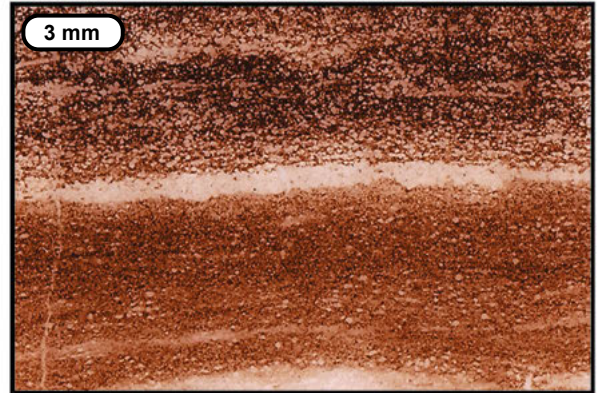


H (MIC. SD APA-2827, 10X, NP)

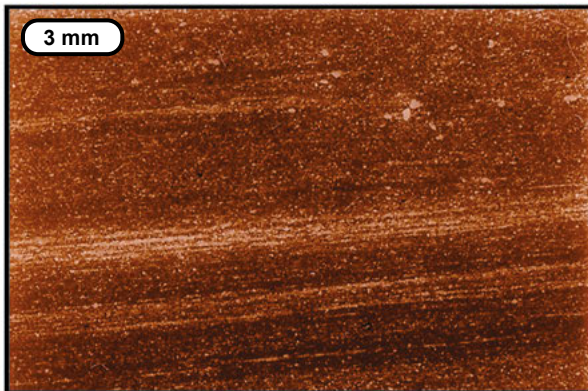
Lámina 4. Formaciones Galembo y La Renta



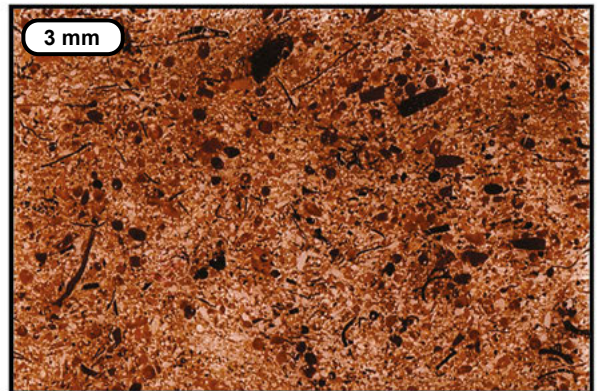
A (MIC. SD APA-2830, 10X, NP)



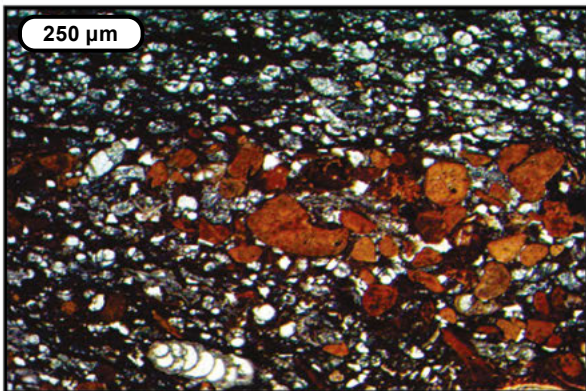
B (ESC. SD APA-2831, 0,3X)



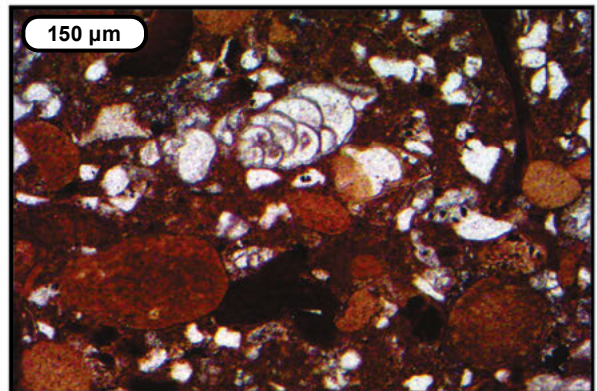
C (ESC. SD APA-2833A, 0,3X)



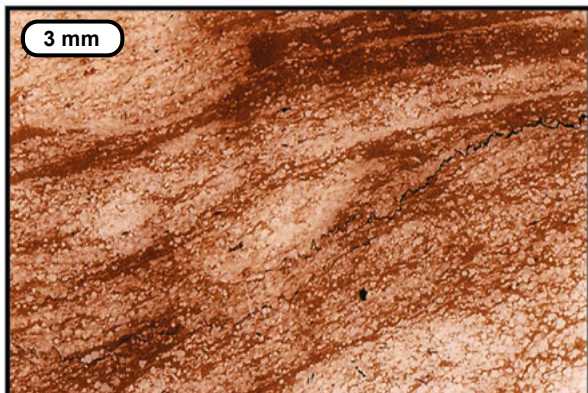
D (ESC. SD APA-2838, 0,3X)



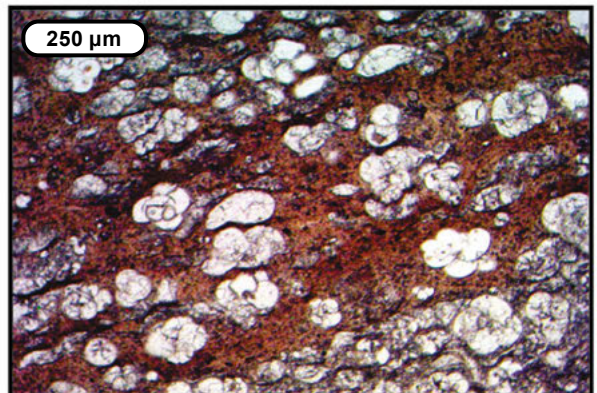
E (MIC. SD APA-2838, 4X, NP)



F (MIC. SD APA-2838, 10X, NP)

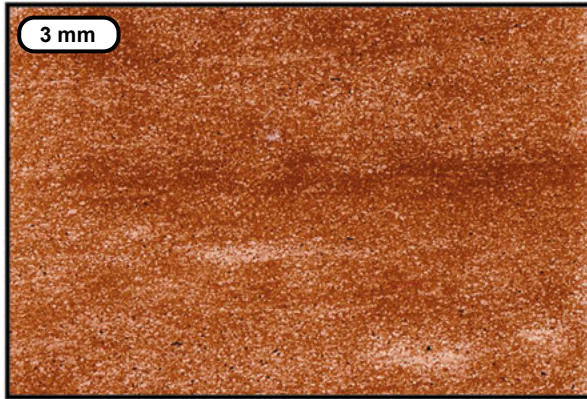


G (ESC. SD APA-2843, 0,3X)

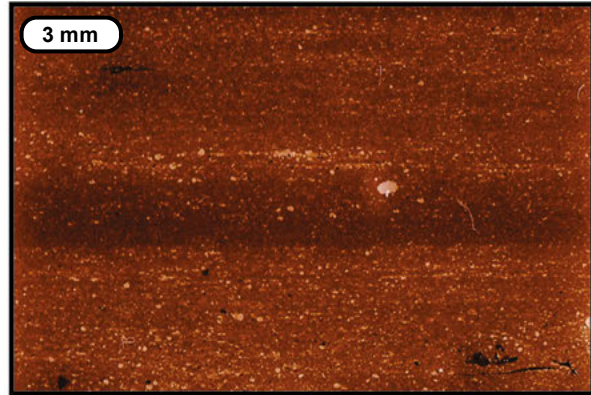


H (MIC. SD APA-2843, 4X, NP)

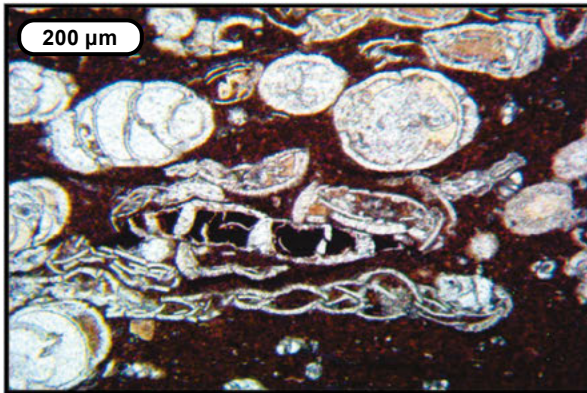
Lámina 5. Formaciones Pujamana, Galembo, La Renta y Umir



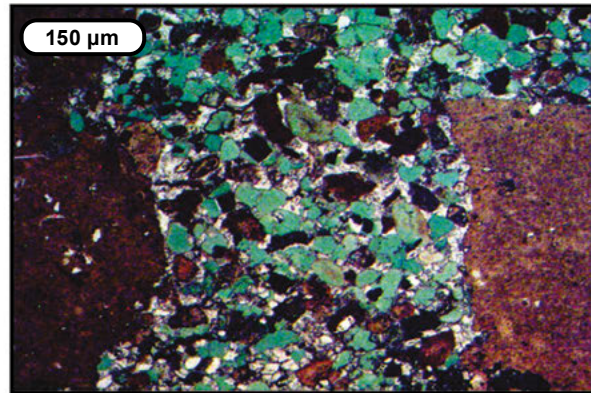
A (ESC. SD APA-2845, 0,3X)



B (ESC. SD APA-2846, 0,3X)



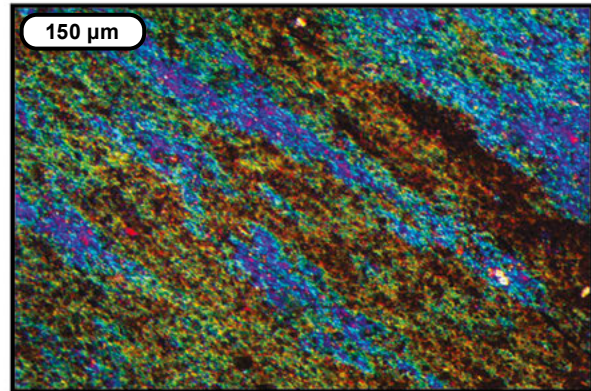
C (MIC. SD APA-2848, 6,3X, NP)



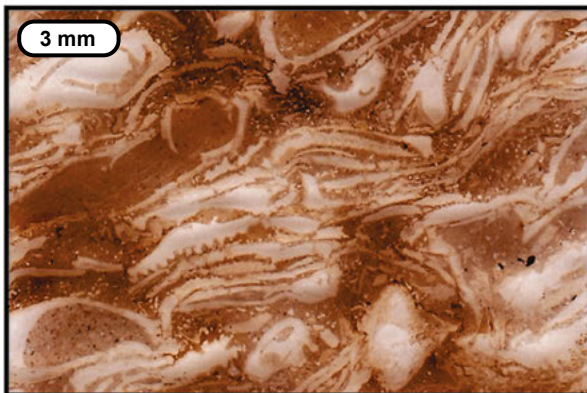
D (MIC. SD APA-2849, 10X, NP)



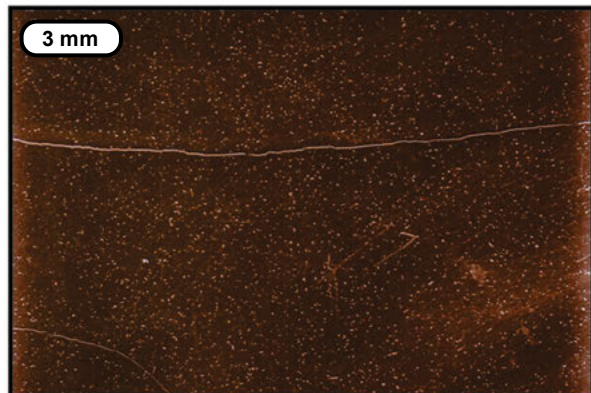
E (ESC. SD APA-2853, 0,3X)



F (MIC. SD APA-2853, 10X, NC 1λ)



G (ESC. SD RT-5395, 0,3X)

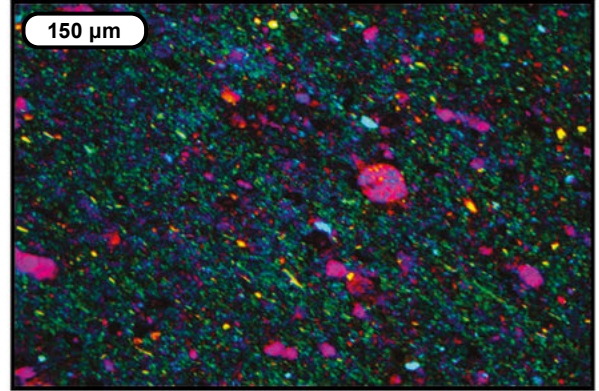


H (ESC. SD RT-5361, 0,3X)

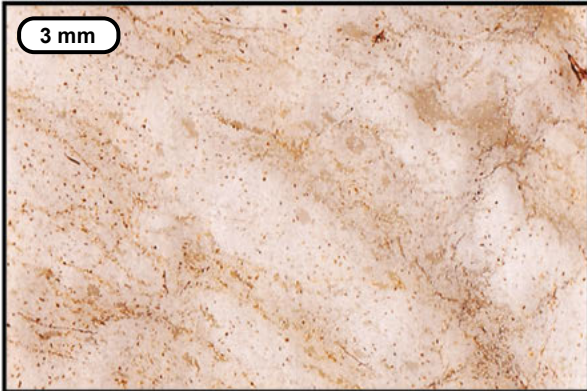
Lámina 6. Formaciones Pujamana y Galembo



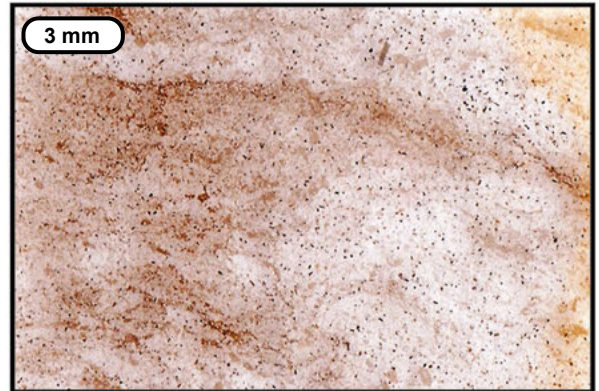
A (ESC. SD RT-5362, 0,3X)



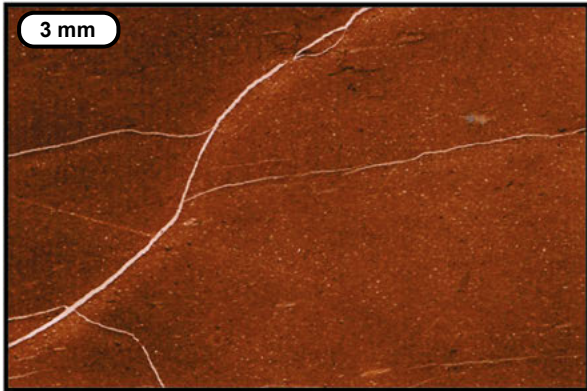
B (MIC. SD RT-5362, 10X, NC, 1 λ)



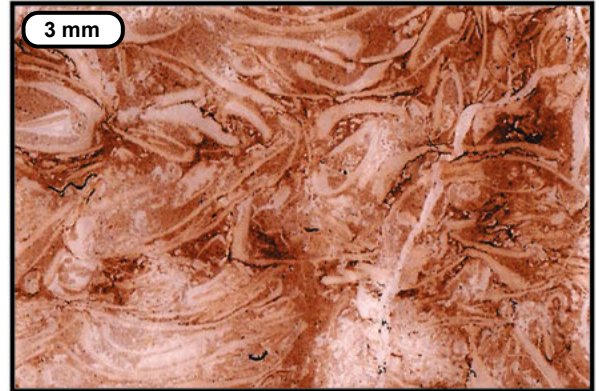
C (ESC. SD RT-5363, 0,3X)



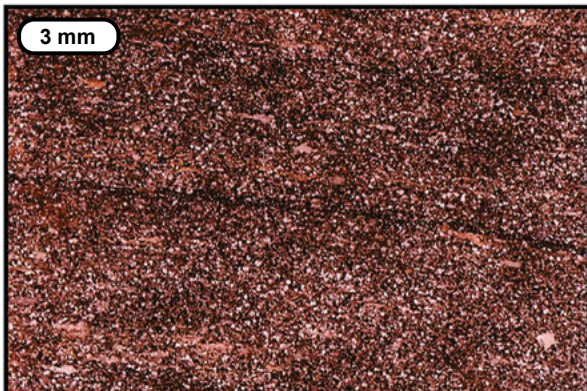
D (ESC. SD RT-5366, 0,3X)



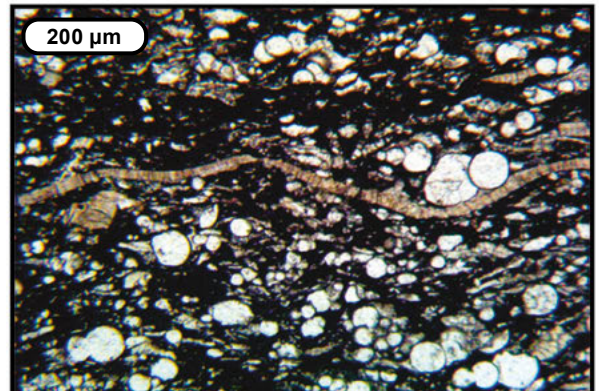
E (ESC. SD RT-5367, 0,3X)



F (ESC. SD RT-5368, 0,3X)

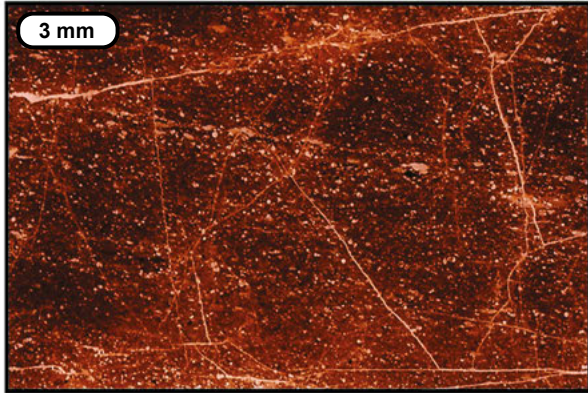


G (ESC. SD RT-5369, 0,3X)

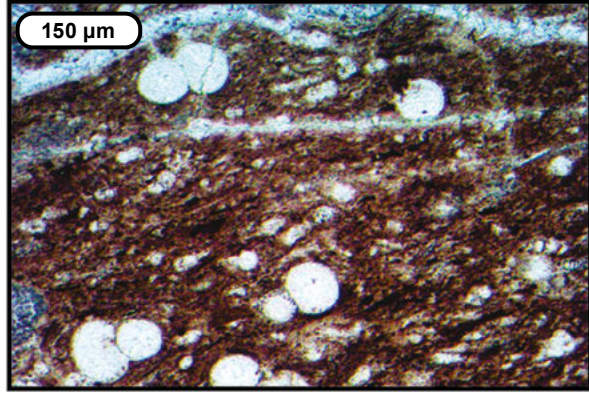


H (MIC. SD RT-5369, 6,3X, NP)

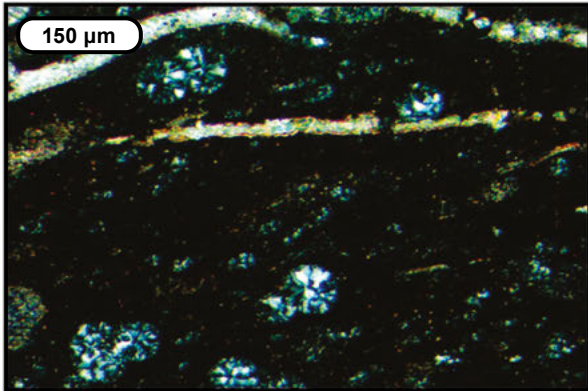
Lámina 7. Formación Galembo



A (ESC. SD RT-5371, 0,3X)



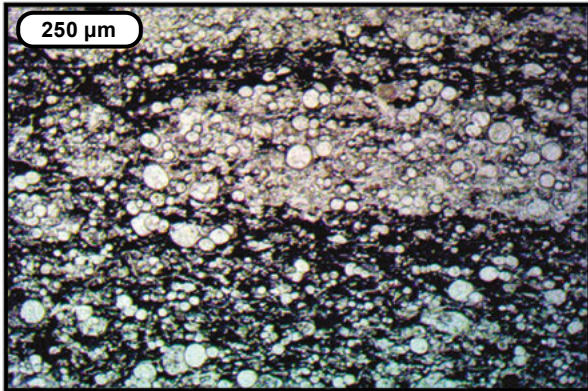
B (MIC. SD RT-5371, 10X, NP)



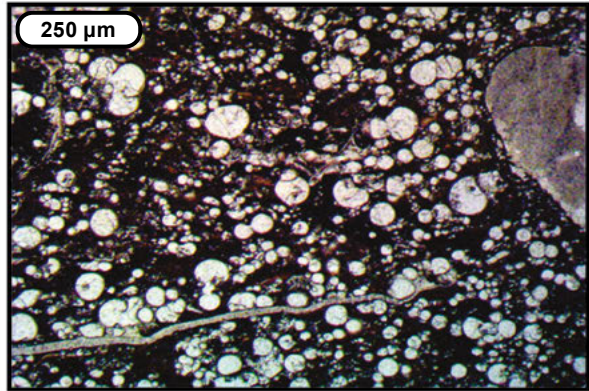
C (MIC. SD RT-5371, 10X, NC)



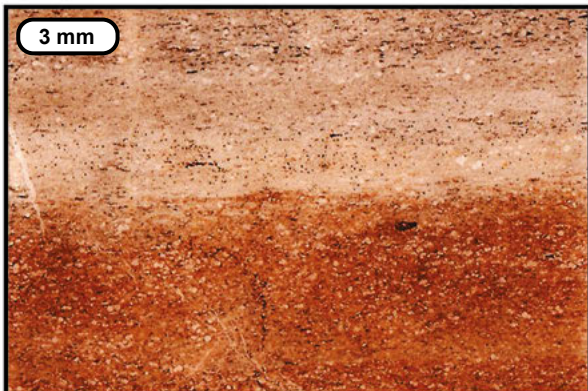
D (ESC. SD RT-5373, 0,3X)



E (MIC. SD RT-5372, 4X, NP)



F (MIC. SD RT-5375, 4X, NP)

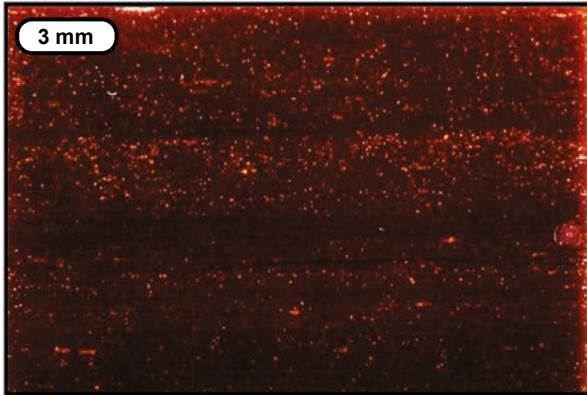


G (ESC. SD RT-5376, 0,3X)

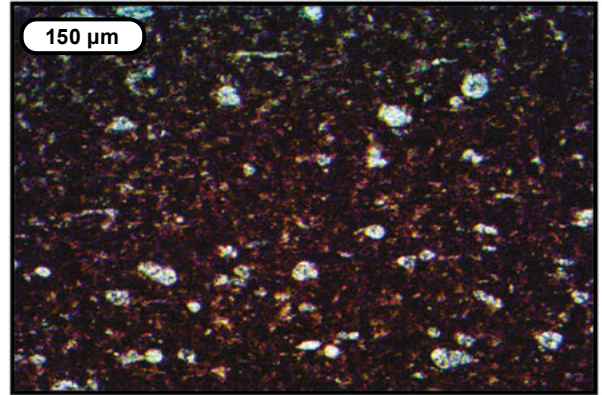


H (ESC. SD RT-5377, 0,3X)

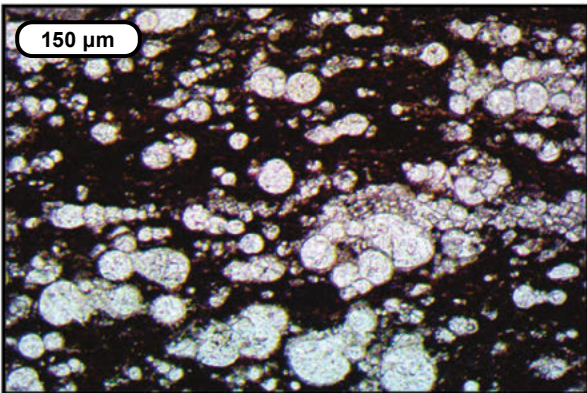
Lámina 8. Formaciones Galembo y La Renta



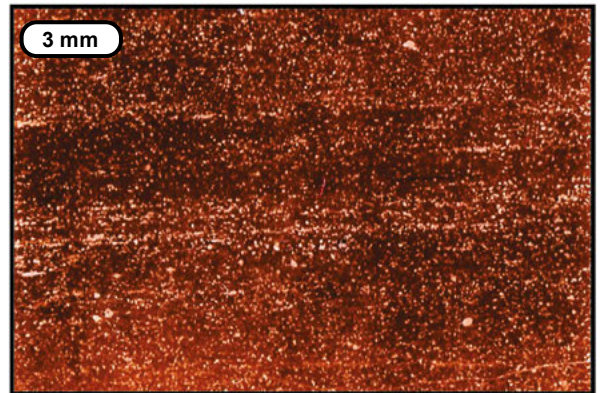
A (ESC. SD RT-5380, 0,3X)



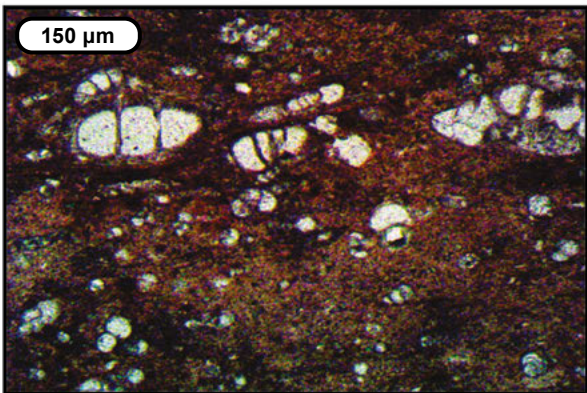
B (MIC. SD RT-5398, 10X, NP)



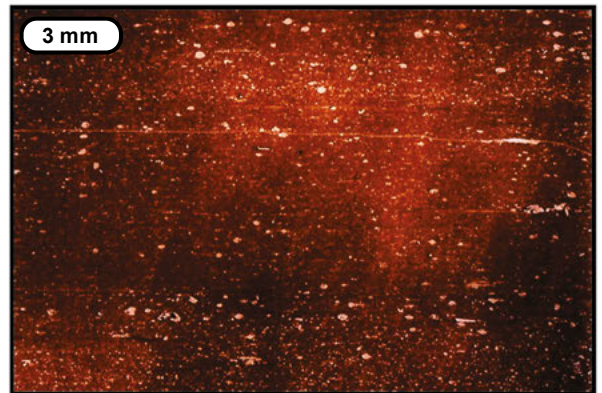
C (MIC. SD RT-5378, 10X, NP)



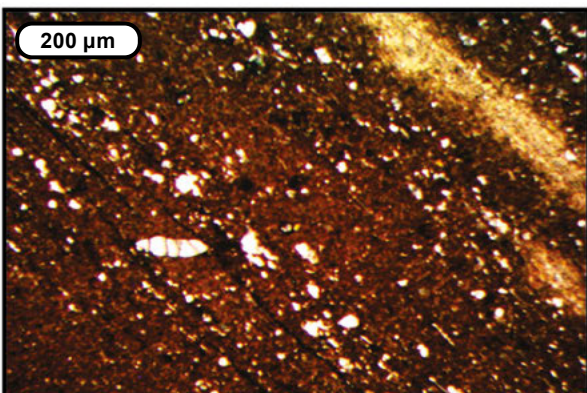
D (ESC. SD RT-5407, 0,3X)



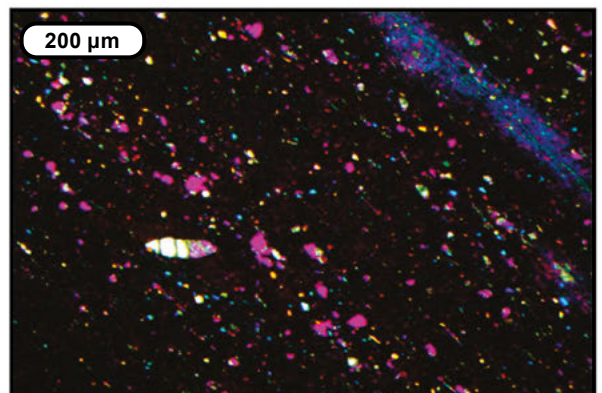
E (MIC. SD RT-5409, 10X, NP)



F (ESC. SD RT-5405, 0,3X)



G (MIC. SD RT-5403, 6,3X, NP)

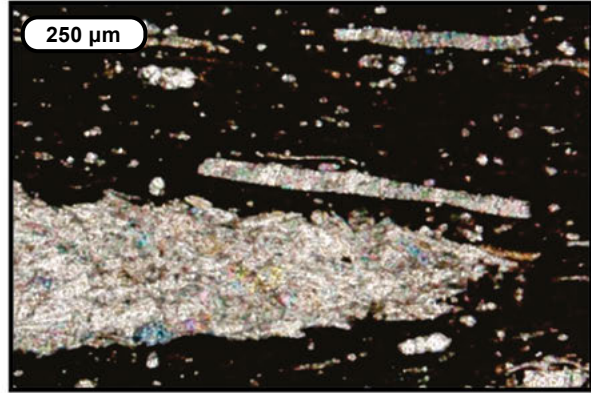


H (MIC. SD RT-5403, 6,3X, NC, 1 λ)

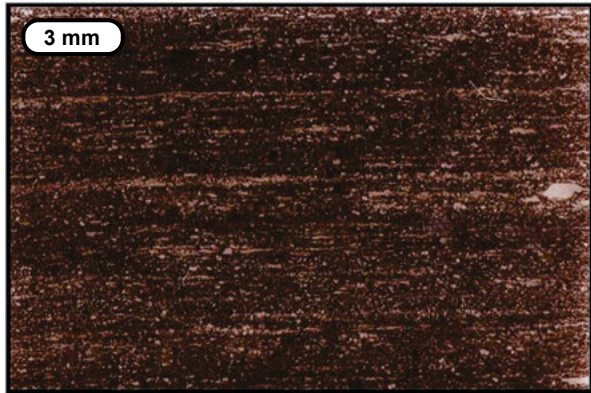
Lámina 9. Formaciones Salada y Galembo



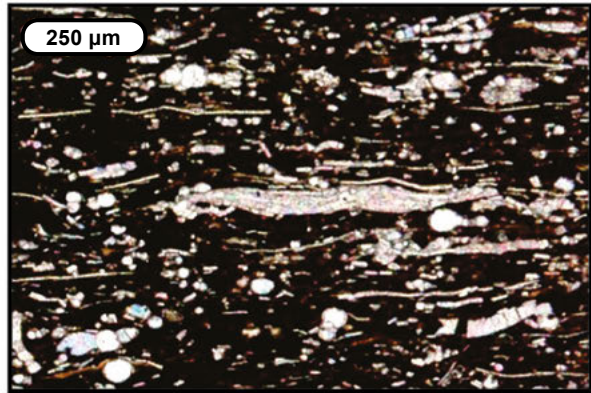
A (ESC. SD APA-2790, 0,3X)



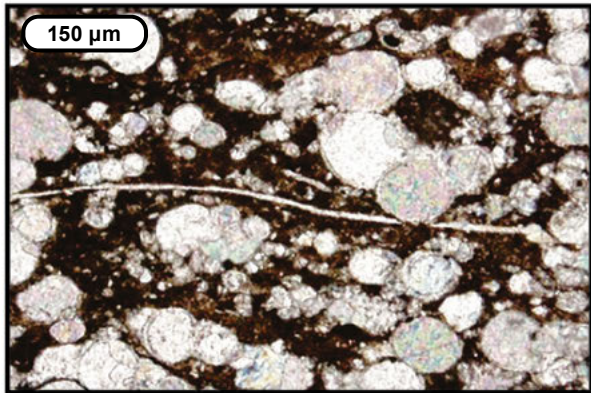
B (MIC. SD APA-2790, 5X, NC)



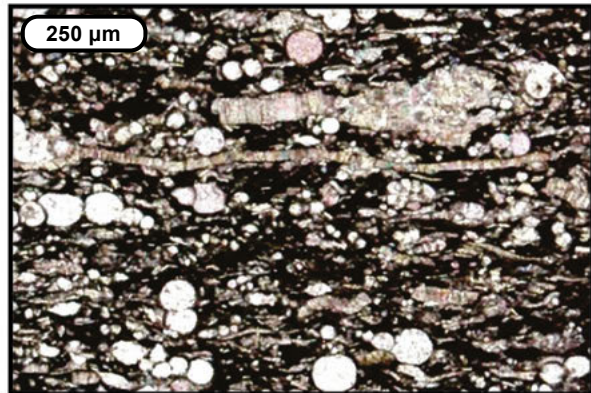
C (ESC. SD APA-2792, 0,3X)



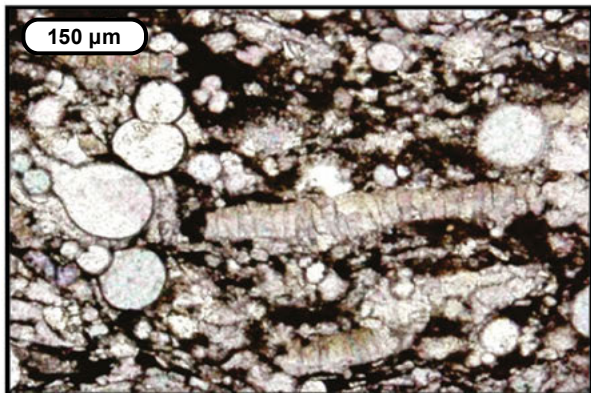
D (MIC. SD APA-2792, 5X, NC)



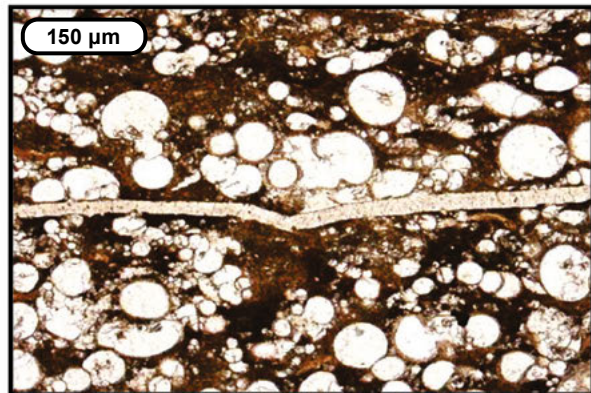
E (MIC. SD APA-2821, 10X, NC)



F (MIC. SD RT-5369, 5X, NC)



G (MIC. SD RT-5369, 10X, NC)



H (MIC. SD RT-5375, 10X, NP)

Lámina 1. Formaciones El Salto y Salada

A. *Wackestone* de bivalvos; fragmentos de bivalvos embebidos en matriz micrítica. Sección Aguablanca, Formación El Salto, m7,0 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5467 a 3 aumentos).

B. *Wackestone* de bivalvos; predominio de microsparita que envuelve grandes fragmentos de bivalvos, cuyas conchas muestran en su mayoría calcita fibrosa. Sección Aguablanca, Formación El Salto, m2,0 (microfotografía de la sección delgada RT-5468 a 100 aumentos, nicoles cruzados).

C. *Wackestone* de foraminíferos planctónicos con materia orgánica y terrígenos (tamaño arcilla y arena), con laminación fina, plana paralela. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 4, m40,0 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5466 a 3 aumentos).

D. *Wackestone* de foraminíferos planctónicos, rico en materia orgánica, terrígeno (arcilloso), finamente laminado, de forma plana paralela continua. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 5, m49,0 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5469 a 3 aumentos).

E. *Wackestone* de foraminíferos planctónicos; roca compuesta por materia orgánica, arcillas con hábito micáceo, muscovita fina y micrita formando láminas delgadas de color oscuro, que alternan con láminas más gruesas de color claro, compuestas por abundantes foraminíferos planctónicos con textura de limo a arena muy fina (algunas con textura *packstone*). Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 5, m49,0 (microfotografía de la sección delgada RT-5469 a 40 aumentos, nicoles paralelos).

F. *Wackestone* de foraminíferos planctónicos, arcilloso y rico en materia orgánica, con laminación delgada plana paralela continua. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 7, m65,8 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2787 a 3 aumentos).

G. *Wackestone* de foraminíferos planctónicos, arcilloso, con materia orgánica; mezcla de lodo calcáreo micrítico, arcilla clástica, materia orgánica y foraminíferos planctónicos dispuestos en láminas discontinuas plano-paralelas. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 8, m77,8 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2788 a 3 aumentos).

H. *Wackestone* de foraminíferos planctónicos rico en materia orgánica, arcilloso; roca soportada por filosilicatos asociados con materia orgánica y con un porcentaje menor de micrita. Presenta láminas oscuras y claras discontinuas. Las oscuras, más frecuentes y más gruesas, presentan alto predominio del soporte en el que flotan bioclastos de foraminíferos planctónicos, así como finas láminas de esparita que corresponden a algas filoideas? Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 8, m84,0 (microfotografía de la sección delgada APA-2790 a 32 aumentos, nicoles cruzados).

Lámina 2. Formaciones Salada y Pujamana

A. *Wackestone* fosilífero rico en materia orgánica, arcilloso; foraminíferos planctónicos y restos de algas filoideas se disponen en láminas delgadas, discontinuas, plano-paralelas. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 9, m77,8 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2792 a 3 aumentos).

B. Lodolita terrígena rica en materia orgánica con laminación entre delgada y mediana, plana paralela continua, bien desarrollada. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 10, m115,5 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2799 a 3 aumentos).

C. Lodolita terrígena rica en materia orgánica; roca soportada por arcilla con láminas ricas en materia orgánica y escasos foraminíferos, cuarzos con textura de limo y algo de dolomita. La arcilla, de fino hábito micáceo (posiblemente illita), se presenta perfectamente orientada de modo paralelo a la laminación de la roca; diagonal a la fotografía se aprecia claramente la laminación de materia orgánica en color negro y la arcilla en color marrón, en la que flotan escasos foraminíferos. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 10, m123,0 (microfotografía de la sección delgada APA-2800 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

D. Cuarzoarenita de textura muy fina, levemente calcárea, con laminación ondulosa, no paralela discontinua, escasamente desarrollada. Sección Aguablanca, Formación Pujamana, segmento 1, m139,6 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2811 a 3 aumentos).

E. Lodolita terrígena rica en materia orgánica con laminación entre plana y levemente ondulosa, paralela discontinua, poco desarrollada. Sección Aguablanca, Formación Pujamana, segmento 2, m148,4 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2813 a 3 aumentos).

F. Imagen en el microscopio de la muestra anterior; roca matriz soportada compuesta por arcilla tipo illita (de tonalidad rojo violáceo y verde) y materia orgánica finamente diseminada (de tonalidad oscura). En la matriz flotan granos de cuarzo, muscovita, dolomita, glauconita y pirita con textura de limo medio. Los cuarzos muestran color azul claro, amarillo y rojo, por su diferente orientación cristalográfica. Sección Aguablanca, Formación Pujamana, segmento 2, m148,4 (microfotografía de la sección delgada APA-2813 a 100 aumentos, nicoles cruzados y compensador 1 lambda).

G. Limolita arenosa, arcillosa, calcárea, con moteado distinto a indistinto por bioperturbación. Sección Aguablanca, Formación Pujamana, segmento 5, m160,3 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2815 a 3 aumentos).

H. Imagen en el microscopio de la muestra anterior; roca soportada principalmente por granos de cuarzo con textura que varía de limo fino a arena muy fina predominando el limo grueso. Los granos de cuarzo están rodeados por arcilla isotrópica de color marrón. En menor proporción hay glauconita, feldespato, micas y opacos (óxidos y pirita). Sección Aguablanca, Formación Pujamana, segmento 5, m160,3 (microfotografía de la sección delgada APA-2815 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

Lámina 3. Formaciones Pujamana y Galembo

A. *Wackestone* fosilífero terrígeno (limoso de cuarzo); lodo calcáreo micrítico, partículas de cuarzo con textura de limo grueso y foraminíferos planctónicos dispuestos en láminas onduladas, en gran parte destruidas por bioperturbación (moteado distinto a indistinto). Sección Aguablanca, Formación Pujamana, segmento 6, m171,7 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2819 a 3 aumentos).

B. Imagen en el microscopio de la muestra anterior; roca soportada por micrita recristalizada que rodea bioclastos de foraminíferos y de bivalvos, asociados con cuarzos con textura de limo grueso, opacos de pirita, caolinita-

ta y trazas de glauconita. Sección Aguablanca, Formación Pujamana, segmento 6, m171,7 (microfotografía de la sección delgada APA-2819 a 100 aumentos, nicoles cruzados).

C. *Mudstone* calcáreo (micrita) con fracturas y estilolitos milimétricos, las primeras sinuosas y rellenas con pirita. Sección Aguablanca, Formación Pujamana, segmento 9, m180,3 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2820 a 3 aumentos).

D. *Wackestone* fosilífero rico en materia orgánica; roca soportada por materia orgánica de color negro mezclada con micrita que envuelve abundantes foraminíferos planctónicos y escasos fragmentos de bivalvos. Sección Aguablanca, Formación Galembo, segmento 2, m189,6 (microfotografía de la sección delgada APA-2821 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

E. *Wackestone* fosilífero, levemente fosfático (<5%), con moteado distinto por bioperturbación; foraminíferos planctónicos flotan en un soporte de lodo calcáreo micrítico. Sección Aguablanca, Formación Galembo, segmento 2, m180,3 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2822 a 3 aumentos).

F. *Wackestone* de foraminíferos planctónicos rico en materia orgánica, finamente laminado (alternan láminas oscuras ricas en materia orgánica con láminas claras ricas en foraminíferos planctónicos). Sección Aguablanca, Formación Galembo, segmento 3, m206,6 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2823 a 3 aumentos).

G. Imagen en el microscopio de la muestra anterior; roca soportada por materia orgánica y micrita que envuelve bioclastos de foraminíferos planctónicos y escasos fragmentos de bivalvos, formando láminas discontinuas plano-paralelas. En la parte inferior se aprecian láminas de esparita fina que representan restos de algas filoideas? Sección Aguablanca, Formación Galembo, segmento 3, m206,6 (microfotografía de la sección delgada APA-2823 a 63 aumentos, nicoles cruzados).

H. *Wackestone* fosilífero rico en materia orgánica; roca soportada por una mezcla de materia orgánica y micrita de tono pardo que rodea foraminíferos planctónicos organizados en láminas discontinuas de color claro, algunas de ellas con forma lenticular (parte central de la figura). Sección Aguablanca, Formación Galembo, segmento 5, m234,6 (microfotografía de la sección delgada APA-2827 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

Lámina 4. Formaciones Galembo y La Renta

A. *Wackestone* fosilífero rico en materia orgánica; roca soportada por una mezcla de materia orgánica y micrita que envuelve foraminíferos planctónicos y bentónicos. Es notoria la estructura en láminas continuas y discontinuas ligeramente onduladas, paralelas, constituidas por foraminíferos, micrita o materia orgánica. Sección Aguablanca, Formación Galembo, segmento 5, m251,8 (microfotografía de la sección delgada APA-2830 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

B. *Wackestone* fosilífero con láminas delgadas, levemente onduladas, paralelas discontinuas, de foraminíferos planctónicos; en la figura se destacan láminas de foraminíferos con forma lenticular. Sección Aguablanca, Formación Galembo, segmento 6, m258,2 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2831 a 3 aumentos).

C. *Wackestone* fosilífero rico en materia orgánica; lodo calcáreo micrítico, materia orgánica, foraminíferos planctónicos y partículas de cuarzo con textura de limo grueso, dispuestos en láminas muy delgadas y delgadas, continuas y discontinuas, de forma plana paralela. Sección Aguablanca, Formación Galembo, segmento 8, m272,5 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2833A, a 3 aumentos).

D. *Wackestone* fosilífero fosfático; foraminíferos planctónicos calcáreos de color claro y fragmentos fosfáticos de color oscuro (peloides fosfáticos, foraminíferos bentónicos fosfatizados y restos de peces) flotan en un soporte de lodo calcáreo de tonalidad marrón. Sección Aguablanca, Formación La Renta, segmento 9, m277,3 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2838 a 3 aumentos).

E. Imagen de otro sector de la muestra anterior en que aparecen en color marrón oscuro los peloides de fosfatos, y en color blanco un foraminífero remplazado en calcita y varios granos de cuarzo con textura entre limo y arena muy fina. Sección Aguablanca, Formación La Renta, segmento 9, m277,3 (microfotografía de la sección delgada APA-2838 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

F. Imagen de otro sector de la muestra anterior en que aparecen en color marrón oscuro los peloides de fosfatos, y en color blanco un foraminífero remplazado en calcita y varios granos de cuarzo con textura limo a arena muy fina. Sección Aguablanca, Formación La Renta, segmento 9, m277,3 (microfotografía de la sección delgada APA-2838 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

G. *Packstone* a *wackestone* de foraminíferos planctónicos con laminación delgada, levemente ondulosa, no paralela discontinua, parcialmente destruida por bioperturbación leve. Sección Aguablanca, Formación La Renta, segmento 10, m288,6 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2843 a 3 aumentos).

H. Imagen en el microscopio de la muestra anterior; roca soportada por una mezcla de materia orgánica de color marrón claro y micrita que envuelve foraminíferos planctónicos. Sección Aguablanca, Formación La Renta, segmento 10, m288,6 (microfotografía de la sección delgada APA-2843 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

Lámina 5. Formaciones Pujamana, Galembo, La Renta y Umir

A. *Wackestone* de foraminíferos planctónicos con moteado distinto por bioperturbación; se alcanzan a reconocer relictos de laminación plana paralela discontinua. Sección Aguablanca, Formación La Renta, segmento 11, m295,0 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2845 a 3 aumentos).

B. *Mudstone* calcáreo de foraminíferos planctónicos (micrita fosilífera), rico en materia orgánica, con laminación mediana, plana paralela continua. Sección Aguablanca, Formación La Renta, segmento 12, m302,7 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2846 a 3 aumentos).

C. *Wackestone* fosilífero rico en materia orgánica; roca con soporte de micrita y materia orgánica mezclada, en láminas discontinuas oscuras que alternan con láminas claras, paralelas, irregulares, continuas y discontinuas, formadas por foraminíferos bentónicos con textura de arena mediana, muchos con sus cámaras rellenas, parcial o totalmente, de material fosfático de color pardo o por calcita de color blanco. Sección Aguablanca, Formación La Renta, segmento 10, m318,2 (microfotografía de la sección delgada APA-2848 a 63 aumentos, nicoles paralelos).

D. Arenita fosfática glauconítica; roca soportada por granos redondeados de glauconita de color verde, con textura de arena fina, e intraclastos fosfatizados de calizas con textura *mudstone* y *wackestone* cementados por esparita, de los cuales un fragmento de color pardo supera los 9,0 mm de diámetro. En menor cantidad aparecen algunos granos de cuarzo con textura de limo. Sección Aguablanca, Formación Umir, segmento 12, m322,4 (microfotografía de la sección delgada APA-2849 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

E. Arcillolita calcárea con bioperturbación moderada (láminas irregulares y moteado distinto). Sección Aguablanca, Formación Umir, m347,2 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2853 a 3 aumentos).

F. Imagen en el microscopio de la muestra anterior; roca compuesta por láminas, lentes o formas irregulares de material micrítico interdigitado con lentes de material arcilloso (illita) que rodean escasos foraminíferos y opacos de pirita. Bajo el microscopio se distingue la arcilla de la micrita, al cruzar los nicoles e insertar el compensador 1 lambda, lo que da coloración azul a la arcilla y tonos marrones al carbonato. Sección Aguablanca, Formación Umir, m347,2 (microfotografía de la sección delgada APA-2853 a 100 aumentos, nicoles cruzados, compensador 1 lambda).

G. *Wackestone* fosilífero; lodo calcáreo micrítico envuelve restos de conchas de bivalvos, completas y fragmentadas; los restos fósiles muestran imbricación. Sección Aguablanca, Formación Pujamana, segmento 1, m9,7 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5395, tamaño 2,4 × 1,6 cm).

H. Lodolita terrígena de aspecto homogéneo, sin laminación interna; partículas de cuarzo y muscovita con textura de limo grueso flotan en un soporte arcilloso. Sección Aguablanca, Formación Pujamana, segmento 2, m21,0 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5361 a 3 aumentos).

Lámina 6. Formaciones Pujamana y Galembo

A. Lodolita terrígena con bioperturbación baja evidenciada por la meteorización de la roca que produce manchas claras discontinuas; partículas de cuarzo y muscovita con textura de limo grueso flotan en un soporte arcilloso. Sección Montebello, Formación Pujamana, segmento 3, m37,5 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5362 a 3 aumentos).

B. Imagen en el microscopio de la muestra anterior; roca soportada por arcilla tipo illita (de coloración azul en nicoles paralelos y con el compensador 1 lambda), con granos cuya textura varía de limo fino a medio de cuarzo, opacos, muscovita, glauconita y escasos bioclastos flotando en la arcilla. Sección Montebello, Formación Pujamana, segmento 3, m37,5 (microfotografía de la sección delgada APA-5362 a 100 aumentos, nicoles cruzados, compensador 1 lambda).

C. Cuarzoarenita arcillosa de textura muy fina; partículas de cuarzo y material arcilloso se disponen en láminas irregulares y moteados entre distintos e indistintos debido a bioperturbación moderada. Sección Montebello, Formación Pujamana, segmento 4, m50,1 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5363 a 3 aumentos).

D. Cuarzoarenita de textura muy fina, cemento calcáreo y bioperturbación alta (moteado entre distinto e indistinto). Sección Montebello, Formación Pujamana, segmento 6, m73,2 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5366 a 3 aumentos).

E. Arcillolita limosa con laminación plana paralela discontinua, poco desarrollada; partículas de cuarzo y muscovita con textura de limo grueso flotan en un soporte arcilloso. Sección Montebello, Formación Pujamana, segmento 8, m85,7 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5367 a 3 aumentos).

F. *Packstone* fosilífero; restos de conchas de bivalvos se orientan con su eje mayor subparalelamente a la estratificación de la roca debido a la acción de las tormentas. Sección Montebello, Formación Pujamana, segmento 8, m96,3 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5368 a 3 aumentos).

G. *Packstone* de foraminíferos planctónicos y restos de algas filoideas?, rico en materia orgánica, con laminación muy delgada y mediana, plana paralela discontinua. Sección Montebello, Formación Galembo, segmento 1, m115,8 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5369 a 3 aumentos).

H. Imagen en el microscopio de la muestra anterior; roca compuesta por materia orgánica que rodea bioclastos de foraminíferos planctónicos acompañados de formas laminares esparíticas de algas filoideas? Como estructuras se aprecian capas delgadas oscuras de materia orgánica y otras claras de foraminíferos planctónicos. Sección Montebello, Formación Galembo, segmento 1, m115,8 (microfotografía de la sección delgada APA-5369 a 63 aumentos, nicoles paralelos).

Lámina 7. Formación Galembo

A. *Chert* fosilífero calcáreo con textura *wackestone*, fracturado; foraminíferos planctónicos soportados por sílice microcristalina y lodo calcáreo. Sección Montebello, Formación Galembo, segmento 2, m134,6 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5371 a 3 aumentos).

B. Imagen de la muestra anterior vista por el microscopio; roca con soporte de sílice que varía de micro a criptocristalina mezclada con materia orgánica y algo de micrita recristalizada, que rodea cámaras esféricas de foraminíferos planctónicos rellenas con cuarzo microcristalino. Sección Montebello, Formación Galembo, segmento 2, m134,6 (microfotografía de la sección delgada RT-5371 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

C. Imagen de la muestra anterior en nicoles cruzados; nótese el relleno de las cámaras de los foraminíferos planctónicos con cuarzo microcristalino. Sección Montebello, Formación Galembo, segmento 2, m134,6 (microfotografía de la sección delgada RT-5371 a 100 aumentos, nicoles cruzados).

D. *Wackestone* fosilífero con laminación mediana levemente ondulosa, paralela discontinua, poco desarrollada; foraminíferos planctónicos flotan en un soporte de materia orgánica, lodo calcáreo y algo de arcilla. Sección Montebello, Formación Galembo, segmento 4, m163,4 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5373 a 3 aumentos).

E. *Packstone* fosilífero rico en materia orgánica; roca soportada por materia orgánica que rodea bioclastos de foraminíferos planctónicos, rellenos de esparita, textura de limo medio y arena mediana. Se aprecian láminas claras enriquecidas en bioclastos, continuas y discontinuas, ligeramente onduladas a lenticulares. Sección Montebello, Formación Galembo, segmento 4, m149,3 (microfotografía de la sección delgada RT-5372 a 40 aumentos, nicoles paralelos).

F. *Packstone* fosilífero rico en materia orgánica; roca soportada por materia orgánica y micrita envolviendo bioclastos de foraminíferos planctó-

nicos con diámetros entre limo medio y arena mediana, acompañados de fragmentos de bivalvos, uno de los cuales alcanza textura de arena muy gruesa (parte derecha de la figura); en la parte inferior izquierda se destaca un filamento esparítico de alga filoidea? Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 5, m183,9 (microfotografía de la sección delgada RT-5375 a 40 aumentos, nicoles paralelos).

G. *Packstone* fosilífero laminado de foraminíferos planctónicos; láminas continuas de foraminíferos con textura de *packstone* (parte superior de la figura) alternan con láminas de foraminíferos con textura de *wackestone* (parte inferior de la figura). Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 6, m194,3 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5376 a 3 aumentos).

H. *Wackestone* a *packstone* fosilífero laminado; foraminíferos planctónicos se disponen en láminas medianas, planas paralelas discontinuas, soportados por materia orgánica y lodo calcáreo. Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 7, m207,1 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5377 a 3 aumentos).

Lámina 8. Formaciones Galembó y La Renta

A. *Mudstone* calcáreo fosilífero (micrita), rico en materia orgánica, con laminación mediana, plana paralela continua. Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 9, m240,7 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5380 a 3 aumentos).

B. *Mudstone* calcáreo fosilífero (micrita fosilífera) rico en materia orgánica; roca soportada por materia orgánica de color pardo, isotrópica, mezclada con micrita, que envuelve bioclastos de foraminíferos planctónicos de textura arena muy fina; la micrita forma láminas planas discontinuas. Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 9, m248,1 (microfotografía de la sección delgada RT-5398 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

C. *Wackestone* fosilífero rico en materia orgánica; roca con soporte de materia orgánica mezclada con micrita que rodea bioclastos de foraminíferos planctónicos con textura de arena muy fina y fina. Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 9, m221,3 (microfotografía de la sección delgada RT-5378 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

D. *Wackestone* fosilífero, rico en materia orgánica, con laminación delgada, plana paralela discontinua por disposición de foraminíferos planctónicos paralelamente a la estratificación, soportados por materia orgánica y lodo calcáreo. Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 10, m285,8 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5407 a 3 aumentos).

E. *Wackestone* fosilífero rico en materia orgánica; roca con soporte de micrita mezclada con materia orgánica que envuelve bioclastos de foraminíferos bentónicos y planctónicos orientados según la estratificación de la roca; la muestra presenta baja bioperturbación (entre láminas irregulares y moteado distinto). Sección Montebello, Formación La Renta, segmento 10, m294,1 (microfotografía de la sección delgada RT-5409 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

F. *Mudstone* calcáreo fosilífero (micrita fosilífera), rico en materia orgánica, arcilloso, con laminación mediana, plana paralela discontinua por

granulometría. Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 10, m274,7 (imagen de escáner de la sección delgada RT-5405 a 3 aumentos).

G. Arcillolita rica en materia orgánica; roca soportada por arcilla con fino hábito micáceo y materia orgánica, íntimamente mezcladas, que envuelven cuarzos con textura de limo medio, foraminíferos planctónicos y escasos foraminíferos bentónicos. La arcilla y algunos cuarzos forman láminas claras irregulares, continuas y discontinuas, y la materia orgánica forma láminas opacas de color negro. Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 10, m268,3 (microfotografía de la sección delgada RT-5403 a 63 aumentos, nicoles paralelos).

H. Imagen igual a la anterior, pero tomada con nicoles paralelos y compensador 1 lambda, que muestra las arcillas en color azul, y en color rojo, azul claro o amarillo algunos granos de cuarzo con textura de limo.

Lámina 9. Formaciones Salada y Galembó

A. Lentas y finas láminas discontinuas de color claro conformadas por algas filoideas? dispuestas paralelamente a la estratificación de la roca. La muestra corresponde a un *wackestone* fosilífero rico en materia orgánica, arcilloso. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 8, m84,0 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2790 a 3 aumentos).

B. Imagen en el microscopio de la muestra anterior, donde se detalla parte de un lente constituido por fragmentos de algas filoideas?, y algunas estructuras filamentosas de estas algas reemplazadas por esparita. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 8, m84,0 (microfotografía de la sección delgada APA-2790 a 50 aumentos, nicoles cruzados).

C. Pequeños lentes y finísimas láminas discontinuas de tonalidad clara constituidas por restos de algas filoideas? en un *wackestone* fosilífero rico en materia orgánica. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 9, m92,8 (imagen de escáner de la sección delgada APA-2792 a 3 aumentos).

D. Imagen en el microscopio de la muestra anterior que muestra varias estructuras filamentosas de algas filoideas? de distinto espesor reemplazadas por esparita. Sección Aguablanca, Formación Salada, segmento 9, m92,8 (microfotografía de la sección delgada APA-2792 a 50 aumentos, nicoles cruzados).

E. Estructura laminar muy delgada (parte central de la fotografía) de alga filoidea? reemplazada en esparita en un *wackestone* fosilífero rico en materia orgánica. Sección Aguablanca, Formación Galembó, segmento 2, m189,6 (microfotografía de la sección delgada APA-2821 a 100 aumentos, nicoles cruzados).

F y G. *Packstone* de foraminíferos planctónicos y restos de algas filoideas? rico en materia orgánica; las estructuras laminares reemplazadas por esparita corresponden a algas filoideas? Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 1, m115,8 (microfotografía de la sección delgada RT-5369 a 50 y 100 aumentos, nicoles cruzados).

H. *Packstone* fosilífero rico en materia orgánica; la parte central de la fotografía muestra un filamento de alga filoidea? reemplazado por esparita. Sección Montebello, Formación Galembó, segmento 5, m183,9 (microfotografía de la sección delgada RT-5375 a 100 aumentos, nicoles paralelos).

TABLA 2

Aspectos petrográficos principales de las Formaciones Salada, Pujamana, Galembó y La Renta en el Proyecto Hidrosogamoso

Composición mineralógica en porcentaje; en las celdas vacías el mineral no está presente;

*= Muestra rica en materia orgánica (>1%); Tr = <1,0%; (o) = Mat. org. opaca; (s) = Mat. org. subtranslúcida; (a) = Algas

Sección estratigráfica	Aguablanca	Aguablanca	Aguablanca	Aguablanca	Aguablanca	Aguablanca	Aguablanca
Formación	El Salto	Salada	Salada	Salada	Pujamana	Pujamana	Pujamana
Posición (segmento)	m2,0	m49,0 (5)	m84,0 (8)	m123,0 (10)	m148,4 (2)	m160,3 (5)	m171,7 (6)
Muestra	RT-5468	RT-5469	APA-2790	APA-2800	APA-2813	APA-2815	APA-2819
Micrita	64,4	13,2	12,6	-	-	-	72,8
Bioclastos	35,2	38,8	33,4 (a= 5,0)	2,8	-	-	11,2
Materia orgánica	-	5,0 (o), 23,4 (s)	5,0 (o), 33,6 (s)	5,0 (o), 9,4 (s)	20,0 (s)	-	4,4 (o)
Mat. org. + arcilla	-	-	-	-	73,2	-	-
Arcilla (láminas)	-	-	14,2	-	-	-	-
Arcilla (matriz)	-	16,8	-	77,6	53,2	37,2	-
Cuarzo	0,4	-	-	0,8	16,8	46,0	10,4
Sílice	-	-	-	-	-	-	-
Dolomita	-	-	-	0,4	1,6	-	-
Glauconita	-	-	-	-	1,6	2,4	Tr
Opacos	Tr	-	-	-	-	0,8	0,8
Pirita	-	0,8	-	-	1,2	-	-
Muscovita	-	2,0	-	-	3,6	1,2	-
Titanita	-	-	-	-	Tr	-	-
Fosfatos	-	-	-	-	Tr	-	Tr
Carbonatos	-	-	-	-	-	9,2	-
Feldespatos	-	-	-	-	-	1,6	-
Yeso	-	-	-	-	-	Tr	-
Caolinita	-	-	-	-	-	-	0,4
Intraclastos	-	-	-	-	-	-	-
Esparita	-	-	-	-	-	-	-
Porosidad	-	-	1,2	4,0	2,0	1,6	-
Nombre (Dunham)	Wackestone	Wackestone*	Wackestone*	NA	NA	NA	Wackestone
Nombre (Folk)	Biomicrita	Biomicrita*	Biomicrita*	Lodolita*	Lodolita*	Limolita arenosa	Biomicrita
Observaciones	Homogénea	Laminada	Laminada	Laminada	Laminada	Moteada	Moteada

TABLA 2

Aspectos petrográficos principales de las Formaciones Salada, Pujamana, Galembó y La Renta en el Proyecto Hidrosogamoso (continuación)

Composición mineralógica en porcentaje; en las celdas vacías el mineral no está presente;

*= Muestra rica en materia orgánica (>1%); Tr = <1,0%; (o) = Mat. org. opaca; (s)= Mat. org. subtranslúcida; (a)= Algas

Sección estratigráfica	Aguablanca	Aguablanca	Aguablanca	Aguablanca	Aguablanca	Aguablanca
Formación	Galembó	Galembó	Galembó	Galembó	La Renta	La Renta
Posición (segmento)	m188,8 (2)	m206,6 (3)	m234,6 (5)	m251,8 (5)	m277,3 (9)	m288,6 (10)
Muestra	APA-2821	APA-2823	APA-2827	APA-2830	APA-2838	APA-2843
Micrita	15,6	19,6	44,8	25,2	33,8	20,8
Bioclastos	47,6 (a=1,0)	26,0 (a=1,0)	16,8	34,4	27,6	52,4
Materia orgánica	1,0 (o), 35,8 (s)	5,0 (o), 49,4 (s)	38,0 (s)	1,0 (o), 37,0 (s)	Tr (o)	1,0 (o), 24,2 (s)
Mat. org. + arcilla	-	-	-	-	-	-
Arcilla (láminas)	-	-	-	-	-	-
Arcilla (matriz)	-	-	-	-	-	-
Cuarzo	-	-	-	-	6,2	-
Sílice	Tr	-	-	-	-	1,2
Dolomita	-	-	-	-	-	-
Glauconita	-	-	-	-	Tr	-
Opacos	-	-	0,4	-	0,4	0,4
Pirita	-	Tr	-	-	-	-
Muscovita	-	-	-	-	-	-
Titanita	-	-	-	-	-	-
Fosfatos	-	-	-	-	-	-
Carbonatos	-	-	-	-	-	-
Feldespatos	-	-	-	-	32,0	Tr
Yeso	-	-	-	-	-	-
Caolinita	-	-	-	-	-	-
Intraclastos	-	-	-	-	-	-
Esparita	-	-	-	2,4	-	-
Porosidad	-	-	-	-	-	Tr
Nombre (Dunham)	<i>Wackestone*</i>	<i>Wackestone*</i>	<i>Wackestone*</i>	<i>Wackestone*</i>	<i>Wack. fosfático</i>	<i>Wackestone*</i>
Nombre (Folk)	<i>Biomicrita*</i>	<i>Biomicrita*</i>	<i>Biomicrita*</i>	<i>Biomicrita*</i>	<i>Biomicrita fosf.</i>	<i>Biomicrita*</i>
Observaciones	Laminada	Laminada	Laminada	Laminada	Laminada	Laminada

TABLA 2

Aspectos petrográficos principales de las Formaciones Salada, Pujamana, Galembo y La Renta en el Proyecto Hidrosogamoso (Continuación)

Composición mineralógica en porcentaje; en las celdas vacías el mineral no está presente;

**= Muestra rica en materia orgánica (>1%); Tr = <1,0%; (o) = Mat. org. opaca; (s)= Mat. org. subtranslúcida; (a)= Algas

Sección estratigráfica	Aguablanca	Aguablanca	Aguablanca	Montebello	Montebello	Montebello
Formación	La Renta	Umir	Umir	Pujamana	Galembo	Galembo
Posición (segmento)	m318,2 (12)	m322,4 (12)	m347,2 (5)	m37,5 (3)	m115,8 (1)	m134,6 (2)
Muestra	APA-2848	APA-2849	APA-2853	RT-5362	RT-5369	RT-5371
Micrita	28,4	-	53,2	-	4,4	9,6
Bioclastos	1,0 (o), 32,2(s)	2,4	2,0	0,4	62,4 (a=10.0)	16,8 (a=1,0)
Materia orgánica	33,6	-	-	-	31,2 (o)	8,4 (o)
Mat. org. + arcilla	-	-	-	-	-	-
Arcilla (láminas)	-	-	40,4	86,4	-	-
Arcilla (matriz)	-	-	-	-	-	-
Cuarzo	-	-	-	2,8	-	-
Sílice	-	-	-	-	-	60,8
Dolomita	-	-	-	-	-	-
Glauconita	-	24,8	-	0,4	-	-
Opacos	-	2,4	1,6	3,2	-	-
Pirita	-	-	-	-	-	-
Muscovita	-	-	-	1,2	-	-
Titanita	-	-	-	-	-	-
Fosfatos	4,4	30,8	-	-	-	-
Carbonatos	-	-	-	-	-	-
Feldespatos	-	-	-	-	-	-
Yeso	-	-	-	-	-	-
Caolinita	-	-	-	-	-	-
Intraclastos	-	5,2	-	-	-	-
Esparita	-	34,0	-	-	1,6	4,4
Porosidad	0,4	0,4	2,8	5,6	0,4	-
Nombre (Dunham)	<i>Wackestone*</i>	NA	<i>Mudstone</i> Arcilloso	NA	<i>Packstone*</i>	<i>Wack.</i> silicificado
Nombre (Folk)	Biomicrita*	Arenita fosf. glauc.	Micrita arcillosa	Arcillolita	Biomicrita*	Biomic. silicificada
Observaciones	Laminada	Homogénea	Laminada	Laminada	Laminada	Laminada

TABLA 2

Aspectos petrográficos principales de las Formaciones Salada, Pujamana, Galembo y La Renta en el Proyecto Hidrosogamoso (Continuación)

Composición mineralógica en porcentaje; en las celdas vacías el mineral no está presente;

*= Muestra rica en materia orgánica (>1%); Tr = <1,0%; (o) = Mat. org. opaca; (s)= Mat. org. subtranslúcida; (a)= Algas

Sección estratigráfica	Montebello	Montebello	Montebello	Montebello	Montebello	Montebello
Formación	Galembo	Galembo	Galembo	Galembo	Galembo	La Renta
Posición (segmento)	m149,3 (4)	m183,9 (5)	m221,3 (9)	m248,1 (9)	m268,3 (10)	m294,1 (10)
Muestra	RT-5372	RT-5375	RT-5378	RT-5398	RT-5403	RT-5409
Micrita	-	13,2	29,6	33,2	-	52,4
Bioclastos	50,8	54,4 (a= Tr)	34,8	6,4	4,0	18,0
Materia Orgánica	34,8	28,0 (o)	35,6 (o)	Tr (o), 54,0 (s)	1,0 (o), 39,0 (s)	1,0 (o), 24,2 (o)
Mat. Org. + Arcilla	-	-	-	-	-	-
Arcilla (Láminas)	-	-	-	-	-	-
Arcilla (Matriz)	-	-	-	-	44,6	-
Cuarzo	-	-	-	-	5,6	-
Sílice	-	-	-	-	-	-
Dolomita	-	-	-	-	-	-
Glauconita	-	-	-	-	-	-
Opacos	-	-	-	2,8	4,8	1,2
Pirita	-	-	-	-	-	-
Muscovita	-	-	-	1,2	0,4	-
Titanita	-	-	-	-	-	-
Fosfatos	-	-	-	-	-	Tr
Carbonatos	-	-	-	-	-	-
Feldespatos	-	-	-	-	-	-
Yeso	-	-	-	-	-	-
Caolinita	-	-	-	-	-	-
Intraclastos	-	-	-	-	-	-
Esparita	14,4	4,4	Tr	2,4	1,6	2,4
Porosidad	-	-	-	-	-	0,8
Nombre (Dunham)	<i>Packestone*</i>	<i>Packestone*</i>	<i>Wackestone*</i>	<i>Mudstone*</i>	NA	<i>Wackestone*</i>
Nombre (Folk)	Biomicrota*	Biomicrota*	Biomicrota*	Microta*	Arcillolita*	Biomicrota*
Observaciones	Laminada	Homogénea	Laminada	Laminada	Laminada	Laminada

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahr, Wayne M. 1973. "The carbonate ramp: An alternative to the shelf model". *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions* 23: 221-225.
- Allaby, Michael. 2013. *A dictionary of geology and earth sciences*. Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acref/9780199653065.001.0001>.
- Ballesteros Torres, César Iván, H. A. Galvis-Portilla, I. C. Higuera-Díaz, N. K. Marfisi, F. de la Parra, S. P. Céspedes, M. T. Cantisano, S. P. Forero, P. A. Barrera, C. E. Rodríguez, W. H. Zamora, D. P. Restrepo, J. Cerón y R. D. Castillo. 2013. "Anotaciones acerca de la estratigrafía del intervalo Cenomaniano-Campaniano atravesado por el pozo La Luna-1, cuenca del valle medio del Magdalena". XIV Congreso Colombiano de Geología, Primer Simposio de Exploradores. Bogotá, Sociedad Colombiana de Geología, Universidad Nacional de Colombia y Servicio Geológico Colombiano.
- Bernal Rodríguez, Luis Ángel. 2009. "Caracterización estratigráfica y petrográfica de la Formación La Luna en el sector de El Tablazo, Valle Medio del Magdalena". X Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas. Cartagena de Indias, Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo.
- Bodin, Stéphane, Alexis Godet, Jean Vermeulen, Pascal Linder y Karl B. Föllmi. 2006. "Biostratigraphy, sedimentology and sequence stratigraphy of the latest Hauterivian – Early Barremian drowning episode of the Northern Tethyan margin (Altmann Member, Helvetic nappes, Switzerland)". *Ecolae Geologicae Helveticae* 99 (2): 157-174. <https://doi.org/10.1007/s00015-006-1188-7>.
- Boggs, Sam, Jr. 2009. *Petrology of sedimentary rocks*. New York: Macmillan Publishing Company.
- Burchette, Trevor P. y V. Paul Wright. 1992. "Carbonate ramp depositional systems". *Sedimentary Geology* 79 (1-4): 3-57. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(92\)90003-A](https://doi.org/10.1016/0037-0738(92)90003-A).
- Bürgl, Hans. 1959. "Sedimentación cíclica en el geosinclinal cretáceo de la cordillera Oriental de Colombia". *Boletín Geológico* 7 (1-3): 1959: 85-118.
- Bürgl, Hans. 1961. "Historia geológica de Colombia". *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 11 (43): 137-191.
- Cáceres Girón, Carlos, Fabio Cediél Melo y Fernando Etayo-Serna. 2003. *Mapa de distribución de facies y ámbito tectónico a través del Fanerozoico de Colombia*. Escala 1: 2.000.000, mapas 5 a 12, Berriasiano-Valanginiano a Santoniano-Campaniano-Maastrichtiano inferior. Bogotá: Geotec Ltda y Editor Ingeominas.
- Campbell, Charles. V. 1967. "Lamina, laminaset, bed and bedset". *Sedimentology* 8 (1): 7-26. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1967.tb01301.x>.
- Casadieago-Quintero, Efraín y Carlos Alberto Ríos-Reyes. 2016. "Lithofacies analysis and depositional environment of the galemba member of la luna formation". *CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro* 6 (4): 37-56. <https://doi.org/10.29047/01225383.02>.
- Cecil, Blaine C. 2004. "Eolian dust and the origin of sedimentary chert". U.S. Geological Survey Open-File Report 2004-1098.
- Cecil, Blaine C. 2015. "Paleoclimate and the origin of Paleozoic chert: Time to re-examine the origins of chert in the rock record". *The Sedimentary Record* 13 (3): 4-10.
- Cohen, Kim M., Stan C. Finney, Phill L. Gibbard y Junxuan Fan. (2013). "The ICS International Chronostratigraphic Chart". *Episodes* 36 (3): 199-204.
- Compton, Robert R. 1985. *Geology in the field*. New York: John Wiley & Sons.
- Cortés Quigua, Martín. 1994. "Análisis de la deformación estructural del Grupo Olini en el Valle Superior del Magdalena". En *Estudios geológicos del Valle Superior del Magdalena*, editado Fernando Etayo-Serna. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Dunham, Robert J. 1962. "Classification of carbonate rocks according to depositional texture". En *Classification of Carbonate Rocks, a Symposium*, editado por William E. Ham, 108-121. American Association of Petroleum Geologists. <https://doi.org/10.1306/M1357>.
- Erlich, Robert N., Oliver Macsotay I., Alexandra J. Nederbragt y María. A. Lorente. 1999. "Palaeoecology, palaeogeography and depositional environments of Upper Cretaceous rocks of western Venezuela". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 153 (1-4): 203-238. [https://doi.org/10.1016/s0031-0182\(99\)00072-3](https://doi.org/10.1016/s0031-0182(99)00072-3).
- Etayo-Serna, Fernando, Giancarlo Renzoni y Darío Barrero. 1976. "Contornos sucesivos del mar cretáceo en Colombia". En *Memoria del Primer Congreso Colombiano de Geología*, editado por Fernando Etayo-Serna y Carlos Cáceres, 217-252. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Fabre, Antoine. 1987. "Tectonique et génération d'hydrocarbures: un modèle de évolution de la Cordillère Orientale de Colombie et du bassin des Llanos pendant le Crétacé et le Tertiaire". *Archive Science Genève* 40 (2): 145-190.
- Folk, Robert L. 1951. "Stages of textural maturity in sedimentary rocks". *Journal of Sedimentary Research* 21 (3): 127-130. <https://doi.org/10.2110/jsr.21.127>.
- Folk, Robert L. 1954. "The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature". *The Journal of Geology* 62 (4): 344-359. <https://doi.org/10.1086/626171>.
- Folk, Robert L. 1959. "Practical petrographic classification of limestones". *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists* 43 (1): 1-38.
- Folk, Robert L. 1962. "Spectral subdivision of limestone types". En *Classification of Carbonate Rocks, a Symposium*, editado por William E. Ham, 62-84. American Association of Petroleum Geologists. <https://doi.org/10.1306/M1357>.
- Folk, Robert. 1974. *Petrology of sedimentary rocks*. Austin: Hemphill Publishing Co.
- Folk, Robert. 1987. "Detection of organic matter in thin-sections of carbonate rocks using a white card". *Sedimentary Geology* 54 (3): 193-200. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(87\)90022-4](https://doi.org/10.1016/0037-0738(87)90022-4).
- Föllmi, Karl. B. 1996. "The phosphorus cycle, phosphogenesis and marine phosphate-rich deposits". *Earth-Science Review* 40 (1-2): 55-124. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(95\)00049-6](https://doi.org/10.1016/0012-8252(95)00049-6).
- Föllmi, Karl B., Robert E. Garrison, Pedro C. Ramírez, Francisco Zambrano, William J. Kennedy y Benedikt L. Lehner. 1992. "Cyclic phosphate-rich successions in the upper Cretaceous of Colombia". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 93 (3-4): 151-182. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(92\)90095-M](https://doi.org/10.1016/0031-0182(92)90095-M).
- Friedman, Gerald M. 2003. "Classification of sediments and sedimentary rocks". En *Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks*, editado por Gerard V. Middleton, Michael J. Church, Lawrence A. Hardie y Frederick J. Longstaffe, 127-136. Dordrecht: Springer.
- Fürsich, Franz Theodor. 1995. "Shell concentrations". *Ecolae Geologicae Helveticae* 88 (3): 643-655. <http://doi.org/10.5169/seals-167692>.
- Galvis, Henry A., Iván Higuera, Sandra Céspedes, Cesar. I. Ballesteros, Silvia Forero, Nelbett Marfisi, María Cantisano, Edgar Pineda, Zarith Pachón, Roger M. Slatt, Rigo Ramírez, Georgina Guzmán y Angela Torres. 2014. "Regional Sequence Stratigraphy of the Upper Cretaceous La Luna Formation in the Magdalena Valley Basin, Colombia". En *Unconventional Resources Technology Conference (URTEC)*. Denver. <https://doi.org/10.15530/URTEC-2014-1934959>.
- Gao, Guoqiu y Lynton S. Land. 1991. Nodular chert from the Arbuckle Group, Slick Hills, SW Oklahoma: a combined field, petrographic and isotopic study. *Sedimentology* 38 (5): 857-870. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1991.tb01876.x>.

- Gaona Narváez, Tatiana. 2003. "Les bivalves de l'Albien et du Cénomanién de Colombie (Amérique du Sud): taxonomie, paléobiogéographie et paléoécologie". Tesis de maestría. Université Claude Bernard-Lyon1.
- Garner, A. H. 1926. "Suggested nomenclature and correlation of the geological formations in Venezuela: Petroleum development and technology in 1925". Symposiums of the Petroleum Division/American Institute of Mining and Metallurgical Engineers.
- Geological Society of America. 1995. *Rock-color chart: With genuine Munsell color chips*. Boulder: The Rock-Color Chart Committee, U. S. Geological Survey, The Geological Society of America, American Association of Petroleum Geologists, Society of Economic Geologists y Association of American State Geologists.
- Glenn, Craig R., Karl B. Föllmi, Stanley R. Riggs, Gleb N. Baturin, Kurt A. Grimm, Jörg Trappe, Abdulkader M. Abed, Carlos Galli-Olivier, Robert E. Garrison, Andrei V. Ilyin, Caroline Jehl, Vera Rohrlisch, Rushdi M. Y. Sadaqah, Manfred Schidlowski, Richard E. Sheldon y Hendrik Siegmund. 1994. "Phosphorus and phosphorites: Sedimentology and environments of formation". *Eclogae Geologicae Helvetiae* 87 (3): 747-788. <http://doi.org/10.5169/seals-167476>.
- Hedberg, Hollis D. y Louis C. Sass. 1937. "Synopsis of the geologic formations of the western part of the Maracaibo Basin, Venezuela". *Boletín de Geología y Minería de Venezuela*, tomo I: 72-112.
- Howe, Robert Crombie. 1997. "Geologic contacts". *Journal of Geoscience Education* 45 (2): 133-136. <https://doi.org/10.5408/1089-9995-45.2.133>.
- Huyck, Holly L. O. 1989. "When is a metalliferous black shale not a black shale?". En *Metalliferous black shales and related ore deposits-Proceedings*, editado por Grauch Richard I. y Holly L. O. Huyck, 42-56. Denver: U.S. Geological Survey.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 2015. *Diccionario geográfico de Colombia*. Bogotá. <http://www.igac.gov.co/digeo/app/index.html> (visitada en julio de 2015).
- Juliao, Tatiana. M., Marcelo A. Carvalho, Sandra Cruz y Robert E. Márquez. 2013. "Reconstrucción paleoambiental basada en palinofacies y geoquímica orgánica para las formaciones La Luna y Tablazo en el pozo La Luna-1, cuenca VMM". XIV Congreso Colombiano de Geología, Primer Simposio de Exploradores, Bogotá.
- Julivert, Manuel. 1958. "La morfoestructura de la zona de las Mesas al SW de Bucaramanga (Colombia S. A.)". *Boletín de Geología* (1): 9-34.
- Julivert, Manuel. 1968. "Colombie (première partie), Précambrien, Paléozoïque, et intrusions d'âge mésozoïque-tertiaire". En *Lexique Stratigraphique International V. Amérique Latine*, dirigido por R. Hoffstetter, fascicule 4a. Paris: Centre National De La Recherche Scientifique.
- Kidwell, Susan, Franz T. Fürsich y Thomas Aigner. 1986. "Conceptual framework for the analysis and classification of fossil concentrations". *Palaaios* 1 (3): 228-238. <https://doi.org/10.2307/3514687>.
- Knauth, L. Paul. 2003. "Siliceous sediments". En *Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks*, editado por Gerard V. Middleton, Michael J. Church, Lawrence A. Hardie y Frederick J. Longstaffe, 660-666. Dordrecht: Springer.
- Krumbein, William. C. y Laurence L. Sloss. 1969. *Estratigrafía y sedimentación*. México: Ed. Uteha.
- Lazar Remus, Kevin Bohacs, Joe Macquaker, Juergen Schieber y Timothy Demko. 2015. "Capturing key attributes of fine-grained sedimentary rocks in outcrops, cores, and thin section ns: Nomenclature and description guidelines". *Journal of Sedimentary Research* 85 (3): 230-246. <https://doi.org/10.2110/jsr.2015.11>.
- Macellari, Carlos E. 1988. "Cretaceous paleogeography and depositional cycles of western South America". *Journal of South American Earth Sciences* 1 (4): 373-418. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(88\)90024-7](https://doi.org/10.1016/0895-9811(88)90024-7).
- Maliva, Robert G. y Raymond Siever. 1989. "Nodular chert formation in carbonate rocks". *The Journal of Geology* 97 (4): 421-433. <https://doi.org/10.1086/629320>.
- Maughan, Edwin K., Francisco Zambrano O., Pedro Mojica G., Jacob Abozaglo, M., Fernando Pachón, P. y Raúl Durán R. 1979. "Paleontologic and stratigraphic relations of phosphate beds in Upper Cretaceous rocks of the Cordillera Oriental, Colombia". U. S. Geological Survey Open-File Report 79 (1525): 1-97. <https://doi.org/10.3133/ofr791525>.
- Mckee, Edwin D. y Gordon W. Weir. 1953. "Terminology for stratification and cross-stratification in sedimentary rocks". *Geological Society of America Bulletin* 64 (4): 381-389. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1953\)64\[381:TFSACI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1953)64[381:TFSACI]2.0.CO;2).
- Merino-Tomé, Oscar, Juan R. Colmenaro y Juan R. Bahamonde. 2002. "Distribución de facies en una rampa carbonatada carbonífera (Formación Puentellés, NE zona Cantábrica)". *Geogaceta* 31: 163-166.
- Ministerio de Minas e Hidrocarburos de Venezuela. 1970. *Léxico estratigráfico de Venezuela*. Caracas: Editorial Sucre.
- Montaño, Paola C., Giovanni Nova, Germán Bayona, Hernando Mahecha, Carolina Ayala, Carlos Jaramillo y Felipe de la Parra. 2016. "Análisis de secuencias y procedencia en sucesiones sedimentarias de grano fino: un ejemplo de la Formación Umir y base de la Formación Lisama, en el sector de Simacota (Santander, Colombia)". *Boletín de Geología* 38 (1): 51-72. <https://doi.org/10.18273/revbol.v38n1-2016003>.
- Moore, David. G. y Phillip. C. Scrutton. 1957. "Minor Internal Structures of Some Recent Unconsolidated Sediments". *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 41 (12): 2723-2751. <https://doi.org/10.1306/0bda59db-16bd-11d7-8645000102c1865d>.
- Morales, Luis G. y The Colombian Petroleum Industry. 1958. "General geology and oil occurrences of Middle Magdalena Valley, Colombia". En *Habitat of oil. A symposium; conducted by the American Association of Petroleum Geologists*, edited by Lewis G. Weeks, 641-695. Special Publication 18. Tulsa: The American Association of Petroleum Geologists.
- Moreno-Sánchez, Giovanni. 2019. "Mapa geológico del Valle Medio del Magdalena en los alrededores del puente El Tablazo (departamento de Santander)". En *Estudios geológicos y paleontológicos sobre el Cretácico en la región del embalse del río Sogamoso, Valle Medio del Magdalena*, dirección científica y edición de Fernando Etayo-Serna. Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia vol. XXIII. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- Neuendorf, Klaus K. E., James P. Mehl Jr. y Julia A. Jackson, eds. 2011. *Glossary of geology*. Alexandria: American Geological Institute.
- PDVSA Intevp. 2011. "Código estratigráfico de las cuencas petroleras de Venezuela". Visitada en julio de 2016. <http://www.pdvsa.com/lexico/lexicoh.htm>.
- Perry, Jorge A. 1923. *Mapa de la región comprendida entre los ríos Sogamoso, Magdalena, Paturia y Lebrija y la cordillera de La Paz, con localización aproximada de los diferentes lotes sobre que se han hecho solicitudes de arrendamiento para explotar hidrocarburos, escala 1:100.000*. Bogotá: Oficina Nacional de Minas, Sección Técnica.
- Petters, Viktor. 1955. "Development of Upper Cretaceous foraminiferal faunas in Colombia". *Journal of Paleontology* 29 (2): 212-225.
- Pomar, Luis. 2001. "Types of carbonate platforms: A genetic approach". *Basin Research* 13 (3): 313-334. <https://doi.org/10.1046/j.0950-091x.2001.00152.x>.
- Potter, Paul E., J. Barry Maynard y Pedro J. Depetris. 2005. *Mud and mudstones*. Berlin: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/b138571>.
- Powers, Maurice. C. 1953. "A new roundness scale for sedimentary particles". *Journal of Sedimentary Research* 23 (2): 117-119. <https://doi.org/10.1306/D4269567-2B26-11D7-8648000102C1865D>.
- Radelli, Luigi. 1967. *Géologie des Andes colombiennes. Tectonique*. Mémoires 6. Université de Grenoble.

- Rangel, Antonio, Paula Parra y Chikhradze Niño. 2000. "The La Luna formation: Chemostratigraphy and organic facies in the Middle Magdalena Basin". *Organic Geochemistry* 31 (12): 1267-1284. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(00\)00127-3](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(00)00127-3).
- Read, James. F. 1982. "Carbonate platforms of passive (extensional) continental margins: Types, characteristics and evolution". *Tectonophysics* 81 (3-4): 195-212. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(82\)90129-9](https://doi.org/10.1016/0040-1951(82)90129-9).
- Reineck, Hans-Erich e Indra Bir Singh. (1975) 1980. *Depositional sedimentary environments*. Berlin-Heidelberg-New York, Ed. Springer-Verlag.
- Reineck, Hans-Erich y Friedrich Wunderlich. 1968. "Classification and origin of flaser and lenticular bedding". *Sedimentology* 11 (1-2): 99-104. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1968.tb00843.x>.
- Renz, Otto. 1959. "Estratigrafía del Cretáceo de Venezuela Occidental". *Boletín de Geología Venezuela* 5 (10): 3-48.
- Salvador, Amos. 1994. *International stratigraphic guide: A guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure*. Boulder: The International Union of Geological Sciences y The Geological Society of America, Inc.
- Sánchez Rodríguez, Laura. 2004. "Tipos de coordenadas manejadas en Colombia". Preparado por la División de Geodesia de la Subdirección de Geografía y Cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Visitada en noviembre de 2016. <http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/fac7c80469f7c2eb03eb8923ecd8f8fe/tipos+de+coordenadas+11.pdf?MOD=AJPERES>.
- Sarmiento Pérez, Gustavo, Edgar J. Puentes y Camilo Sierra. 2015. "Estratigrafía y petrofacies de la Formación La Luna en el Sinclinal de Nuevo Mundo, valle medio del Magdalena". *Geología Norandina* 12: 21-40.
- Sarmiento Rojas, Luis Fernando. 2001. "Mesozoic rifting and Cenozoic basin inversion history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes. Inferences from tectonic models". Tesis de doctorado. Vrije Universiteit.
- Scherer, Wolfgang, Vania Savian y Tulio Peraza. 2005. "Estratotipos de la Formación La Luna". *GEOS, Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra* 38: 69-70.
- Schieber, Juergen. 2003. "Black Shales". En *Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks*, editado por Gerard V. Middleton, Michael J. Church, Lawrence A. Hardie y Frederick J. Longstaffe, 83-85. Dordrecht: Springer.
- Scotese, Christopher Robert, Arthur J. Boucot y Chen Xu. 2014. "Atlas of Phanerozoic climatic zones (Mollweide Projection)". Vols. 1-6, Paleomap Project PaleoAtlas for ArcGIS, Paleomap Project, Evanston. <https://doi.org/10.13140/2.1.2757.8567>.
- Sellés-Martínez, José. 1996. "Concretion morphology, classification and genesis". *Earth-Science Reviews* 41 (3-4): 177-210. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(96\)00022-0](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(96)00022-0).
- Taborda, Bernardo. 1965. *Guidebook to the geology of the De Mares Concession: field trip of February 26-28, 1965*. Bogotá: Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysicists.
- Terraza Melo, Roberto. 2003. "Origen diagenético de cherts y porcelanitas en las formaciones Lidita Inferior y Lidita Superior (Grupo Olini), al sur de San Luis (Tolima), valle superior del Magdalena, Colombia". *Geología Colombiana* 28: 79-94.
- Terry, Richard D. y George V. Chilingar. 1955. "Summary of 'concerning some additional aids in studying sedimentary formations' by M. S. Shvetsov". *Journal of Sedimentary Research* 25 (3): 229-234. <https://doi.org/10.1306/74D70466-2B21-11D7-8648000102C1865D>.
- Tesón, Eliseo, Andrés Mora, Alejandro Silva, Jay Namson, Antonio Teixell, Jaime Castellanos, Wilson Casallas, Manuel Julivert, Michael Taylor, Mauricio Ibáñez-Mejía y Víctor A. Valencia. 2013. "Relationship of Mesozoic graben development, stress, shortening magnitude, and structural style in the Eastern Cordillera of the Colombian Andes". En *Thick-Skin-Dominated Orogens: From Initial Inversion to Full Accretion*, 257-283. Special Publications 377. London: Geological Society of London. <https://doi.org/10.1144/SP377.10>.
- Tourtlot, Harry A. 1979. "Black shale; its deposition and diagenesis". *Clays and Clay Minerals* 27 (5): 313-321.
- Vacher, H. Len. 1998. "Computational Geology 1-Significant Figures!". *Journal of Geoscience Education* 46 (3): 292-295. <https://doi.org/10.5408/1089-9995-46.3.292>.
- Vélez Herrera, Luis Miguel. 2014. "Estratigrafía de la Formación La Luna en el valle medio del Magdalena". Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.
- Villamil Barrera, Tomás y Claudia Arango. 1998. "Integrated stratigraphy of latest Cenomanian and early Turonian facies of Colombia". En *Paleogeographic evolution and nonglacial eustasy, Northern South America*, editado por James Lawrence Pindell y Charles L. Drake, 129-159. Special Publication 58. Tulsa: SEPM Society for Sedimentary Geology. <https://doi.org/10.2110/pec.98.58.0129>.
- Villamil Barrera, Tomás, Claudia Arango y William W. Hay. 1999. "Plate tectonic paleoceanographic hypothesis for Cretaceous source rocks and cherts of northern South America". En *Evolution of the Cretaceous ocean-climate system*, editado por Enriqueta Barrera y Claudia C. Johnson, 191-202. Special Paper 332. Boulder: Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/0-8137-2332-9.191>.
- Villamil Barrera, Tomás. 1994. "High-resolution stratigraphy, chronology and relative sea level of the Albian-Santonian (Cretaceous) of Colombia". Tesis de doctorado. University of Colorado.
- Villamil Barrera, Tomás. 1996. "Paleobiology of two new species of the bivalve Anomia from Colombia and Venezuela and the importance of the genus in recognition of the base of the Turonian". *Cretaceous Research* 17 (5): 607-632. <https://doi.org/10.1006/cres.1996.0033>.
- Villamil Barrera, Tomás. 1998. "Chronology, relative sea-level history and a new sequence stratigraphic model for basinal Cretaceous facies of Colombia". En *Paleogeographic evolution and nonglacial eustasy, Northern South America*, editado por James Lawrence Pindell y Charles L. Drake, 161-216. Special Publication 58. Tulsa: SEPM Society for Sedimentary Geology. <https://doi.org/10.2110/pec.98.58>.
- Ward, Dwight E. y Richard Goldsmith, U. S. Geological Survey, Andrés Jimeno V., Jaime Cruz B., Hernán Restrepo A. y Eduardo Gómez R. 1977. "Mapa Geológico del cuadrángulo H-12, Colombia, Bucaramanga, escala 1:100.000". Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras.
- Ward, Dwight E., Richard Goldsmith, Jaime Cruz y Hernán Restrepo. 1973. "Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, departamento de Santander". *Boletín Geológico* 21 (1-3): 1-132.
- Weeks, Lewis. G. 1953. "Environment and mode of origin and facies relationships of carbonate concretions in shales". *Journal of Sedimentary Research* 23 (3): 162-173. <https://doi.org/10.1306/D42695F8-2B26-11D7-8648000102C1865D>.
- Weeks, Lewis. G. 1957. "Origin of carbonate concretions in shales, Magdalena Valley, Colombia". *Bulletin of the Geological Society of America* 68 (1): 95-102. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1957\)68\[95:OCCIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1957)68[95:OCCIS]2.0.CO;2).
- Wheeler, Orby Clinton. 1929. "Report on the Palmira Series with notes on stratigraphy of the Umir, Lisama y La Paz Formations near the eastern part of De Mares Concession". Informe Geológico 37. Ecopetrol.
- Williams, Howell R., Francis J. Turner y Charles M. Gilbert. 1954. *Petrography: An Introduction to the Study of Rocks in Thin Sections*. San Francisco: W. H. Freeman and Company Publishers.
- Zambrano, Francisco. 1969. "Composición de las fosforitas marinas del área La Azufrada (Santander)". Informe 1549. Servicio Geológico Nacional, Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras, Ministerio de Minas y Petróleos.
- Zumberge, John E. 1984. "Source rocks of the La Luna Formation (Upper Cretaceous) in the Middle Magdalena Valley, Colombia". En *Petroleum geochemistry and source rock potential of carbonate rocks*, editado por James G. Palacas, 127-133. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists. <https://doi.org/10.1306/St18443C9>.