

Research article

Registro estratigráfico de la Formación Lisama en la Ruta del Cacao, área de La Fortuna, Barrancabermeja, Colombia.

Stratigraphic record of the Lisama Formation on the Ruta del Cacao, La Fortuna area, Barrancabermeja, Colombia.

Pablo Pedraza-Castro , Jairo Roncancio-Guzmán , Laura Bocanegra-Rodríguez 

Servicio Geológico Colombiano, Diagonal 53 N0. 34 - 53, Bogotá D.C., Colombia

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue escribir detalladamente la sección estratigráfica de la Formación Lisama del Paleoceno expuesta en el flanco occidental del Sinclinal de Nuevo Mundo (Valle Medio del Magdalena, Colombia), aprovechando las excavaciones para la ejecución de las obras viales del proyecto Ruta del Cacao, en área de La Fortuna (corregimiento del municipio de Barrancabermeja, Santander). El área de estudio se localiza en el límite de las planchas 108, 109, 119 y 120 y hacen parte de esta, en orden estratigráfico, las Formaciones Umir, Lisama, La Paz, Esmeraldas y Mugrosa, y el Grupo (o Formación) Real. El levantamiento estratigráfico y análisis de litofacias de la Formación Lisama (1070,9m), indican que se trata de depósitos de planicie aluvial surcada por ríos trezados arenosos, ríos meandriiformes y canales menores. Los depósitos gruesos y extensos de llanura de inundación de la Formación Lisama sugieren que durante su desarrollo hubo gran espacio de acomodación, subsidencia rápida y alto suministro de sedimentos. Estos depósitos sedimentarios junto con otras facies costeras a aluviales del Paleoceno fueron depositados en una cuenca de antepaís acoplada al levantamiento de la cordillera Central y hacen parte del registro bajo la inconformidad del Valle Medio del Magdalena. Las observaciones petrográficas en areniscas indican que las potenciales rocas fuente de detritos para la formación fueron granitos, esquistos, neises, vulcanitas y cherts. Con base en estos tipos de rocas y en estudios de procedencia de otros autores, la cordillera Central habría sido la mayor aportante de sedimentos para la Formación Lisama.

Palabras clave: Sinclinal de Nuevo Mundo, Valle Medio del Magdalena, cordillera Central, planicie aluvial, Formación Umir, Formación La Paz

ABSTRACT

The aim of this work was the description of the stratigraphic section of the Lisama Formation (Paleocene) on the western flank of the Nuevo Mundo syncline in the Middle Magdalena Valley, his section was exposed in excavations conducted during the roadworks for the Ruta del Cacao project, in La Fortuna (township of Barrancabermeja, Santander). The study area comprises the intersection of the sheets No. 108, 109, 119, and 120, which included (from oldest to youngest) the Umir, Lisama, La Paz, Esmeraldas, Mugrosa and Real formations (the last one is sometimes referred to as a group). The stratigraphic survey and lithofacies analyses of the Lisama Formation (comprising 1070.9 m); indicate that this unit corresponds to an alluvial plain with deposits of sandy-braided rivers and meandering rivers, and to a lesser extent to small channel deposits. The thickness and lateral extension of the flood-plain deposits of the Lisama Formation suggest large accommodation space during its development, rapid subsidence, and high sediment supply. These sedimentary deposits, along with other coastal to alluvial facies of the Paleocene, were deposited in a foreland basin linked to the uplift of the Central Cordillera and the sedimentary record beneath the Middle Magdalena Valley unconformity. Sandstone petrographic analysis indicates that granites, schists, gneisses, volcanic rocks and cherts were probable detritus sources for this formation. These rocks and provenance studies by other authors, suggest that, the Central Cordillera was the largest sediment source for the Lisama Formation.

Keywords: Nuevo Mundo syncline, Middle Magdalena Valley, Central Cordillera, alluvial plain, Umir Formation, La Paz Formation

Citación: Pedraza-Castro, P.E., Roncancio-Guzmán, J.H., Bocanegra-Rodríguez, L.C. (2025). Registro estratigráfico de la Formación Lisama en la Ruta del Cacao, área de La Fortuna, Barranca-bermeja, Colombia. *Boletín Geológico*, 52(1)

<https://doi.org/10.32685/0120-1425/bol.geol.52.1.2025.699>



1. INTRODUCCIÓN

En el corregimiento de La Fortuna, localizado a 37 km al ENE del municipio de Barrancabermeja (departamento de Santander), se realizaron obras civiles asociadas a la construcción del proyecto vial “Ruta del Cacao” y se destaparon extensos afloramientos geológicos de la Formación Lisama dejando, además, totalmente descubierta a la Formación La Paz. El Servicio Geológico Colombiano (SGC), aprovechando la buena exposición de las rocas, estableció como objetivo, realizar la descripción detallada de las secciones estratigráficas de estas dos formaciones geológicas, antes de que fueran recubiertas por concreto lanzado o revegetalización. Este documento corresponde sólo a la información geológica de la Formación Lisama.

El área de trabajo, situada en el Valle Medio del Magdalena (VMM), hace parte del límite de las antiguas planchas geológicas 108, 109, 119 y 120, a escala 1:100.000 (figura 1), realizadas por el SGC, en donde se han cartografiado la Formación Umir del Cretácico Superior, las Formaciones Lisama, La Paz, Esmeraldas y Mugrosa del Paleógeno, y el Grupo o Formación Real del Neógeno, además de depósitos cuaternarios, y como estructura principal está el Sinclinal de Nuevo Mundo (SNM).

En el flanco occidental del SNM, la sucesión inferior de la Formación Lisama se presenta con contacto fallado y, por consiguiente, con un faltante estratigráfico de sus metros inferiores. Así, los afloramientos recién descubiertos y estudiados de la Formación Lisama, localizados y levantados en la parte sur del flanco occidental del SNM, dieron información geológica y estratigráfica que son puntos de comparación y litocorrelación con la información geológica y estratigráfica obtenida en los otros sectores del SNM.

2. MÉTODO

La información geológica básica objeto de consulta y revisión son las planchas geológicas, a escala 1:100.000, fueron: 108 Puerto Wilches (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia [UPTC], 2012), 109 Rionegro (Ward et al., 1977), 119 Barrancabermeja (GRP Ltda., 2008), y 120 Bucaramanga (Ward, Goldsmith et al., 1977), y las memorias explicativas de las planchas 108 (Fonseca et al., 2012), 109 y 120 (Ward et al., 1973), y 119 (Gómez et al., 2008). También se revisó el mapa geológico preliminar del Cuadrángulo H-11 Barrancabermeja del SGC (Irving et al., 1967), y el mapa geológico del Valle Medio del Magdalena en los alrededores de puente Tablazo (Moreno-Sánchez, 2019) al brindar aspectos cartográficos útiles para el entendimiento estructural y estratigráfico del área de estudio.

En el corredor vial desde La Fortuna hacia Bucaramanga, se realizó el levantamiento estratigráfico de la Formación Lisama, entre el km 2,4 y el km 3,8. El espesor de la sección estratigráfica de la formación fue medido con bastón de Jacob y para los tramos cubiertos el espesor se calculó con poligonales abiertas, utilizando flexómetro, clinómetro, brújula ajustada con la desviación magnética de 8° hacia el W, y GPS calibrado para coordenadas planas con origen en Magna Sirgas Bogotá. La escala de descripción litológica fue 1:200, y la información geológica se compiló en los formatos estandarizados por el Grupo de Estratigrafía del SGC, con la localización de las muestras litológicas.

En el anexo 1 se amplía la metodología utilizada para la adquisición de la información estratigráfica, concerniente a: descripción de las características de las rocas sedimentarias y establecimiento de facies sedimentarias; codificación de las muestras litológicas; fotointerpretación para la generación del mapa geológico de área de estudio; descripción de secciones delgadas; descripción de características texturales en las secciones delgadas; clasificación textural y composicional de las muestras litológicas; y análisis de tipos de cuarzo detrítico como ayuda en la identificación de los tipos de rocas fuente de detritos de las muestras de areniscas de la Formación Lisama.

La elaboración de columnas estratigráficas se hizo a diferentes escalas, diferenciando las porciones cubiertas de la sucesión levantada con líneas cruzadas en “X”, y utilizando las convenciones para representar la litología, la geometría externa e interna de las capas, las estructuras biogénicas, el tipo de depósito, etc. (figura A2-1 en anexo 2).

3. MARCO GEOLÓGICO

Sarmiento (2011, p. 29), basado en Gómez (2001), hace una reseña de la historia geológica de la cuenca del Valle Medio del Magdalena (VMM) así:

Durante el Cretácico Tardío la subsidencia térmica post-rift, generó una cuenca regional tipo sag que cubre el área de las actuales cuencas del Valle Medio del Magdalena (VMM), de la cordillera Oriental (CO) y de los Llanos (LI). Durante el Cretácico Superior la acreción de un *plateau* oceánico en oeste de Colombia (...) condujo al levantamiento de rocas extensas y la exhumación en las rocas indentadas y apuntaladas de la cordillera Central (...) iniciando una deformación de compresión orogénica en esta cordillera. Esto inició un régimen compresional en la cuenca tipo sag VMM-CO-LI.

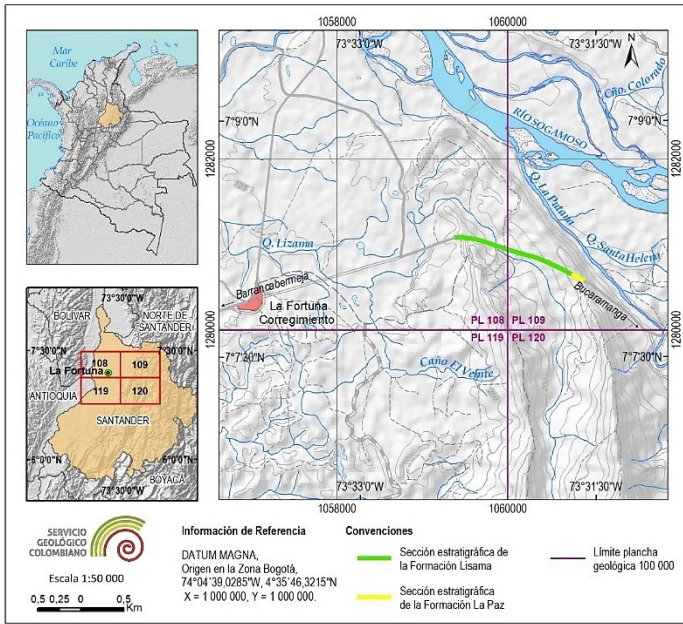


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio

Durante el Paleoceno al Eoceno medio, la deformación compresional y el levantamiento de la cordillera Central generó una cuenca regional antepaís cubriendo el área de las actuales cuencas VMM, CO y LI (...). Este frente de deformación compresional generó una deformación vergente al este en el área de la actual cuenca del VMM y una local deformación, vergente hacia el oeste, en el área de las actuales estribaciones occidentales de la cuenca de la CO.

Durante el Eoceno tardío al Oligoceno temprano, el frente orogénico originado en la cordillera Central migró hacia el este produciendo la inversión local de grabens extensionales mesozoicos en el área de la cuenca de la cordillera Oriental, desarticulando la cuenca antepaís regional original en compartimentos más pequeños.

De acuerdo con Gómez et al. (2005, p. 547), el desarrollo de la cuenca del VMM estuvo determinado, en el Cretácico tardío-Eoceno temprano, por el levantamiento de la cordillera Central al oeste y la subsecuente transferencia de deformación a la Cordillera Oriental al este. Estas fases están separadas en el registro tectonoestratigráfico por una gran inconformidad, la inconformidad del VMM (figura 2). Las facies costeras aluviales del Paleoceno bajo esa inconformidad fueron depositadas en una cuenca de antepaís acoplada al levantamiento de la cordillera Central a escala kilométrica. Los estratos continentales del Eoceno medio a Neógeno que onlapan esa inconformidad documentan la transformación del VMM en una cuenca interior debido a la deformación de la cordillera Oriental registrada por estratos de crecimiento en líneas sísmicas y patrones cambiantes de procedencia y paleoflujo.

Para Gómez et al. (2005, pp. 547, 559), el registro de rocas más completo y mejor expuesto del Paleoceno-Oligoceno inferior (formaciones Lisama, La Paz y Esmeraldas) ocurre en el flanco oriental del SNM a lo largo del río Sogamoso; y afloramientos de las rocas superpuestas del Oligoceno-Mioceno (unidades Mugrosa, Colorado, y Real) se encuentran en el área de campo petrolífero de La Cira-Infantas a lo largo de la carretera panamericana. En el SNM la inconformidad del VMM es una sutil inconformidad angular que separa la Formación Lisama de la onlapante Formación La Paz. Otra sutil inconformidad angular constituye el límite entre la Formación La Paz y la superyacente Formación Esmeraldas.

Los estratos de las formaciones La Paz, Esmeraldas y Mugrosa (parte inferior), del Eoceno medio a Oligoceno inferior, se adelgazan hacia el oeste. Los estratos de las formaciones Mugrosa (parte superior) y Colorado, en cambio, se adelgazan hacia el este. Este adelgazamiento hacia el este se correlaciona con estratos de crecimiento del Oligoceno tardío a los del Mioceno medio temprano del anticlinal de Lisama.

El SNM está limitado al oeste por un ramal del sistema principal de fallas La Salina, el cual yuxtapone un plano colgante sobre una rampa yacente. Esta es la rampa más joven del sistema de cabalgamientos, ya que atraviesa capas del Grupo Real y no es plegada por el anticlinal de Lisama, infrayacente Gómez et al. (2005, p. 558). La figura 2 muestra que el SNM presenta en su flanco occidental a las Formaciones Umir, Lisama, La Paz, Esmeraldas, Mugrosa y Colorado, y al Grupo Real. El corte A-B en esta figura se elaboró conforme a Gómez et al. (2005, la fig. 7B, p. 556), quienes interpretan que la Formación La Paz se acuña hacia el W, en el flanco occidental del sinclinal, y que desaparece, en el bloque yacente de esa falla profunda, poniéndose así en contacto las Formaciones Lisama y Esmeraldas.

Las edades de las unidades citadas abarcan desde el Cretácico Superior hasta el Mioceno (Ward et al., 1973; Ward et al., 1977; Ward, Goldsmith et al., 1977; Gómez et al., 2005, p. 552). Este sinclinal hace parte del cinturón de cabalgamiento de la margen occidental de la cordillera Oriental, tiene cabeceo hacia el Norte y 55 km de largo por 30 km de ancho (Caballero, 2010, p. 21; Caballero et al., 2010, p. 46).

4. RESULTADOS

4.1. Cartografía geológica

En el área de La Fortuna se realizó un mapa geológico de 16 km² en el flanco occidental del SNM, con base en la fotogeología realizada y el reconocimiento de las unidades en el terreno (fig.3).

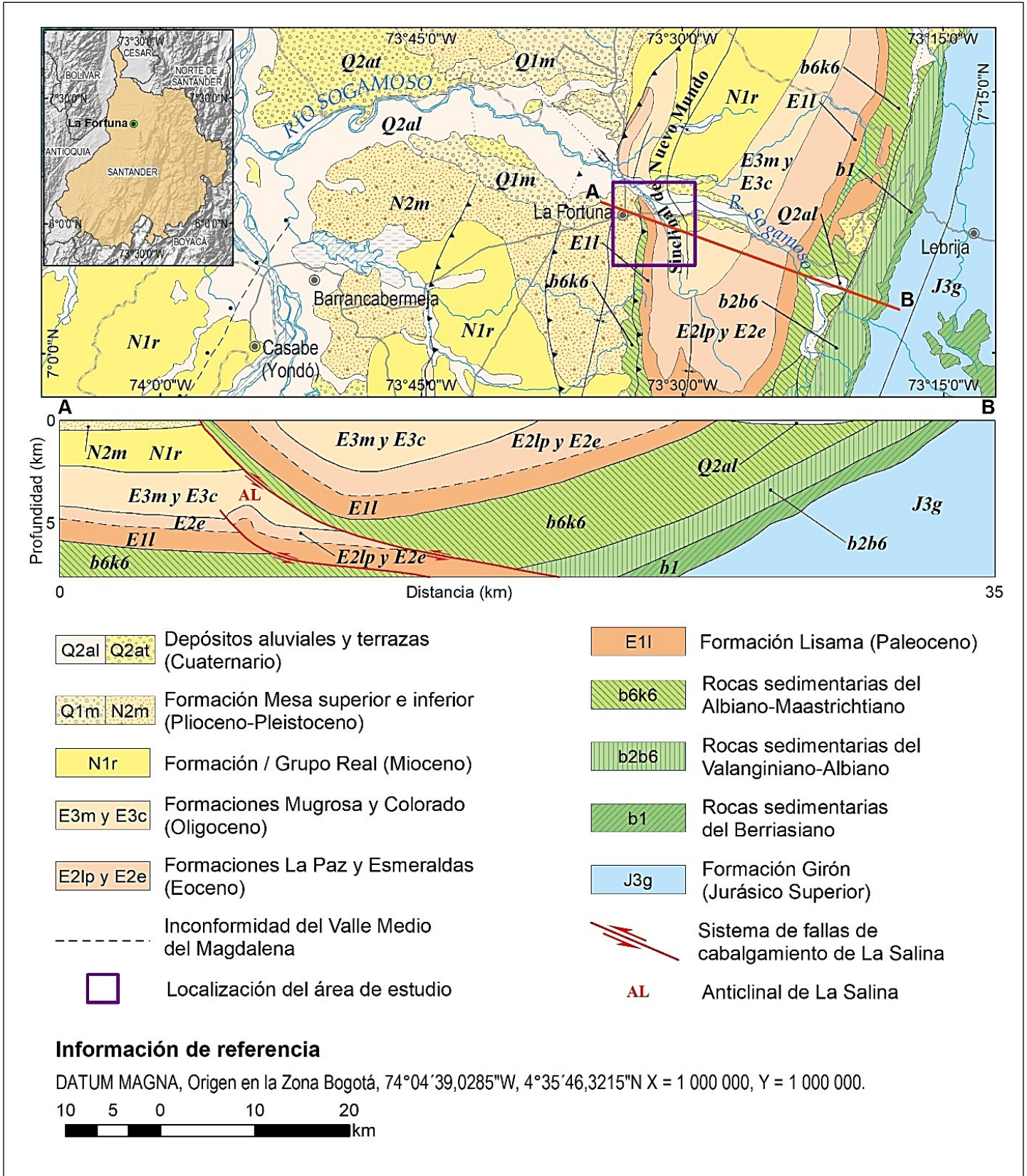


Figura 2. Mapa geológico regional del área de estudio Fuente: mapa geológico base tomado de Gómez y Montes,(2020) y nomenclatura estratigráfica adaptada de Ward et al. (1977), UPTC (2012) y Montes et al. (2023), con notaciones de serie y piso según la carta cronoestratigráfica internacional de Cohen et al. (2013).

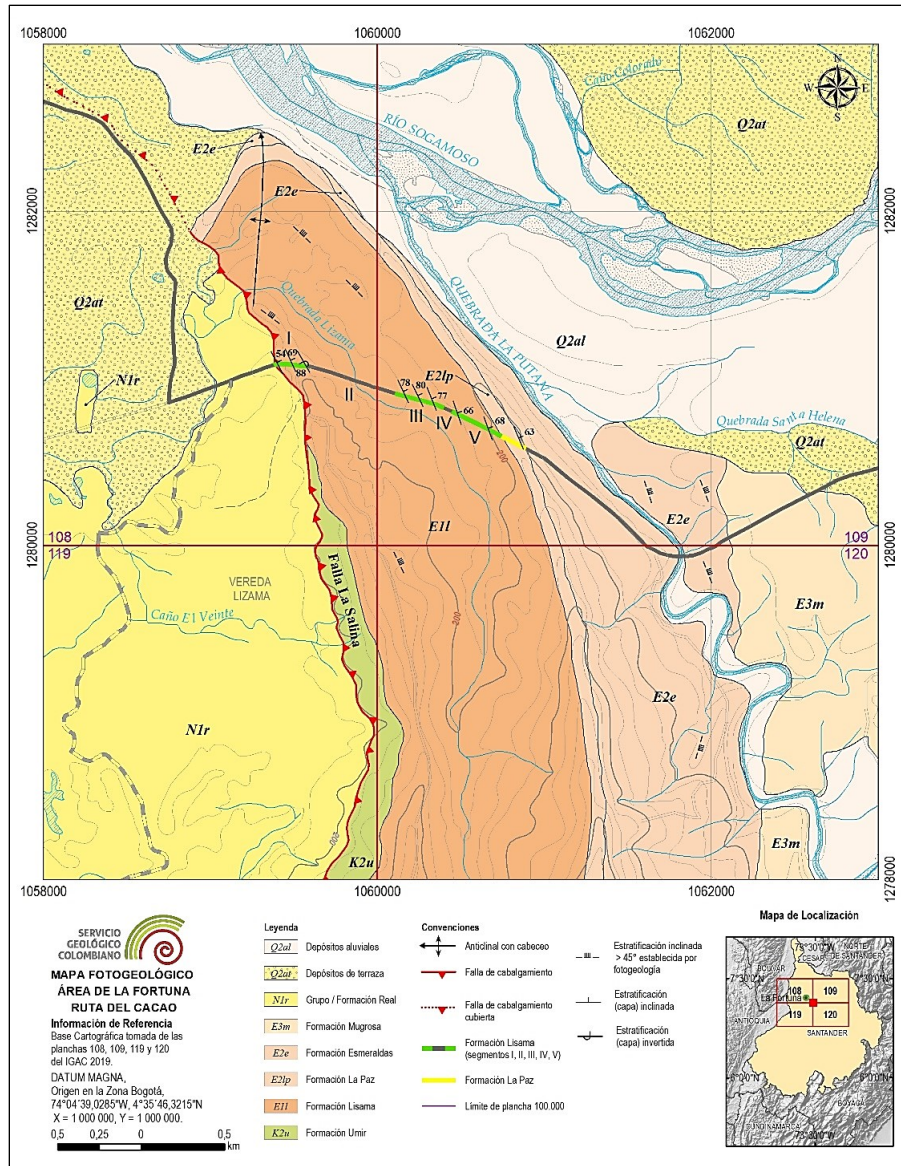


Figura 3. Mapa geológico del área de estudio. Fuente: Los autores

Las formaciones Lisama, La Paz y Esmeraldas forman una pequeña estructura antiforme inmediatamente al sur del río Sogamoso. Ver la localización de este mapa geológico dentro del flanco W del SNM en la figura 2.

El espesor medido de la Formación Lisama (1070,9 m) es parcial, ya que la parte más inferior no aflora porque está cortada por la falla La Salina. La falla La Salina corta cerca de 60 a 80 metros de la parte inferior de la Formación Lisama en el sector de la carretera Ruta del Cacao (flanco W del SNM), según se deduce de la cartografía, 1 km al sur de la carretera, donde la formación aparece completa. Caballero et al. (2010), dieron para la formación un espesor cercano a los 783 m, en el flanco W del

SNM; y Gómez et al. (2005), y Moreno et al. (2011), reportaron, en el flanco E del sinclinal, 1225 m y 1208 m, respectivamente.

4.2. Formación Lisama

Los nuevos afloramientos descritos en la carretera Ruta del Cacao (sector La Fortuna), de la Formación Lisama, permitió el levantamiento estratigráfico de 1070,9 metros y se identificaron en estos cinco segmentos y 24 intervalos (tabla 1 y figura 4). En el segmento I de 172,5 m predominan las areniscas y arcillolitas; el segmento II es un intervalo cubierto de 386 m; el segmento III tiene un espesor de 227,1 m y presenta alternancia de arcillolitas, lodolitas, areniscas y limolitas; el segmento IV es un intervalo cubierto de 53,2 m; y el segmento V de 232,1 m presenta alternancia de arcillolitas, lodolitas, limolitas y areniscas.

Tabla 1. Espesores de la Formación Lisama

Segmento	metro inicial y metro final de cada segmento	Espesor por segmento (m)
I	0 - 172,5	172,5
II (cubierto)	172,5-558,5	386
III	558,5-785,6	227,1
IV (cubierto)	785,6-838,8	53,2
V	838,8-1070,9	232,1

Van der Hammen (1954), utilizó el nombre “formación Lisama” y, con menor frecuencia, “formación de Lisama”. De acuerdo a Van der Hammen (1960, p. 104), el nombre de la unidad se debe a T. A. Link, 1925 (en Morales, 1955), su localidad tipo se encuentra en la quebrada Lisama (afluente del río Sogamoso), y está limitada estratigráficamente por la Formación Umir (unidad infrayacente) y la Formación de La Paz (unidad suprayacente).

Pardo-Trujillo y Roche (2009, pp. 47, 69) citan, para la parte superior de la Formación Lisama, una abundancia de diferentes tipos de *Proxapertites* (*P. operculatus*, *P. cursus*), algunas especies de *Bombacacidites* (*B. annae*, *B. protofoveoreticulatus*), *Retidiporites magdalenensis* y diferentes especies *monocolpate* (*Psilamonocolpites medius*, *Mauritiidites franciscoi*). Referente a la parte superior de la unidad mencionan que se caracteriza por las mayores concentraciones de polen y esporas, y una predominancia de *Proxapertites operculatus*, que puede llegar al 95 %. A partir del estudio de estas morfoespecies de polen y esporas, estos autores propusieron una carta cronoestratigráfica en la que ubican a la Formación Lisama en el Paleoceno en el SNM.

A continuación, se presenta una descripción litoestratigráfica general de la Formación Lisama, sin embargo, el anexo 2 contiene una descripción más amplia, la cual está acompañada de una tabla de facies (tabla A2-1), de una figura de las convenciones (figura A2-1) y de las columnas estratigráficas detalladas de los segmentos I, III y V (figuras A2-2, A2-3 y A2-4, respectivamente).

4.2.1. Segmentos I y II

En el segmento I las rocas buzaban hacia el ENE con ángulos predominantemente altos, los cuales varían entre 68° y 84°, hacia la parte más inferior son de 50° y 54°. En la parte superior del segmento las capas se invierten, buzando hacia el WSW con ángulos de 88° y 75° (figura 5). El segmento II corresponde a un tramo cubierto de 386m de espesor.

Este segmento se caracteriza por estar compuesto por areniscas en proporción similar a la de arcillolitas, lodolitas y

limolitas, y arcillolitas carbonosas (figura A2-2 en anexo 2). Las areniscas se disponen principalmente en capas muy gruesas y gruesas, de formas canaliformes y tabulares (figuras 6, 7, 8 y 9) con estructuras internas como estratificación cruzada plana (figura 10a), estratificación cruzada en artesa (figuras 11a y 12a), estratificación inclinada plana y estratificación inclinada tangencial. Algunas de estas areniscas, no tienen estructura interna visible (aspecto macizo) y se encuentran tanto hacia la parte inferior como hacia la parte superior del segmento.

También se presentan areniscas dispuestas en capas muy gruesas y gruesas, de formas canaliformes y tabulares, con estratificación sigmoidal (figura 13), y areniscas en capas delgadas y medianas, de forma tabular y canaliforme, con estructuras internas como laminación ondulosa, laminación cruzada en artesa o sin estructura interna visible (aspecto macizo) (figuras 10b, 11b y 12b).

Las arcillolitas, lodolitas (algunas arenosas) y limolitas (algunas arenosas) forman capas tabulares, con espesores desde muy delgado hasta grueso, con estructuras internas como laminación ondulada y ondulosa, laminación lenticular, y laminación plana paralela a ondulosa, o sin estructura interna visible o de aspecto macizo (figuras 10b, 11b y figura 14). Hay, además, otras capas de arcillolitas que se intercalan entre arcillolitas carbonosas (con materia orgánica), ambas de espesor muy grueso y grueso (figura 15) y dispuestas en capas tabulares macizas (figura 15).

4.2.2. Segmentos III, IV y V

El segmento III tiene como coordenadas de inicio N: 1280935; E: 1060109; Z: 167m s. n. m. y coordenadas finales N: 1280864; E: 1060394; Z: 169m s. n. m. Este inicia en el metro 558,5 y finaliza en el metro 785,6 (227,1 m de espesor) y sus rocas buzaban en general hacia el ENE con ángulos predominantemente altos, los cuales varían entre 77° y 80°. El segmento IV es un tramo cubierto de 53,2m de espesor (785,6-838,8m), cuyas coordenadas finales se extienden hasta N: 1280810, E: 1060450, Z: 171m s. n. m. El segmento V se extiende hasta las coordenadas finales N: 1280660; E: 1060766; Z: 189m s. n. m., comienza en el metro 838,8 y termina en el metro 1070,9 (232,1 m de espesor) y sus rocas buzaban en general hacia el ENE con ángulos predominantemente altos, los cuales varían entre 67° y 74°. Aunque los segmentos III y V contienen areniscas, se caracterizan por una mayor proporción de arcillolitas, lodolitas y limolitas (figuras A2-3 y A2-4 en anexo 2).

Las arcillolitas y lodolitas, algunas arenosas, son varicoloreadas y moteadas, tienen espesores muy gruesos continuos e internamente son macizas (figuras 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 y 25).

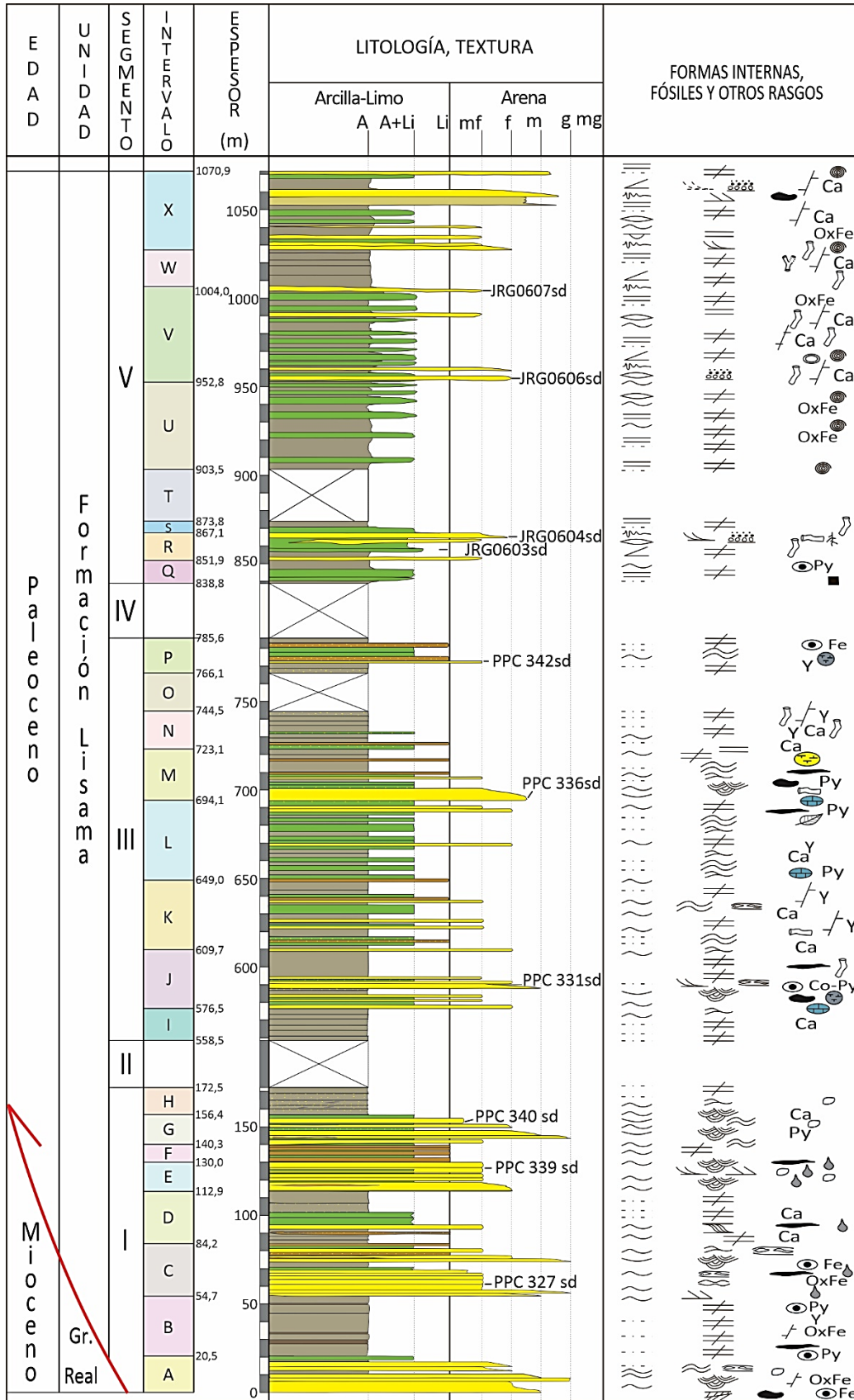


Figura 4a. Columna estratigráfica de la Formación Lisama en la Ruta del Cacao – flanco W del SNM

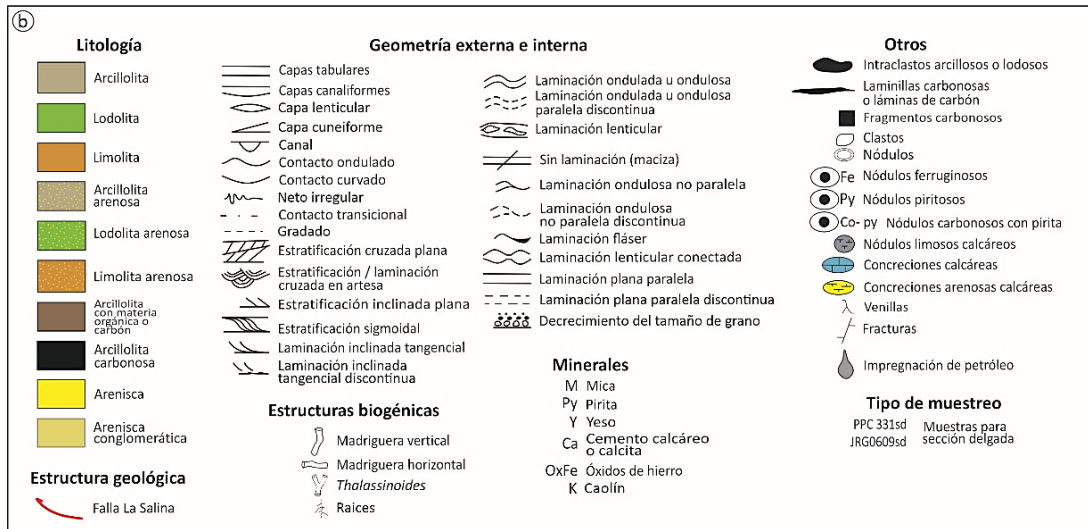


Figura 4b. Convenciones de la columna estratigráfica de la figura 4a

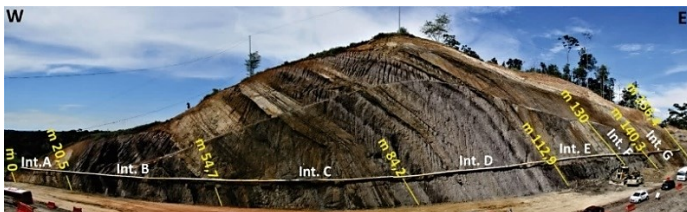


Figura 5. Vista panorámica del segmento I de la Formación Lisama. Los intervalos A, C, E y G están formados principalmente por areniscas mientras que los intervalos B, D, F y H, están formados por arcillolitas, lodolitas y limolitas. Coordenadas iniciales: N=1281094, E=1059375, Z=175ms.n.m. y coordenadas finales: N=1281124, E=1059563, Z=187m. El segmento II se extiende hasta coordenadas N: 1280935; E: 1060109; Z: 167m s. n. m.



Figura 6. Afloramiento del intervalo A. Espesor de 20,5 m. Nótese el dominio de capas canaliformes y tabulares de arenisca principalmente en la parte inferior del intervalo. Coordenadas de inicio: N=1281094; E=1059375 y coordenadas finales N:1281098, E:1059402.

Las areniscas ocurren en capas muy gruesas, canaliformes y cuneiformes, con decrecimiento del tamaño de grano hacia la parte superior, internamente con estratificación cruzada en artesa en corte transversal (figuras 26a y 27a), estratificación inclinada plana y estratificación de bajo ángulo (figura 28) y laminación ondulosa. Otras areniscas se presentan en capas delgadas, medianas y gruesas, tabulares, cuneiformes, lentiformes y tabulares, internamente macizas (figura 29a y 30) o con laminación ondulosa (figura 29a), laminación inclinada tangencial, estratificación de bajo ángulo y laminación horizontal o plana paralela.

Las arcillolitas, lodolitas y limolitas, algunas arenosas, otras

calcáreas, forman capas tabulares, con espesores desde delgado hasta muy grueso e internamente muestran laminación ondulada u ondulosa (figuras 29b, 30a y 31a), laminación lenticular o son de aspecto macizo (figuras 30b y 31b).

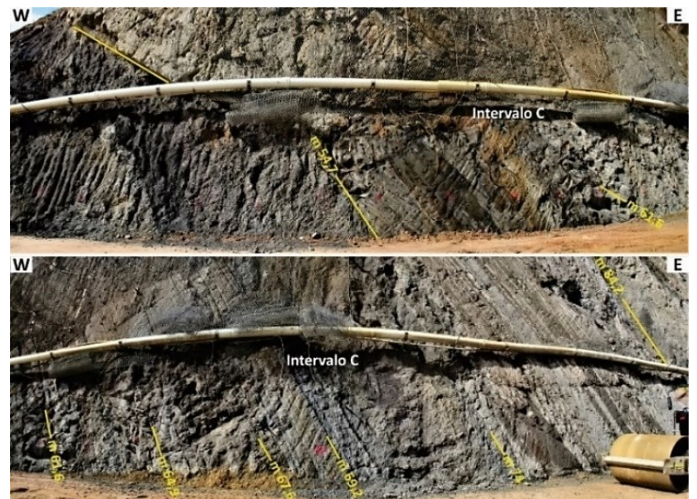


Figura 7. Afloramiento del intervalo C. Espesor 29,5 m. La fotografía superior corresponde a areniscas en capas muy gruesas, tabulares y canaliformes extensas, y la fotografía inferior corresponde a areniscas en capas desde delgadas hasta muy gruesas, tabulares, separadas por lodolitas, arcillolitas y limolitas. Coordenadas de inicio: N=1281104; E=1059439 y coordenadas finales N:1281108, E:1059471.



Figura 8. Afloramiento del intervalo E. Espesor 17,1 m. Nótese el gran espesor de las capas de arenisca interpuestas con paquetes de lodolitas, limolitas y areniscas de menor espesor. Coordenadas de inicio: N=1281107; E=1059504 y coordenadas finales N:1281105, E:1059525.



Figura 9. Afloramiento del intervalo G. Espesor 16,1 m. Se observan conjuntos muy gruesos de areniscas en capas gruesas y muy gruesas, con intercalaciones de lodolitas, lodolitas arenosas, areniscas menores y limolitas. Nótese en la parte superior del afloramiento la inversión de las capas. Coordenadas de inicio: N=1281 103; E=1059537 y coordenadas finales N:1281 101, E:1059557.

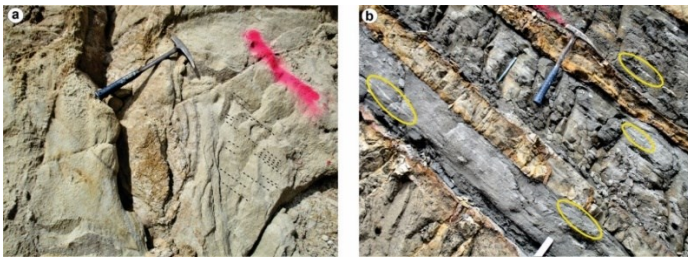


Figura 10. Areniscas y arcillolitas del intervalo A. (a) Arenisca con estratificación cruzada plana (metro 7; azimut 360°), señalada con líneas negras discontinuas. (b) Interposiciones de areniscas y arcillolitas con laminación lenticular (metro 11,5; azimut 355°). Nótese los lentes de arenisca dentro de las arcillolitas en las elipses amarillas.

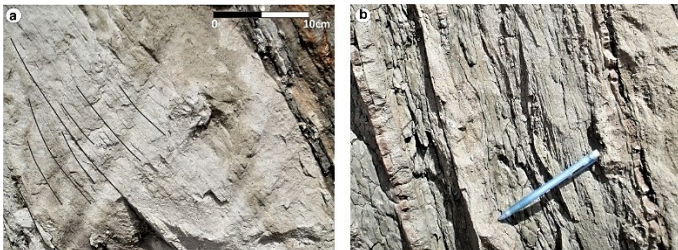


Figura 11. Areniscas y lodolitas del intervalo C. (a) Arenisca con estratificación cruzada en artesa (metro 74,5; azimut 345°), señalada con líneas negras continuas. (b) Areniscas en capas delgadas con forma lenticular alternada con lodolitas en capas delgadas y medianas (metro 77,2; azimut 345°).

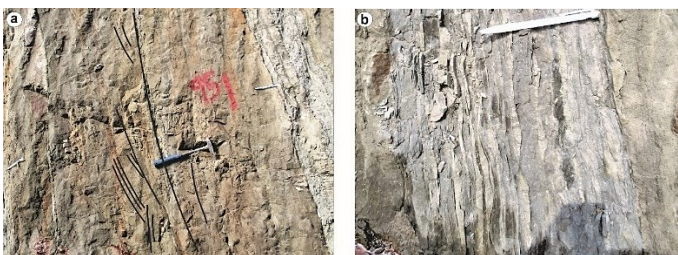


Figura 12. Areniscas y lodolita del intervalo G. (a) Areniscas en capas gruesas con estratificación cruzada en artesa (150-151,7m; azimut 340°). (b) Lodolita con lentes de limolitas, algunos forman ondulitas (metro 152; azimut 340°).

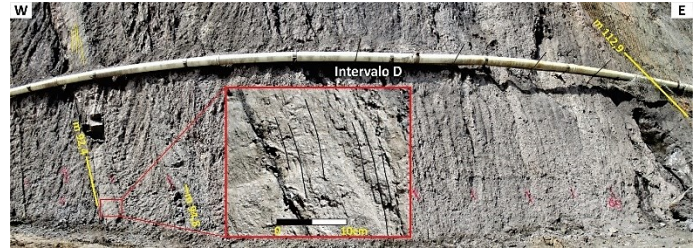


Figura 13. Afloramiento del intervalo D. Espesor 28,7 m. Nótese que entre los metros 92,4 y 94,8, se presentan dos capas tabulares, de espesor muy grueso y grueso, y la estratificación interna sigmoidal señalada con líneas negras continuas en el cuadro rojo. Coordenadas de inicio: N=1281 108; E=1059471 Coordenadas finales N=1281 108; E=1059471



Figura 14. Arcillolita del intervalo H. La capa es maciza, pero muestra laminación ondulosa hacia la base (metro 156,6; azimut 325°). Nótese la inversión en la estratificación.



Figura 15. Afloramiento del intervalo B. de espesor 34,2 m. Obsérvese en el metro 29,8 y metro 50,5 la presencia de arcillolitas negras debido a mayor cantidad de materia orgánica. Coordenadas de inicio: N=1281 098; E=1059402 y coordenadas finales: N=1281 104; E=1059439.



Figura 16. Afloramiento del intervalo I. Espesor 18 m. Las arcillolitas en muestra fresca son de colores negros grisáceos y grises, sin embargo, adquieren tonos naranjas y blancos superficiales debido a meteorización. Coordenadas de inicio: N=1280935; E=1060109 y coordenadas finales: N=1280930; E=1060130.



Figura 17. Afloramiento del intervalo J. Espesor 33,2 m. Lodolitas y arcillolitas, grises, y sobresalen areniscas en capas de espesor grueso y muy grueso, en la parte inferior y media del intervalo. Resaltan dos capas canaliformes extensas de areniscas dentro de las lodolitas y arcillolitas. Coordenadas de inicio: N=1280930; E=1060130 y coordenadas finales: N=1280920; E=1060170.



Figura 18. Afloramiento del intervalo K. Espesor 39,3 m. Obsérvense niveles duros en el tramo 613,3-615,6m que corresponde a capas medianas de limolitas, dentro de una sucesión de lodolitas y arcillolitas grises pardas y negras. Coordenadas de inicio: N=1280920; E=1060170 y coordenadas finales: N=1280908; E=1060219.



Figura 19. Afloramiento del intervalo L. Espesor 45,1 m. Se trata principalmente de capas muy gruesas y gruesas de arcillolitas y lodolitas de colores gris y pardo con tonos naranjas y blancos superficiales debido a meteorización. Coordenadas de inicio: N=1280908; E=1060219 y coordenadas finales: N=1280892; E=1060280.



Figura 20. Afloramiento del intervalo M. Espesor 29 m. Nótese el gran espesor de la capa canaliforme de arenisca en la parte inferior del afloramiento. En este se observa una capa muy gruesa de arenisca de color gris, superpuesta por rocas con texturas principalmente finas, lodolitas, arcillolitas y limolitas, de colores gris, pardo y negro grisáceo. Coordenadas de inicio: N=1280892; E=1060280 y Coordenadas finales: N=1280883; E=1060319.

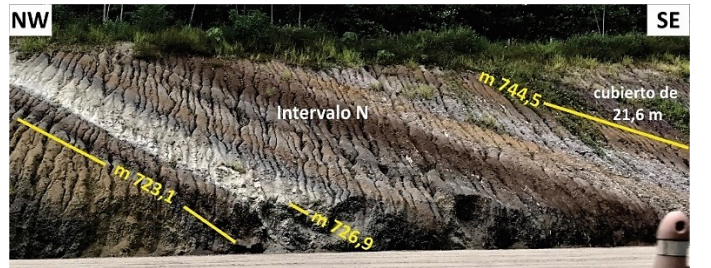


Figura 21. Afloramiento del intervalo N. Espesor 21,4 m. Obsérvense las franjas de colores pardo, gris oscuro y gris claro, paralelas a la estratificación. Coordenadas de inicio: N=1280883; E=1060319 y coordenadas finales: N=1280876; E=1060345.



Figura 22. Afloramiento del intervalo P. Espesor 19,5 m. Obsérvense la alternancia de arcillolitas, lodolitas y limolitas en tonos grises, pardo y blanco. Hacia la parte central resalta un nivel de capas medianas y gruesas de limolitas. Coordenadas de inicio: N=1280870; E=1060371 y coordenadas finales: N=1280864; E=1060394.



Figura 23. Afloramiento del intervalo R. Espesor 15,2 m. (a) Sucesión de arcillolitas y lodolitas de gran espesor en la que resalta en la parte superior una capa de arenisca muy gruesa. (b) Base canaliforme de la arenisca en la parte alta del intervalo. (c) y (d) Madrigueras verticales en lodolitas macizas y areniscas, señaladas con las flechas negras delgadas. (e) Conjuntos medianos de laminación inclinada tangencial de bajo ángulo en las areniscas (facies Ab). Coordenadas de inicio: N=1280801; E=1060468 y coordenadas finales: N=1280800; E=1060488.

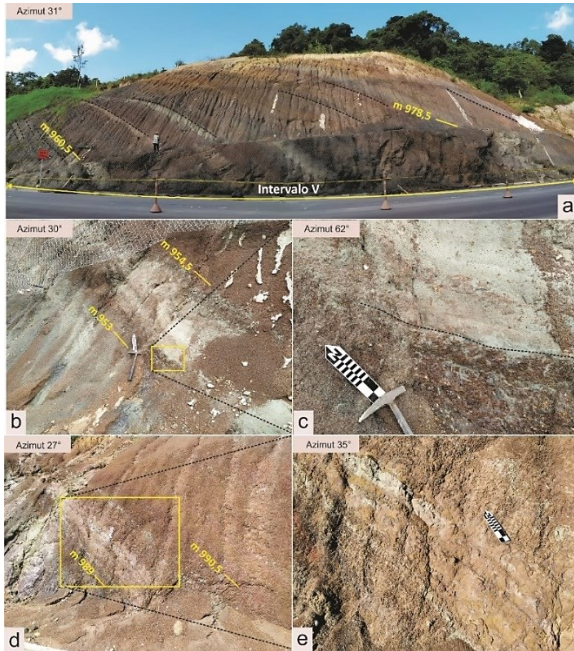


Figura 24. Afloramiento del intervalo V. Espesor 51,9 m. (a) Interposiciones de arcillolitas y lodolitas (tonos oscuros), y areniscas (tonos claros). (b) Capa gruesa de arenisca dentro de lodolitas grises y ocre. (c) Contacto basal canaliforme señalado con la línea negra punteada. (d) y (e) Areniscas con geometría tabular. Coordenadas de inicio: N=1280732; E=1060616 y coordenadas finales: N=1280701; E=1060686.



Figura 25. Vista panorámica de la parte superior de la Formación Lisama. A la izquierda la parte superior del intervalo V con una sucesión de arcillolitas y lodolitas (con tonos marrones y rojizos), con interposiciones de areniscas en la parte superior (color amarillo). El intervalo W consiste en arcillolitas de color marrón, gris pardo y rojo grisáceo, en capas muy gruesas y tabulares. El intervalo X está conformado por interposiciones en capas gruesas y subtabulares, de areniscas de color gris amarillento y lodolitas de color gris oscuro. A la izquierda, sucesión de rocas finogranulares con interposiciones de areniscas en la parte más alta del intervalo V, y a la derecha, interposiciones areniscas y lodolitas (intervalo X). Coordenadas de inicio: N=1280701; E=1060686 y coordenadas finales: N=1280660; E=1060770.

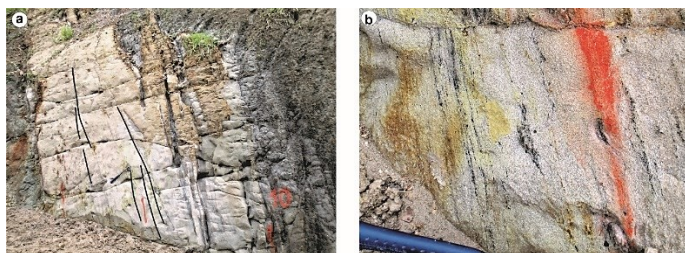


Figura 26. Estructuras internas en arenisca del intervalo J. (a) Las líneas negras representan las artesis en la arenisca. Hacia la parte alta de la capa se observan lentes de lodolita de color gris (metro 587,9 a 591,3; azimut 340°). (b) Detalle de láminas carbonosas delgadas en la arenisca (azimut 360°).

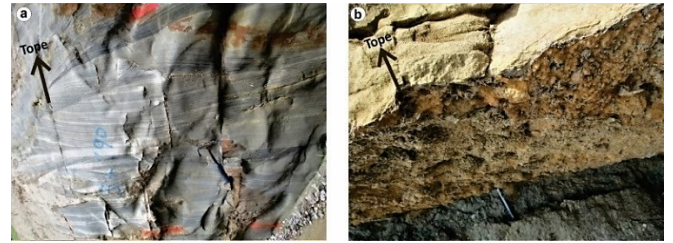


Figura 27. Intervalo M de la Formación Lisama. (a) Arenisca con estratificación cruzada en artesa (metro 696,5; azimut 325°). (b) Detalle de la arenisca con costras ferruginosas en la base de la capa (metro 694,1; azimut 345°).



Figura 28. Parte inferior del intervalo X. Interposiciones de areniscas y lodolitas. (a) Areniscas grises en capas subtabulares con interposiciones de lodolitas pardas. Geometría subtabular de areniscas. (b) Detalle de Laminación inclinada de muy bajo ángulo en las areniscas. Coordenadas de inicio: N=1280701; E=1060686



Figura 29. Lodolita y arenisca del intervalo L. (a) Areniscas en capas delgadas, macizas (localmente con laminación ondulosa), separadas por arcillolita de poco espesor (metro 690,5; azimut 320°). (b) Lodolita gris con interlaminaciones onduladas limoso-arenosas amarillentas (metro 687,3; azimut 320°).



Figura 30. Afloramiento del intervalo V. (a) Geometría cuneiforme de la capa de arenisca con contactos netos con las arcillolitas. (b) Detalle del aspecto macizo de la arenisca y de las arcillolitas. Coordenadas: N=1280701; E=1060686.

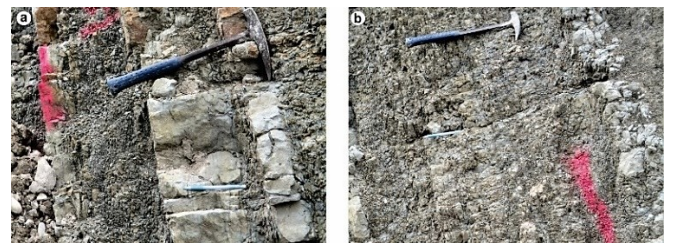


Figura 31. Limolitas y lodolitas del intervalo K. (a) Interposiciones de limolitas y lodolitas, con cemento calcáreo, en capas tabulares con laminación ondulosa (metro 614; azimut 330°). (b) Limolitas arenosas y lodolitas arenosas, con cemento calcáreo, en capas tabulares macizas (metro 615,2; azimut 330°).

4.3 Petrografía de la Formación Lisama

A continuación, se presenta una breve descripción de los resultados que arrojó el análisis petrográfico de las muestras recolectadas de la Formación Lisama. Sin embargo, el anexo 3 contiene la descripción petrográfica detallada, acompañada de cuatro tablas que incluyen las muestras recolectadas (tabla A3-1), las principales características texturales (tabla A3-2), la composición total de granos (tabla A3-3) y la clasificación textural y composicional (tablas A3-4). También hacen parte de este anexo, los diagramas de clasificación textural y composicional (figuras A3-1 y A3-2), y varias figuras descriptivas que provienen de fotografías petrográficas con nicoles paralelos y cruzados (figuras A3-3 a A3-11). El análisis petrográfico se realizó para 10 muestras de la Formación Lisama cuya posición en la columna estratigráfica se aprecia en la tabla 2.

Tabla 2. Muestras de roca para petrografía

Segmento	Identificación de la muestra	metro en la columna estratigráfica
I	PPC 327sd	62
	PPC 339sd	128,5
	PPC 340sd	154,3
	PPC 331sd	591
III	PPC 336sd	695,3
	PPC 342sd	772,8
	JRG0603sd	858
V	JRG0604sd	865,8
	JRG0606sd	954,1
	JRG0607sd	1004,2

La muestra PPC 327sd es una arenisca de grano fino y composicionalmente es una sublitoarenita con matriz arcillosa y ocasionalmente caolínica (2%), y cemento siderítico. La muestra PPC 339sd es una arenisca de grano muy fino (sublitoarenita), con matriz arcillosa (3,08%), y cemento siderítico con principios de oxidación. La muestra PPC 340sd es una arenisca de grano fino y muy fino (sublitoarenita), con matriz arcillosa y caolínica (4,33%), y cemento siderítico oxidado. La muestra PPC 331sd es una arenisca de grano fino (en menor proporción muy fino), y composicionalmente es una sublitoarenita, con matriz arcillosa (2,35%), cemento siderítico con principios de oxidación. La muestra PPC 336sd es una

arenisca de grano fino y composicionalmente es una litoarenita con matriz arcillosa (2,53%) y cemento siderítico oxidado. La muestra PPC 342sd es una arenisca limosa de grano muy fino y composicionalmente es una litoarenita con matriz arcillosa (5,49%) y cemento siderítico.

La muestra JRG0603sd corresponde a una lodolita arenosa, con laminación paralela y discontinua que se evidencia por la alternancia de láminas regulares oscuras y claras con bajo grado de bioturbación. La muestra JRG0604sd es una arenisca arcillosa (arcosa lítica), de colores gris verdoso y gris pardo claro, de grano fino (en menor proporción desde tamaño limo grueso hasta tamaño arena media), con matriz arcillosa y menor caolínica (10%), y cemento calcáreo. La muestra JRG0606sd es una arenisca arcillosa (litoarenita feldespática), ocasionalmente con cemento siderítico y calcáreo, y presenta grado de bioturbación moderado y localmente alto. La muestra JRG0607sd es una arenisca lodosa (arcosa) de grano fino, con matriz arcillosa (15%) y cemento ferruginoso, y exhibe muy alto grado de bioturbación.

4.4. Ambiente deposicional de la Formación Lisama

El estudio de la geometría de las capas, las estructuras internas y las características litológicas de las rocas de la Formación Lisama llevó a la identificación de facies sedimentarias con las cuales se interpretaron depósitos sedimentarios y ambientes deposicionales para los segmentos I, III y V de la unidad (tablas 3, 4 y 5). Una descripción amplia de las características faciales se presenta en el anexo 2, que incluye la tabla A2-1, y las figuras A2-1, A2-2, A2-3 y A2-4.

Tabla 3. Facies sedimentarias de la Formación Lisama

Litología y estructuras sedimentarias primarias	Facies
Areniscas (A), con estratificación cruzada en artesa (ca), cruzada plana (cp), inclinada plana (ip), inclinada tangencial (it), sigmoidal (s), de bajo ángulo (b), plana paralela (h), o con laminación cruzada en artesa (r), ondulosa (o), inclinada tangencial (it), plana paralela a ondulosa (ho), o macizas (m).	Aca, Acp, Aip, Ait, As, Ab, Ah, Ar, Ao, Am
Arcillolitas y lodolitas (F), arcillolitas y lodolitas arenosas (FA), arcillolitas y lodolitas carbonosas (FC), y limolitas (L), macizas (m), o con laminación ondulada u ondulosa (o), lenticular (l), plana paralela a ondulosa (ho), paralela (la), o con raíces (rz), o con estratificación lenticular (l), o paleosuelos (P).	Fm, FCm, FAm, Fo, FCo, FAo, Lo, Fl, FAl, Fho, Fla, Frz, P
Limolitas (L), y limolitas arenosas (LA), con laminación ondulosa (o), laminación inclinada tangencial (it), laminación plana paralela a ondulosa (ho), o macizas (m).	Lo, LAo, LAit, Lho, Lm

La interpretación de depósitos sedimentarios incluye (ver figura 32):

1) Barras de ríos trenzados arenosos formadas por la migración de dunas subacuosas de cresta recta o de cresta sinuosa y barras de ríos meandriformes conocidas como barras de meandro o laterales, generadas por acreción lateral.

2) Depósitos de rebosamiento denominados albardones (o diques naturales), barras de canal menor de ruptura y lodos de desbordamiento. Los albardones se caracterizan por ser depósitos en forma tabular o que se adelgazan hasta desaparecer, generados por la migración de ondulitas de arena fina y limo. Las barras de canales menores de ruptura son cuerpos arenosos acompañados por partículas de tamaño grava, como respuesta a la migración de *ripples* en corrientes de poca anchura y profundidad, tras el rompimiento de los bancos de los canales y flujo hacia la llanura de inundación. Los lodos de desbordamiento se acumulan en las zonas adyacentes a los ríos trenzados o meandriformes, cuando el flujo contenido en ellos sobrepasa sus orillas; cuando los flujos son de tipo creciente, resultan en acumulaciones rápidas de litologías finas, como arcillas y lodos de aspecto macizo, y cuando los flujos son de tipo menguante (en las etapas finales de las inundaciones), resultan en acumulaciones lentas de arcillas o lodos laminados o con lentes de limo o arena.

3) Finos de llanuras de inundación que son depósitos de gran espesor de grano fino, de baja densidad, en áreas no confinadas (casi planas y horizontales), lejanas de los cauces de los ríos, cuyo mecanismo de transporte es por flujos de agua laminares, que cuando son hiperconcentrados, por eventos torrenciales, resultan en la deposición arcillas arenosas y lodos arenosos, macizos. Si en estos depósitos ocurre descomposición de restos orgánicos se pueden generar niveles ricos en materia orgánica.

4) Lóbulo de ruptura por encima del banco de un río meandriforme, caracterizado por ser un cuerpo cónico arenoso, granocreciente.

5) Rellenos de canales menores que son depósitos arenosos con geometría cóncava cuyo mecanismo de acumulación es por migración de *ripples* y por decantación en corrientes de poca profundidad y anchura.

El ambiente de depósito de la Formación Lisama es una zona continental que, por su deposición extensiva de materiales aluviales, principalmente aquellos que resultan de inundaciones laminares no confinadas, fue de bajo relieve y estuvo surcada por canales fluviales. Esta zona se conoce como planicie aluvial (figura 32).

En este tipo de ambientes, la presencia de capas calcáreas sugiere el desarrollo de carbonatos pedogénicos en llanuras de inundación expuestas, durante largos períodos (de miles de años), a procesos de meteorización superficial. La infiltración de la lluvia disuelve iones hacia abajo (eluviación), mientras que la evaporación y la capilaridad del agua subterránea durante

períodos áridos concentra los mismos iones cerca de la superficie. El resultado es un desarrollo gradual de cemento carbonático que coalesce en nódulos y en sustratos carbonáticos más o menos continuos (cf. López et al., 2008, p. 139).

La ocurrencia de estructuras biogénicas horizontales y verticales se relacionan con estructuras de alimentación y de domicilio, respectivamente, ya sea por organismos vertebrados o invertebrados, y sugieren su desarrollo en ambientes de baja energía y son características de sustratos subaéreos con inundaciones periódicas, así como sedimentos subacuosos con emersiones ocasionales; apuntando a planicies fluviales de inundación (cf. Ponce et al., 2018, pp. 112-113).

Tabla 4. Códigos de facies e interpretación ambiental del segmento I de la Formación Lisama

Intervalo	Facies	Depósito sedimentario	Ambiente
H	Fm, FAm, Fo	Finos de llanura de inundación	Planicie aluvial
	Fo, Fl, FAI, FAo	Lodos de desbordamiento	
G	Ao, Ar, Am, Lo	Albardones	Ríos trenzados arenosos y planicie aluvial
	Aca, Am	Dunas subacuosas de cresta sinuosa	
F	Fm, Fo	Lodos de desbordamiento	Planicie aluvial
	Lm, Lo	Albardones	
	Fho	Lodos de desbordamiento	
E	Ar	Barra de canal menor de ruptura	Ríos trenzados arenosos y planicie aluvial
	Ao, Lho	Albardones	
	Aip	Dunas subacuosas de cresta recta	
	Aca, Ait	Dunas subacuosas de cresta sinuosa	
D	Fm	Lodos de desbordamiento	Planicie aluvial y ríos meandriformes
	As	Barras de meandro	
	Lo, Fm, FAm,	Finos de llanura de inundación	
C	Fo, Fl	Lodos de desbordamiento	Ríos trenzados arenosos y planicie aluvial
	Ao, Am, LAo, Lo	Albardones	
	Fm	Finos de llanura de inundación	
	Aca	Dunas subacuosas de cresta sinuosa	
	Aip	Dunas subacuosas de cresta recta	
B	FCm, Fm	Finos de llanura de inundación	Planicie aluvial
	Fo, Fl, Fm	Lodos de desbordamiento	
A	Aca	Dunas subacuosas de cresta sinuosa	Ríos trenzados arenosos y planicie aluvial
	Ao, Ar	Albardones	
	Acp, Am	Dunas subacuosas de cresta recta	

Tabla 5. Facies e interpretación ambiental de los segmentos III y V de la Formación Lisama

Intervalo	Facies	Depósito sedimentario	Ambiente
X	Am	Albardones	Planicie aluvial con canales sinuosos
	Fm, Frz	Lodos de desbordamiento	
	Am, Fm, Frz, Fo, P	Finos de llanura de inundación	
	Ab, Ao, Aip, Aca, Am, Fo	Barras de meandro	
W	Fm, Frz, P	Finos de llanura de inundación	Planicie aluvial
V	Fo, Fm, Frz	Finos de llanura de inundación	Planicie aluvial con canales menores
	Fla, Fm	Lodos de desbordamiento	
	Ao, Am, Ah	Albardones	
U	Fm, Frz, P	Finos de llanura de inundación	Planicie aluvial
S	Frz, Fo	Finos de llanura de inundación	
R	Frz, Fo	Lodos de desbordamiento	Planicie aluvial con canales menores
	Fo, Fm	Finos de llanura de inundación	
	Am, Ab, Aca	Canales menores	
	Fm, Fo	Finos de llanura de inundación	
P	Fm, FAm	Lodos de desbordamiento	Planicie aluvial
	LAo, Ao, Lm	Albardones	
	FAm, Fm, FCo	Finos de llanura de inundación	
N	FAm, Fm	Finos de llanura de inundación	Planicie aluvial
	Lm	Albardones	
	Fm, FAm	Lodos de desbordamiento	
M	Fm	Finos de llanura de inundación	Planicie aluvial y ríos meandriformes
	Lo, Ao, Lm	Albardones	
	Fm, FAm, FCo	Lodos de desbordamiento	
	Aca	Barras de meandro	
L	Fo, Fm, FAm, FCo	Lodos de desbordamiento	Planicie aluvial
	Fm	Finos de llanura de inundación	
	Lo, Lm, Am, Ao	Albardones	
K	Fm	Finos de llanura de inundación	Planicie aluvial
	Fo, Fm, FAo, FAm, Fl	Lodos de desbordamiento	
	Ao, Am, Lo, LAo	Albardones	
	Fm	Finos de llanura de inundación	
J	Ait	Lóbulo de ruptura	Planicie aluvial y ríos meandriformes
	Aca	Barras de meandro	
	Fm, Fl, Fo, FAm	Lodos de desbordamiento	
	Ao, LAit	Albardones	
	Fm	Finos de llanura de inundación	
I	Fm	Finos de llanura de inundación	Planicie aluvial

5. DISCUSIÓN

La integración del levantamiento estratigráfico y de la fotointerpretación del área estudiada resultó en un mapa geológico mejorado comparado con las cartografías geológicas existentes. Particularmente en el flanco occidental del SNM, se determina que la Formación Lisama (Paleoceno) es la unidad estratigráfica más antigua expuesta sobre la carretera Ruta del Cacao y no la Formación Umir (Cretácico Superior) como aparece en otras cartografías. Sumado a esto, la escala detallada de la interpretación fotogeológica agrega detalles estructurales nuevos.

Para la Formación Lisama diversos autores han propuesto ambientes de depósito de llanura deltaica, llanura costera y planicie aluvial en el VMM, por ejemplo, Taborda (1965, p. 135), Sarmiento (2001, fig. 2.7, p. 19), Cáceres et al. (2005, p. 35), Gómez et al. (2005, p. 552), Caballero et al. (2010, p. 70), Sarmiento (2011, fig. 12, p. 37), Moreno et al. (2011, p. 249), y Montaña et al. (2016, pp. 51, 61 y 68).

Gómez et al. (2005), con base en una columna estratigráfica de 1225 m de la Formación Lisama localizada en el flanco E del SNM, afirman que registra una sedimentación regresiva a partir del Cretácico (Formación Umir), debido al cambio observado hacia depósitos marinos someros de planicies deltaicas y aluviales, y describen areniscas de canales meandriformes, depósitos de desborde, y áreas pantanosas restringidas y pobremente drenadas.

Caballero et al. (2010), con base en una columna estratigráfica de aproximadamente 783 m, localizada en el flanco W del SNM, vía a Barrancabermeja Campo Lisama, interpretan para la Formación Lisama ambientes continentales o deltaicos aluviales. Moreno et al. (2011), interpretan depósitos de frente deltaico a pendiente deltaica de un delta dominado por olas, incluyendo barras de desembocadura de distributarios, y de planicie deltaica subaérea, incluyendo canales distributarios, con base en una columna estratigráfica de aproximadamente 1208 m, localizada en el flanco E del SNM, sobre el río Sogamoso (carretera Barrancabermeja-Bucaramanga).

Las descripciones litológicas de la Formación Lisama, realizadas en este trabajo, no infieren para los metros inferiores rocas asociadas a depósitos de planicie deltaica, frente deltaico y pendiente deltaica de la parte basal de la sucesión (Gómez et al., 2005; Caballero et al., 2010; Moreno et al., 2011).

El registro sedimentario de tales depósitos probablemente corresponda a los 60 a 80 metros inferiores que faltan de la unidad debido al corte de la Falla La Salina que afecta el flanco occidental del SNM, tal como lo refleja el mapa fotogeológico.

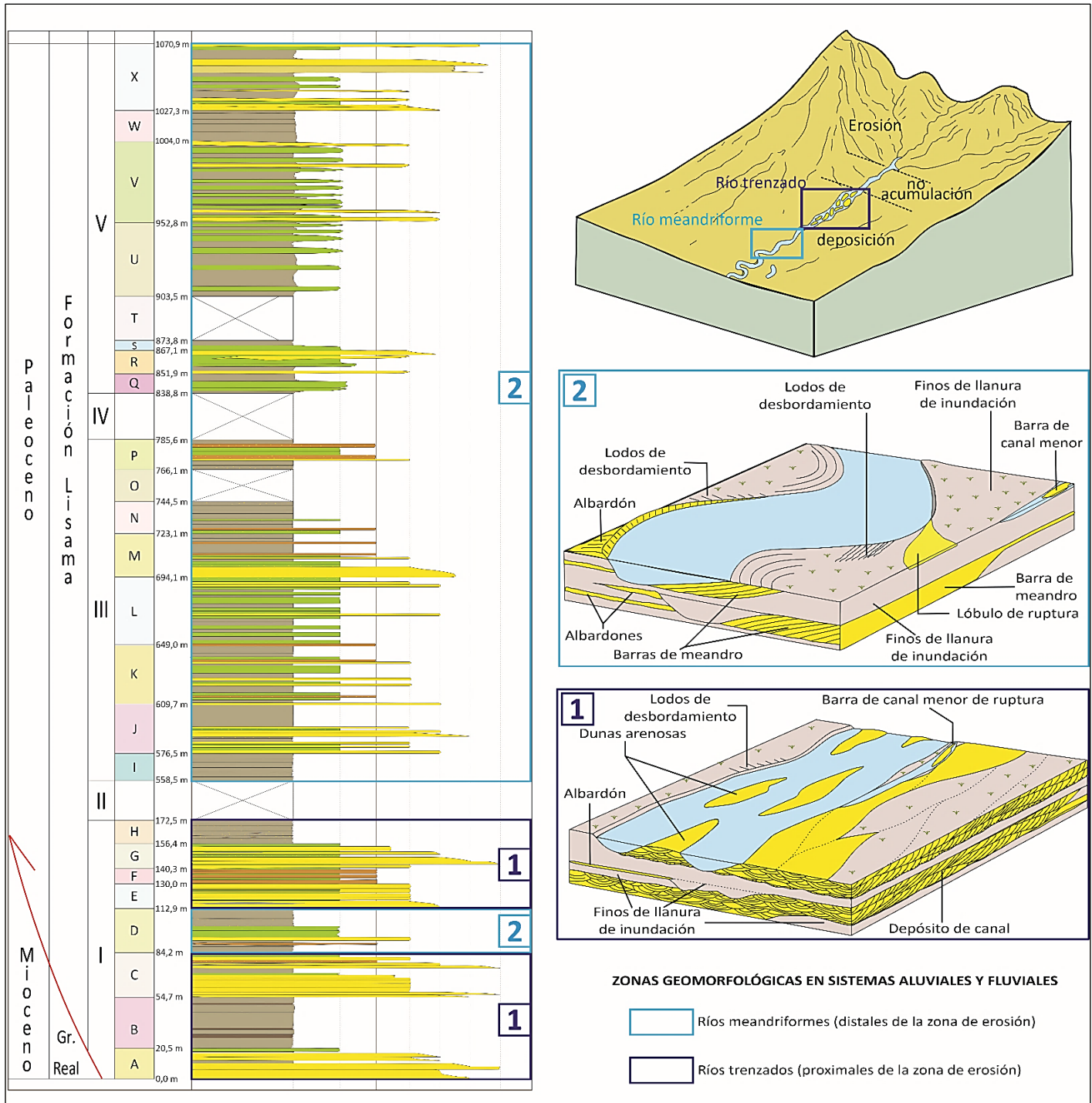


Figura 32. Modelo de ambiente de depósito para la Formación Lisama. Planicie aluvial con ríos trenzados arenosos y meandriformes (0-172,5m). Planicie aluvial con ríos meandriformes (558,5-785,6m y 838,8-1070,9m). Fuente: las figuras de la derecha son redibujadas y modificadas de Nichols (2009, figs. 9.1, 9.4 y 9.11).

Para la sucesión estudiada se interpretan ambientes de planicies aluviales, surcadas por ríos trenzados arenosos y meandriformes, y por canales menores de poca profundidad y anchura, concordando con los ambientes descritos por Gómez et al. (2005), Caballero et al. (2010), y Moreno et al. (2011).

Autores, como Bridge y Leeder (1979, en Nichols 2009, p. 140), han señalado que, con subsidencia rápida y alto suministro

de sedimentos, la agradación sobre una llanura de inundación resultará en una alta proporción de depósitos finos, y que, en regiones de subsidencia lenta y reducido suministro de sedimentos a las áreas de inundación, se preservarán más depósitos de canal. De acuerdo a esto, los depósitos de la Formación Lisama estuvieron determinados por subsidencia rápida y alto suministro de sedimentos a las áreas de inundación,

siendo esta subsidencia relativamente menos rápida y el suministro de sedimentos relativamente menos alto, durante la generación de la parte inferior de la unidad, en donde es evidente mayor preservación de depósitos de canal.

La figura 33 corresponde a diagramas de barras de las muestras de areniscas de la Formación Lisama, sólo en función de los contenidos de cuarzos en las fracciones más finas (desde 0,25mm hasta 0,0625mm), teniendo en cuenta que los tamaños de los cuarzos en las muestras de la Formación Lisama, son casi absolutamente arena fina y muy fina, salvo por escasos cuarzos tamaño arena media que no son representativos.

Con base en la comparación con el método de análisis de procedencia de arenas propuesto por Tortosa et al. (1988), mostrado en la figura 34 y en las cantidades relativas de cuarzos monocristalinos con extinción paralela de los segmentos I y III de la Formación Lisama (muestras PPC 327sd, PPC 339sd, PPC 340sd, PPC 331sd, PPC 336sd y PPC 342sd), y de cuarzos monocristalinos con extinción ondulante del segmento V de esta formación (muestras JRG0604sd, JRG0606sd y JRG0607sd), suponemos que, respectivamente, neises y granitos pudieron ser rocas fuente de detritos.

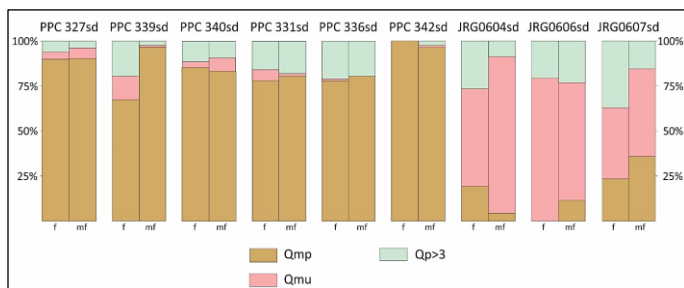


Figura 33. Diagramas de barras de las muestras de areniscas de la Formación Lisama . Qmp (cuarzos monocristalinos con extinción paralela o recta); Qmu (cuarzos monocristalinos con extinción ondulante); Qp>3 (cuarzos policristalinos con más de tres unidades cristalinas); f (cuarzos finos); mf (cuarzos muy finos). Nótese que no se identificaron cuarzos policristalinos con dos o tres unidades cristalinas en estas muestras.

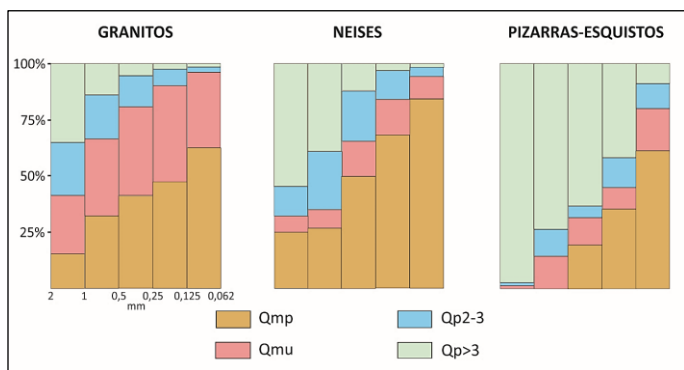


Figura 34. Modelo del porcentaje relativo de cuatro tipos de granos de cuarzo en arenas versus tamaño de grano. Qmp (cuarzos monocristalinos con extinción paralela o recta); Qmu (cuarzos monocristalinos con extinción ondulante); Qp2-3 (cuarzos policristalinos con dos o tres unidades cristalinas); Qp>3 (cuarzos policristalinos con más de tres unidades cristalinas). Fuente: diagrama tomado de Tortosa et al. (1988, 1991).

En consecuencia, incluimos neises en la lista de rocas fuente de detritos de la Formación Lisama, la cual incluye vulcanitas, esquistos, rocas plutónicas (ricas en feldespato), y rocas sedimentarias (cherts), de acuerdo con nuestras observaciones en secciones delgadas (ver anexo 3).

Los tipos de roca sugeridos en este trabajo como fuente de detritos para las muestras de areniscas de la Formación Lisama, apuntan principalmente a rocas similares a las expuestas en la cordillera Central (al occidente del SNM). Otros autores han propuesto como áreas tectónicas de procedencia para esta formación, a la cordillera Central (Hathon y Espejo, 1997 en Sarmiento, 2001; Gómez et al., 2005; Nie et al., 2010; Caballero et al., 2010; Moreno et al., 2011; Nie et al., 2012; Caballero et al., 2013), situada al occidente del SNM, al cratón Amazónico (Nie et al., 2010; Nie et al., 2012), situado al oriente del SNM, y a la cordillera Oriental (Caballero et al., 2013), situada al oriente del SNM.

Se hace la precisión de que el cratón Amazónico fue determinado, por otros autores, como área fuente de sedimentos para la parte inferior de la Formación Lisama (en el flanco oriental del SNM), con base en edades proterozoicas U-Pb de circones detríticos. En este trabajo la sección estratigráfica estudiada no tiene registro litológico de parte inferior de la unidad y, por supuesto, la falta de muestras petrográficas de afloramiento hace imposible confirmar la procedencia de detritos desde el cratón.

En un estudio de procedencia hecho por Valencia-Gómez et al. (2020), para la Formación Cimarrona del Cretácico Superior en el VMM, se excluye al chert como indicador de área de procedencia por su ambigüedad geográfica, debido a que, como mencionan estos autores, está ampliamente distribuido en el registro del Cretácico Superior de la cordillera Oriental y valle del Magdalena (según Villamil, 1999), y también es común encontrarlo en secuencias del Cretácico en la cordillera Central (según Cardona et al., 2020). Sin embargo, si estos granos de chert fueron desprendidos de la cordillera Oriental, las Formaciones Galembó y La Renta son buenas opciones como unidades estratigráficas fuente de chert. Estos nombres estratigráficos fueron propuestos formalmente, por Terraza-Melo (2019), para redefinir a la Formación La Luna.

6. CONCLUSIONES

El levantamiento y análisis estratigráfico de la Formación Lisama (Paleoceno), y la elaboración de la fotogeología en el sector de La Fortuna (Barrancabermeja, Santander), resultó en una cartografía geológica refinada local del flanco occidental del SNM. Esta versión cartográfica incluye además a las Formaciones Umir (Cretácico superior), La Paz (Eoceno medio a

tardío) y Mugrosa (Oligoceno), al Grupo (o Formación) Real (Mioceno), y a depósitos cuaternarios de terraza y aluviales.

La información sobre los medios de depósito de la Formación Lisama (planicie aluvial con ríos trenzados arenosos y meandriformes, y canales menores), en el sector de La Fortuna (Barrancabermeja, Santander), se constituye en un aporte importante al conocimiento estratigráfico del flanco occidental del SNM.

La comprobación de que la Formación Lisama del Paleoceno es la unidad estratigráfica más antigua expuesta sobre la carretera Ruta del Cacao, en el flanco occidental del SNM, y el reconocimiento de las relaciones de contacto entre esta unidad y la Formación La Paz, y con unidades más antiguas y más jóvenes, modifica localmente la configuración estructural de la zona.

MATERIAL SUPLEMENTARIO

Anexo 1. Método de descripción de la Formación Lisama

Anexo 2. Descripción estratigráfica de la Formación Lisama

Anexo 3. Petrografía de la Formación Lisama

FINANCIAMIENTO

Este artículo fue financiado por el proyecto “Estratigrafía del Cretácico, Jura-Triásico y Paleozoico parte central Cordillera Central y Cordillera Oriental” (código 1000578) del Grupo de Estratigrafía de la Dirección de Geociencias Básicas del Servicio Geológico Colombiano.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses financieros o relaciones personales que puedan haber influido en el trabajo reportado en este artículo.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección de Geociencias Básicas del SGC, especialmente al entonces director Alberto Ochoa, por su apoyo al grupo de trabajo; Diana Montoya por vincularnos durante tantos años al Grupo de Estratigrafía y por la valiosa contribución en temas estratigráficos y de redacción; José Buitrago por compartirnos sus enormes conocimientos en el análisis de procedencia sedimentaria; Yanneth Montaña por su trabajo gráfico en productos de cartografía; José Gilberto Bermúdez, Angela Rincón y Carlos Tumay, por su compromiso en la administración de la sala de petrografía de la Dirección de Geociencias Básicas del SGC y a los funcionarios de la Dirección de Laboratorios del Servicio Geológico Colombiano por la elaboración de las secciones delgadas.

REFERENCIAS

- Boggs, S. (2006). Principles of Sedimentology and Stratigraphy (4^a ed.). Pearson Prentice Hall. http://www.science.earthjays.com/instruction/HSU/2015_fall/GEOL_332/SedimentologyStratigraphy4e.pdf
- Caballero, V. M. (2010). Evolución tectono-sedimentaria del sinclinal de Nuevo Mundo, cuenca sedimentaria Valle Medio del Magdalena Colombia, durante el Oligoceno – Mioceno (tesis de maestría). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Caballero, V., Parra, M. y Mora Bohórquez, A. R. (2010). Levantamiento de la cordillera Oriental de Colombia durante el Eoceno tardío – Oligoceno temprano: Proveniencia sedimentaria en el sinclinal de Nuevo Mundo, cuenca del Valle Medio del Magdalena. Boletín de Geología, 32(1), 45-77. <http://ref.scielo.org/q3vjtb>
- Caballero, V., Mora, A., Quintero, I., Blanco, V., Parra, M., Rojas, L., E., López, C., Sánchez, N., Horton, B. K., Stockli, D. y Duddy, I. (2013). Tectonic controls on sedimentation in an intermontane hinterland basin adjacent to inversion structures: The Nuevo Mundo syncline, Middle Magdalena Valley, Thick-Skin-Dominated Orogens: From Initial Inversion to Full Accretion (377, pp. 315-342). Geological Society of London. <https://doi.org/10.1144/SP377.12>
- Caballero, V., Rodríguez, G., Naranjo, J., Mora, A. y De La Parra, F. (2020). From facies analysis, stratigraphic surfaces, and depositional sequences to stratigraphic traps in the Eocene – Oligocene record of the southern Llanos basin and northern Magdalena basin. En Gómez, J. y Mateus D. (Eds.), The Geology of Colombia, (vol. 3, pp. 283–330). Servicio Geológico Colombiano. <https://doi.org/10.32685/pub.esp.37.2019.10>
- Cáceres, C., Cediell, F. y Etayo, F. (2003). Guía introductoria de la distribución de facies sedimentarias de Colombia: Mapas de distribución de facies sedimentarias y armazón tectónico de Colombia a través del Proterozoico y del Fanerozoico. Ingeominas.
- Cohen, K.M., Finney, S. y Gibbard, P.L. (2013). ICS International Chronostratigraphic Chart.
- De Porta, J. (1974). Lexique Stratigraphique International (vol. 5, Fascículo 4b). Centre National de la Recherche Scientifique.
- Fonseca, H., Fuquen, J., Mesa, L., Talero, C., Pérez, O., Porras, J., Gavidia, O., Pacheco, S., Amaya, E., García, Y. y Farfán, E. (2012). Cartografía geológica de la plancha 108 – “Puerto Wilches”. Servicio Geológico Colombiano y Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Gómez, E., Jordan, T., Allmendinger, R., Hegarty, K. y Kelley, S. (2005). Syntectonic Cenozoic sedimentation in the

- northern Middle Magdalena Valley basin of Colombia and implications for exhumation of the Northern Andes. *GSA Bulletin*, 117 (5-6), 547-569. <https://doi.org/10.1130/B25454.1>
- Gómez, J. y Montes, N., compiladores (2020). Mapa geológico de Colombia 2020. Escala 1:1.000.000. Servicio Geológico Colombiano.
- Gómez, J., Montes, N.E. y Marín, E., compiladores (2023). Mapa Geológico de Colombia 2023. Escala 1:1.500.000. Servicio Geológico Colombiano.
- Gómez, L., Patiño, A., Renzoni, G., Beltrán, A., Quintero, C. y Manrique, M. (2008). Cartografía geológica y muestreo geoquímico escala 1:100.000 de la plancha 119 – Barrancabermeja VMM. Ingeominas – GRP Ltda.
- GRP Ltda. (2008). Geología de la plancha 119 Barrancabermeja. Escala 1:100.000. Ingeominas.
- Irving, E., Suescún, D. y Giraldo de Cuervo, D. (1967). Geología del cuadrángulo H-11 Barrancabermeja. Escala 1:200.000. Ingeominas.
- López, M., Moreno, M., Bedoya, E., Castaño, D., Cifuentes, P., Giraldo, D., ... y Toro, L. (2008). Estratigrafía de la Formación La Paila, un Potencial Reservorio de Hidrocarburos en la Cuenca Cauca – Patía. Informe técnico ANH – Universidad de Caldas, 1-319. <https://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Tesis/Estratigrafia%20Formacion%20La%20Paila.pdf>
- Montaño, P., Nova, G., Bayona, G., Mahecha, H., Ayala, C., Jaramillo, C. y De la Parra, F. (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. <http://dx.doi.org/10.18273/revbol.v38n1-2016003>
- Morales, L.G. y The Colombian Petroleum Industry (1958). General geology and oil occurrences of Middle Magdalena Valley, Colombia. En Weeks G. (Ed.), *Habitat of oil. A symposium; conducted by The American Association of Petroleum Geologists, Special Publication 18. The American Association Petroleum Geologists, Tulsa*. <https://doi.org/10.1306/SV18350>
- Moreno-Sánchez, G. (2019). Mapa geológico del Valle Medio del Magdalena en los alrededores del puente El Tablazo, departamento de Santander. En *Estudios geológicos y paleontológicos sobre el Cretácico en la región del embalse del río Sogamoso, Valle Medio del Magdalena, dirección científica y edición de Fernando Etayo-Serna. Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia vol. XXIII*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- Moreno, C. J., Horton, B. K., Caballero, V., Mora, A., Parra, M. y Sierra, J. (2011). Depositional and provenance record of the Paleogene transition from foreland to hinterland basin evolution during Andean orogenesis, northern Middle Magdalena Valley basin, Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 32(3), 246–263. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2011.03.018>
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy* (2.^a ed.). Wiley-Blackwell. <https://raregeologybooks.files.wordpress.com/2014/09/sedimentology-and-stratigraphy-by-gary-nichols.pdf>
- Nie, J., Horton, B. K., Mora, A., Saylor, J. E., Housh, T. B., Rubiano, J. & Naranjo, J. (2010). Tracking exhumation of Andean ranges bounding the Middle Magdalena Valley basin, Colombia. *Geological Society of America*, 38(5), 451–454. <https://doi.org/10.1130/G30775.1>
- Nie, J., Horton, B. K., Saylor, J. E., Mora, A., Mange, M., Garzzone, C. N., Basu, A., Moreno, C. J., Caballero, V. y Parra, M. (2012). Integrated provenance analysis of a convergent retroarc foreland system: U-Pb ages, heavy minerals, Nd isotopes, and sandstone compositions of the Middle Magdalena Valley basin, Colombia. *Earth-Sciences Reviews*, 110, 111–126. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.11.002>
- Pardo-Trujillo, A. y Roche, E. (2009). Paleocene-Eocene palynology and palynofacies from northeastern Colombia and western Venezuela. Bogotá: Universidad de Caldas. <http://iies.edu.co/sites/default/files/pdf-publicaciones/Paleocene-Eocene%20Palynology%20and%20Palynofacies%20from%20Northeastern%20Colombia%20and%20Western%20Venezuela.pdf>
- Pardo-Trujillo, A., Oboh-Ikuenobe, F., y Jaramillo, C. (2003). Paleogene palynostratigraphy of the eastern Middle Magdalena Valley, Colombia. *Palinology*, 27, 155-178.
- Ponce, J.J., Montagna, Carmona, N. y Montagna, A.O. (2018). Atlas de estructuras sedimentarias inorgánicas y biogénicas: descripción, análisis e interpretación a partir de afloramientos, testigos corona y registros de imágenes de pozo (1ª edición). Fundación YPF. <https://universidadsteam.fundacionypf.org/Documentos/ATLAS-ESTRUC-SEDIM-INORGANICAS-BIOGENICAS-.pdf>
- Sarmiento Rojas, L. F. (2001). Mesozoic rifting and Cenozoic basin inversion - History of the Eastern Cordillera, Colombian

- Andes. Inferences from tectonic models. Netherlands Research School of Sedimentary Geology (NSG).
- Sarmiento, L. (2011). Middle Magdalena Basin. En F. Cediél y G. Ojeda (Eds.). Petroleum geology of Colombia (11). Agencia Nacional de Hidrocarburos. https://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Metodos-de-Visualizacion/PETROLEUM%20GEOLOGY%20OF%20COLOMBIA/VOLUMEN_11_MIDDLE-MAGDALENA_BASIN.pdf
- Sarmiento, G., Puentes, J. y Sierra, C. (2015). Evolución geológica y estratigrafía del sector norte del Valle Medio del Magdalena. *Geología Norandina*, 12, 51-82.
- Taborda, B. (1965). Guidebook to the Geology of the Mares Concession. Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysicists.
- Terraza-Melo, R. (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.
- Tortosa, A., Palomares, M. y Arribas, J. (1988). Tipologías de cuarzo como indicadores de la procedencia en areniscas: excepciones al método de Basu et al. (1975). *Estudios geol.*, 44, pp. 385-390. https://www.researchgate.net/publication/26581098_Tipologias_de_cuarzo_como_indicadores_de_la_procedencia_en_areniscas_excepciones_al_metodo_de_Basu_et_al_1975/fulltext/00b0ffa60cf2d1b855031a40/Tipologias-de-cuarzo-como-indicadores-de-la-procedencia-en-areniscas-excepciones-al-metodo-de-Basu-et-al-1975.pdf
- Tortosa, A., Palomares, M. y Arribas, J. (1991). Quartz grain types in Holocene deposits from the Spanish Central System: some problems in provenance analysis. *Geological Society, Special Publication*, 57(1), pp. 47-54. [http://recordcenter.sgc.gov.co/B23/662_19MemExPI_373_Las_Acacias/Documento/pdf/Anexo1_InveRecoBibl/Tortosa%20et%20al.%20\(1991\).%20Quartz%20grain%20types%20in%20Holocene%20deposits%20from%20the%20Spanish%20Central%20System.pdf](http://recordcenter.sgc.gov.co/B23/662_19MemExPI_373_Las_Acacias/Documento/pdf/Anexo1_InveRecoBibl/Tortosa%20et%20al.%20(1991).%20Quartz%20grain%20types%20in%20Holocene%20deposits%20from%20the%20Spanish%20Central%20System.pdf)
- UPTC (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia). (2012). Geología de la plancha 108 Puerto Wilches. Escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano.
- Valencia-Gómez, J.C., Cardona, A., Bayona, G., Valencia, V. y Zapata, S. (2020). Análisis de procedencia del registro sin-orogénico Maastrichtiano de la Formación Cimarrona, flanco occidental de la Cordillera Oriental colombiana. *Boletín de Geología*, 42(3), 171-204. <https://doi.org/10.18273/revbol.v42n3-2020008>
- Van der Hammen, T. (1954). El desarrollo de la flora colombiana en los periodos geológicos. *Boletín Geológico*, 2(1), 49-106.
- Van Der Hammen, T. (1960). Estratigrafía del terciario y maestrichtiano continentales y tectogénesis de los Andes colombianos. *Boletín geológico*, 6(1-3), 67-128.
- Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, J. y Restrepo, H. (1973). Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona departamento de Santander. *Boletín Geológico*, 21(1-3). 1-134.
- Ward, D., Goldsmith, R., Jimeno, A., Cruz, J., Restrepo, H. y Gómez E. (1977). Geología de la plancha 109 Rionegro. Escala 1:100.000. Ingeominas.
- Ward, D., Goldsmith, R., Jimeno, A., Cruz, J., Restrepo, H. y Gómez, E. (1977). Geología de la plancha 120 Bucaramanga. Escala 1:100.000. Ingeominas