
Características sedimentológicas y ambiente depositacional de las rocas aflorantes en la sección estratigráfica a escala 1: 100 de la Formación La Luna, en el sector del Cementerio en el municipio de Gramalote, Norte de Santander.

Sedimentological characteristics and depositional environment of the outcropping rocks in the stratigraphic section at a scale of 1:100 of the La Luna Formation, in the Cemetery sector in the municipality of Gramalote, Norte de Santander.

Jose Julian Monsalve Ropero ^a; Yuliana Paola Patiño Caicedo ^b

^a Facultad de Ciencias Básica; Universidad de Pamplona; Colombia. E-mail: jose.monsalve2@unipamplona.edu.co

^b Facultad de Ciencias Básicas Universidad de Pamplona; Colombia E-mail: yuliana.patino@unipamplona.edu.co

Correspondencia: autorresponsable@unipamplona.edu.co

Resumen

En el municipio de Gramalote, Norte de Santander, más específicamente en el sector del Cementerio, se determinaron las características sedimentológicas y el ambiente depositacional de las rocas aflorantes en la sección estratigráfica a escala 1:100 de la Formación La Luna. Para ello, se realizó una cartografía a escala 1:10.000 con el fin de delimitar la base y el techo de la sección levantada, utilizando tanto el método de poligonales abiertas como el método de bastoneo. Las muestras in situ fueron analizadas bajo la lupa estereoscópica, obteniendo información detallada de la mineralogía, contenido fósil y estructuras internas. Este estudio analiza y determina el ambiente depositacional, que varía desde una plataforma restringida tipo VIII hasta una plataforma abierta tipo VII, y desde una plataforma talud SS tipo IV hacia zonas más profundas de la cuenca, según el modelo estándar de Wilson (1975), estas características faciales revelan la predominancia de componentes carbonáticos, principalmente rocas calizas, junto con materiales detríticos y fosfáticos, estos materiales detríticos, indicativos de aguas tranquilas y de baja energía, sugieren una deposición en un ambiente de bajo aporte de material terrígeno en el miembro La Aguada, la sedimentación lenta permitió la preservación de sedimentos finos, mientras que la presencia de esparita en los sedimentos de fondo sugiere un predominio de material calcáreo.

Durante la sedimentación de los miembros Chejendé y Tímbetes, se encontraron intraclastos de chert transportados desde zonas más profundas por corrientes de surgencia; En el miembro Tímbetes, la presencia de granos rómbicos y euhedrales en rocas calizas fosfáticas sugiere un proceso incipiente de dolomitización, reflejando así un proceso diagenético moderado, este miembro muestra la mayor concentración de fosfatos debido a la alta productividad biológica, las condiciones anóxicas o subóxicas y la alta solubilidad del fosfato en el ambiente marino profundo; finalmente, en el miembro Ftanita del Táchira, las características faciales sugieren una sedimentación en un ambiente transicional, hemipelágica a pelágica. Esta sedimentación anóxica en la parte basal del miembro Ftanita del Táchira pudo haber sido modificada por condiciones paleoceanográficas que permitieron la circulación y sedimentación de chert característico de este miembro.

Palabras clave: Estratigrafía, facies, ambiente, depositacional.

Abstract

In the municipality of Gramalote, Norte de Santander, more specifically in the Cemetery sector, the sedimentological characteristics and depositional environment of the outcropping rocks in the 1:100 scale stratigraphic section of the La Luna Formation were determined. For this purpose, a 1:10,000 scale mapping was carried out in order to delimit the base and top of the surveyed section, using both the open polygonal method and the swabbing method. The in situ samples were analyzed under stereoscopic magnification, obtaining detailed information on mineralogy, fossil content and internal structures. This study analyzes the depositional environment, which varies from a restricted platform type VIII to an open platform type VII, and from a SS slope platform type IV to deeper areas of the basin, the analysis of the facies characteristics reveals the predominance of carbonatic components, mainly limestone rocks, together with detrital and phosphate materials, these detrital materials, indicative of calm and low energy waters, suggest a deposition in an environment of low input of terrigenous material in the La Aguada member, slow sedimentation allowed the preservation of fine sediments, while the presence of sparite in the bottom sediments suggests a predominance of calcareous material.

During sedimentation of the Chejendé and Tímbetes members, chert intraclasts transported from deeper areas by upwelling currents were found; In the Tímbetes member, the presence of rhombic and euhedral grains in phosphatic limestone rocks suggests an incipient dolomitization process, thus reflecting a moderate diagenetic process, this member shows the highest phosphate concentration due to high biological productivity, anoxic or suboxic conditions and high phosphate solubility in the deep marine environment; finally, in the Ftanita del Táchira member, the facial characteristics suggest sedimentation in a transitional, hemipelagic to pelagic environment. This anoxic sedimentation in the basal part of the Ftanita del Táchira member may have been modified by paleoceanographic conditions that allowed the circulation and sedimentation of chert characteristic of this member.

Keywords: Stratigraphic, Facies, environment, depositional.

1. INTRODUCCIÓN

El inicio de las rocas sedimentarias que constituyen la Formación La Luna ocurrió durante un periodo donde se producen transgresiones marinas significativas que resulta en la predominancia de ambientes oceánicos; lo que hace considerar esta unidad rica en componentes carbonáticos y fosfáticos, fundamental para el análisis, la caracterización de estudios sedimentológicos e incluso elucidar el ambiente interpretado por las facies y su comparación con el auge en la concentración de materia orgánica.

Diferentes autores en el marco de la exploración geológica durante décadas, han descrito y analizado la Formación La Luna como un hito determinante para la interpretación de diferentes características geológicas tanto en interés económico como en estudios paleogeográficos [1][2], el cual puede ser de gran acierto a la hora de determinar su origen y su relación, estableciendo así una línea base a partir de un análisis bibliográfico general para comprender una zonificación detallada del área.

En el desarrollo de este ejercicio, con base a la falta de información sobre la generalización de esta formación y sus miembros, se propone la caracterización macroscópica y facial de la Formación La Luna, sugiriendo el ambiente depositacional de las rocas aflorantes en la sección estratigráfica a escala 1:100 y su ubicación espacio temporal por medio de la cartografía a escala 1:10.000 en el sector del Cementerio del Municipio de Gramalote, Norte de Santander; correspondientes a sus 4 miembros principales: La Aguada, Chejendé, Tímbetes y Ftanita del Táchira; así mismo relacionar estratigráficamente 1.5 metros de la unidad suprayacente, Formación Colon-Mito Juan correspondientes a su miembro inferior donde se presenta un buen acceso y exposición.

2. LOCALIZACION

El área de estudio se encuentra localizada en el municipio del antiguo Gramalote parte alta. Con cerca de 2 Km²; que se extienden en dirección E-W comprende la parte SE de la cabecera Municipal, delimitada por los sectores Cementerio y Los Curos hacia el S; mientras que hacia el E está limitado por la Quebrada Volcana.

Geográficamente el lugar de estudio se localiza sobre el departamento de Norte de Santander, más exactamente el espacio territorial que corresponde a las planchas 87 Sardinata.[3]

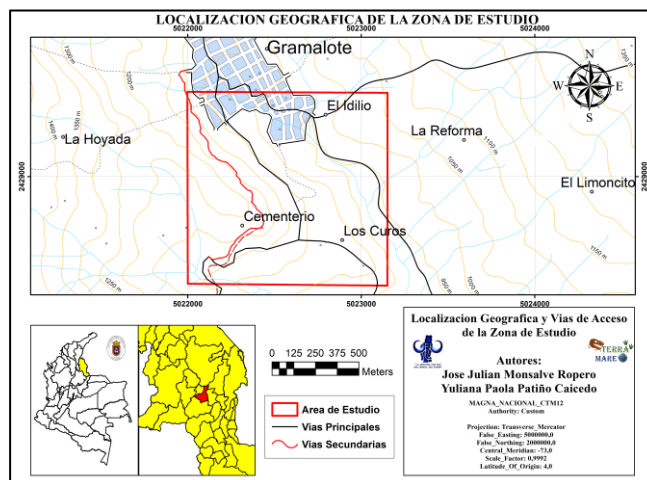


Figura 1. Localización y vías de acceso del área de estudio
Fuente: Autor(es).

2.1 Vías de acceso

El Área de estudio cuenta con una vía principal desde la capital norte santandereana (Cúcuta – El Zulia – Santiago - Gramalote). En la Figura se representa un mapa de rutas, con la vía principal que conduce al municipio de Gramalote, (Línea continua negra) que aproximadamente a 29km kilómetros se llega a la zona de estudio. Ver fig 1, hacia la parte Sur se encuentra comunicado a fincas cercanas a la zona por influencia vial de caminos reales (líneas rojas punteadas) que permite la facilidad de caminar por la zona del Sector Cementerio bajo laderas medianamente inclinadas donde afloran rocas pertenecientes a la Formación La Luna.

3. METODOLOGÍA

La elaboración del trabajo correspondiente al área de estudio fue realizada por partes el cual nos sirve para llevar un orden secuencial y así obtener el resultado final esperado, estas se dividen en:

3.1 Fase de recopilación de la información

En esta primera etapa, se recopiló aquellos trabajos, comenzando desde los más antiguos en donde se puede seguir un orden cronológico hasta los más recientes, que fueron realizados sobre la evolución geológica estratigráfica y cartográfica de la región, del mismo modo la fotointerpretación de las fotografías aéreas del terreno (0091, 0092, 0093) del vuelo C-2731 del año 2003.

Así mismo se evaluó del mapa geológico 87 de Sardinata, la plancha topográfica 87 IIID, información extraída de instituciones como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y el Servicio Geológico Colombiano, todo esto con el fin de comprender una zonificación general detallada de la zona de trabajo.

3.2 Fase de campo

En esta fase se realizó el recorrido de 20 días de campo, bajo el apoyo del Grupo de Investigación Geológica Mammoth y Terramare, con el fin de obtener datos en un mapa de estaciones y libretas de campo, trabajo realizado mediante el uso de herramientas, equipos y métodos geológicos como:

3.2.1 Cartografía

En la zona de estudio fue realizado el recorrido y muestreo de las rocas aflorantes, el cual fueron descritas y clasificadas por medio de las tablas de clasificación de Folk (1962) y Dunham (1962) para las rocas carbonatadas, por otra parte la descripción y clasificación de las rocas siliciclasticas y detríticas se realizó mediante los triángulos de clasificación de Folk (1974), obteniendo un total de 19 muestras in situ marcadas con siglas como; GM-E-150-M50-CAR, simultáneamente la toma de datos estructurales con el fin de identificar la base y el techo de la Formación La Luna y unidades aledañas, a una escala 1:10.000, resultando en el mapa geológico de la zona fig 6, información detallada en el catálogo macroscópico (ver archivos complementarios)

3.2.2 Levantamiento de columnas estratigráficas

Este proceso implicó el análisis del registro geológico de las rocas aflorantes mejores expuestas de La Formación La Luna, donde se tomaron en consideración las características litológicas, incluidas principalmente el contenido fósil, estructuras sedimentarias y físicas de la sección estratigráfica.

Mediante el método de bastón de Jacob y de poligonal abierta se realizó el levantamiento estratigráfico de la sección a escala 1.100 para el bastoneo y escala 1.500 para la poligonal abierta, se hicieron marcas con pintura acrílica en aerosol identificando los bastones, las variaciones verticales y horizontales de las estratos rocosos aflorantes, permitiendo recopilar y organizar bajo los principios estratigráficos los datos de litologías, estructuras sedimentarias, texturas, tipos de contactos entre las capas, contenido fosilífero, geometrías y datación relativa de las unidades estratigráficas, plasmándose en formatos y posteriormente con gran detalle la digitalización fig 7 (ver archivos complementarios), utilizando convenciones las cuales están representadas en la fig 9, obteniendo así un total de 111 muestras in situ durante el levantamiento, orientadas de base a techo y etiquetadas con las siglas GM (Gramalote), C (Cementerio), B1/2 (número de bastón), M1 (Numero de muestra), resultando en un catálogo macroscópico (ver archivos complementarios)

3.3 Fase de trabajo de laboratorio y análisis de las muestras in situ

En esta fase se prepararon las muestras donde posteriormente se analizaron con las lupas estereoscópicas.

Las lupas estereoscópicas utilizadas para el análisis de las muestras pertenecen al Programa de Geología de la Universidad de Pamplona. Las muestras analizadas fueron clasificadas por 4 autores, los cuales son; Folk (1962 & 1974), Dunham (1962), Pettijohn (1987) y Trappe (2001). Dando como resultado un catálogo de descripciones macroscópicas (ver archivos complementarios)

3.3.1 Gamma Ray

El contador de Geiger en el modelo jd3001 fue utilizado para identificar y medir la radiactividad en muestras de roca. Este dispositivo, altamente sensible y portátil, permite la detección precisa de partículas alfa, beta y gamma, lo cual es crucial para la identificación de minerales radiactivos y su posterior análisis, se realizó una curva de gamma ray para identificar zonas de muestreo que presentan mayor radioactividad medidas en $\mu\text{Sv/h}$. (Ver archivos complementarios)

3.3.2 Rocas Fosfáticas

Al ser analizadas las muestras recolectadas en campo, se seleccionaron algunas representativas con olor a fósforo, las cuales fueron sometidas a reacción química entre Ácido nítrico y Ammonium molybdate formando un complejo fosfomolibdico como se observa en el Esquema 1.

Este método fue usado dando como resultado que la reducción del complejo en medio alcalino origina un color amarillo fuerte, donde su intensidad es proporcional a la cantidad de fósforo presente en la muestra, a continuación se ilustra esquemáticamente el procedimiento:



Esquema 1. Procedimiento para rocas con presencia de fósforo
Fuente: Autor(es)

3.3.3 Elaboración y descripción de pulidos

En esta etapa se seleccionaron dos muestras representativas de cada miembro de la Formación la Luna, priorizando cambios faciales, las cuales fueron cortadas y posteriormente pasadas por lijas de diferentes tamaños 1500, 1250, 400, 200. Una vez fueron pulidas, se sometieron a un lavado, secado y verificación. El análisis, descripción y resultados se realizó mediante estéreo trinocular Meiji (cámara 5x) con el fin de obtener un alto detalle de minerales y fósiles fig 2.

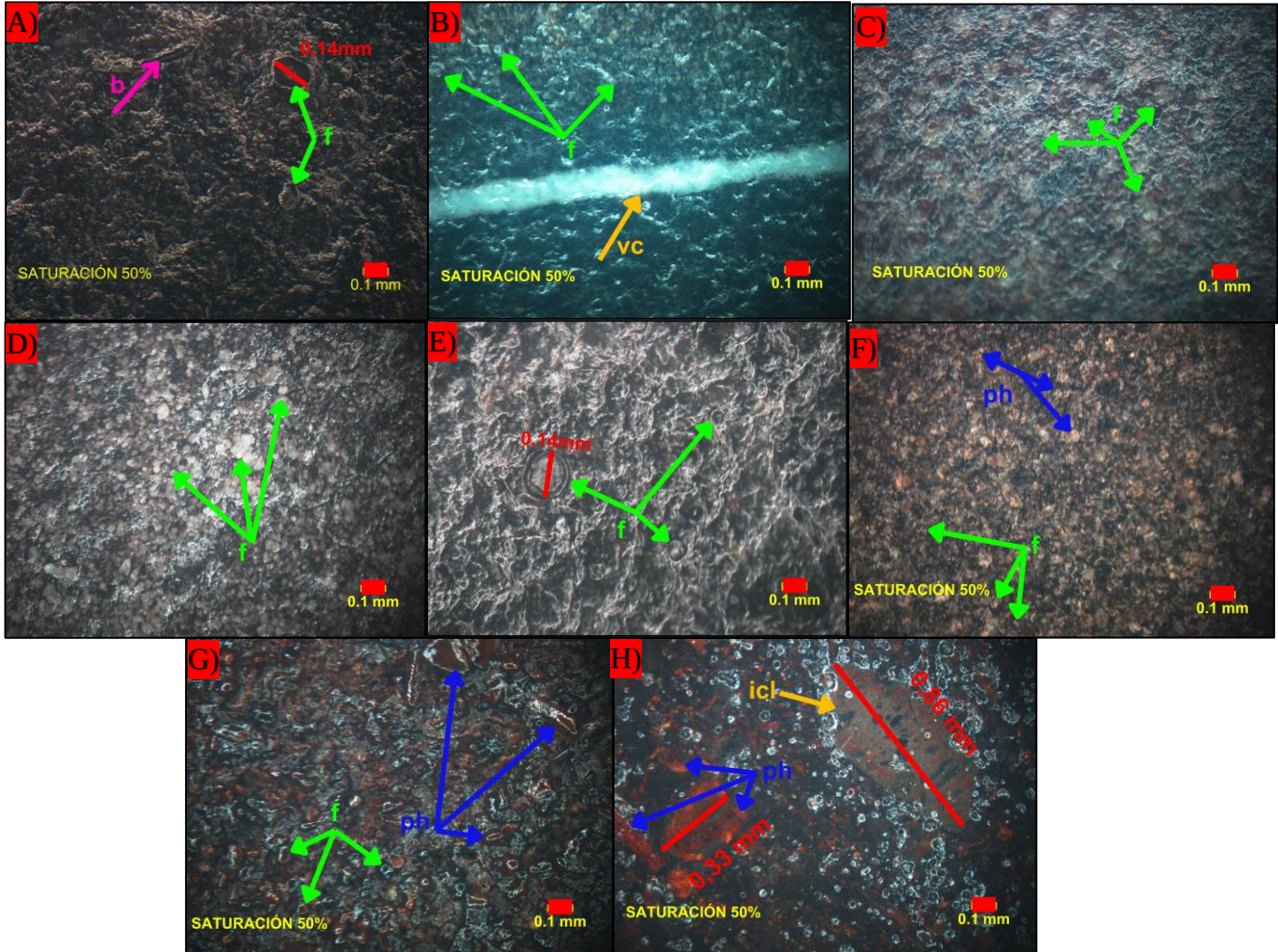


Figura 2. Fotografías de pulidos en estéreo trinocular meiji (cámara 5x).

A) Muestra M8. B) Muestra M12. C) Muestra M21. D) Muestra M18. E) Muestra M72. F) Muestra M92. G) Muestra M97. H) Muestra M108, (f) Foraminíferos, (ph) Fragmentos de fosfato, (icl) Intraclastos, (b) Bivalvos, (vc) Venillas de calcita.

Fuente: Autor(es)

4. ANTECEDENTES

Sievers fue uno de los primeros en designar afloramientos de caliza exploración geológica en la región. La Formación La Luna y su sección tipo están ubicadas en el Distrito de Perijá, Venezuela. De acuerdo con lo indicado "Synopsis of The Geologic Formations Of The Western Part Of The Maracaibo Basin, Venezuela", el término "La Luna" se origina de un rancho de ganado localizado aproximadamente a 16 kilómetros al noroeste de Villa del Rosario, y la sección tipo específica se sitúa en la Quebrada La Luna, cerca del rancho hacia el noroeste.

Es probable que el nombre fuese adoptado inicialmente por los geólogos trabajando para la Caribbean Petroleum Company. [4][2]

La Formación La Luna debido a su interés económico en la industria de los hidrocarburos presenta múltiples estudios relacionados a su intervalo de edad, esta edad sugerida para la Formación La Luna es Turoniano [2]. Se emplea el término en Colombia en la zona de la mencionada para la época como Concesión Barco, La Luna queda limitada en la parte superior por Colon Shale y en la parte inferior por la Formación Cogollo [5]. Seguido a esto es usado el nombre

Formación La Luna en la región del Valle Medio del Magdalena, tomando como sección tipo afloramientos en cercanías del río Sogamoso, en el área del cuadrángulo H-12. [6]

Esta unidad muestra grandes variaciones de espesor, desde 300 metros en la sección tipo, que adelgaza a 43 – 56 en el área de Tibú y a 243 metros en Pamplona. La Formación La Luna reposa concordantemente sobre la Formación Capacho (Cogollo) e infrayace en contacto normal a la Formación Colón. [7].

Instituto Colombiano de Geología y Minería hace un trabajo específicamente en las áreas representadas por las planchas geológicas 98 Durania y 99 Villa del Rosario en Norte de Santander, revelan que la región se distingue por presentar una configuración tectónica caracterizada por fallas inversas y una compleja serie de pliegues, este patrón de deformación se manifiesta a través de cabalgamientos organizados en bloques y estructuras plegadas que se extienden en una dirección NNE-SSW. Dadas estas particularidades tectónicas, se ha clasificado el terreno en tres provincias tectono-estratigráficas distintas: hacia el oeste del área investigada se encuentra el Macizo de Santander, parte de la extensión de la Cordillera Oriental; al noreste se ubica la subcuenca Catatumbo-Zulia; y en las zonas oriental y suroriental, se halla el Bloque Chinácota-Margua perteneciente a la Provincia de Mérida. Además de los reconocidos depósitos de petróleo, las planchas geológicas 98-Durania y 99-Villa del Rosario también destacan por albergar valiosos recursos naturales, incluyendo yacimientos de oro, cobre, zinc, así como calizas, fosfatos, micas y arcillas [8].

Para ese mismo año del 2011, el Servicio Geológico Colombiano llevó a cabo una campaña de exploración para identificar yacimientos de fósforo en el departamento de Norte de Santander, siguiendo un esquema inicial conocido como el Plan de Exploración de Fósforo (PEF).

Este plan dividió el departamento en tres principales áreas de interés exploratorio: la zona norte correspondiente al área de Tibú, la zona central de Sardinata y la zona sur de Pamplona, cada una con unidades estratigráficas clave para la investigación. El propósito de esta exploración era tanto descubrir nuevas áreas ricas en roca fosfórica como evaluar las ya conocidas para determinar la continuidad de estos depósitos.

La atención se centró especialmente en la Formación La Luna, reconocida por albergar los depósitos más significativos de fosforitas marinas del Cretácico Superior, ubicados en la Cordillera Oriental, principalmente en el yacimiento de Sardinata y en los prospectos de Tibú - Las Mercedes. Las fosforitas se encuentran en asociación con lutitas, areniscas, calizas y chert, mostrando un grosor que

varía desde los 0,3 hasta los 1,5 metros, y en casos excepcionales, hasta los 4 metros. La Formación La Luna se destaca por presentar un espesor promedio de alrededor de 1 metro y concentraciones de P₂O₅ cercanas al 20% [9].

Por otro lado, el Servicio Geológico Colombiano realizó un análisis en 2016 enfocado en la Formación La Luna dentro de la zona de estudio cubierta por la plancha 87 Sardinata, Norte de Santander.

Esta formación se caracteriza por presentar afloramientos en pendientes altas y escarpadas en el sector de Santiago se reporta la existencia de minería de caliza explotada en cantera a cielo abierto, igual tipo de minería es reportada sobre la vía El Zulia - Sardinata donde se realizan explotaciones de fosfatos y calizas [10].

Del mismo modo se han identificado estudios relevantes publicados en el año 2017 que ofrecen información valiosa y directamente aplicable al área de interés de nuestra investigación, enfocados en la estratigrafía y génesis de la Formación La Luna de la Cuenca del Catatumbo, en la Quebrada La Patilla del municipio de Salazar de las Palmas, Norte de Santander, donde se definió la estratigrafía para esta zona y la describen así; Debido a las características litológicas y paleontológicas, se pudo determinar que los miembros Guayacán, La Aguada y Chejendé, corresponden a un ambiente rampa somera y los Miembros Tímbetes y Ftanita de Táchira a una rampa profunda de la plataforma continental.

Por último, la Formación Colón-Shale corresponde a un ambiente regresivo, La Formación La Luna aflorante en la Quebrada la Patilla, es la primera sección levantada de 70.5m el cual se divide de base a tope en los miembros: La Aguada, Chejendé, Tímbetes y Ftanita de Táchira “Estratigrafía y génesis de la Formación La Luna de la cuenca del Catatumbo, en la Quebrada La Patilla del municipio de Salazar de las Palmas”.

Por consiguiente, se han encontrado trabajos que han sido en conjunto con el anterior trabajo que fueron realizados para el año 2017 en la que determinaron la posición estratigráfica, espesor y génesis de los niveles de roca fosfórica de la Formación la Luna en la quebrada La Patilla en el municipio de Salazar de las Palmas, Norte de Santander, Colombia. [11]

5. FOTOINTERPRETACIÓN

En este apartado se examinaron las imágenes áreas del terreno (0091, 0092,0093) del vuelo C-2731 del año 2003 con el fin de identificar unidades geológicas terrestres obteniendo una zonificación previa al área de estudio.

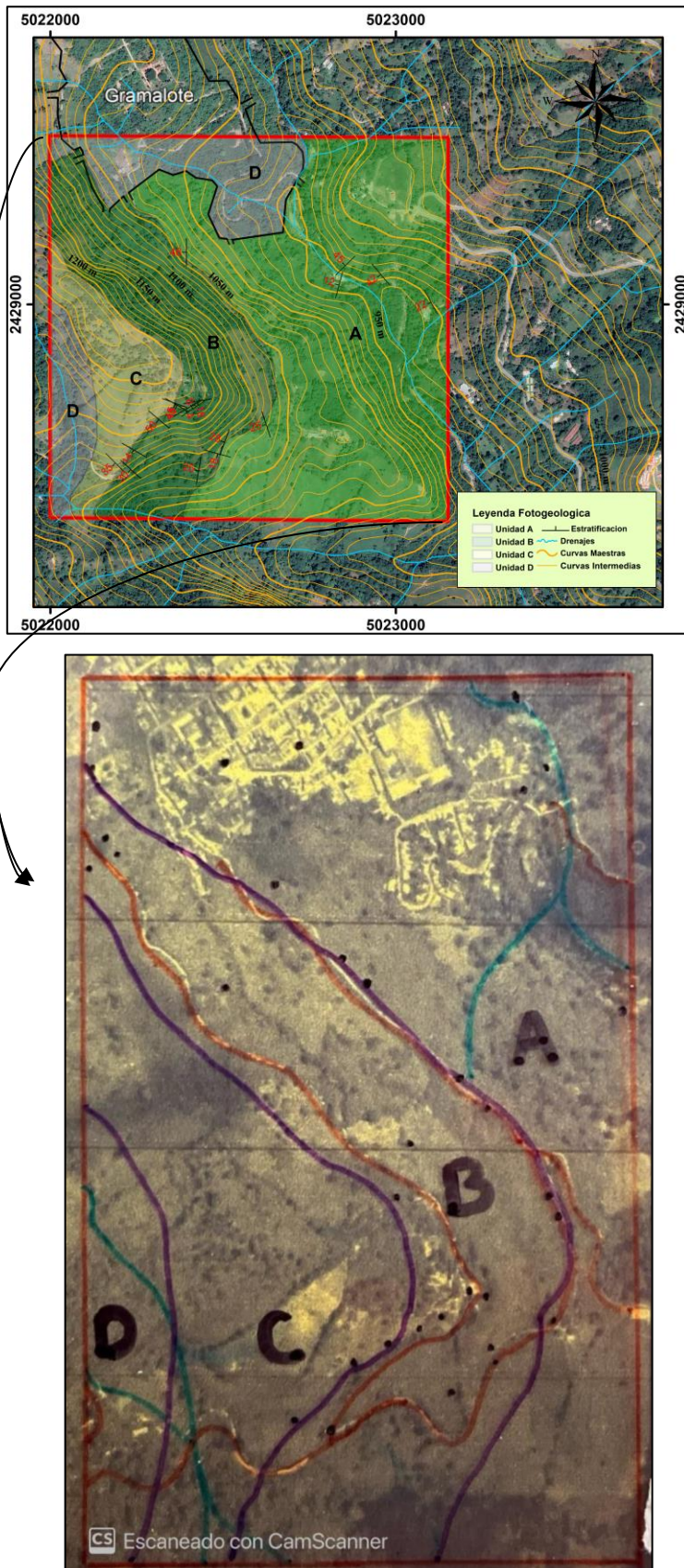


Figura 3. Mapa fotogeológico
Fuente: Autor(es)

5.1 Unidad A

La unidad con la mayor área en la superficie se caracteriza por ser una franja alargada y ancha que se extiende en dirección Noreste a Sureste. En cuanto a las características de la ladera, se pueden distinguir tres direcciones principales: una en sentido NE-SW, con una longitud de más de 250 metros (considerada moderadamente larga); la siguiente en sentido W-E, con una longitud aproximada de 280 metros (también moderadamente larga); y finalmente, en dirección E-W, con una longitud de 380 metros (también moderadamente largas). La forma general de la unidad es lineal a cóncava fig 3.

5.2 Unidad B

Franja alargada que se extiende en dirección noroeste suroeste, presenta una forma principalmente lineal y cóncava, aunque en pequeñas áreas específicas es convexa. En cuanto a la vegetación, al sureste se puede encontrar una pequeña franja de bosque de galería, mientras que el resto del área no presenta vegetación arbórea significativa, y algunas zonas están completamente desnudas de vegetación. Existen áreas de intervención antrópica, especialmente para cultivos. La longitud de la ladera es de aproximadamente 226 metros (corta), con cimas principalmente redondeadas.

5.3 Unidad C

Está ubicado al suroeste del municipio, La forma del terreno es predominantemente convexa. En cuanto a la vegetación, se encuentran bosques de galería circundando el drenaje en el sur del área, mientras que el resto corresponde a laderas sin vegetación arbórea significativa. Se puede determinar que existe intervención antrópica para cultivos. La longitud de la ladera es aproximadamente 220 metros (corta), con cimas amplias y valles en forma de V.

5.4 Unidad D

Ubicado al suroeste del área de interés. Su morfología es principalmente convexa y lineal. Además, está cubierto por una vegetación abundante, especialmente en las áreas cercanas al drenaje principal. Esta vegetación se clasifica como galería de bosques. La textura del terreno es rugosa, con valles en forma de U. También se observan áreas que han sido intervenidas por actividades antrópicas.

6. MARCO GEOLOGICO REGIONAL

En este apartado se presenta de forma generalizada información tectónica y estratigráfica comprendiendo los procesos geológicos de la zona de estudio y áreas aledañas, representadas por unidades sedimentarias cretácicas de gran relevancia como La Formación cogollo, La Formación La Luna y La Formación Colon-Mito Juan y depósitos recientes

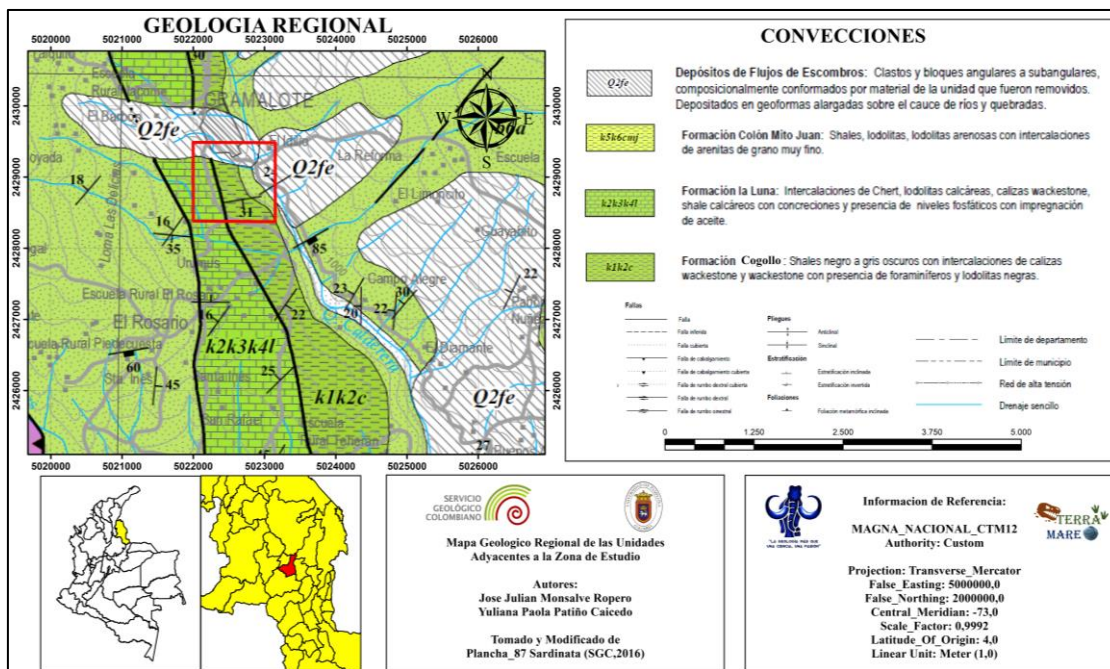


Figura 4. Mapa geológico regional

Fuente: Tomado de Tomado de SGC, 2016. Plancha 87 de Sardinata. Modificado por Autor(es)

6.1 Unidades sedimentarias Cretácicas

6.1.1 Formación Cogollo

En Colombia, el término se utilizó en la Concesión Barco, Norte de Santander [12] y en Santander [7]. Se afirman que está compuesta de base a techo por shale negro en capas delgadas muy calcáreo y por calizas, shale gris oscuro no calcáreo con pocas intercalaciones de limolita y caliza gris arcilloso fosilífera y hacia el tope calizas masivas intercaladas con shale oscuro no calcáreo [13].

En el área de la Plancha 111-Toledo en la parte inferior de la Formación Capacho corresponde a un conjunto de lodolitas negras, laminadas, con nódulos calcáreos, escasas intercalaciones de areniscas calcáreas y calizas grises a negras, fosilíferas, en capas delgadas.

La parte intermedia de la secuencia está constituida por una alternancia de calizas micríticas y fosilíferas, de color gris a negro, en capas medianas a gruesas y la parte superior se compone principalmente de lodolitas grises, con delgadas intercalaciones de areniscas grises, amarillentas y blancas, grano fino, levemente calcáreas, en capas medianas, con esporádicas capas de areniscas grises, calcáreas y fosilíferas. [14]

6.1.2 Formación La Luna

En el año 1968 se denominó Formación La Luna a una sucesión de calizas y lodolitas calcáreas, negras, fosilíferas con concreciones de calizas, aflorantes en la Quebrada La Luna al NW de Perijá, Zulía (Venezuela); su descripción fue ampliada y establecida formalmente [2], la adopción de este término traído desde Venezuela fue decidida para subrayar la notable extensión regional de la unidad según Morales (1958). [15][16]

Posteriormente se introducen el término en Colombia en las estratificaciones orientales de la Serranía de Perijá, donde se compone de calizas carbonáceas y bituminosas, gris oscuras a negra, arenisca calcárea gris oscura de grano fino y lodolitas calcáreas, negras, fosilíferas con concreciones de caliza. Este nombre también ha sido utilizado en la nomenclatura estratigráfica del Valle Medio del Magdalena, pero la Formación La Luna se subdivide en tres miembros: el inferior Salada, el intermedio Pujamana y el superior Galembó. [1][17]

6.1.3 Formación Colon – Mito Juan

Estas unidades fueron definidas, separadas y posteriormente fueron redefinidas en la concesión Barco y

en el Estado de Táchira, Venezuela. La Formación Colón toma su nombre de la ciudad de Colón y su sección tipo se ubica en el Distrito de Ayacucho al norte de esta población. La Formación Mito Juan toma el nombre de la quebrada Mito Juan, sobre el flanco oriental del Domo Norte de Petróleo de la Concesión Barco (cuadrángulo F-13) [1]. En su sección tipo la Formación Colón consiste casi totalmente de shale gris oscuro a negro, duro, localmente pirítico, concoide e irregularmente fracturado. [15][16][7]. En el área de la Concesión Barco, la formación consta de shale gris a gris oscuro, ligeramente calcáreo, físil, foraminífero, con nódulos y lentes delgados de arcilla marrón descrita en [1]. En Colombia generalmente se ha cartografiado como una sola unidad las rocas comprendidas entre las formaciones La Luna y Barco. [18]

Esta última unidad que suprayace a la Formación Mito Juan en el área de la Concesión Barco consta predominantemente de shales gris oscuros y arcillolitas comúnmente algo carbonosas que contienen pequeños nódulos y delgados lentes de arcilla “ironstone” marrón. Para el área de Santander, la Formación Catatumbo no es una unidad distinta entre la subyacente Mito Juan y la superyacente Formación Barco, por lo que se le considera un miembro de la primera [1][7]

6.2 Depósitos Cuaternarios

Como material cuaternario se describen depósitos de llanuras aluviales denotados por guijarros gruesos a bloques, redondeados a subangulares, comúnmente con tendencia de imbricación, suprayacida por arenas en laderas moderadamente inclinadas. En cambio, hacia las zonas de los drenajes principales se evidencian flujo de escombros mayormente contenidos en Clastos y bloques angulares a subangulares, composicionalmente conformados por material de las unidades que fueron removidas.

7. EVOLUCION TECNO-ESTRATIGRAFICA

En el cretácico temprano ocurrió un proceso de subsidencia asociada al rifting lo que condujo a la depositación de secuencias de rocas sedimentarias marinas como las lodolitas, calizas y arenitas, seguido a esto la subsidencia post-rift facilitó la acumulación de calizas en el cretácico tardío, esta depositación se extendió hacia el sur por la Cordillera Central y la Cuenca del Valle Medio, en la que afloran unidades representativas en la Cordillera Central y otras en Cordillera Oriental como las formaciones Tambor, Rionegro, Rosablanca, Tibú Mercedes, Paja, Tablazo, Aguardiente, Simití, Brisas, Salto, La Luna, Cogollo, Capacho y Umir [19][20][21][22].

El inicio de la formación de las rocas sedimentarias que constituyen la Formación La Luna se da en el Cenomaniano y se extiende hasta el Turoniano-Santoniano, periodo durante

el cual se produce una transgresión marina significativa que resulta en la predominancia de un ambiente oceánico en el norte de Suramérica.

Durante este tiempo, se observa que la mayoría de los lechos marinos estaban compuestos por facies de grano fino con carbonatos y una alta concentración de materia orgánica, indicativo de su probable desarrollo en una plataforma marina externa bajo condiciones de bajo oxígeno en la que varios autores replicaron esta información [23][24][25][26][27][28].

8. RESULTADOS

En el sector del Cementerio, municipio Norte de Santander afloran rocas sedimentarias de ambientes transicionales a marino somero, afectadas por un régimen tectónico dinámico.

8.1 Geología Estructural

Las zonas aledañas al área de estudio presentan franjas de dirección predominante NNE con laderas estructurales muy homogéneas. [29]

En el sector del Cementerio del municipio de Gramalote, las unidades aflorantes de la Formación La Luna, presentan diaclasamiento y plegamientos en sentido N-S afectando gran parte de la sección estratigráfica.

Los cuerpos cuaternarios coluviales con espesores variables en la zona son de origen tectónico e igual que las demás estructuras, estas se encuentran directamente relacionado con la falla de gramalote.

La interacción entre la tectónica activa y los depósitos coluviales reflejan un régimen tectónico dinámico, colocando en evidencia la deformación de la unidad sedimentaria Fig 5.

8.2 Estratigrafía

La secuencia estratigráfica aflorante en área de estudio está representada por unidades lito-estratigráficas de la Formación La Luna, Colón-Mito Juan y depósitos cuaternarios Coluviales.

La secuencia expuesta de la Formación La Luna en la zona de estudio es dividida en cuatro miembros: La Aguada, Chejendé, Tímbetes y Ftanita del Táchira, descansando concordantemente sobre esta la Formación Colón-Mito Juan Como se observan en la fig 6 – fig 7.

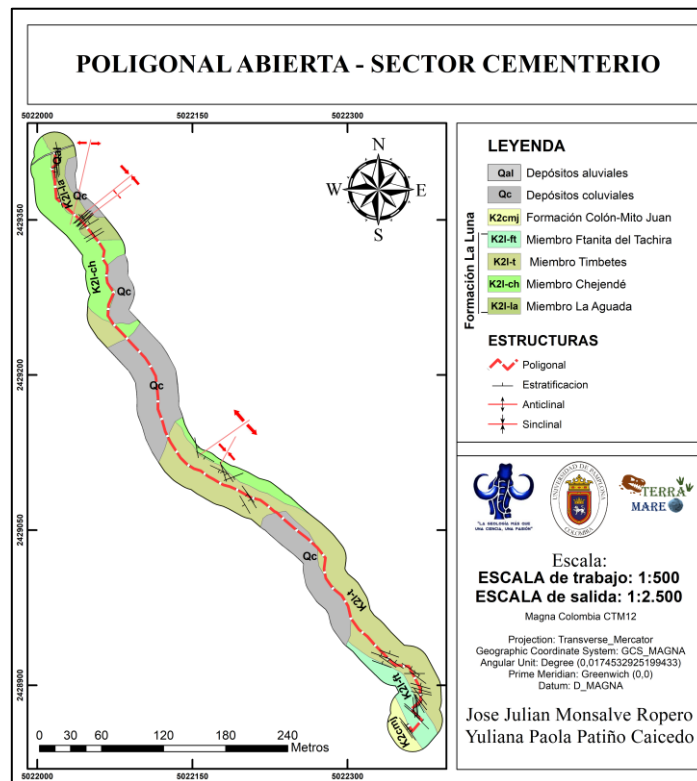


Figura 5. Poligonal abierta del área de estudio, escala 1:500

Fuente: Autor(es)

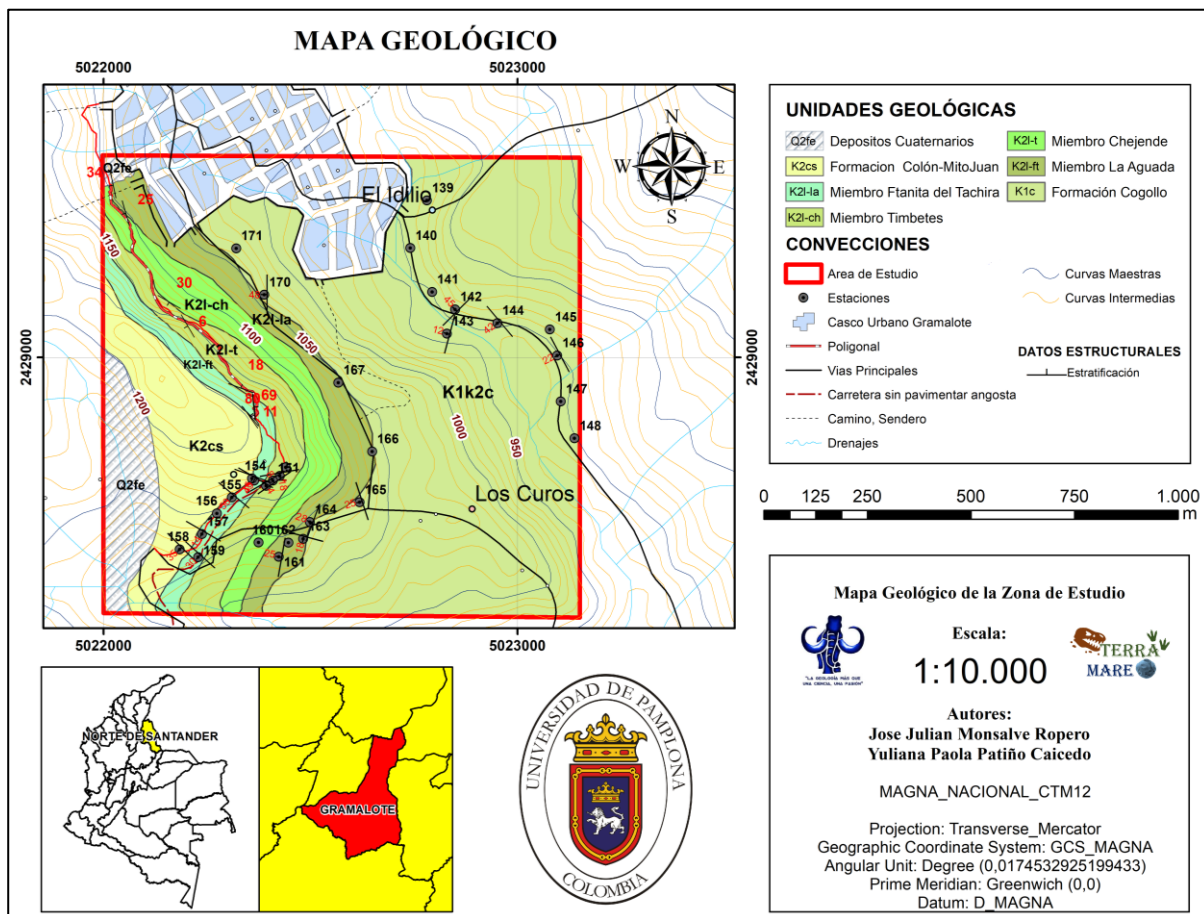
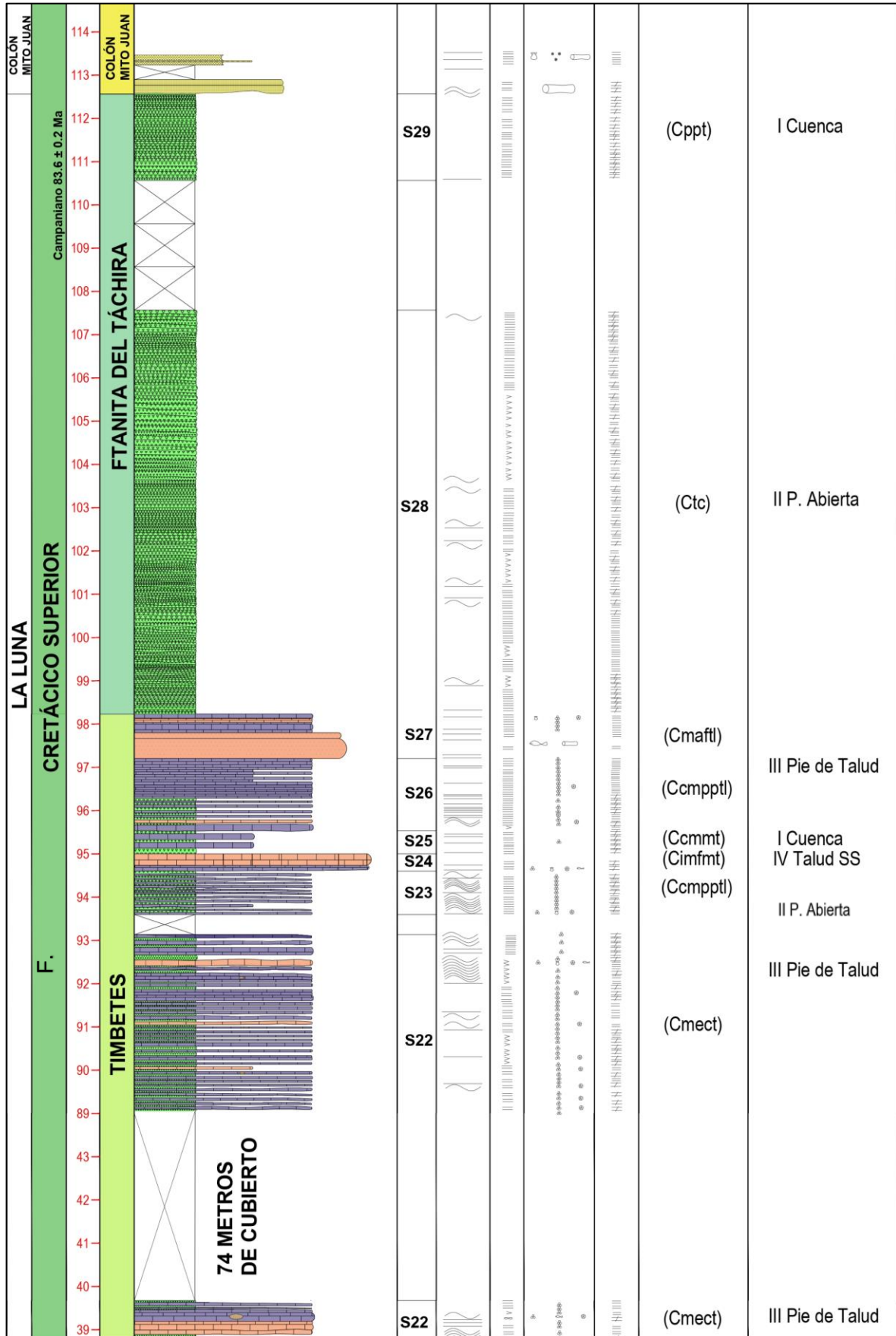


Figura 6. Mapa geológico del área de estudio a escala 1:10.000

Fuente: Autor(es)



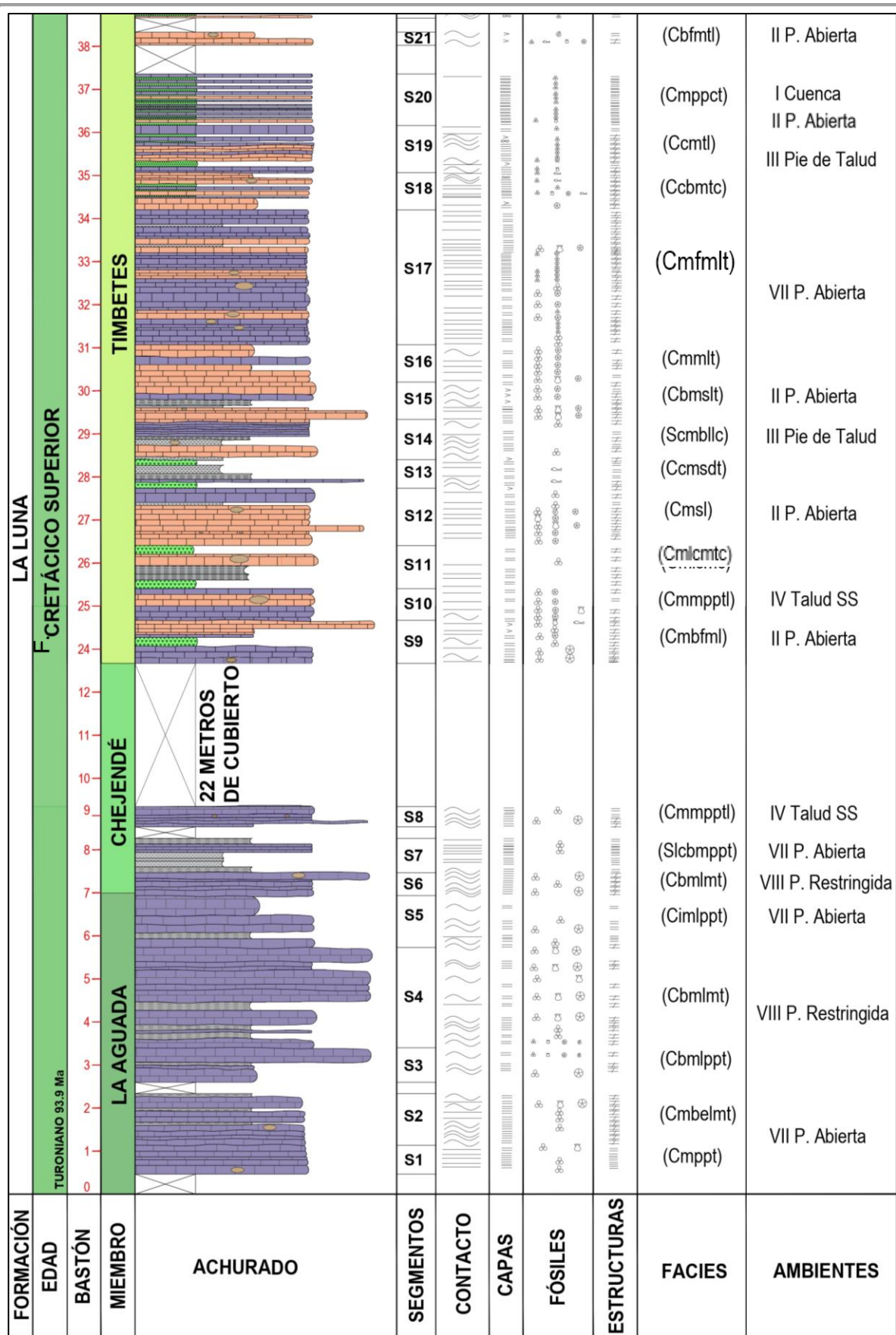


Figura 7. Columna generalizada de la Formación La Luna en el área de estudio a escala 1:100

Fuente: Autor(es)

CONVENCIONES			
LITOLOGÍA	MINERALES Y ACCESORIOS	GEOMETRÍA INTERNA	CONTACTOS
SHALE LIMOLITA CHERT CALIZA ARENITAS FINAS ARENITAS - LIMOLITAS - SHALE (Fm. Colón)	F FOSFATOS	LAMINACIÓN PLANA PARALELA CAPA MACIVA	PLANO ONDULADO EROSIVO
FÓSILES	GEOMETRÍA EXTERNA	ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS	COLOR
BIVALVOS RESTOS DE PECES FORAMINIFEROS AMONITES	TABULAR CUNEIFORME LENTICULAR	INTRACLASTOS CONCRECIONES CALCÁREAS RESTOS BIOGÉNICOS PELLETS	COLOR Gc GRIS CLARO Go GRIS OSCURO N NEGRO Mo MARRÓN OSCURO Mc MARRÓN CLARO

Figura 8. Convenciones
Fuente: Autor(es)

8.2.1.1 Miembro La Aguada

Este miembro está constituido hacia la base por una intercalación de capas delgadas a gruesas, tabulares de calizas micríticas (wackestone) de color gris oscuro con capas delgadas de limolitas calcáreas no cartografiables. Hacia el techo presenta capas delgadas a gruesas de calizas micríticas intercaladas con capas delgadas a muy delgadas de limolitas calcáreas con concreciones de 40 cm fig 9.

El espesor total para este miembro es de 10,5 metros, y se divide en cinco segmentos, ya que en él se presentan cambios faciales que los definen.

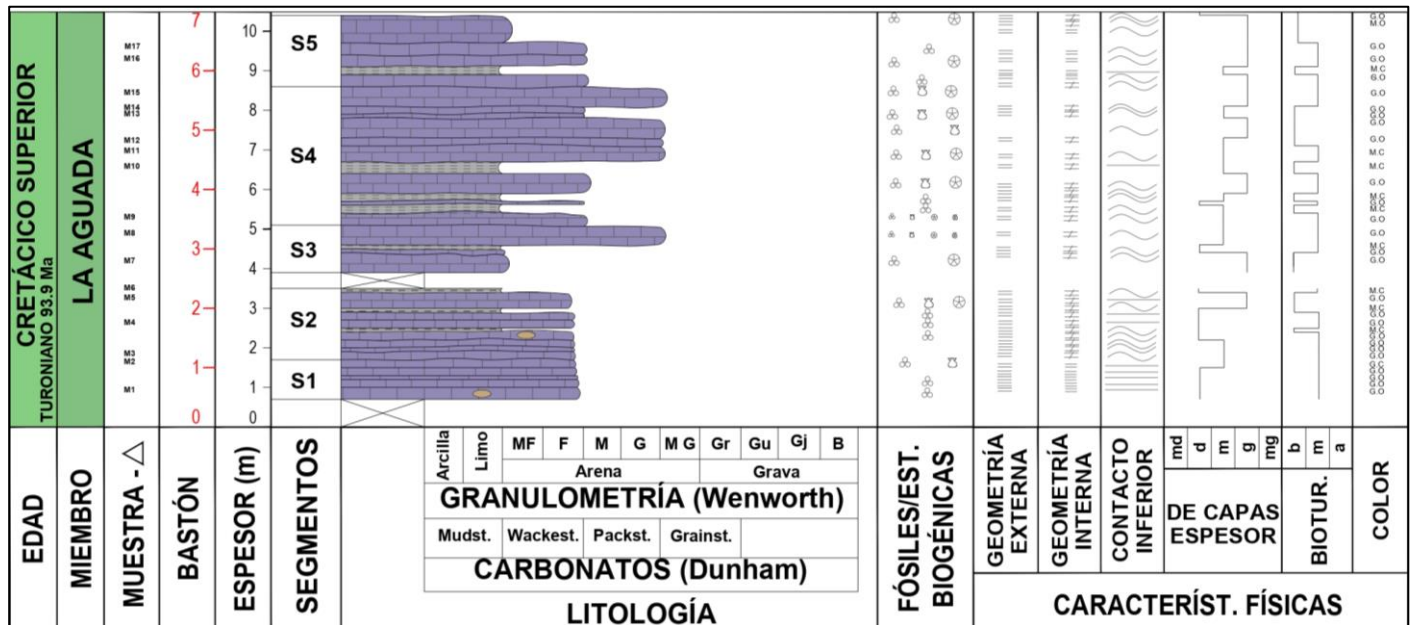


Figura 9. Columna estratigráfica del miembro La Aguada
Fuente: Autor(es)

8.2.1.1.1 Segmento 1

Este segmento se encuentra formado por capas tabulares de un espesor de aproximadamente 10 cm y 20 cm, el contacto entre las capas es concordante neto con concreciones de 40 cm aproximadamente fig 10A.

Litológicamente la base de este segmento se encuentra compuesta por una intercalación de caliza micrítica de color gris oscuro, no clástica con estructura interna plano paralela con 44% de micrita, 24% de esparita (Ortoquímicos) y 12% de foraminíferos y 21% de Intraclastos compuesto de Arenas (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como

biomicrita, según Dunham (1962) como wackestone y según Pettijohn (1987) como caliza arenosa.

El techo de este segmento está compuesto de calizas de estructura interna plano paralela de color marrón claro compuestas por 16% de micrita, 2% de esparita (Ortoquímicos) y 71% de foraminíferos, 10% de bivalvos, 1% de Intraclastos que están compuesto por de Chert (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como pelmicrita y según Dunham como wackestone.

El espesor de este segmento es de 1 metro y corresponde a **facies de calizas micríticas con estructura interna plano-paralela y capas tabulares (Cmppt)**.



Figura 10. Segmento 1, *Facies de calizas micríticas con estructura interna plano-paralela y capas tabulares*. A) Contactos netos y concreciones de 40cm. B) GM-C-M2. Presencia de Bivalvo
Fuente: Autor(es)

8.2.1.1.2 Segmento 2

Este segmento presenta capas tabulares, delgadas a gruesas con contactos netos y ondulados fig 11A.

La base litológicamente se compone de capas de calizas micríticas, masivas de color gris oscuro, no clástica con 62% de micrita, 26% de esparita (Ortoquímicos) y 12% de foraminíferos (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como pelmicrita, según Dunham como wackestone y según pettijohn (1987) como caliza , con concreciones de 24 cm

aproximadamente intercalada con limolitas calcáreas no cartografiables.

Hacia el techo el segmento consta de calizas de color gris oscuro, no clástica, con estructura interna masiva, con 14% de micrita, 54% de esparita (Ortoquímicos) y 17% de foraminíferos, 5% de bivalvos, 10% de Intraclastos (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como bioesparita, según Dunham como wackestone y según Pettijohn (1987) como caliza fig 11B, intercalada con limolita calcáreas de color gris oscuro clasto soportada, estructura interna masiva, tamaños de granos arena muy finas 30% tamaño de limos 70%, baja fisilidad, baja porosidad, con presencia de moscovitas 2% y olor a hidrocarburo.

El espesor de este segmento es de 1,5 metros y corresponde a **facies de calizas micríticas a bioesparíticas y limolitas calcáreas con estructura interna masiva de capas tabulares (Cmbelmt)**.



Figura 11. Segmento 2, *Facies de calizas micríticas a bioesparita y limolitas calcáreas con estructura interna masiva de capas tabulares*. a).Capas tabulares con concreción de 24 cm. b).GM-C-M4 Caliza intramicrita.
Fuente: Autor(es)

8.2.1.1.3 Segmento 3

Este segmento presenta capas delgadas a gruesas, tabulares, con contacto ondulado.

La base de este segmento se compone de calizas micríticas de color gris oscuro, no clástica con estructura interna plano-paralela 58% de micrita, 25% de esparita (Ortoquímicos) y 3% de foraminíferos, 4% de Intraclastos (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como biomicrita, según

Dunham (1962) como mudstone y según Pettijohn (1987) como mudstone fosfática fig 12.

El techo se encuentra compuesto por limolitas calcáreas plano-paralelas de color gris oscuro.

El espesor total para este segmento es de 70 cm y corresponde a **facies de calizas biomicríticas y limolitas de estructura interna plano-paralela y capas tabulares (Cbmlppt)**



Figura 12. GM-C-M7 Caliza Biomicrita
Fuente: Autor(es)

8.2.1.1.4 Segmento 4

Este segmento consta de capas delgadas a medias, tabulares y contactos ondulados.

La base de este segmento litológicamente está compuesto de calizas micríticas de color gris oscuro con capas esporádicas de limolitas calcáreas no cartografiables; estas calizas se encuentran formadas 3% de micrita, 1% de esparita (Ortoquímicos) y 80% de foraminíferos, 6% de bivalvos, 2% de ammonites fig 13A, 8% de Intraclastos de chert (Aloquímicos); clasificadas según Folk (1962) como biomicrita, según Dunham (1962) como packstone y según Pettijohn (1987) como caliza.

El techo del segmento presenta capas de caliza micríticas con estructura interna masiva, compuestas por % de micrita, 3% de esparita (Ortoquímicos) y 88% de foraminíferos, 3% de bivalvos y 5% de Intraclastos de chert (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como biomicrita, según Dunham (1962) como packstone y según Pettijohn (1987) como caliza, intercaladas con capas medias de limolitas calcáreas no cartografiables.

El espesor total para este segmento es de 4,1 metros y corresponde a **facies de calizas biomicríticas y limolitas calcáreas masivas de capas tabulares. (Cbmlmt)**

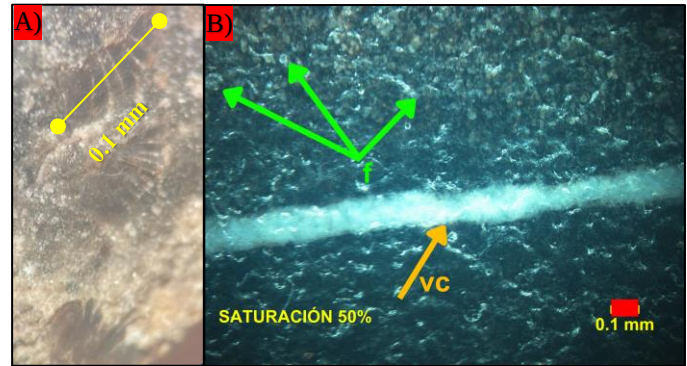


Figura 13. Segmento 4, Facies de calizas biomicríticas y limolitas calcáreas masivas de capas tabulares a). GM-C-M8 Biomicrita con ammonites. b). Pulido GM-C-M12 biomicrita con foraminíferos y venillas de CaCO₃.
Fuente: Autor(es)

8.2.1.1.5 Segmento 5

Este segmento consta de capas delgadas, tabulares de contactos netos y ondulados.

Compuesto litológicamente en su base por limolitas calcáreas de color marrón claro, con estructura interna paralela, tamaños de granos arenas muy finas 27% y tamaño de limos 73%, subangulares a subredondeados, esfericidad baja, moderadamente bien seleccionado, alta friabilidad, moderada porosidad con contacto tangencial, matriz soportado, presenta líticos de Chert fig 14A.

Hacia el techo este segmento se encuentra compuesto por caliza micrítica de color gris oscuro, no clástica, con estructura interna plano paralelo, con 46% de micrita, 9% de esparita (Ortoquímicos) y 32% de Intraclastos que están compuestos de chert y arenas muy finas (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como intramicrita, según Dunham como wackestone, según Pettijohn (1987) como caliza arenosa.

El espesor total para este segmento es de 1,8 metros y corresponde a **facies de calizas intramicríticas y limolitas calcáreas plano-paralelas de capas tabulares (Cimlppt)**



Figura 14. Segmento 5, Facies de calizas intramicríticas y limolitas calcáreas plano-paralelas de capas tabulares. a) GM-C-M16 Limolitas Calcáreas. b) GM-C-M17 Caliza intramicrita
Fuente: Autor(es)

8.2.1.2 Miembro Chejendé

Este miembro presenta capas delgadas a medias de shale negro calcáreos con limolitas calcáreas y calizas micríticas pelitífera a biomicritas de color gris oscuro y marrón claro, tabulares con concreciones de 40 cm y 60 cm, dividido en tres segmentos por sus cambios faciales, el cuales son segmento 6, segmento 7 y segmento 8. El espesor total para el miembro Chejendé es de 3 metros fig 15.

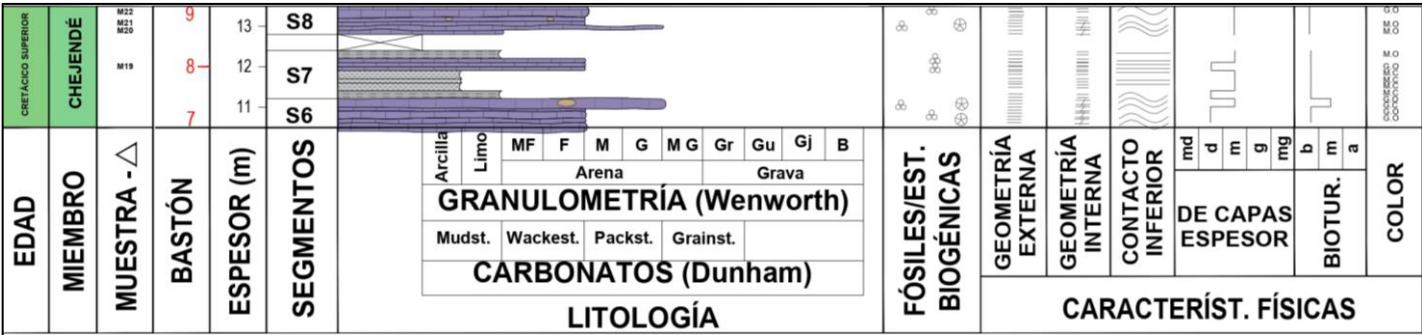


Figura 15. Columna estratigráfica del miembro Chejendé
Fuente: Autor(es)

8.2.1.2.1 Segmento 6

En este segmento se observan capas delgadas a medianas, concordantes, tabulares con contactos ondulados y netos.

La segmento está compuesto litológicamente por caliza micrítica de color gris oscuro, no clástica con estructura interna masiva; 5% de micrita, 3% de esparita (Ortoquímicos) y 80% de foraminíferos fig 16A, 1% de bivalvos y 11% de Intraclastos de chert (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como biomicrita y según Dunham como packstone fig 16B, intercalada con niveles esporádicos de limolitas calcáreas no cartografiables, presenta concreciones calcáreas de aproximadamente 60 cm.

El espesor de este segmento es de 1 metro y corresponde a facies de calizas biomicritas y limolitas calcáreas masivas de capas tabulares (Cbmlmt).

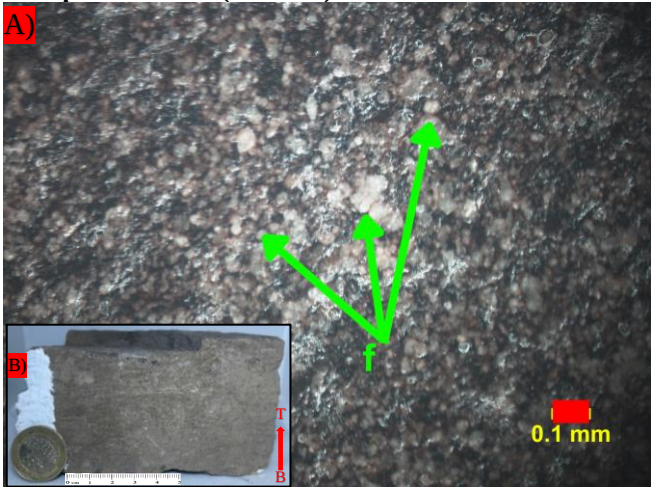


Figura 16. Segmento 6, Facies de calizas biomicritas y limolitas masivas de capas tabulares. A) Fotografía de pulido GM-C-M18 en estereoscopia trinocular (Cámara 5x), foraminíferos (f). B) Muestra macroscópica
Fuente: Autor(es)

8.2.1.2.2 Segmento 7

Este segmento está integrado de capas delgadas a medias, tabulares con contactos netos fig 17.

Litológicamente está compuesto por capas de shale calcáreos de color marrón oscuro intercalado con limolitas calcáreas no cartografiables y calizas micríticas de color gris oscuro, no clástica con estructura interna plano-paralela; 39% de micrita, 9% de esparita (Ortoquímicos) y 35% de foraminíferos, 3% de bivalvos y 14% de Intraclastos de chert y arenas (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como biomicrita, según Dunham como packstone y según Pettijohn como caliza.

El espesor total para este segmento es de 1,1 metros y corresponde a facies de shale calcáreos, limolitas calcáreas y calizas biomicritas con estructura interna plano-paralelas de capas tabulares. (Slcbmppt).



Figura 17. Segmento 7, Facies de shale calcáreos, limolitas calcáreas y calizas biomicritas con estructura interna plano-paralelas de capas tabulares.
Fuente: Autor(es)

8.2.1.2.3 Segmento 8

Este segmento consiste en capas medianas, tabulares y lenticulares con contactos ondulados fig 18.

Hacia la base consta de capas de calizas micríticas de color gris oscuro, no clástica con estructura interna masiva; 53% de micrita, 46% de esparita (Ortoquímicos) y 1% de Ammonites (Aloquímicos), presenta re-depositación de carbonato de calcio y es clasificada según Folk (1962) como micrita fosilífera, según Dunham como mudstone y según Pettijohn (1987) como caliza.

El techo de este segmento está compuesto de calizas micríticas de color marrón oscuro con estructura interna plano paralela; 18% de micrita, 2% de esparita (Ortoquímicos) y 75% de foraminíferos, 5% de Intraclastos de chert, (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como biomicrita, según Dunham como wackestone y según Pettijohn (1987) como caliza, presenta concreciones calcáreas de aproximadamente 40 cm.

El espesor para este segmento es de 60 cm y corresponde a **facies de calizas micríticas masivas y plano-paralelas de capas tabulares a lenticulares (Cmmpptl)**

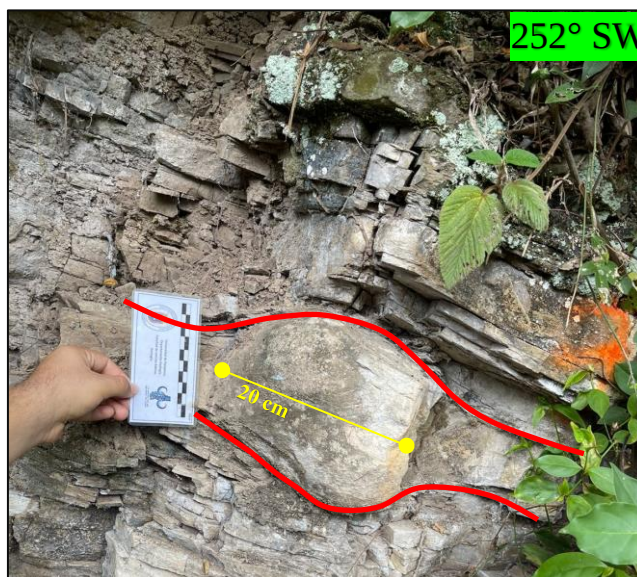


Figura 18. Segmento 8, Facies de calizas micríticas masivas y plano-paralelas de capas tabulares y lenticulares. Capas tabulares y lenticulares con concreciones de 20 cm.

Fuente: Autor(es)

8.2.1.3 Miembro Tímbetes

Este miembro presenta intercalaciones de capas muy delgadas a medias de chert negro, calizas micríticas de color gris oscuro tabulares, lenticulares y cuneiformes con estructuras internas masivas y plano-paralelas del mismo modo concreciones de desde 40cm hasta 1,3 cm y niveles fosfóricos fig.22

El miembro Tímbetes se divide en dieciocho segmentos que corresponden a los segmentos 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26,27 El espesor total de este miembro es de 37 metros. (Mayor detalle en material suplementario)

CRETÁCICO SUPERIOR		TIMBETES		EDAD	UNIDAD	MUESTRA - Δ	BASTÓN	ESPESOR (m)	SEGMENTOS	LITOLOGÍA														FÓSILES/EST. BIOGÉNICAS	CARACTERÍST. FÍSICAS																			
										CARBONATOS (Dunham)						GRANULOMETRÍA (Wenworth)									GEOMETRÍA EXTERNA	GEOMETRÍA INTERNA	CONTACTO INFERIOR	ESPESOR DE CAPAS				BIOTUR.		COLOR										
										Mudst.		Wackest.		Packst.		Grainst.					Arcilla	Limo	Arena				Grava					md	d	m	g	mg	b	m	a					
98-	147	S27																																										
97-	146	S27																																										
96-	145	S26																																										
95-	144	S26																																										
94-	143	S25																																										
93-	142	S24																																										
92-	141	S23																																										
91-	140	S23																																										
90-	139	S22																																										
89	138	S22																																										
	137	S22																																										
	136	S22																																										
	135	S22																																										
	134	S22																																										

8.2.1.3.1 Segmento 9

Litológicamente hacia la base está compuesto por calizas micríticas de color gris oscuro, no clástica con estructura interna masiva; 68% de micrita, 29% de esparita (Ortoquímicos) y 3% de foraminíferos, (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como micrita fosilífera y según Dunham (1962) como mudstone.

El espesor total para este segmento es de 50 cm y corresponde a **facies de calizas micríticas a biomicríticas fosfáticas, masivas de capas lenticulares (Cmbmfml)**.

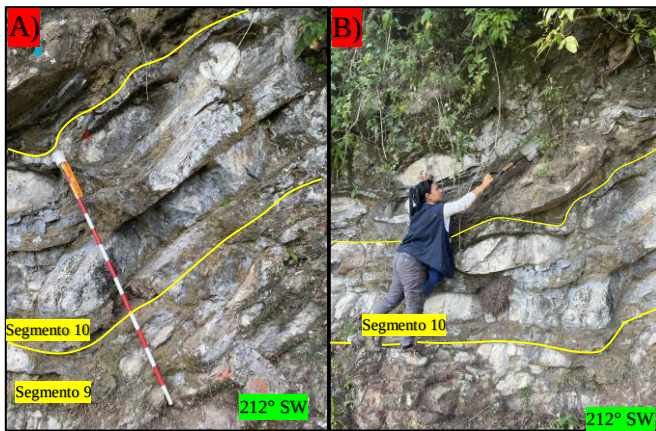


Figura 20. Segmento 9, segmento 10
Fuente: Autor(es)

8.2.1.3.2 Segmento 10

Este segmento consta de capas delgadas a gruesas, lenticulares de contactos ondulados y concreciones de 40 cm a 80 cm fig 20B.

La base del segmento litológicamente está compuesto por calizas micríticas de color gris claro, no clástica con estructura interna masiva, 15% de micrita (Ortoquímicos) y 37% de foraminíferos, 48% de Intraclastos que están compuestos de 19% de Chert y 29% de arenas (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como intramicrita y según Dunham (1962) como wackestone.

Hacia el techo este segmento presenta una litología de color gris claro, no clástica con estructura interna plano paralela; 12% de micrita, 6% de esparita (Ortoquímicos) y 57% de foraminíferos, 25% de Intraclastos de chert y arenas, (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como intramicrita y según Dunham (1962) como wackestone con olor a fosforo.

El espesor total para este segmento es de 1,1 metros y corresponde a **facies de calizas micríticas masivas y plano-paralelas de capas tabulares a lenticulares (Cmmpptl)**

8.2.1.3.3 Segmento 11

Este segmento presenta capas medianas a gruesas, cuneiformes, tabulares con contactos ondulados y concreciones de 50 cm fig 21A.

La base de este segmento se compone litológicamente de capas de chert negro con presencia de venillas de CaCo_3 intercalados con capas de limolitas calcáreas de color gris claro clasto soportada de estructura interna masiva fig 21C.

El techo del segmento comprende capas de chert color negro de estructura interna masiva con venillas de CaCo_3 y foraminíferos con olor a fosforo fig 21B, intercalados con calizas micríticas de color gris claro, no clástica con estructura interna masiva; 50% de micrita, 30% de esparita (Ortoquímicos) y 20% de foraminíferos (Aloquímicos);

clasificada según Folk (1962) como pelmicrita y según Dunham (1962) como wackestone con olor a fosforo fig 21D.

El espesor total para este segmento es de 1,5 metros y corresponde a **facies de calizas micríticas, limolitas calcáreas y chert con estructura interna masiva de capas tabulares y cuneiformes (Cmlcmctc)**.

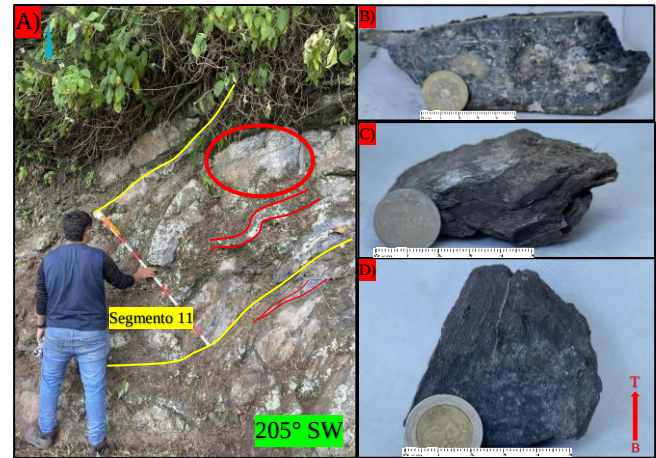


Figura 21. Segmento 11, Facies de calizas micríticas, limolitas calcáreas y chert con estructura interna masiva de capas cuneiformes y lenticulares. a) Capas cuneiformes b) GM-C-M29 Chert con venillas de CaCo_3 . c) GM-C-M31 Limolita calcárea. d) GM-C-M32 Caliza pelmicrita.
Fuente: Autor(es)

8.2.1.3.4 Segmento 12

Este segmento consta de capas delgadas a gruesas, lenticulares de contactos concordantes y ondulados con concreciones de 20 cm y 1.3 m aproximadamente fig 22A.

La base de este segmento se compone litológicamente por capas de calizas micríticas de color gris claro, no clástica con estructura interna masiva; 29% de micrita, 47% de esparita (Ortoquímicos) y 12% de foraminíferos, 12% de Intraclastos de chert 5% y Arenas 7% (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como biomicrita y según Dunham como wackestone.

Hacia el techo del segmento se presentan capas de shale laminar de color gris oscuro intercalado con capas de calizas micríticas de color gris oscuro, no clástica con estructura interna masiva; 9% de micrita, 11% de esparita (Ortoquímicos) y 80% de foraminíferos (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como pelmicrita y según Dunham como wackestone.

El espesor total para este segmento es de 2,1 metros y corresponde a **facies de calizas micríticas y shale de capas lenticulares (Cmsl)**.

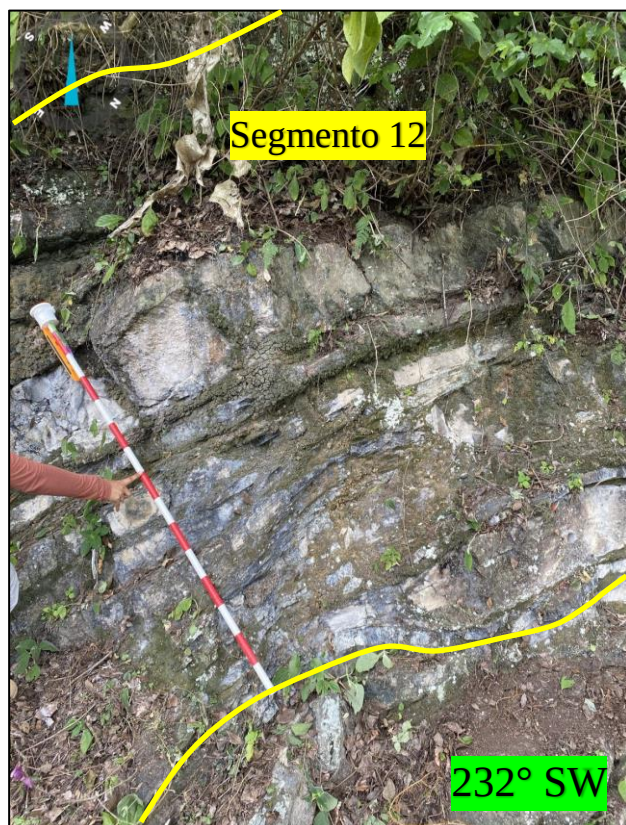


Figura 22. Segmento 12, Facies de calizas micríticas y shale de capas lenticulares con contactos netos y ondulados. a) Capas lenticulares. b) GM-C-M34 Caliza biomicrita.

Fuente: Autor(es)

8.2.1.3.5 Segmento 13

En este segmento se observan capas delgadas, tabulares con contactos netos fig 23A.

Este segmento comprende en la base capas de chert negro con presencia de venillas de CaCo_3 , intercalado con calizas micríticas, masivas de color gris oscuro. Hacia el techo presenta capas de shale de color gris oscuro de estructura interna laminar intercalado con limolitas calcáreas no cartografiables.

El espesor total para este segmento es de 80 cm y corresponde a **facies de chert, calizas micríticas y shale de capas tabulares. (Ccmst)**

8.2.1.3.6 Segmento 14

Este segmento presenta capas delgadas a gruesas, lenticulares con contactos ondulados con concreciones de 70 cm fig 24.

Compuesto litológicamente por capas de shale negros intercalados con calizas micríticas de color gris oscuro, no clástica con estructura interna masiva; 27% de micrita, 45% de esparita (Ortoquímicos) y 80% de foraminíferos, (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como bioesparita, según Dunham (1962) como wackestone, según Pettijohn (1987) como caliza y según Trappe (2001) como

wackestone fosfática intercaladas con limolitas calcáreas no cartografiables.

El espesor total para este segmento es de 1,40 metros y corresponde a **facies de shale, calizas micríticas a bioesparita y limolitas de capas lenticulares y cuneiformes. (Scmbellc)**

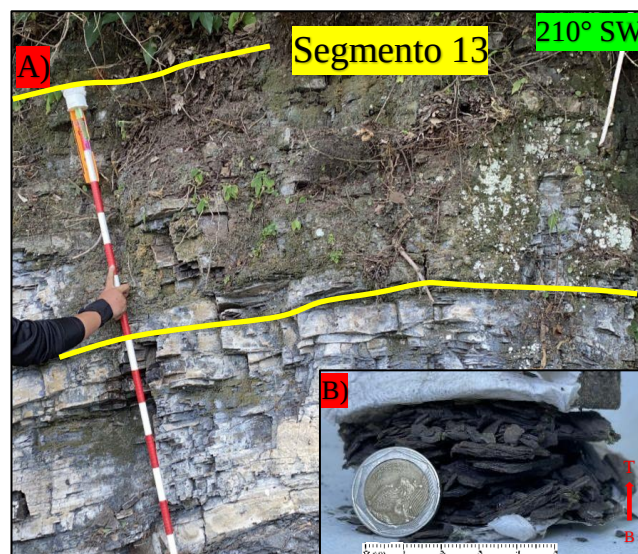


Figura 23. Segmento 13, Facies de chert, calizas micríticas y shale de capas delgadas, tabulares y contactos netos. A) Capas delgadas tabulares.

B) GM-C-M43 Shale laminar.

Fuente: Autor(es)

8.2.1.3.7 Segmento 15

Este segmento presenta capas delgadas a gruesas, tabulares de contactos concordantes netos y ondulados con concreciones de 15 cm aproximadamente fig 25.

La base del segmento presenta litologías de calizas micríticas de color gris oscuro, no clástica con estructura interna masiva; 6% de micrita, 2% de esparita (Ortoquímicos) y 71% de foraminíferos, 4% de bivalvos, 17% de Intraclastos de chert y arenas (Aloquímicos), con presencia de oxidación; clasificada según Folk (1962) como biomicrita, según Dunham (1962) como packstone, según Pettijohn (1987) como caliza y según Trappe (2001) como wackestone fosfática el cual se encuentra intercalada con capas de esporádicas de shale de color gris claro.

Hacia el techo esta litológicamente compuesta por calizas micríticas de color gris claro, no clástica con estructura interna plano paralela ; 16% de micrita, 6% de esparita (Ortoquímicos) y 8% de foraminíferos, 70% de Intraclastos compuestos de chert y arenas (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como biomicrita, según Dunham (1962) como wackestone, según Pettijohn (1987) como caliza y según Trappe (2001) como wackestone fosfática; el cual se encuentra intercalada con capas de limolitas calcáreas .

El espesor para este segmento es de 1,5 metros y corresponde a **facies de calizas biomicríticas, shale y limolitas calcáreas de capas tabulares. (Cbmslt)**



Figura 24. Segmento 14. Facies de shale, calizas pelmicrita y limolitas de capas lenticulares y cuneiformes. Capas lenticulares y cuneiformes con concreciones de 70 cm.
Fuente: Autor(es)



Figura 25. Segmento 15, Facies de calizas biomicritas, shale y limolitas calcáreas de capas tabulares con contactos netos y ondulados
Fuente: Autor(es)

8.2.1.3.8 Segmento 16

Este segmento presenta capas delgadas a gruesas, lenticulares y tabulares de contactos netos fig 26A.

En este segmento se encuentran litologías de calizas micríticas de color gris oscuro, no clástica con estructura interna masiva; 76% de micrita, 11% de esparita (Ortoquímicos) y 5% de foraminíferos, 8% de Intraclastos de chert (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como

biomicrita, según Dunham (1962) como wackestone, según Pettijohn (1987) como caliza y según Trappe (2001) como wackestone fosfática fig 26B.

Su espesor total es de 1 metro y corresponde a **facies de calizas micríticas fosfáticas masivas de capas lenticulares y tabulares (Cmfmlt)**

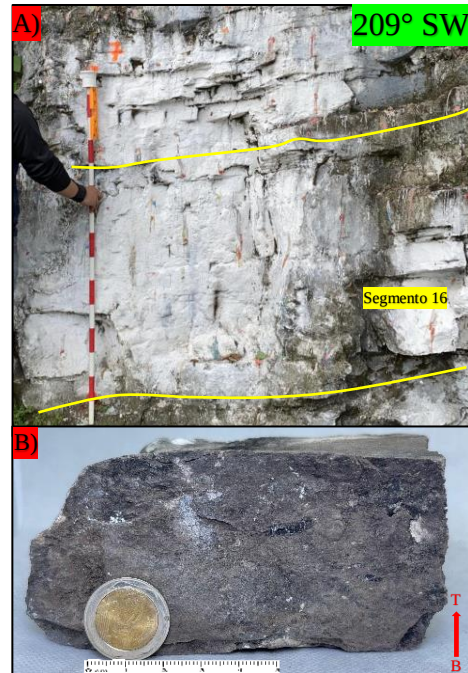


Figura 26. Segmento 16, Facies de calizas micríticas masivas de capas lenticulares y tabulares. a) Capas lenticulares y tabulares. b) GM-C-M58 Caliza biomicrita.
Fuente: Autor(es)

8.2.1.3.9 Segmento 17

Presenta capas delgadas a gruesas, lenticulares y tabulares de contactos netos y ondulados con concreciones de 3 cm, 60 cm y 70 cm fig 27A.

Este segmento se compone litológicamente de base a techo por calizas micríticas de color gris oscuro, no clástica con estructura interna masiva; 11% de micrita, 7% de esparita (Ortoquímicos) y 46% de foraminíferos, 24% de Intraclastos de chert y arenas (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como biomicrita, según Dunham (1962) como wackestone, según Pettijohn (1987) como caliza arenosa y según Trappe (2001) como wackestone fosfática.

El espesor total para este segmento es de 4,9 metros y corresponde a **facies de calizas micríticas fosfáticas masivas de capas lenticulares y tabulares (Cmfmlt)**

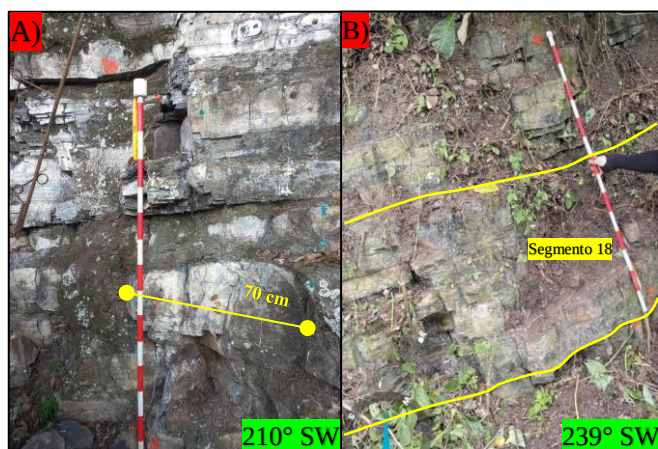


Figura 27. Segmento 17, Segmento 18. A) Capas lenticulares y tabulares con concreciones de 70 cm. B) Capas tabulares y cuneiformes.
Fuente: El Autor.

8.2.1.3.10 Segmento 18

Este segmento presenta capas muy delgadas a medianas, tabulares y cuneiformes de contactos netos y ondulados con concreciones de 45 cm aproximadamente fig 27B.

Este segmento presenta litologías de chert de color negro en contacto ondulado y netos con calizas micríticas de color gris claro, no clástica con estructura interna masiva; 53% de micrita, 17% de esparita (Ortoquímicos) y 8% de foraminíferos, 5% de Bivalvos, 11% de resto de pez y 6% de Intraclastos de chert y presencia de venas de calcita; Clasificada según Folk (1962) como biomicrita, según Dunham (1962) como wackestone, según Pettijohn (1987) como caliza y según Trappe (2001) como wackestone fosfática

El espesor total para este segmento es de 80 cm, y corresponde a **facies de chert y calizas biomicríticas de capas tabulares y cuneiformes (Ccbmtc)**.

8.2.1.3.11 Segmento 19

Este segmento presenta capas muy delgadas a delgadas, tabulares, lenticulares de contactos netos con concreción calcárea de 1.2 metros aproximadamente fig 28A.

Compuesto litológicamente por capas de chert negro en contacto ondulado con calizas micríticas de color gris oscuro, no clástica con estructura interna masiva; 40% de micrita, 18% de esparita (Ortoquímicos) y 2% de foraminíferos (Aloquímicos); con presencia de dolomías incipientes 40% fig 28C. Clasificadas según Folk (1962) como micrita fosilífera, según Dunham (1962) como mudstone, según Pettijohn (1987) como caliza y según Trappe (2001) como mudstone fosfática.

El espesor total para este segmento es de 1,7 metros y corresponde a **facies de chert y calizas micríticas de capas tabulares y lenticulares (Ccmtdl)**

8.2.1.3.12 Segmento 20

En este segmento se evidencian capas muy delgadas a delgadas, tabulares de contactos netos fig 28B.

Compuesto litológicamente de capas de calizas esparítica de color gris oscuro, no clástica con estructura interna plano paralela; 17% de micrita, 38% de esparita (Ortoquímicos) y 3% de foraminíferos (Aloquímicos); con presencia de dolomías incipientes 41% y venillas de calcita; clasificada según Folk (1962) como micrita fosilífera, según Dunham (1962) como mudstone, según Pettijohn (1987) como caliza y según Trappe (2001) como mudstone fosfática, intercaladas con chert de color negro meteorizados.

El espesor total para este segmento es de 1,9 metros y corresponde a **facies de calizas micríticas plano- paralelas y chert de capas tabulares. (Cmptt)**

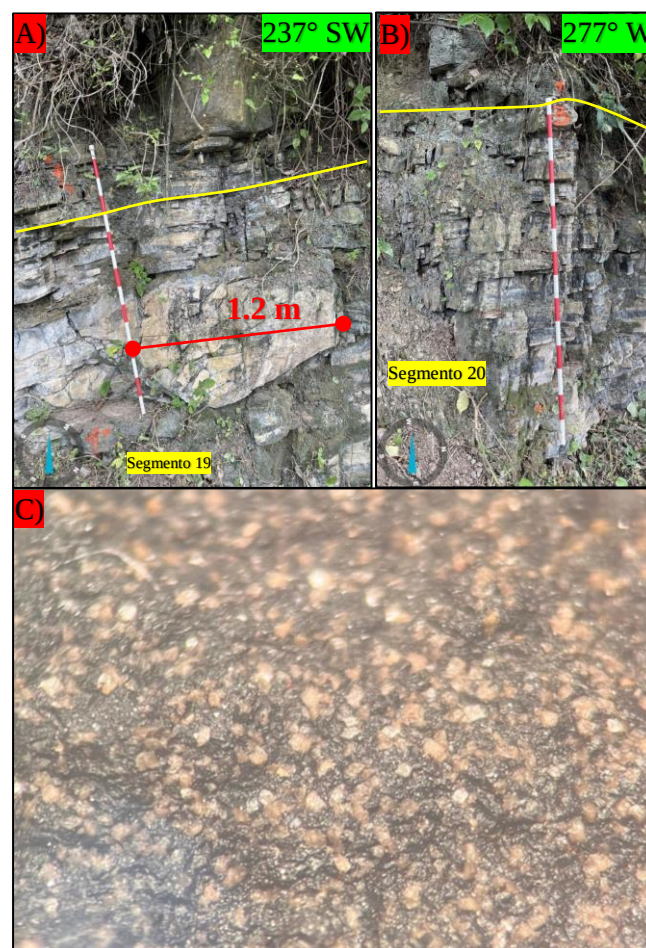


Figura 28. (Segmento 19), (Segmento 20). a) Capas lenticulares y tabulares con concreción de 1.2 metros. b) Capas tabulares de contactos netos. c) Dolomitización incipiente en GM-C-M72

Fuente: Autor(es)

8.2.1.3.13 Segmento 21

Este segmento presenta capas medianas, tabulares y lenticulares de contactos ondulados fig 29.

Está compuesto litológicamente de base a techo por capas de calizas micríticas de color gris claro, no clástica con estructura interna plano paralela; 31% de micrita, 28% de esparita (Ortoquímicos) y 6% de foraminíferos, 4% de restos de pez, 7% de Bivalvos, 24% de Intraclastos de chert y arenas (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como biomicrita, según Dunham (1962) como wackestone, según Pettijohn (1987) como caliza arenosa y según Trappe (2001) como wackestone fosfática, presenta olor a azufre.

El espesor total para este segmento es de 50 cm y corresponde a **facies de calizas biomicríticas fosfáticas de capas medianas tabulares y lenticulares. (Cbmftl)**



Figura 29. Segmento 21. Facies de calizas biomicríticas fosfáticas de capas medianas tabulares y lenticulares a) Capas lenticulares y tabulares. Fuente: Autor(es)

8.2.1.3.14 Segmento 22

En este segmento se encuentran capas muy delgadas a medianas, tabulares con contactos concordantes netos y ondulados fig 30A.

La base de este segmento consta de capas de chert color negro con alto diaclasamiento intercalado con calizas micríticas de color gris oscuro, no clástica con estructura interna plano paralela; 35% de micrita, 20% de esparita (Ortoquímicos) y 45% de foraminíferos (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como biomicrita, según Dunham (1962) como wackestone, según Pettijohn (1987) como caliza y según Trappe (2001) como wackestone fosfática.

Hacia el techo del segmento se presentan capas intercaladas de chert negro con calizas esparíticas de color gris claro, no clástica con estructura interna masiva compuesta por 16% de

micrita, 56% de esparita (Ortoquímicos) y 10% de foraminíferos, 4% de restos de pez, 8% de bivalvos y 6% de Intraclastos. (Aloquímicos), con presencia venillas de calcita; clasificada según Folk (1962) como bioesparita, según Dunham (1962) como wackestone, según Pettijohn (1987) como caliza y según Trappe (2001) como wackestone fosfática.

El espesor total para este segmento es de 8,5 metros y corresponde a **facies de calizas micríticas a esparíticas y chert de capas tabulares (Cmect)**

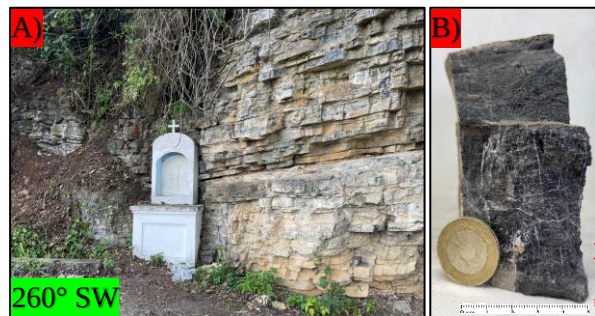


Figura 30. (Segmento 22), (Segmento 23). a) Capas tabulares con contactos ondulados y netos. b) Chert en contacto concordante de caliza biomicrita. c) Muestra macroscópica GM-C-M90.

Fuente: Autor(es)

8.2.1.3.15 Segmento 23

En este segmento se evidencian capas muy delgadas a delgadas, tabulares de contactos concordantes netos y ondulados.

Compuesto litológicamente de base a techo por chert de color negro con presencia de diaclasamiento rellenas de calcita en contacto concordante con calizas micríticas de color gris oscuro, no clástica con estructura interna plano paralela compuesta por 66% de micrita, 19% de esparita (Ortoquímicos) y 11% de foraminíferos, 4% de Bivalvos (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como biomicrita, según Dunham (1962) como wackestone, según Pettijohn (1987) como caliza fig 30B.

El espesor total para este segmento es de 1.5 metros y corresponde a **facies de chert y calizas micríticas de estructura interna plano-paralela de capas tabulares y lenticulares (Ccmpptl).**

8.2.1.3.16 Segmento 24

Este segmento comprende capas medianas a gruesas, tabulares de concordantes netos.

Compuesto litológicamente de base a techo por calizas micríticas de color gris oscuro, no clástica con estructura interna masiva, compuesta por 7% de micrita, 3% de esparita (Ortoquímicos) y 19% de foraminíferos, 10% de Bivalvos, 12% de restos de pez, 49% de Intraclastos de chert y arenas

(Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como intramicrita, según Dunham (1962) como packstone, según Pettijohn (1987) como caliza arenosa y según Trappe (2001) como packstone fosfática.

El espesor total de este segmento es de 60 cm y corresponde a **facies de calizas intramicritas fosfáticas (packstone) masivas de capas tabulares (Cimfmt)**

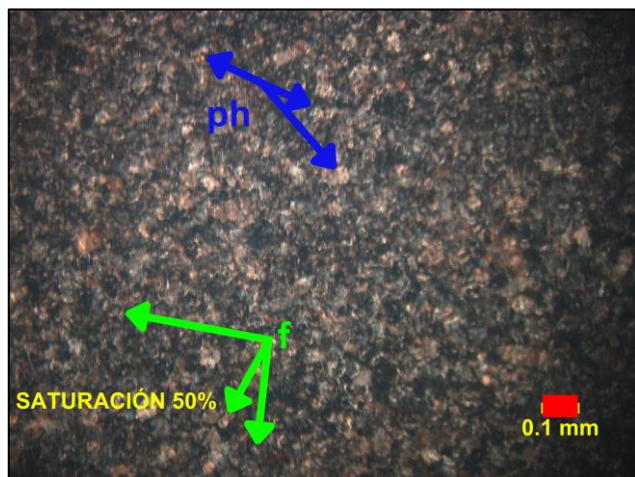


Figura 31. Segmento 24. Fotografía de pulido GM-C-M92 en estéreo trinocular (camara5x), Fragmentos de fosfatos (ph), foraminíferos (f)
Fuente: Autor(es)

8.2.1.3.17 Segmento 25

Este segmento consta de capas muy delgadas a delgadas, tabulares de contactos concordantes netos.

Esta segmento está compuesto litológicamente por capas de chert de color negro en contacto concordante hacia el techo con roca sedimentaria carbonatada de color gris oscuro, no clástica con estructura interna masiva compuesta por 58% de micrita, 40% de esparita (Ortoquímicos) y 2% de foraminíferos (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como micrita pelitífera, según Dunham (1962) como mudstone y según Pettijohn (1987) como caliza fig 32.

El espesor total para este segmento es de 80 cm y corresponde a **facies de chert y calizas micríticas (mudstone) masivas de capas tabulares (Ccmmt)**.

8.2.1.3.18 Segmento 26

Este segmento consta de capas muy delgadas a delgadas, tabulares y lenticulares de contactos concordantes netos y ondulados con concreciones de 30 cm aproximadamente fig 33.

Compuesto litológicamente de base a techo por chert negros en contacto lenticular con calizas micríticas de color gris oscuro, no clástica con estructura interna plano paralela compuesta por 52% de micrita, 23% de esparita (Ortoquímicos) y 15% de foraminíferos, 10% de Intraclastos (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como biomicrita, según Dunham (1962) como wackestone, según

Pettijohn (1987) como caliza y según Trappe (2001) como wackestone fosfática.

El espesor total de este segmento es de 2,4 metros y corresponde a **facies de chert y calizas micríticas de estructura interna plano-paralela de capas tabulares y lenticulares (Ccmptl)**.



Figura 32. Segmento 25, chert en contacto concordante con caliza micrítica GM-C-M93
Fuente: Autor(es)

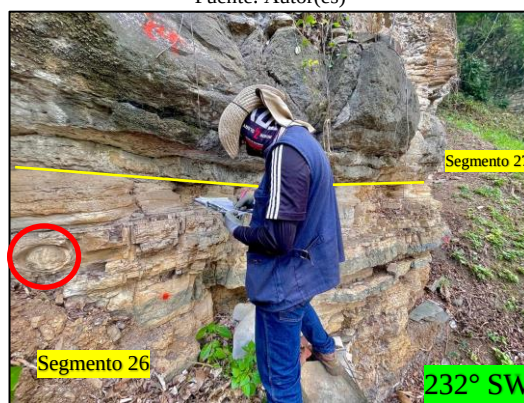


Figura 33. Segmento 26, Facies de chert y calizas micríticas de estructura interna plano-paralela de capas tabulares y lenticulares.
Fuente: Autor(es)

8.2.1.3.19 Segmento 27

Este segmento comprende delgadas a gruesas, tabulares de contactos concordantes netos fig 34A.

Esta segmento se encuentra litológicamente compuesto por capas de calizas micríticas de color gris oscuro, no clástica con estructura interna plano paralela compuesta por 37% de micrita, 10% de esparita (Ortoquímicos) y 48% de foraminíferos, 2% de Bivalvos, 3% de Intraclastos (Aloquímicos); clasificada según Folk (1962) como biopelmicrita, según Dunham (1962) como wackestone, según Pettijohn (1987) como caliza y según Trappe (2001) como wackestone fosfática. Del mismo modo presenta una capa de aproximadamente 60 cm de arenita fosfática de color marrón con tamaño de grano fino (30%) a muy fino (20%), presenta porosidad alta, con presencia de fósiles como bivalvos (4%), Ammonites (5%), material orgánico (20%), fragmentos de fosfatos (21%) fig 34C.

El espesor total para este segmento es de 1,7 metros y corresponde a **facies de Calizas micríticas y arenitas fosfáticas de capas tabulares (Cmaft)**

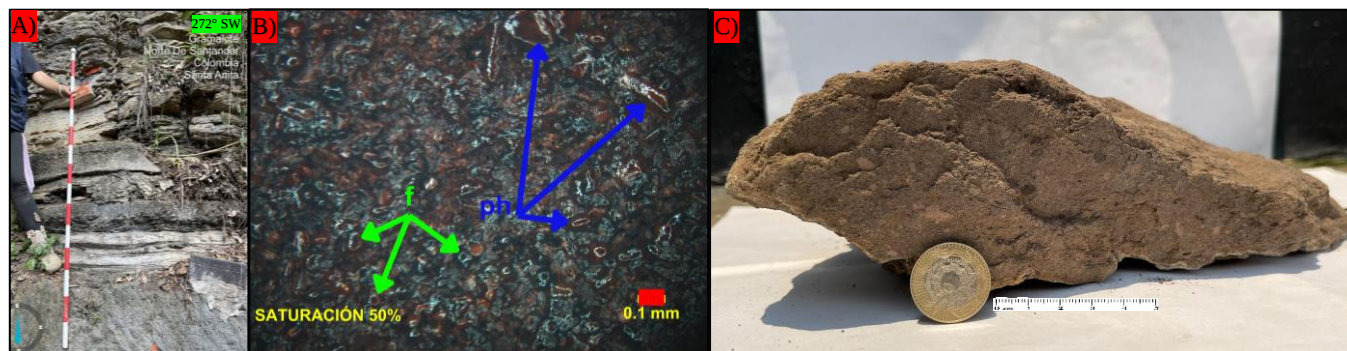


Figura 34. Segmento 27, Facies de calizas micríticas y arenitas fosfáticas de capas tabulares. a) Capas tabulares. b) Pulido de muestra M97, Fragmentos de fosfatos (ph) y foraminíferos (f). c) GM-C-M97. Arenita fosfática
Fuente: Autor(es)

CRETÁCICO SUPERIOR				Campaniano 83.6 ± 0.2 Ma				COLÓN MITO JUAN			
MIEMBRO				FTANITA DEL TÁCHIRA							
MUESTRA - Δ	BASTÓN	ESPESOR (m)	SEGMENTOS								

Figura 35. Columna estratigráfica del miembro La Ftanita del Táchira.
Fuente: Autor(es)

8.2.1.4 Miembro Ftanita del Táchira

Este miembro se encuentra constituido por capas delgadas de chert negro, debido a sus cambios faciales este miembro se divide en dos segmentos que corresponden a segmento 28, y segmento 29 el espesor total para este miembro es de 21 metros fig 35.

8.2.1.4.1 Segmento 28

Este segmento consta de delgadas, tabulares y cuneiformes de contactos concordantes netos y ondulados fig 36A. Compuesto litológicamente por capas de chert negro altamente meteorizada, con presencia de foraminíferos y re-depositación de CaCo_3

Es espesor total para este segmento es de 14 metros y corresponde a **facies de chert de capas tabulares y cuneiformes. (Ctc)**

8.2.1.4.2 Segmento 29

Este segmento presenta capas delgadas, tabulares de contactos concordantes netos fig 36B. Compuesto litológicamente por capas de chert negro de estructura interna plano- paralela con presenta oxidación y venillas de CaCo_3 . Estas capas se encuentran altamente meteorizados y en algunas de ellas se observan re-depositación de CaCo_3 .

El espesor total para este segmento es de 3 metros y corresponde a **facies de chert con estructura interna plano-paralelas de capas tabulares (Cppt).**



Figura 36. A) Segmento 28 Capas tabulares y cuneiformes. B) Segmento 29

Fuente: Autor(es)

8.2.1.5 Formación Colon – Mito Juan

En el área de estudio se realizó el levantamiento estratigráfico de 1,5 metros del miembro inferior de la Formación Colon – Mito Juan, cual consta de capas muy delgadas de shale de color gris oscuro, intercalados con capas esporádicas de limolitas fosilíferas y arenitas fosfáticas, en contacto infrayacente erosivo con la Formación La Luna, con un espesor total de 1.5 metros como se observa en la figura 38. Esta formación presenta litologías de base a techo, shale de color gris oscuro, con estructura interna laminar, tamaño de grano limo y arcillas, alta friabilidad, baja porosidad, con presencia de líticos (5%) intercalados con arenitas fosfáticas de grano fino y limolita de color gris oscuro clasto soportada, estructura interna plano paralela, tamaños de granos arena muy finas 30% tamaño de limos 70%, baja fisilidad, alta porosidad, compuesta texturalmente por 30% arenas, 70% limo con presencia de bivalvos, pellets, restos biogénicos.

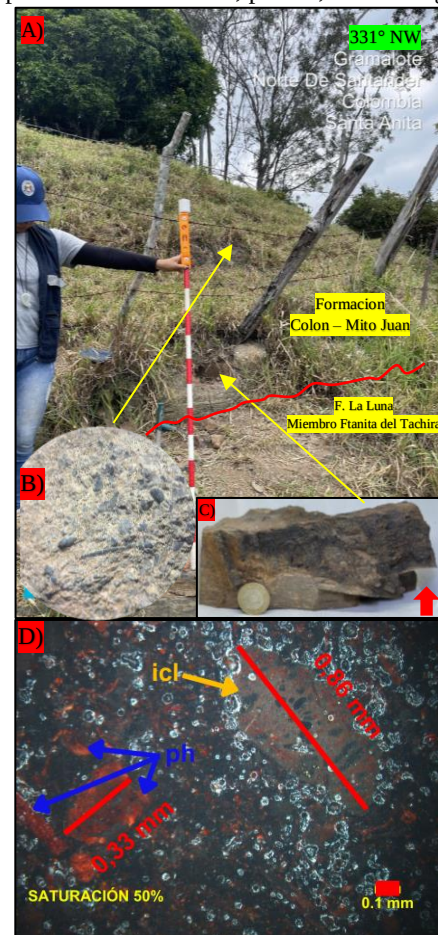


Figura 37. Contacto concordante suprayacente de la Formación La Luna con la Formación Colon-Mito Juan. a) Evidencia de Pellets en limolita GM-C-M107. b) Muestra Macroscópica GM-C-M109. c) Intraclastos (icl) y fragmentos de fosfatos en pulido GM-C-M108.

Fuente: Autor(es)

Facies	Nomenclatura	Zonas
Facies de calizas micríticas con estructura interna plano-paralela y capas tabulares	(Cmppt)	VII
Facies de calizas micríticas a boesparíticas y limolitas calcáreas con estructura interna masiva de capas tabulares	(Cmbelmt)	VII
Facies de calizas biomicríticas y limolitas de estructura interna plano-paralela y capas tabulares	(Cbmlppt)	VIII
Facies de calizas biomicríticas y limolitas calcáreas masivas de capas tabulares	(Cbmlmt)	VIII
Facies de calizas intramícríticas y limolitas calcáreas plano-paralelas de capas tabulares	(Cimlppt)	VII
Facies de shale calcáreos, limolitas calcáreas y calizas biomicríticas con estructura interna plano-paralelas de capas tabulares	(Slcbmppt)	VII
Facies de calizas micríticas masivas y plano-paralelas de capas tabulares a lenticulares	(Cmmpptl)	IV
Facies de calizas micríticas a biomicrita fosfáticas, masivas de capas lenticulares	(Cmbmml)	II
Facies de calizas micríticas, limolitas calcáreas y chert con estructura interna masiva de capas tabulares y cuneiformes.	(Cmlcmte)	II
Facies de calizas micríticas y shale de capas lenticulares	(Cmsl).	II
Facies de chert, calizas micríticas y shale de capas delgadas, tabulares.	(Ccmsdt)	II
Facies de shale, calizas micríticas a boesparíticas y limolitas de capas lenticulares y cuneiformes	(Scpmlco)	III
Facies de calizas biomicríticas, shale y limolitas calcáreas de capas tabulares	(Cbmslt)	II
Facies de calizas micríticas fosfáticas masivas de capas lenticulares y tabulares	(Cmfmlt)	VII
Facies de chert y calizas biomicríticas de capas tabulares y cuneiformes	(Ccbmtc).	III
Facies de chert y calizas micríticas de capas tabulares y lenticulares	(Ccmtl).	III
Facies de calizas micríticas plano- paralelas y chert de capas tabulares	(Cmppt)	II
Facies de calizas biomicríticas fosfáticas de capas medianas tabulares y lenticulares	(Cmftl)	II
Facies de calizas micríticas a esparíticas y chert de capas tabulares	(Cmect)	III
Facies de chert y calizas micríticas de estructura interna plano-paralela de capas tabulares y lenticulares	(Ccmppptl).	III
Facies de calizas intramícríticas fosfáticas (packstone) masivas de capas tabulares	(Cimfmt)	IV
Facies de chert y calizas micríticas (mudstone) masivas de capas tabulares	(Ccmmt)	II
Facies de chert y calizas micríticas de estructura interna plano-paralela de capas tabulares y lenticulares	(Ccmppptl).	III
Facies de calizas micríticas y arenitas fosfáticas de capas tabulares	(Cmaft)	III
Facies de chert de capas tabulares y cuneiformes.	(Ctc)	II
Facies de chert con estructura interna plano-paralelas de capas tabulares	(Cppt)	I

Tabla 1. Facies de La Formación La Luna en el área de estudio

Fuente: Autor(es)

9. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

En la Formación la Luna, más específicamente en el sector del cementerio se realizó el levantamiento estratigráfico a escala 1.100, iniciando desde el miembro la aguada que consta de calizas micríticas con estructuras internas plano-paralelas y masivas de capas tabulares y limolitas calcáreas, con un espesor total 10,5 metros para este miembro, suprayaciendo se evidencia el miembro Chejendé con capas delgadas a medias de shale negro intercalado con limolitas calcáreas y calizas micríticas de capas tabulares con un espesor de 3 metros aflorantes.

Sobre el miembro Chejendé suprayace el miembro Tímbetes el cual presenta intercalaciones de capas muy delgadas a medias de chert negro, calizas micríticas fosfáticas, tabulares, lenticulares y cuneiformes con estructuras internas masivas y plano-paralelas, el cual cuenta con espesor de 38 metros aflorantes y 74 metros cubiertos metros hacia la parte superior se encuentra el miembro ftanita del Táchira presentando capas delgadas de chert negro y capas medianas de arenitas fosilíferas de grano fino con un espesor total de 21.5 metros. La Formación La Luna, infrayace con contacto erosivo la Formación Colón-Mito Juan el cual está compuesto por capas delgadas de arenitas fosfáticas, capas muy delgadas a delgadas de shale negro y capas delgadas de limolitas con gran contenido fósil.

El análisis e interpretación ambiental en la sección levantada se realizó mediante las características faciales identificadas en la Formación la Luna del sector del cementerio, donde se logró determinar que los miembros correspondientes de esta formación como lo son La Aguada, Chejendé, Tímbetes y Ftanita del Táchira corresponden a ambientes de plataforma continental y rampa profunda de la plataforma continental, el cual fueron divididos por sub-ambientes relacionados con este tipo de plataformas según el esquema general de distribución de facies en el modelo estándar de Wilson (1975) fig 38. Determinando así la influencia de las variaciones del nivel del mar en la zona de estudio.

Con base en la sección levantada de la Formación la luna, específicamente en el miembro La Aguada se evidencian capas delgadas, medias y gruesas tabulares de calizas micríticas con estructura interna plano-paralelas, las cuales indican una depositación uniforme y tranquila en un entorno de baja energía con pocas perturbaciones marinas someras, sugiriendo una sedimentación continua y estable característico de un ambiente de plataforma restringida tipo VII, según con el modelo estándar de Wilson (1975).

Del mismo modo en este miembro se evidenciaron limolitas calcáreas con estructura interna masiva de capas tabulares el

cual siguen representando un ambiente de plataforma abierta donde la energía varía, permitiendo la deposición de diferentes tipos de carbonatos y la sedimentación de material detrítico reflejando eventos de alta energía cerca a zonas costeras, estas características reflejan una plataforma abierta tipo VII, según el modelo estándar de Wilson (1975)

En el segmento 3 se observaron capas delgadas a gruesas tabulares de calizas biomicritas y materiales detríticos de estructura interna plano-paralelas, el cual indican un ambiente de plataforma restringida donde la sedimentación presenta energía relativamente baja, indicadores de oleajes normales, reflejando una plataforma restringida de tipo VIII según el modelo estándar de Wilson (1975). Para el miembro La Aguada se determina un ambiente desde plataforma restringida tipo VIII a plataforma abierta tipo VII.

Suprayaciendo el Miembro La Aguada se encuentra el miembro Chejendé, compuesto por calizas biomicritas y limolitas calcáreas masivas de capas tabulares, sugiriendo un ambiente de plataforma restringida caracterizado por sedimentación de baja energía y oleaje normal, la estructura interna masivas de capas tabulares indican una deposición continua y uniforme, mientras que el aporte de material detrítico muy fino sugiere transporte desde la línea de costa. posteriormente facies compuestas por materiales detríticos con estructuras internas plano-paralelas de capas tabulares, indican condiciones de aguas marinas abiertas de zonas poco profundas, de sedimentación tranquila sugiriendo una plataforma tipo VII Según el modelo estándar de Wilson (1975), las facies de calizas masivas y plano-paralelas de capas tabulares a lenticulares, podría interpretarse como resultado de una intercalación de procesos de baja a moderada energía, reflejados en las capas lenticulares, típicos de procesos de deslizamiento o flujos de turbidez, sugiriendo una plataforma de talud SS tipo IV.

El Miembro Tímbetes presenta facies de calizas micríticas fosfáticas, masivas de capas lenticulares, estas facies reflejan un ambiente de alta productividad biológica, y condiciones anóxica o subóxica que favorecen la fosfatización, procesos químicos como la

solubilidad del fosfato que es mayor debido a las altas presiones parciales de CO₂.

En el segmento 10 se presenta facies de calizas micríticas masivas, plano paralelas, tabular y lenticular reflejando procesos de baja a moderada energía y eventos de sedimentación rápida, caracterizando una plataforma tipo IV. Las facies de calizas micríticas masivas, limolitas calcáreas y chert de capas cuneiformes, indicando un ambiente de plataforma abierta tipo II, con sedimentación hemipelágica de finos carbonatos y aportes terrígenos, por otra parte las capas cuneiformes se relacionan con corrientes de turbidez episódicas. En el segmento 12, la intercalación de calizas micríticas y shale masivas y plano- paralelas de capas lenticulares sugieren fluctuaciones en la energía del oleaje, con periodos tranquilos de sedimentación de carbonatos y eventos de mayor energía, distribuyendo los sedimentos en la plataforma. Esto corresponde a un ambiente de plataforma tipo II según el modelo de Wilson (1975).

En el segmento 14 Las facies de shale, calizas micríticas a boesparíticas masivas y limolitas de capas lenticulares y cuneiformes sugieren una mezcla de aportes hemipelágicos por corrientes de turbidez de carbonatos finos y materiales terrígenos, indicando periodos de alta energía, las capas lenticulares y cuneiformes reflejan lapsos de deposición rápida debido a eventos locales, indicando una plataforma tipo III según Wilson (1957).

En los Segmentos 16, 17 y 18 Estas facies representan una plataforma marina somera, oxigenada y con alta productividad biológica. La ausencia de terrígenos y la lejanía de la costa permitieron la acumulación de sedimentos carbonatados y fosfáticos en un ambiente marino abierto. Las geometrías tabulares y lenticulares indican depósitos continuos con variaciones locales.

Las facies de calizas micríticas y arenitas fosfáticas de capas tabulares, con alto contenido fosilífero, sugieren transporte desde el fondo marino por corrientes de surgencia hacia el pie de talud. Posteriormente, se produce el transporte y sedimentación del material terrígeno desde la línea costera, indicando un ambiente de plataforma pie de talud tipo III, según Wilson (1975).

En el miembro Ftanita del Táchira Presenta facies de chert en capas tabulares, representando la transición entre la plataforma somera y el talud continental más profundo, ubicándose en una plataforma de tipo cuenca I y plataforma abierta II, según Wilson (1975).

Zonas	I Cuenca	II Plataforma abierta	III Pie de talud	IV Talud SS	V Arriete o margen de la plataforma	VI Arriete del borde de la plataforma	VII Plataforma abierta	VIII Plataforma restringida	IX Llanura supramarinal epicontinental (batial)
Facies	Cuencas (transitas o epicontinentales) a) Calizas finas. b) Carbonatos. c) Esquistos.	Plataforma abierta (marino restringido) a) Calizas finas. b) Carbonatos. c) Esquistos.	Carbonatos del pie de talud. Límite de la plataforma profunda. a) Calizas. b) Esquistos.	Talud SS. a) Sedimentos de arena fina con dolomitos. b) Arenas de arena fina con dolomitos. c) Lodos calcáreos.	Arriete o margen de la plataforma. a) Arenas de arena fina con dolomitos. b) Arenas de arena fina con dolomitos. c) Lodos calcáreos.	Arriete del borde de la plataforma. a) Arenas de arena fina con dolomitos. b) Arenas de arena fina con dolomitos. c) Lodos calcáreos.	Plataforma abierta (marino restringido) a) Calizas finas. b) Carbonatos. c) Esquistos.	Plataforma restringida (marino restringido) a) Calizas finas. b) Carbonatos. c) Esquistos.	Llanura supramarinal epicontinental (batial) a) Calizas finas. b) Carbonatos. c) Esquistos.
Litología	Puercas o lomas secas, calizas en bloques, calizas en bloques, calizas en bloques.	Calizas masivas, calizas en bloques, calizas en bloques.	Calizas de gran tamaño, calizas en bloques, calizas en bloques.	Variable, desde arena fina hasta arena gruesa, calizas en bloques.	Calizas y dolomitos masivos.	Calizas y dolomitos masivos.	Calizas y dolomitos masivos.	Calizas y dolomitos masivos.	Dolomitos y calizas masivos.
Organismos	Exclusivamente fósiles marinos y planctónicos, fósiles marinos abundantes en los planos de estratificación.	Organismos con conchas infundibulares y planctónicos, fósiles marinos abundantes en los planos de estratificación.	Organismos con conchas infundibulares y planctónicos, fósiles marinos abundantes en los planos de estratificación.	Organismos con conchas infundibulares y planctónicos, fósiles marinos abundantes en los planos de estratificación.	Organismos con conchas infundibulares y planctónicos, fósiles marinos abundantes en los planos de estratificación.	Organismos con conchas infundibulares y planctónicos, fósiles marinos abundantes en los planos de estratificación.	Organismos con conchas infundibulares y planctónicos, fósiles marinos abundantes en los planos de estratificación.	Organismos con conchas infundibulares y planctónicos, fósiles marinos abundantes en los planos de estratificación.	Organismos con conchas infundibulares y planctónicos, fósiles marinos abundantes en los planos de estratificación.
Microfacies tipo (interfazión estándar de Wilson)	1. Epicalizas. 2. Calizas masivas. 3. Muestras de calizas. 4. Esquistos.	5. Calizas masivas. 6. Calizas masivas. 7. Calizas masivas. 8. Calizas masivas.	9. Calizas masivas. 10. Calizas masivas. 11. Calizas masivas. 12. Calizas masivas.	13. Calizas masivas. 14. Calizas masivas. 15. Calizas masivas. 16. Calizas masivas.	17. Calizas masivas. 18. Calizas masivas. 19. Calizas masivas. 20. Calizas masivas.	21. Calizas masivas. 22. Calizas masivas. 23. Calizas masivas. 24. Calizas masivas.	25. Calizas masivas. 26. Calizas masivas. 27. Calizas masivas. 28. Calizas masivas.	29. Calizas masivas. 30. Calizas masivas. 31. Calizas masivas. 32. Calizas masivas.	33. Calizas masivas. 34. Calizas masivas. 35. Calizas masivas. 36. Calizas masivas.

Figura 17. Esquema general de distribución de facies en el modelo estándar de Wilson

Fuente: Arche Alfredo. (2010) modificado de Wilson (1975).

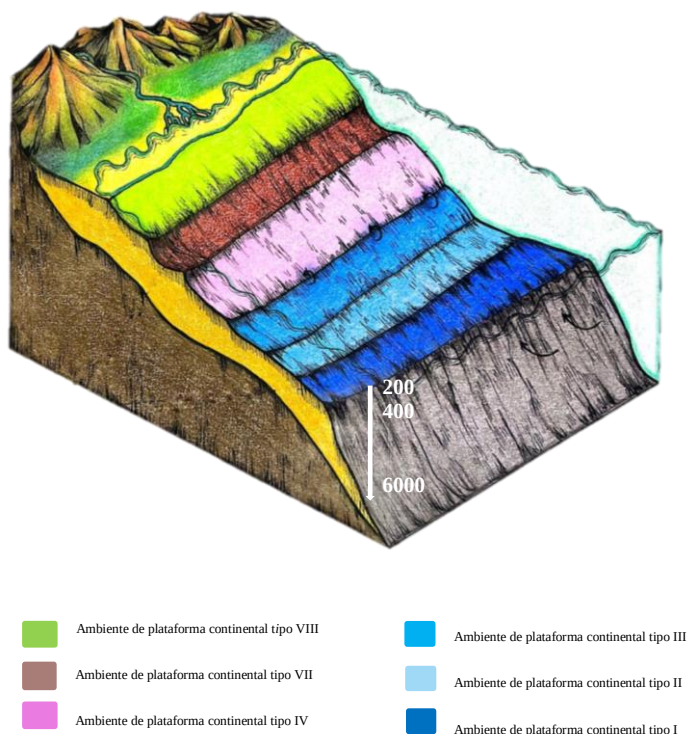


Figura 39. Bloque diagrama de los ambientes de La Formación La Luna en el área de estudio.

Fuente: Autor(es)

10. DISCUSION DE RESULTADOS

Lo anterior, determina para la Formación la Luna en el sector del Cementerio del Municipio de Gramalote, Norte de Santander un ambiente de depositación que va desde una plataforma restringida tipo VIII a una plataforma abierta tipo VII y de una plataforma talud SS tipo IV hacia zonas más profundas de la cuenca fig 39.

A partir de los resultados descritos en la sección anterior, donde se interpretaron los ambientes de plataforma continental según Wilson (1985), en este apartado se presenta de manera detalla el análisis e interpretación de los datos obtenidos, a modo de dar respuesta a los objetivos planteados:

El análisis de las características faciales, indican la predominancia del componente carbonático para la Formación la Luna en el sector del cementerio, siendo este el componente dominante el cual corresponde a rocas calizas, no obstante se evidencia la presencia de materiales detríticos, fosfáticos y siliciclasticas.

Los materiales detríticos son indicativos de aguas tranquilas con baja energía, sugiriendo una depositación dentro de un ambiente de bajo aporte de material terrígeno en el miembro La Aguada de la Formación La Luna, en el área se estudió.

La evidencia de componentes detríticos de tamaño limo-arena fina y muy finos sugieren un mecanismo de transporte que no genero mucho desgaste, por lo que la sedimentación

quizá fue lo suficientemente baja permitiendo así la depositación de estos sedimentos finos

La presencia de esparita en los sedimentos de fondo, indican que el material calcáreo predominó durante la sedimentación, por otra parte, la micritización característica de las muestras analizadas, pudieron tener lugar durante el proceso diagenético, envolviéndose alrededor de restos fósiles, considerando los inicios de este proceso dentro de una diagénesis temprana.

Durante la sedimentación del miembro Chejendé y Tímbetes, se dio la incorporación de Intraclastos de chert, las evidencias sugieren que estos Intraclastos fueron transportados hacia la zona de sedimentación desde zonas más profundas por corrientes surgidas

Para el miembro Tímbetes en rocas calizas fosfáticas, se observaron granos rómbicos y euhedral, identificando un proceso de dolomitización, el cual ocurre de manera incipiente. Se considera que la dolomitización marca un avance acerca de las condiciones diagenéticas que actúan sobre las rocas fosfáticas, donde el reemplazo de Ca^{2+} por Mg^{2+} dentro de la estructura de la calcita probablemente refleje el inicio de un proceso diagenético moderado hacia avanzado, donde quizás, este reemplazo fue promovido por un incremento en la disponibilidad de magnesio durante la diagénesis.[30]

El Miembro Tímbetes presenta la mayor concentración de fosfatos debido a una combinación de factores que se dieron con mayor intensidad en este miembro como lo es la alta productividad biológica, condiciones anóxicas o subóxicas, alta solubilidad del fosfato, variabilidad en la tasa de sedimentación y una distribución favorable de los fosfatos, la alta productividad biológica en este ambiente marino profundo generó una gran cantidad de organismos plancónicos que, al morir y descomponerse, liberaron fósforo al agua. Las altas presiones parciales de CO_2 en este ambiente marino profundo incrementaron la solubilidad del fosfato, facilitando su transporte y acumulación en su depositación

En el miembro Tímbetes de La Formación La Luna se evidencia un depósito sedimentario notable en el que se ha identificado una capa de arenita fosfática de aproximadamente 60 cm de espesor. Comprender los procesos geológicos y ambientales que llevaron a la depositación de esta capa es crucial para poder entender los factores claves en la depositación de esta arenita fosfática, pero definamos estas arenas, Boggs, define a las fosforitas como depósitos sedimentarios que comprenden más de 15-20 % de P_2O_5 , y que se encuentran significativamente enriquecidos en fósforo, en comparación con otros tipos de rocas sedimentarias. Boggs, también plantea que las lutitas, areniscas y calizas contienen menos de un 20% de P_2O_5 . No obstante, aquellas que se encuentren con concentraciones de P_2O_5 superiores a su valor promedio, serán referenciadas como rocas fosfáticas [31], ahora bien, ¿cómo se depositaron estas rocas allí?

Las corrientes de surgencia juegan un papel importante en el transporte y acumulación de sedimentos y nutrientes en plataformas marinas, estas corrientes transportan y depositan materiales fosfáticos y terrígenos. A diferencia de otros tipos de rocas, las fosforitas no se forman a partir de un único proceso, en cambio, existen diversos modelos que intentan explicar su génesis, cada uno enfocándose en diferentes condiciones ambientales y mecanismos. Este modelo, sugiere que las fosforitas se forman en zonas donde las aguas profundas ricas en nutrientes y dióxido de carbono (CO₂), ascienden hacia la superficie; El aumento del pH del agua, producto de la liberación de CO₂, disminuye la solubilidad del carbonato-fluorapatito (CFA), un mineral fosfatado presente en el agua de mar, lo que induce su precipitación y la formación de sedimentos fosfáticos [32], por otra parte los márgenes continentales constituyen un ambiente geológico muy común, donde se propicia la ocurrencia de depósitos de fosforitas y rocas fosfáticas, involucrando así tanto a márgenes continentales pasivos como activos, los fosfatos se encuentran principalmente en cuatro formas: nódulos, capas, costras y arenas fosfóricas.[33]

Estos depósitos se ubican principalmente en plataformas y taludes, especialmente en la parte superior del talud, sin embargo, existen excepciones en cuanto a los depósitos de fosforitas continentales, estos suelen presentar numerosas inconformidades erosionales en su superficie, asociadas a fallamientos intermitentes del talud y a procesos de erosión causados por las corrientes de fondo durante miles de años. [33]

En el miembro Ftanita del Táchira, las características faciales sugieren una sedimentación bajo un ambiente transicional, que va desde una zona hemipelágica a una zona pelágica.

La sedimentación de la parte más profunda, es decir la parte basal del miembro Ftanita del Táchira, pudo ocurrir en una zona anóxica, donde posteriormente las condiciones paleoceanográficas modificarían las condiciones de estancamiento de las aguas oceánicas y así propiciar la circulación a través de las corrientes de surgencia, permitiendo la sedimentación de estos chert característicos del miembro Ftanita del Táchira.

En la Formación Colón-Mito Juan, se evidencia sedimentación de limolita con textura de grano fino, con partículas predominantemente en el rango del limo, la muestra contiene bivalvos, pellets y restos biogénicos, lo que indica un ambiente de alta productividad biológica, la baja densidad de esta limolita puede explicarse por varios factores. El alto contenido de materia orgánica, típico de ambientes anóxicos. La falta de compactación fuerte y la mínima cementación inicial permiten que los sedimentos mantengan una alta porosidad, contribuyendo a la baja densidad de la limolita, la presencia de minerales arcillosos y restos biogénicos, que tienen una densidad relativamente baja, incrementa la porosidad y reduce aún más la densidad total de la roca [31]. En esta misma formación se evidencian

capas de shale, roca sedimentaria formada principalmente por arcilla y sedimentos finos depositados en condiciones de agua tranquila y poca energía, en la parte superior sugiere un cambio en las condiciones ambientales, la alternancia con shale (colón) podría reflejar ciclos repetitivos de deposición rápida de sedimentos, seguidos de períodos de sedimentación más lenta y tranquila, estos ciclos pueden ser indicativos de fluctuaciones en las condiciones oceanográficas locales, como cambios en la intensidad de las corrientes marinas, la proximidad a la costa, o cambios en la circulación oceánica que afectan la energía y el tipo de sedimentos depositados, el cual nos permite evidenciar esos materiales biogénicos que se encuentran como restos de troncos, incluyendo conchas de bivalvos, desarticuladas, re trabajadas y transportadas.

11. Conclusiones

- En el sector del Cementerio, Municipio de Gramalote, Norte de Santander, mediante el método de bastoneo y la poligonal abierta se realizó el levantamiento de la sección estratigráfica de las rocas aflorantes de la Formación La Luna estableciendo un espesor de 73 metros, siendo zonas cubiertas 96 metros, para un espesor total de 169 metros.
- El contador Geiger fue utilizado sistemáticamente para medir la radiactividad y preseleccionar las muestras sometidas a análisis químico que forma un complejo fosfomolibdico de intensidad de color amarillo, el cual varía según la cantidad de fósforo, corroborando la presencia de fósforo en las muestras de la sección estratigráfica, el contador identifica emisiones variables que sugieren la presencia de minerales o elementos radiactivos, evidenciando, la mayor concentración de fragmentos fosfáticos en el miembro Tímbetes .
- El análisis de las características sedimentológicas de la Formación La Luna en el sector del Cementerio del municipio de Gramalote, Norte de Santander, sugiere según el modelo estándar Wilson (1975) seis sub-ambientes que van desde una plataforma restringida tipo VIII a una plataforma abierta tipo VII y de una plataforma talud SS tipo IV hacia zonas más profundas de la cuenca proporcionando una visión detallada del ambiente deposicional del área de estudio.

Recomendaciones

- Realización de un estudio bioestratigráfico para la clasificación detallada de los fósiles en la sección, el cual permitirá la identificación de zonas bioestratigráficas específicas y la correlación con eventos geológicos y ambientales, aportando datos sobre la edad relativa de las capas y las condiciones paleoambientales.

- Realización estudios geológicos más profundos: análisis espectrométrico de rayos gamma para identificar radionucleidos como uranio, torio y potasio; difracción de rayos X (XRD) para determinar la composición mineralógica; y espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) para evaluar la concentración de estos elementos y otros metales.

Reconocimientos

Queremos expresar un agradecimiento a nuestra directora, PhD Alejandra Eugenia Mejía - Molina y Co-director, MsC Ilich Sebastián Villamizar Solano, por sus orientaciones, tiempo y dedicación a nuestra investigación, del mismo modo a los grupos de investigación Mammoth y Terramare adscritos a la Universidad de Pamplona.

Quiero agradecer profundamente a mi madre, Jaqueline Caicedo y mi padre, Gonzalo Patiño por su apoyo incondicional y por siempre creer en mí y en mis sueños de ser profesional “por ustedes y para ustedes”. Del mismo modo a todas esas personas especiales que hicieron parte de este proceso, incluida familia, amigos y docentes.

— Yuliana Paola Patiño Caicedo

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi mamá, María Elena, por su amor incondicional y su apoyo constante en cada paso de este camino, a mi tío Edinson y mi abuela Orfelina, por ser un pilar fundamental en los momentos más complicados, a toda mi familia, por ser mi soporte y fuente de motivación, a Clare Mantilla, por su paciencia y su valioso aporte a mi vida a lo largo de este viaje profesional. Gracias a todos por ayudarme a cumplir mis metas.

— Jose Julian Monsalve ropero.

Referencias

- Notestein, F. B., Hubman, C. W., & Bowler, J. W. (1944). Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia, South America [Geología de la Concesión Barco, República de Colombia, América del Sur]. Bulletin of the Geological Society of America, 55(10), 1165-1216. <https://doi.org/10.1130/GSAB-55-1165>
- Hedberg, H. D., & Sass, L. C. (1937). Synopsis of the geologic formations of the western part of the Maracaibo Basin, Venezuela [Sinopsis de las formaciones geológicas de la parte occidental de la cuenca de Maracaibo, Venezuela]. Boletín Geológico y Minero (Venezuela, Servicio Técnico de Geología y Minería), 1(2-4), 71-112.
- Fuquen, J. A., Ceballos, L., Marín, E., Patiño, A., & Pedraza, A. (2011). Geología de las planchas 98-Durania y 99-Villa del Rosario Norte de Santander-Colombia. Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS), 1-119.
- Sievers, W. (1888). Die Cordillera von Merida, nebst Bemerkungen über das karibische Gebirge [La cordillera de Mérida, con comentarios sobre la montaña caribeña]. Geographische Abhandlungen., 3(1), 1-238.
- Sutton, F. A. (1946). Geology of Maracaibo Basin, Venezuela [Geología de la cuenca de Maracaibo, Venezuela]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 30(10), 1621-1741. <https://doi.org/10.1306/3D933870-16B1-11D7-8645000102C1865D>
- Morales, L. G. (1958). General geology and oil occurrences of the Middle Magdalena Valley, Colombia: South America [Geología general y yacimientos petrolíferos del valle medio del Magdalena] Colombia: South America.
- Ward, D. E., Goldsmith, R., Cruz, J., & Restrepo, H. (1973). Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, departamento de Santander. Boletín Geológico, 21(1-3), 1-134.
- Fuquen, J. A., Ceballos, L., Marín, E., Patiño, A., & Pedraza, A. (2011). Geología de las planchas 98-Durania y 99-Villa del Rosario Norte de Santander-Colombia. Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS), 1-119.
- Londoño, E. G. (2011). Sub 09- 25 Exploración De Minerales Industriales. Servicio Geológico Colombiano.
- Ochoa Y, A., García P., G., Martínez P, E., Lozano R., L., Ríos B., P., Oviedo R., J., & Cardozo O., A. (2016). Cartografía Geológica de la Plancha 87 – Sardinata. Bogotá, Colombia.
- Pacheco, R. B., Villamizar, I. S., Ovallos, L., & Uribe, E. (2017). Estratigrafía y génesis de la Formación La Luna de la Cuenca del Catumbó, en la quebrada La Patilla del municipio de Salazar de Las Palmas, Norte de Santander.
- Richards, H. G. (1968). Cretaceous section in Barco area of northeastern Colombia. AAPG Bulletin, 52(12), 2324-2336.
- Vargas, R., Arias, A., Jaramillo, L., & Tellez, N. (1976). Cartografía Geológica Plancha 136-Málaga.
- Royero, J. M. (2001). Geología y geoquímica de la plancha 111 Toledo - Norte de Santander. Escala 1:100.000 (Memoria explicativa, 56 p.). Santa Fe de Bogotá: Ingeominas
- Garner, A. (1926). Suggested nomenclature and correlation of the geological formations in Venezuela [Nomenclatura y correlación sugeridas de las formaciones geológicas de Venezuela]. American Institute Mining and Metallurgy Engineers Transactions, 1, 677-684
- Julivert, M., Barrero, G., Botero Arango, H., Duque Caro, R., Hoffstetter, J., Navas G, J., & Téllez, I. (1968). Lexique Stratigraphique International, Merique Latine Colombia (Premiere Parte). [Léxico Estratigráfico Internacional, América Latina Colombia (Primera Parte)] Centre National De La Recherche Scientifique, Paris, 651.
- Richards, H. G. (1968). Cretaceous section in Barco area of northeastern Colombia. AAPG Bulletin, 52(12), 2324-2336.
- Clavijo, J., & Royero, J. M. (2001). Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Santander. Escala 1:400.000. Ingeominas. Memoria Explicativa (92 p.). Santa Fe de Bogotá
- Serna, F. E. (1968). El Sistema Cretáceo en la región de Villa de Leiva y zonas próximas. Geología Colombiana, 5, 5-74.
- Fabre, A. (1983). La subsidencia de la Cuenca del Cocuy (Cordillera Oriental de Colombia) durante el Cretáceo y el Terciario Inferior. Primera parte: Estudio cuantitativo de la subsidencia. Geología Norandina, 8(1), 22-27.
- Sarmiento, L. F. (2001). Mesozoic rifting and Cenozoic basin inversion history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes [Historia del rift mesozoico y la inversión de la cuenca cenozoica de la Cordillera Oriental, Andes colombianos] [Tesis doctoral]. Vrije Universiteit
- Sarmiento, L. F., Van Wess, J. D., & Cloetingh, S. (2006). Mesozoic transtensional basin history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models [Historia de la cuenca transtensional mesozoica de la Cordillera Oriental, Andes colombianos: Inferencias a partir de modelos tectónicos]. Journal of South American Earth Sciences, 21(4), 383-411. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2006.07.003>
- Santana, J. O. (1986). Estratigrafía, facies y ambiente de depósito de la Formación Tambor en las localidades de Curití, Charta y Matanza, Santander (Trabajo de grado para optar al título de Geólogo). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Bogotá
- Martínez, J. I., & Hernández, R. (1992). Evolution and drowning of the Late Cretaceous Venezuelan carbonate platform [Evolución y ahogamiento de la plataforma carbonatada venezolana del Cretácico Superior]. Journal of South American Earth Sciences, 5(2), 197-210. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(92\)90038-Z](https://doi.org/10.1016/0895-9811(92)90038-Z)
- Erlich, R. N., Macsotay, O., Nederbragt, A. J., & Lorente, M. A. (1999). Palaeoecology, palaeogeography and depositional environments of Upper Cretaceous rocks of western Venezuela [Paleoecología, paleogeografía y ambientes de deposición de rocas del Cretácico Superior del oeste de Venezuela]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 153(1-4), 203-238.
- Villamil, T., Arango, C. P., & Hay, W. W. (1999). Plate tectonic paleoceanographic hypothesis for Cretaceous source rocks and cherts of northern South America [Hipótesis paleoceanográfica de la tectónica de placas para las rocas fuente del Cretácico y los chert del norte de Suramérica]. En Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/0-8137-2332-9.191>
- Bayona, G. (2018). El inicio de la emergencia en los Andes del norte: una perspectiva a partir del registro tectónico-sedimentológico del Coniaciano al Paleoceno. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 42(165), 364-378. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.632>
- Sarmiento, L.F. (2018). Cretaceous stratigraphy and paleo-facies maps of northwestern South America [Estratigrafía del Cretácico y mapas de paleo-facies del noroeste de Suramérica]. En F. Cedié & R.P. Shaw (Eds.), Geology and tectonics of northwestern South America: The Pacific Caribbean Andean junction [Geología y tectónica del noroeste de Suramérica: La unión del Pacífico Caribe Andino] (pp. 673-747). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76132-9_10
- Sgc. (2012). Estudios de geología y geomorfología escala 1:25.000 para la reubicación del casco urbano del municipio de gramalote, departamento norte de santander. Bogotá D.C
- Márquez Espinoza, M. A. (2009). Caracterización geoquímica y petrográfica de rocas fosfáticas Cretácicas, de la Formación La Luna, Estado Táchira, Venezuela (Doctoral dissertation).
- Boggs, S., (1995). Petrology of Sedimentary Rocks. University of Oregon, The Black Burn Press, New Jersey, USA, pp. 618-630.
- Glenn, C., Föllmi, K., Riggs, S., Baturin, G., Grimm, K., Trappe, J., Abed, A., Galli-Olivier, C., Garrison, R., Ilyin, A., Jehl, C., Rohrlisch, V., Sadaqah, R., Schildowski, M., Sheldon, R., Siegmund, H., (1994). Phosphorus and phosphorites: Sedimentology and environments of formation. Eclogae Geologicae Helveticae 87, pp. 747-788.
- Reimer, C. and Suess, E., (1983). Spatial and temporal patterns of organic matter accumulations on the Peru continental margin. In: Coastal Upwelling. Plenum Press, New York, pp. 311-346.
- Arche, A. (2010). Sedimentología: Del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Sedimentología, 11-1287.
- Folk, R. L. (1962). Spectral subdivision of limestone types [Subdivisión espectral de tipos de calizas].
- Folk, R. L. (1974). Petrología de rocas sedimentarias. Hemphill Publishing Co., Austin, TX.
- Trappe, J. (2001). Un sistema de nomenclatura para rocas granulares de fosfato según su textura deposicional. Geología sedimentaria, 145 (1-2), 135-150.