

Características faciales y ambientes de depositación identificadas a partir de un levantamiento estratigráfico a escala 1:100 de la Formación La Luna en el río Riecito, sector la Azufrada, municipio de Sardinata, Norte de Santander.

Facial characteristics and depositional environments identified from a 1:100 scale stratigraphic survey of the La Luna Formation in the Riecito river, La Azufrada sector, municipality of Sardinata, Norte de Santander.

Karla Zaray Niño Ortega ^a Liliana Marcela Pérez Hernández ^b

^a Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Geología, Universidad de Pamplona, Colombia; Mail: karla.nino@unipamplona.edu.co

^b Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Geología, Universidad de Pamplona, Colombia.; Mail: liliana.perez@unipamplona.edu.co

Resumen

En la sección estratigráfica de la Formación La Luna en el Río Riecito, municipio de Sardinata, Norte de Santander se realizó un levantamiento mediante el método de poligonal abierta a escala 1:500 y bastoneo a escala 1:100. Se levantaron 102 bastones equivalentes a 153 m y se tomaron 151 muestras de roca in situ, reconociéndose la Formación Cogollo hacia la base con 2,74 m con litologías de shales, litoarenitas y tormentitas la cual está en contacto concordante con la Formación La Luna.

La Formación La Luna está subdividida en 40 segmentos que de base a techo corresponden al Miembro La Aguada, del cual se levantaron 16,5 m en el que incluye 12,7 m de cubierto, representado por capas de chert, shales calcáreos y calizas biomicríticas con concreciones de aproximadamente 40 cm, sobre éste descansa el Miembro Chejendé, del cual se levantaron 13,5 m, representado por shales, limolitas calcáreas, calizas micríticas, biomicríticas y biosparíticas con concreciones que van de 10 cm a 1,2 m. Suprayaciendo, está el Miembro Timbetes, del cual se levantaron 99,1 m en el que incluye 50,7 m de cubierto representado por capas de chert, calizas micríticas, biomicríticas, biosparíticas (tormentitas) y shales calcáreos, hacia el tope presenta concreciones que van desde 15 cm a 1,2 m. Por último, del Miembro Ftanita de Táchira se levantaron 19,5 m representado por capas de chert con calizas biomicríticas, biosparíticas (tormentitas) y esporádicas capas de shales y limolitas. En la parte superior se encuentra la Formación Colón-Mito Juan con 1,8 m en contacto concordante con la Formación La Luna compuesta de litoarenitas, tormentitas y shales. Además, se evidencian niveles fosfóricos en el tope del Miembro Chejendé y a lo largo de los Miembros Timbetes y Ftanita de Táchira.

Finalmente, se propone un modelo depositacional que evidencia los cambios eustáticos en una plataforma continental, el cual muestra una transición de niveles someros en los dos primeros Miembros y niveles profundos del mar en los últimos Miembros.

Palabras clave: Formación la Luna, Plataforma continental, Niveles Fosfóricos, Facies, Modelo depositacional.

Abstract

In the stratigraphic section of the La Luna Formation in the Riecito River, municipality of Sardinata, Norte de Santander, a survey was carried out using the open polygonal method at a scale of 1:500 and a swabbing method at a scale of 1:100. 102 poles equivalent to 153 m were surveyed and 151 rock samples were taken in situ, recognizing the Cogollo Formation is recognized towards the base at 2.74 m with lithologies of shales, arenites and tormentites which is in concordant contact with the La Luna Formation.

The La Luna Formation is subdivided into 40 segments that from base to top correspond to the La Aguada Member, of which 16.5 m were lifted, including 12.7 m of covered, represented by layers of chert, calcareous shales and biomicritic limestones with concretions of approximately 40 cm, on this one rests the Chejendé Member, of which 13.5 m were lifted, represented by shales, calcareous siltstones, micritic, biomicritic and biosparitic limestones with concretions that go from 10 cm to 1.2 m. Overlying, there is the Timbetes Member, of which 99.1 m were surveyed, including 50.4 m of covered by layers of chert, micritic limestones, biomicritic, biosparitic (tormentites) and calcareous shales, with concretions ranging from 15 cm to 1.2 m towards the top. Finally, 19.5 m of the Ftanita de Táchira Member was uplifted, represented by chert layers with biomicritic limestones, biosparitic limestones (tormentites) and sporadic layers of shales and siltstones. In the upper part is the Colón-Mito Juan Formation with 1.8 m in concordant contact with the La Luna Formation composed of litharenites, tormentites and shales. In addition, phosphoric levels are evidenced at the top of the Chejendé Member and along the Timbetes and Ftanita de Táchira Members.

Finally, a depositional model that evidences the eustatic changes in a continental platform is proposed, which shows a transition from shallow levels in the first two members to deep sea levels in the last members.

Key words: La Luna Formation, Continental Shelf, Phosphoric Levels, Facies, Depositional Model.

1. Introducción

La sección estratigráfica estudiada se ubica al Norte de la cuenca del Catatumbo. La cual corresponde a una cuenca antepaís que ha experimentado una evolución geológica compleja, influenciada por procesos de apertura, levantamiento y esfuerzos transpresivos, evidenciados en fallas y pliegues. La cuenca del Catatumbo se caracteriza por dos eventos orogénicos principales: el preandino y el del Norte

de los Andes. Según Cediél *et al.* [1] el primero de ellos, presenta 3 eventos: (1) orogenia del Orinoco producto de la colisión entre Norteamérica y el escudo de Guyana. (2) Orogenia tipo cordillera, que produce un metamorfismo de bajo grado en rocas pertenecientes al grupo Quetame, Formación Silgará, Sierra Nevada de Santa Marta y la Sierra de Mérida. Por último, (3) el Aulacógeno de Bolívar desarrollado y generado durante la tafrogénesis que inició en

el Pensilvaniano-Permiano y finalizó en el Aptiano. La segunda corresponde a la orogenia del Norte Andino donde el Escudo de Guyana, la placa de Maracaibo, la Subplaca continental central y el campo Oeste se constituyen en conjuntos geológicos autóctonos que forman el Norte de los Andes ubicándose la cuenca del Catatumbo en la subplaca de Maracaibo con 4 periodos tectónicos: el levantamiento de los Andes de Mérida, la Serranía de Perijá, la Sierra Nevada de Santa Marta y la Cordillera Oriental.

Durante el Cretácico se deposita una megasecuencia en el Berriasiano- Albiano de arenitas de ambientes marinos someros del Grupo Uribante y la Formación Cogollo [1]. Durante el Turoniano-Coniaciano evoluciona a un mar epéirico en un periodo de transgresión [2] que alcanza mayor extensión produciéndose depósitos marinos que circulan desde aguas restringidas hasta aguas profundas de la Formación La Luna culminando en el Campaniano [3]. Finalmente, iniciando el depósito de Colón-Mito Juan, durante el Campaniano-Maastrichtiano, periodo en el que también el área del Catatumbo sufre una elevación gradual sin producirse plegamientos y se da el retiro del mar hacia el N-NE, dejando depósitos de interdigitación entre las condiciones marinas y continentales. En el Eoceno Tardío, el levantamiento del Macizo de Santander produce un lapso de erosión que remueve gran parte de la megasecuencia cretácica, y aporta el material que forma las diversas y potentes unidades terciarias [4]. Se genera la construcción de un estilo estructural al Oeste por esfuerzos transpresionales que dan origen a la zona plegada del Catatumbo caracterizada por tener fallas inversas, pliegues y estructuras de desgarre.

Durante el Cretácico Superior Turoniano- Campaniano (93.9-83.6 Ma) la cuenca del Catatumbo estuvo sometida a fluctuaciones del nivel del mar dando como resultado variaciones sedimentarias; en las que se evidencian litologías terrígenas en la parte basal, mientras que hacia la parte superior predominan litologías calcáreas y silíceas. En general, se registran condiciones de baja energía con momentos en los que la acción de corrientes marinas (*upwelling*) permitieron la depositación de niveles de tormentitas, indicando episodios de agitación y desarrollo de tormentas en el fondo marino [1].

La Formación La Luna se caracteriza por presentar ambientes que van desde plataforma externa somera hasta plataforma profunda, con una serie de eventos anóxicos. Estos eventos corresponden a breves periodos en los que predominan condiciones de bajo contenido de oxígeno disueltos en el mar, lo que finalmente facilita la mineralización del registro fósil [5]. Los eventos anóxicos globalmente reconocidos que ocurrieron durante el Cretácico tardío: OAE 1 (Aptiano

temprano), OAE 2 (límite Cenomaniano/Turoniano), y el OAE 3 (límite Coniaciano/Santoniano) [6].

Esta unidad aflora completa en el Río Riecito, municipio de Sardinata, Norte de Santander, sin la presencia de estructuras tectónicas que hayan permitido su deformación, lo que permite llevar a cabo una interpretación sedimentológica y estratigráfica detallada con el objetivo de inferir los ambientes de sedimentación que prevalecieron en esta zona.

Para ello, se llevó a cabo un levantamiento estratigráfico a escala 1:100 por medio del método de bastoneo y poligonal abierta. Se recopilaron datos estructurales y muestreo litológico, analizando su contenido fosilífero, estructuras sedimentarias internas, geometría de las capas y contactos entre estas; lo que permitió la división de los Miembros de la Formación La Luna. La información obtenida se interpretó posteriormente con lupas estereoscópicas que permitieron un análisis aún más detallado, se seleccionaron algunas muestras que presentaban olor a fósforo y se les aplicó molibdato de amonio y ácido nítrico al 70%. También se utilizó el contador Geiger para medir la radiación de las muestras de roca. Posteriormente se realizó la subdivisión de los segmentos analizados e interpretación de facies sedimentarias, asociándolas al modelo estándar de Wilson [7] con el fin de determinar sus ambientes sedimentarios y finalmente generar un modelo depositacional para la Formación La Luna.

2. Generalidades

2.1 Localización:

El municipio de Sardinata está ubicado en el departamento de Norte de Santander, al NE de la Cordillera Oriental a 70 kilómetros de la capital del departamento, entre los municipios de Ábrego y Gramalote [8]. Como se muestra en la ilustración 1.

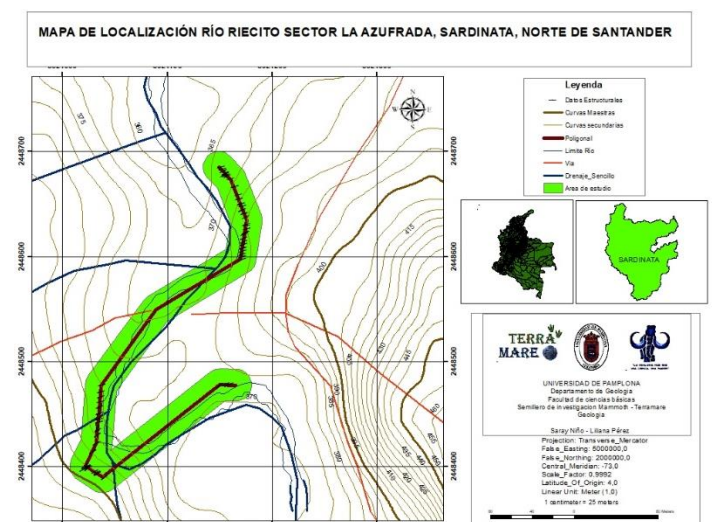


Ilustración 1. Mapa de localización del área de estudio
Fuente: Autores.

2.2 Vías de acceso:

El área de estudio, se ubica al W de la carretera principal Lourdes-Sardinata que conecta con el municipio de Sardinata. El acceso a la zona de estudio se realiza a través de vías secundarias o alternas diseñadas con el fin de comunicar las veredas y predios de la zona.

2.3 Alcances y limitaciones

El presente trabajo de investigación contribuye al campo de la estratigrafía mediante una interpretación precisa y detallada de las características faciales identificadas a partir de un levantamiento estratigráfico, con el fin de establecer los ambientes de depositación de los Miembros de la Formación La Luna. Este análisis se apoya en la recopilación y el estudio realizado en cada fase del proyecto, proporcionando una base valiosa tanto para estudiantes como para profesionales de las ciencias de la tierra que deseen continuar estudiando esta Formación que presenta un interés económico debido a su potencial petrolífero, contenido de calizas, niveles fosfóricos y tierras raras presentes.

La fase de campo representó un desafío, ya que no se pudo llevar a cabo el levantamiento cartográfico y estratigráfico en la vía Sardinata- Pailitas por razones de orden público, por tanto, únicamente se realizó el presente trabajo de investigación para el Río Riecito, sector La Azufrada.

3. Metodología

Fase 1. Recopilación de información bibliográfica.

Se llevó a cabo una recopilación y análisis de información bibliográfica existente del área de estudio de la Formación La Luna y sus Miembros: La Aguada, Chejendé, Timbetes y Ftanita de Táchira. Así como sus unidades suprayacente e infrayacente, la geología local y regional propuesta por diferentes autores en Colombia y sus equivalentes en Venezuela; a través de artículos científicos, revistas, libros, boletines geológicos y demás, lo que permitió construir una visión clara y fundamentada para este trabajo de investigación.

Fase 2. Fotointerpretación del área de estudio:

A partir de las imágenes aéreas R1202-112, R1202-113 y R1202-114 a escala 1:19.000 de la zona, se realizó el análisis y fotointerpretación mediante el estereoscopio de espejos. Esto permitió delimitar el área de estudio y obtener información cartográfica preliminar sobre aspectos geomorfológicos, redes de drenaje, patrones viales, cambios de pendiente y rasgos estructurales. Como resultado, se elaboró un mapa fotogeológico de la zona en la cual se interpretaron las Formaciones Cogollo, La Luna y sus Miembros La Aguada, Chejendé, Timbetes y Ftanita de Táchira, por último, la Formación Colón-Mito Juan.

Fase 3. Fase de campo:

Se desarrolló el reconocimiento del área de estudio sobre el Río Riecito donde aflora la sección estratigráfica.

3.1 Levantamiento estratigráfico

Se realizó a escala 1:100 por medio el método de bastoneo; describiendo el espesor de los estratos, litologías, color, estructuras sedimentarias primarias y diagenéticas, tipos de contactos, geometrías, texturas y contenido fosilífero de las rocas para las cuales se marcaron la base y el techo de las mismas. Como resultado se obtuvieron las columnas realizadas en formatos con sus respectivas convenciones. Obteniendo un total de 153 m de la sección levantada, es decir, 102 bastones de los cuales se interpretan los primeros 2 para la Formación Cogollo, 99 bastones para la Formación La Luna y 1 para la Formación Colón -Mito Juan. La sucesión no era continua en su totalidad ya que se encontraron algunos tramos cubiertos a lo largo del afloramiento.

Fase 4. Trabajo de laboratorio

Se analizaron las muestras recolectadas por medio de estereomicroscopios para obtener una descripción más detallada de sus rasgos composicionales y texturales. Esto se realizó utilizando los diagramas de clasificación de rocas calcáreas según Folk [9] y Dunham [9], rocas siliciclásticas según Folk [9], rocas fosfóricas según Trappe [10] y para rocas de composición mixta según Pettijohn [11]. Se seleccionaron algunas muestras de Chejendé, Timbetes y Ftanita de Táchira que presentaban olor a fósforo y se les aplicó molibdato de amonio y ácido nítrico al 70% para verificar su contenido. También se utilizó el contador Geiger para medir la radiación de las muestras de roca. Como resultado, se creó un catálogo de descripción y clasificación de muestras macroscópicas que se pueden consultar en el material suplementario.

4.1 Elaboración de pellejos

Para analizar el contenido fósil con mayor precisión, se seleccionaron 8 muestras de roca, a las cuales se les aplicó un corte mediante la técnica de abrasión. Puliendo la superficie con una lija de grano 600. Una vez finalizado este proceso, se repitió el pulido con una lija de grano 1000 en interacción con abrasivo 1200, lo que permitió alcanzar un acabado más fino. Seguidamente, fueron colocadas en la zona de secado durante 15 minutos. De este modo, la superficie quedó preparada para la aplicación de una capa de laca, permitiendo así una observación más detallada de la textura de la roca, escaneada a una resolución de 300 píxeles.

Fase 5. Interpretación y análisis de resultados:

Esta fase consistió en la recopilación de la información obtenida en las etapas anteriores, en la que se establecieron segmentos relacionados con las facies interpretadas y se propuso los ambientes de depositación dada la asociación con el esquema general de distribución de facies propuesto por Wilson [7], se digitalizó la poligonal en ArcGIS, la columna estratigráfica y el

modelo deposicional en AutoCAD, utilizando la nomenclatura establecida por la Guía Estratigráfica Internacional [12]. Finalmente, se redactó este documento científico, que presenta los análisis y resultados de las fases previas, regido bajo el formato dado por la revista de la Facultad de Ciencias básicas de la Universidad de Pamplona, BISTUA 2024.

4. Antecedentes y Justificación

Hedberg & Sass [13] describen el Miembro Ftanita de Táchira, en el estado de Táchira donde se dispone en vetas, nódulos, y capas delgadas, con concreciones elipsoidales a discoidales de 10 - 80cm, en su interior con presencia de Ammonites y microfósiles e introduce el nombre de Formación Colón - Mito Juan, Estado de Táchira, Venezuela indicando que el nombre La Luna fue usado probablemente por primera vez por geólogos de la Caribbean Petroleum Company.

Notestein *et al.* [14] adoptan el nombre de la Formación La Luna en Colombia, aplicándolo en la Concesión Barco en las mismas unidades que en Venezuela, con un contacto inferior de tipo concordante neto con la Formación Colón- Mito Juan.

Morales *et al.* [2] retienen el nombre La Luna para los niveles que afloran alrededor del río Sogamoso y adopta el nombre de dicha Formación para la región del Valle Medio del Magdalena dividiéndola en 3 Miembros de base a techo: Salada, Pujama y Galembo. Renz [15] con la intención de observar los cambios litológicos, realizan descripciones en los estados de Trujillo y Timbetes dividiendo la unidad en la Región de Trujillo-Lara en tres Miembros: La Aguada, Chejendé y Timbetes.

El Instituto Colombiano de Geología y Minería [16] publicó el Mapa Geológico Regional, correspondiente al Cuadrángulo G-13 Cúcuta, durante la exploración Geológica preliminar en busca de rocas fosfóricas realizadas en los departamentos de Santander y Norte de Santander, por Cathcart & Zambrano [17] quienes localizaron varios afloramientos de las Formaciones Capacho, La Luna y Colón a lo largo de la carretera Sardinata-Cúcuta donde se tomaron las primeras muestras para el análisis químico y se dividió el espesor del estrato para diferentes sitios. Posteriormente Abozaglo J. [18] detalló la geología del área y muestreo de los afloramientos localizados en la carretera y los arroyos; también localizó la traza de la capa de roca fosfórica.

Zambrano F. [19] realiza un estudio del depósito de roca fosfórica en Sardinata, describiendo la Formación La Luna y sus unidades suprayacentes e infrayacentes, en el que determinó la capa de roca fosfórica principal y de interés económico localizada estratigráficamente en la parte superior de esta Formación y el cálculo de la reserva.

En el Boletín Geológico, E. Ward *et al.* [20] determina los recursos minerales que se pueden extraer de la Formación La Luna y calcula las reservas de éstas sobre el departamento de Norte de Santander y Santander, incluyendo la sección que aflora en el municipio de Sardinata a unos 20 km de la población por la vía Sardinata - Cúcuta, con el fin de estimar las reservas de fósforo contenidas en el tope de la Formación.

La Agencia Nacional de Hidrocarburos [21] realiza un análisis tectónico, estructural y geofísico de la cuenca del Catatumbo para el reconocimiento del sistema petrolífero, en el que se alcanzó un mayor detalle estratigráfico en la secuencia correspondiente a la Formación La Luna, consideradas las principales rocas generadoras en la cuenca.

El Servicio Geológico Colombiano [22] detalla y analiza la cartografía geológica a escala 1:100.000 de la plancha 87-Sardinata departamento de Norte de Santander, describiendo la Formación La Luna y las unidades superior e inferior, considerando su estratigrafía, aspectos geomorfológicos, económicos, rasgos tectónicos y estructurales que las afectan. Por otra parte, Pacheco [23] elabora un levantamiento estratigráfico y cartográfico sobre la Quebrada La Patilla, Norte de Santander, en el que analiza el espesor y génesis de los niveles de roca fosfórica de la Formación, e identifica los Miembros La Aguada, Chejendé, Timbetes y Ftanita de Táchira reconocidos a través de segmentos, de acuerdo a los fósiles encontrados le designa una edad de Turoniano inferior a pre-Maastrichtiano.

La Formación La Luna a lo largo del tiempo ha sido estudiada por su gran importancia en la Geología de Hidrocarburos, en Venezuela [24] Colombia y posiblemente en el mundo. Sin embargo, en el sector La Azufrada, Río Riecito municipio de Sardinata, Norte de Santander no se han desarrollado estudios a detalle que permitan caracterizar los Miembros de la Formación y sus unidades circundantes, proyectado a investigaciones futuras. Por lo tanto, con este estudio se pretende realizar un aporte a la Geología en Colombia; mediante un levantamiento estratigráfico a escala 1:100 de la Formación La Luna contribuyendo a la definición más precisa de los Miembros La Aguada, Chejendé, Timbetes y Ftanita de Táchira; con el fin de determinar sus características faciales y ambientes de depositación.

5. Contexto Geológico

5.1 Contexto Geológico Global

La zona de estudio está situada al NE de la cordillera Oriental, sobre la cuenca del Catatumbo de origen ígneo, marino y fluvial. Se encuentra limitada por la Serranía de Perijá al N, el Macizo de Santander al W y los Andes de Mérida al SE; siendo parte de la extensión SW de la Cuenca de Maracaibo [1]. Durante el Triásico-Jurásico y el Cretácico tardío, esfuerzos tensionales/transtensionales, produjeron un sistema de cuencas

semigrabens que fueron llenados con depósitos marinos y continentales, entre las cuales está la Cuenca del Catatumbo, la cual ha sido interpretada como una cuenca de antepaís originada por la colisión de las placas Caribe y Suramérica durante el Mioceno superior-Plioceno, colisión que explicaría el levantamiento de las áreas montañosas limítrofes (Perijá-Santander y Andes de Mérida). La tectónica compresiva quedó reflejada por la presencia de fallas inversas en sus márgenes, las cuales involucran basamento y fallas de bajo ángulo (cabalgamientos), que despegan en determinados intervalos pelíticos del Cretácico superior (Formaciones Mito-Juan y Colón).

5.2 Contexto Geológico Regional

La depositación de la Cuenca del Catatumbo inicia en el Jurásico Superior con la depositación de la Formación Girón, en el Berriasiano-Albiano se da la depositación del Grupo Uribante en un ambiente de plataforma marina donde hubo el rejuvenecimiento del arco de Mérida; a inicios del Albiano ocurre un descenso del nivel del mar y a finales, vuelve a estar en un máximo. En el Cenomaniano un ciclo de regresión y transgresión da lugar a la depositación de la Formación Cogollo ocurre separado por un periodo mínimo del mar. Durante el Turoniano-Santoniano el mar alcanza un máximo y el mar epicontinental Cretácico penetra estribaciones de Arauca y Orinoco con un carácter euxínico donde se desarrolla toda la Cuenca de Maracaibo depositándose la Formación La Luna, la transgresión marina del Cretácico termina e inicia la inversión tectónica del Cretácico Tardío aportando una fracción arenosa a la Formación Colón-Mito Juan durante el Campaniano-Maastrichtiano correlacionado a dos eventos de caída del mar terminando con un estadio relativo del nivel del mar alto y con el inicio de la depositación de la Formación Catatumbo [21].

5.3 Contexto Geológico Local

En el área de estudio aflora una secuencia sedimentaria de rocas Cretácicas descritas de las más antiguas a las recientes como:

5.3.1 Formación Cogollo

En la Concesión Barco esta Formación está dividida en tres Miembros, (Inferior, Medio y Guayacán). El Miembro Inferior comprende abundantes lutitas fisiles negras y calizas fosilíferas. El Miembro Medio corresponde a shales no calcáreos de color gris oscuro y caliza fosilífera arcillosa gris. Por último, el Miembro Guayacán con capas muy gruesas de calizas masivas de color gris oscuro a negro e intercalado de paquetes de shales de color gris. La fauna establece para esta Formación un origen marino somero de edad Aptiano-Albiano, extendiéndose a Cenomaniano. Su espesor varía de 225 y 218m respectivamente en los anticlinales de Tibú y Socuavó, por otro lado, en el anticlinal de Río de Oro presenta un espesor de 175 m [14].

5.3.2 Formación La Luna

La sección tipo se encuentra ubicada a 16 kilómetros al NW de Villa del Rosario. La Formación varía en espesor, en el anticlinal de Petrolea es de 43 m, en el anticlinal de Tibú es de 56 m, en el anticlinal Socuavó 51 m y en el anticlinal Río de Oro 86 m [13]. Correspondiendo a edades del Turoniano inferior al Campaniano [1]. Pacheco [23] la divide de base a techo en:

5.3.2.1 Miembro La Aguada: Constituido hacia la base por una intercalación de capas medias, tabulares de calizas biomicríticas de color gris oscuro con capas delgadas de limolitas calcáreas, hacia el techo presenta capas delgadas a medias de calizas micríticas intercaladas con capas delgadas a muy delgadas de limolitas y shales calcáreos gris con concreciones calcáreas de aproximadamente 30 cm.

5.3.2.2 Miembro Chejendé: Constituido por capas delgadas abundantes de shales negros calcáreos con limolitas calcáreas y calizas biomicríticas y micríticas de color gris oscuro tabulares de estructura interna paralela con concreciones de aproximadamente 30 cm.

5.3.2.3 Miembro Timbetes: Constituido por una intercalación de capas delgadas a medias de chert, calizas biomicríticas y micríticas de color gris oscuro tabulares de estructura interna masiva con concreciones de aproximadamente 80 cm y niveles fosfóricos hacia el techo.

5.3.2.3 Miembro Ftanita de Táchira: Constituido por una intercalación de capas delgadas a medias de chert, calizas biomicríticas y micríticas de color gris oscuro tabulares de estructura interna masiva con concreciones de aproximadamente 80 cm y niveles fosfóricos hacia el techo.

5.3.3 Formación Colón-Mito Juan

Recibe este nombre por la ciudad de Colón, Estado de Táchira, Venezuela. En la Concesión Barco es dividida en dos Miembros. El Miembro Inferior, comprende capas de areniscas glauconíticas gris claro con foraminíferos. El Miembro Superior, comprende capas de shales gris oscuro con la presencia de nódulos ferruginosos, corresponde a una edad del Campaniano superior al Maastrichtiano. El espesor varía entre 306 y 334 m en los anticlinal Tibú y Socuavó y en el anticlinal del Río de Oro es de unos 400 a 460 m [14].

6. Fotointerpretación

Se identificaron principalmente 7 unidades, las cuales se pueden observar en la ilustración.2.

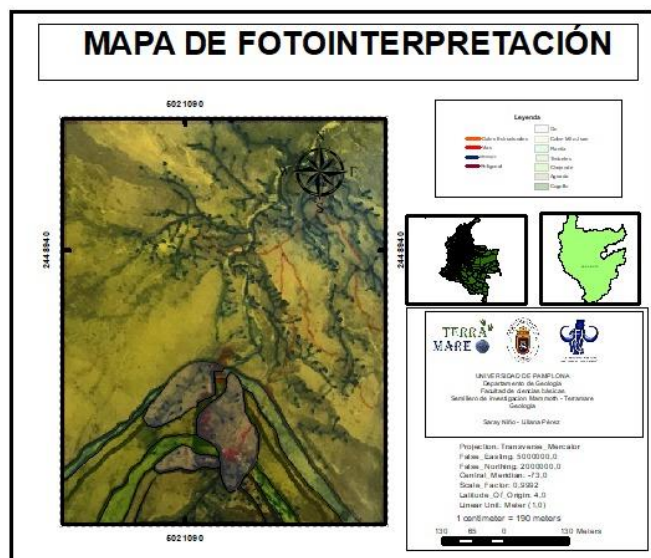


Ilustración 2. Mapa fotogeológico.
Fuente: Autores.

La unidad A, presenta color gris con tonalidad clara, textura lisa y drenajes subdendriticos de baja densidad con valles en V profundos, alta vegetación y pendientes medias. Asociada al Miembro Guayacán de la Formación Cogollo dada la presencia de valles profundos por la predominancia de shales en la parte superior de esta unidad. La unidad B, se caracteriza por su color gris de tonalidad clara, textura lisa, en pendientes bajas con drenajes subdendriticos de baja densidad, pendientes medias, con alta vegetación correspondiente a el Miembro La Aguada. La unidad C, presenta un color gris de tonalidad media, pendientes medias con drenajes dendríticos de densidad media, vegetación moderada y una textura suavizada. Correspondiente al Miembro Chejendé dadas sus litologías carbonatadas, shales y limolitas, lo que facilita un mayor desarrollo en la densidad de los drenajes. La unidad D, presenta color gris con tonalidad oscuro y textura lisa, con drenajes subdendriticos de baja densidad y una pendiente elevada con escarpes en contrapendiente. Corresponde al Miembro Timbetes compuesto de calizas y chert, cuya dureza impide los procesos de erosión, resultando en una estructura uniformemente visible. La unidad E, se presenta en tonalidad gris oscuro con drenajes dendríticos de alta densidad y una textura lisa en pendientes elevadas, representando el Miembro Ftanita, en el que la composición de chert negro da la tonalidad oscura contemplada en la fotointerpretación. La unidad F, presenta un color gris con tonalidad oscura, drenajes dendríticos de alta densidad y textura rugosa, corresponde a la Formación Colón-Mito Juan en el que los shales debido a los planos de fisilidad, permiten un mayor desarrollo de la densidad de los drenajes. Además, se reconocieron depósitos aluviales, de color gris con tonalidades claras y textura suavizada, que se van relajando en pendiente hacia la depresión del valle.

7. Resultados

7.1 Estratigrafía

En el área de estudio aflora una secuencia de rocas sedimentarias cretácicas, iniciando con la Formación Cogollo con 2,74 m de espesor, sobre la cual descansa concordantemente la Formación La Luna con 148,5 m, dividida en sus Miembros de base a techo: La Aguada, Chejendé, Timbetes y Ftanita de Táchira como se muestra en la columna generalizada ilustración. 37. Suprayaciendo concordantemente se encuentra la Formación Colón- Mito Juan con 1,8 m de espesor. Se realizó una poligonal abierta a escala 1:500 y un mapa geológico a escala 1:2500 de la zona evidenciado en la ilustración 4 y 5.

7.1.1. Formación Cogollo

En el área de estudio, se levantó 2,74 m del Miembro Guayacán, correspondiente al techo de la Formación Cogollo el cual consta de capas tabulares muy gruesas a gruesas de shales con litoarenitas y tormentitas con contactos concordantes ondulados y discontinuos, como se observa en la ilustración 2.

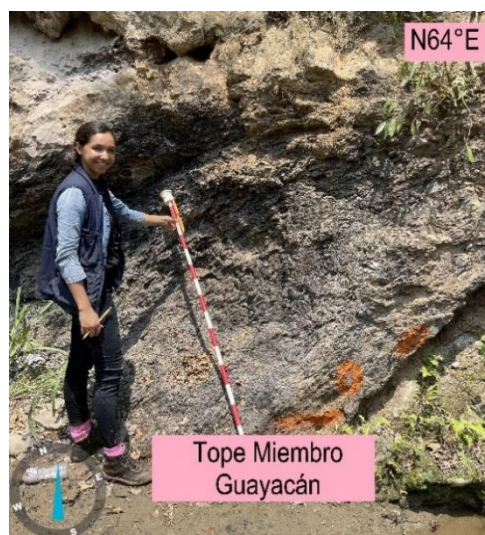


Ilustración 3. Capas tabulares de shales, litoarenitas y tormentitas de la Formación Cogollo.
Fuente: Autores.

La base de este Miembro está compuesta de capas de shales color gris oscuro con estructura interna laminar en contacto discontinuo con capas de litoarenitas con estructura interna masiva de capas muy gruesas a gruesas tabulares. Hacia el techo presenta capas de tormentitas compuestas de fragmentos de bivalvos caóticos 58% y foraminíferos 24% (aloquímicos), 2% de micrita y 16% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como una Wackestone y

según Folk [9] como Bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como Caliza.

7.1.2 Formación La Luna

En la sección levantada a lo largo del río Riecito, Se registró un espesor de 148,5 m de la Formación La Luna, la cual fue dividida en sus Miembros de base a techo, comenzando con La Aguada, como una intercalación de capas delgadas a medianas de chert, shales calcáreos y calizas biomicríticas, sobre esta descansa Chejendé, constituido por una intercalación de capas de shales, limolitas y calizas micríticas, biomicríticas y bioesparíticas. Suprayaciendo está Timbetes, como una intercalación de capas delgadas a gruesas de chert con calizas micríticas, biomicríticas y bioesparíticas con esporádicas capas de shales calcáreo hacia el tope. Por último, el Miembro Ftanita de Táchira, compuesto por una intercalación de capas muy delgadas a medianas de chert con capas medianas de calizas biomicríticas y bioesparíticas, esporádicas capas medianas y gruesas de shales y limolitas.

POLIGONAL ABIERTA RÍO RIECITO - SECTOR LA AZUFRADA

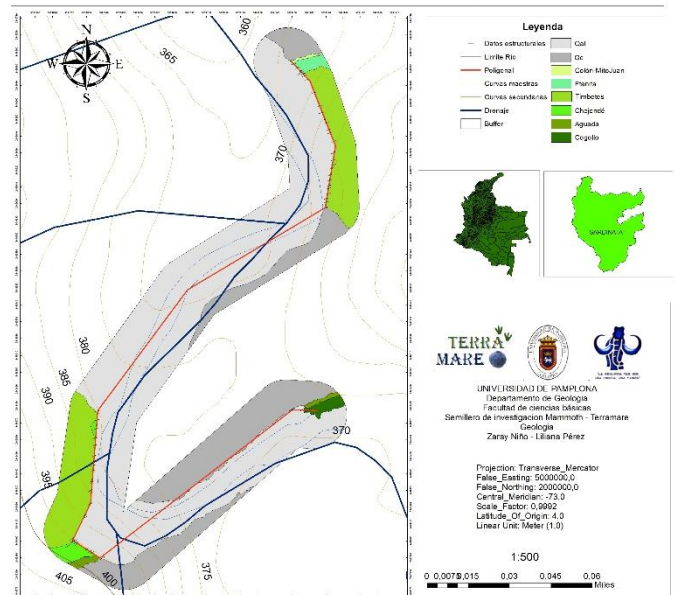


Ilustración 4. Poligonal abierta.
Fuente: Autores

MAPA RÍO RIECITO SECTOR LA AZUFRADA, SARDINATA, NORTE DE SANTANDER

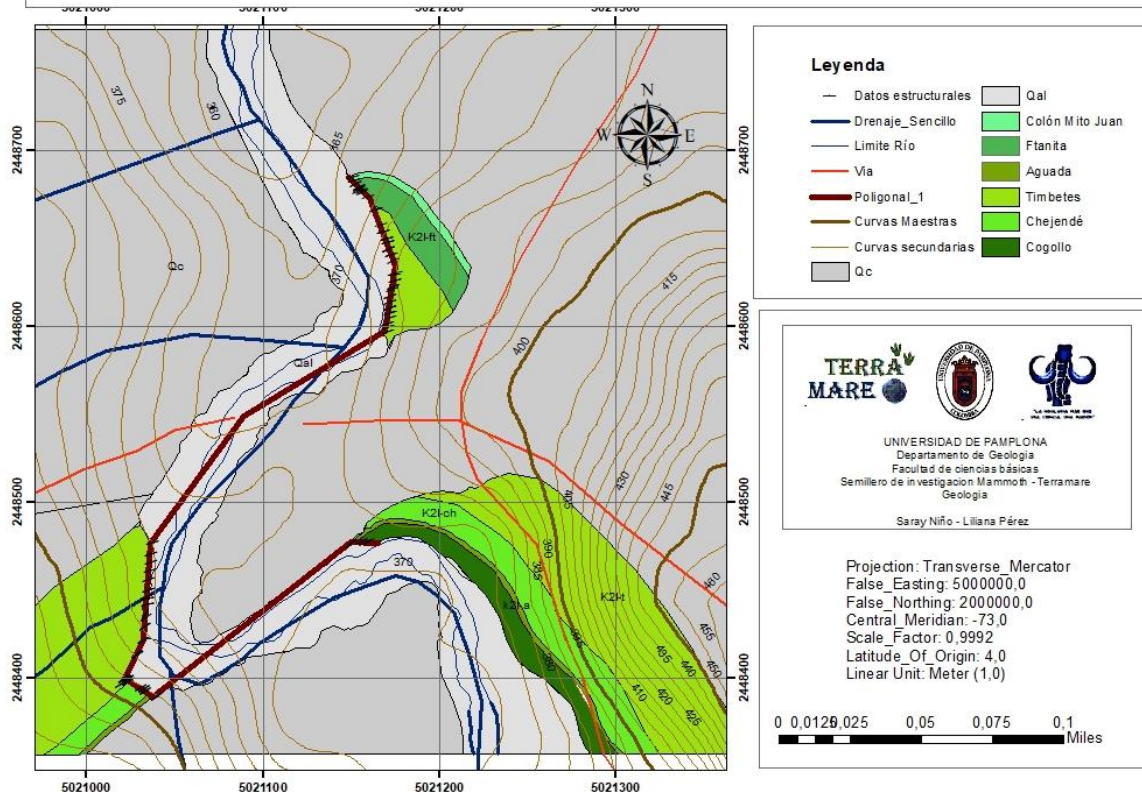


Ilustración 5. Mapa Geológico de los Miembros de la Formación La Luna.

Fuente: Autores

7.1.2.1 Miembro La Aguada

La base de este miembro está compuesta por una intercalación de, capas delgadas a medianas de chert con shales calcáreos y capas tabulares gruesas de calizas biomicríticas color gris oscuro. Hacia el techo presenta capas delgadas a gruesas de calizas biomicríticas con capas medianas de shales y chert. Presentan concreciones de aproximadamente 40 cm.

El espesor total de este miembro es de 16,5 m, en el que incluye 12,7 m de cubierto, debido a cambios faciales se divide en 2 segmentos, descritos a continuación:

7.1.2.1.1 Segmento 1

Compuesto de capas con geometría tabulares delgadas a gruesas, el contacto entre estas es concordante neto y ondulado. De base a techo está constituido por una intercalación de capas delgadas a medias de chert color negro con estructura interna plano-paralela intercaladas con capas medias de shales laminar y capas gruesas de calizas color gris claro con estructura interna masiva con 7% de foraminíferos, 10% de bivalvos y 5% de restos de peces (aloquímicos) 61% de micrita y 17% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como biomicrita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Presenta un espesor de 2 m.

Este segmento corresponde a facies de chert, shales y calizas biomicríticas con estructura interna plano paralela-masiva de capas delgadas a gruesas tabulares (Cscbpmddgt).

7.1.2.1.2 Segmento 2

Compuesto de capas tabulares y lenticulares delgadas a gruesas, el contacto entre estas es concordante ondulado, como se muestra en la ilustración 6.

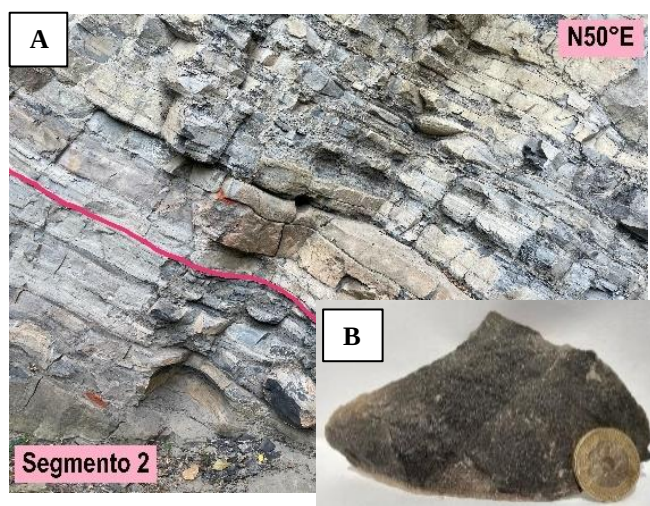


Ilustración 6. A) Capas de chert, calizas biomicríticas y shales calcáreos del Miembro La Aguada. B) Biomicrita compuesta de bivalvos y restos de peces extraída del segmento 2.

Fuente: Autores.

La base está compuesta de capas medianas de chert con estructura interna masiva y capas gruesas de calizas compuesta

de espinas de peces 15 %, bivalvos 5% (aloquímicos) y 72% de micrita y 8% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como biomicrita y según Pettijohn et al. [11] como caliza.

El techo, presenta capas gruesas de calizas con concreciones de aproximadamente 30 cm, esta presenta una estructura interna masiva con 12% de foraminíferos, 32% de bivalvos y 4% de intraclastos (aloquímicos) 45% de micrita y 7% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como biomicrita y según Pettijohn et al. [11] como caliza y capas medianas de shales calcáreos laminar. Presenta un espesor de 1.8 m y concreciones de aproximadamente 40 cm.

Este segmento corresponde a facies de chert, calizas biomicríticas y shales calcáreos con estructura interna masiva-laminar de capas delgadas a gruesas tabulares y lenticulares (Cbsmldgtl).

7.1.2.2 Miembro Chejendé

La base de este Miembro está compuesta por una intercalación de capas tabulares y cuneiformes delgadas a gruesas de shales, limolitas y calizas micríticas, biomicríticas y bioesparíticas.

Hacia el techo presenta capas tabulares y cuneiformes medianas a gruesas de limolitas calcáreas intercaladas con calizas micríticas, biomicríticas y bioesparíticas. Presentan concreciones de aproximadamente 10 cm a 1,2 m.

El espesor total de este Miembro es de 13,5 m, debido a cambios faciales se divide en 10 segmentos, descritos a continuación:

7.1.2.1.3 Segmento 3

Compuesto por capas con geometría tabular medianas a gruesas, el contacto entre estas es concordante ondulado, como se muestra en la ilustración 7.

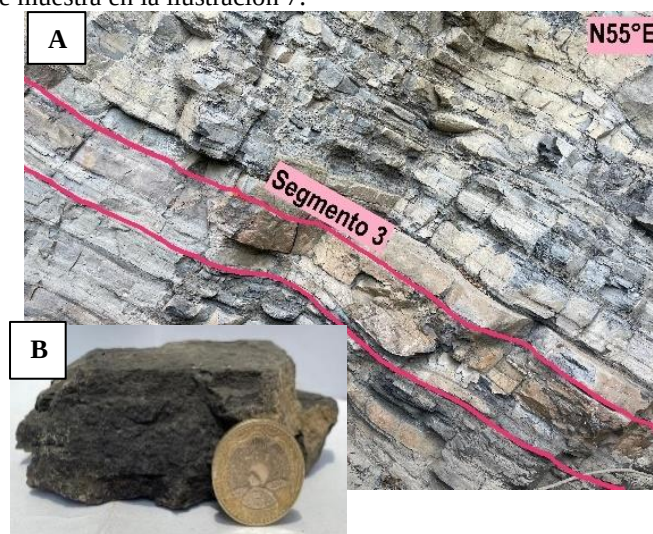


Ilustración 7. A) Facies de shales intercalados con calizas micríticas a biomicríticas tabulares. B) Micrita fosilífera con estructura interna plano paralela extraída del techo del segmento 3.

Fuente: Autores.

De base a techo está constituido por capas medianas de shales calcáreo con estructura interna laminar y capas gruesas de calizas con estructura plano-paralela con 5% espinas de peces, 3% de bivalvos (aloquímicos) y 85% de micrita, 7% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como Micrita fosilífera y según Pettijohn et al. [11] como caliza, también capas de caliza con estructura plano-paralela con 6% foraminíferos, 15% de bivalvos (aloquímicos) y 68% de micrita, 11% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como biomicrita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Presenta un espesor de 1,21 m y concreciones de aproximadamente 30 cm.

Este segmento corresponde a facies de shales y calizas micríticas y biomicríticas con estructura interna plano-paralela-laminar de capas medias a gruesas tabulares (Scmbpplmgt).

7.1.2.1.4 Segmento 4

Compuesto de capas con geometría lenticulares y tabulares gruesas, el contacto entre estas es concordante ondulado, como se muestra en la ilustración 8.

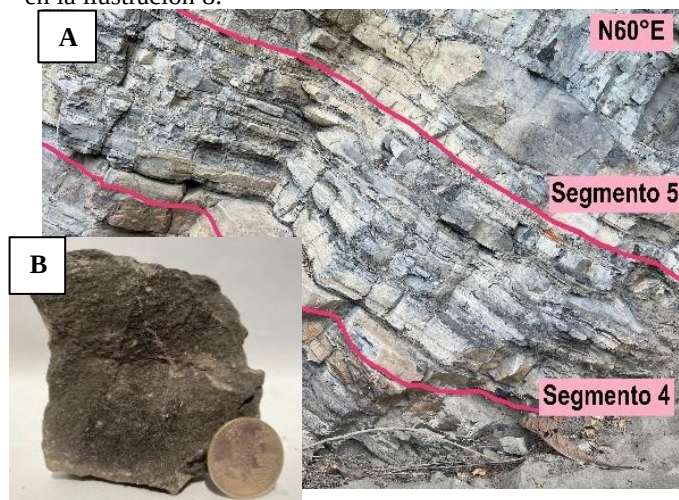


Ilustración 8. A) Facies de calizas biomicríticas y bioesparíticas lenticulares y tabulares. B) Biomicrita extraída del techo del segmento 4, compuesta de bivalvos, intraclastos y foraminíferos.

Fuente: Autores.

La base presenta capas gruesas de caliza color gris oscuro con estructura interna masiva con 3% foraminíferos, 5% de bivalvos y 8% de restos de peces (aloquímicos) 79% de micrita y 5% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como biomicrita y según Pettijohn et al. [11] como caliza; también capas gruesas de caliza color gris oscuro con estructura interna masiva, con 18% de bivalvos (aloquímicos) 22% de micrita y 60% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como caliza.

Hacia el techo está compuesto de capas gruesas de caliza color gris oscuro con estructura interna masiva con 26% de bivalvos, 4% de intraclastos y 6% de foraminíferos (aloquímicos) 58% de

micrita y 6% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como biomicrita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Presenta un espesor de 1,9 m y concreciones que van aproximadamente de 30 cm a 1 m.

Este segmento corresponde a facies de calizas biomicríticas y bioesparíticas con estructura interna masiva de capas gruesas lenticulares y tabulares (Cbmglgt).

7.1.2.1.5 Segmento 5

Compuesto de capas con geometría cuneiforme gruesas a delgadas, el contacto entre estas es concordante neto.

De base a techo está constituido por capas gruesas a delgadas de calizas color gris oscuro con estructura interna masiva compuesto de 6% de bivalvos y 16% de foraminíferos (aloquímicos) 44% de micrita y 34% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como biomicrita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Presenta un espesor de 1,03 m.

Este segmento corresponde a facies de calizas biomicríticas con estructura interna masiva de capas gruesas a delgadas cuneiformes (Cbmgdgc).

7.1.2.1.6 Segmento 6

Compuesto de capas con geometría tabular, medianas, el contacto entre estas es concordante neto, como se muestra en la ilustración 9.

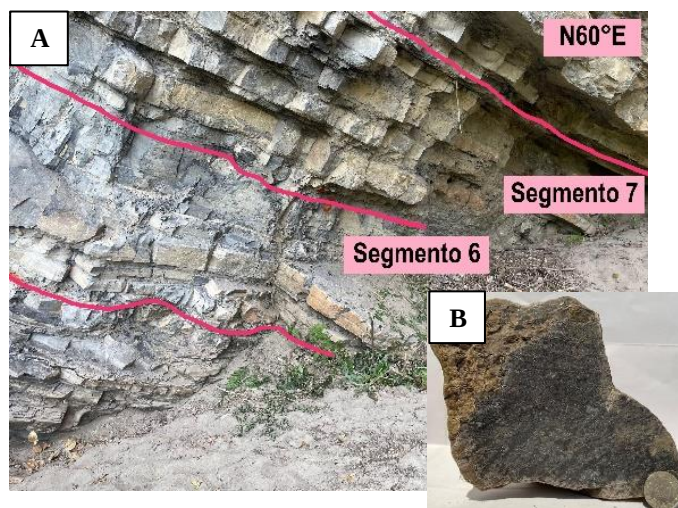


Ilustración 9. A) Facies de calizas micríticas y biomicrítica tabulares. B) Biomicrita, con estructura interna masiva extraída del segmento 6.

Fuente: Autores.

La base está compuesta de capas medias de caliza color gris oscuro con estructura interna masiva con 7% de intraclastos y 1% de foraminíferos (aloquímicos), 76% de micrita y 16 % de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como micrita fosilífera y según Pettijohn et al. [11] como caliza.

El techo, presenta capas medias de caliza color gris oscuro con estructura interna masiva con 12% de bivalvos y 2% de intraclastos (aloquímicos) 76% de micrita y 10% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como biomicrita y Pettijohn et al. [11] como caliza.

Presenta un espesor de 1,14 m y concreciones que van aproximadamente de 30 a 50 cm.

Este segmento corresponde a facies de calizas micríticas y biomicríticas con estructura interna masiva de capas medianas tabulares (Cmbmmmt).

7.1.2.1.7 Segmento 7

Compuesto de capas con geometría tabular, medianas a gruesas, el contacto entre estas es concordante ondulado.

La base está compuesta de capas medianas de limolitas calcáreas con estructura interna plano-paralela con capas gruesas de calizas color gris oscuro plano-paralela compuesto de 16% de bivalvos, 4% de intraclastos y 8% de foraminíferos (aloquímicos) 64% de micrita y 8% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como biomicrita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Hacia el techo, presenta capas gruesas de limolitas con estructura interna plano-paralela, color gris oscuro, con venillas de calcita con 6% de intraclastos y 3% de bivalvos. con esporádicas capas de chert muy delgadas. Presenta un espesor de 1,8 m.

Este segmento corresponde a facies de limolitas calcáreas y calizas biomicríticas con estructura interna plano-paralela de capas medianas a gruesas tabulares (Lcbppmgt).

7.1.2.1.8 Segmento 8

Compuesto de capas con geometría tabular delgadas, el contacto entre estas es concordante neto, como se muestra en la ilustración 10.

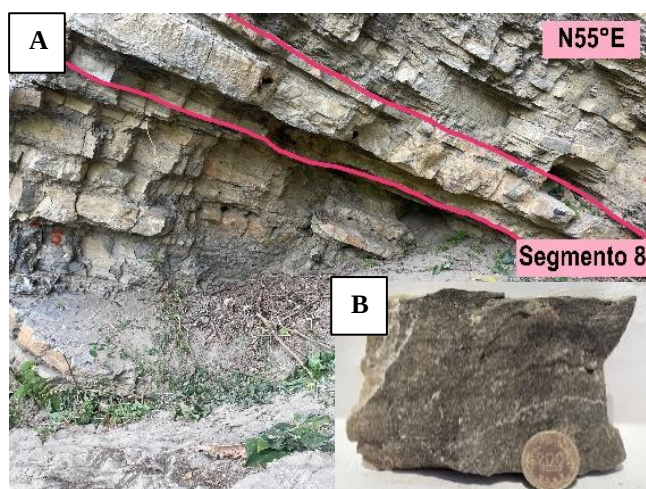


Ilustración 10. A) Facies de calizas biomicríticas tabulares. B) Biomicrita, con estructura interna masiva compuesta de bivalvos, foraminíferos y peces extraída del techo del segmento 8.

Fuente: Autores.

La base está compuesta de capas delgadas de caliza color gris oscuro con estructura interna plano paralelo con 18% de bivalvos, 8% de restos de peces y 10% de foraminíferos (aloquímicos) 59% de micrita y 5% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como biomicrita y según Pettijohn et al. [11] como caliza.

Hacia el techo, presenta capas delgadas de caliza color gris oscuro con estructura interna masiva con 18% de bivalvos, 7% de foraminíferos, 12% de intraclastos y 2% de restos de peces (aloquímicos) 15% de micrita y 46% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como biomicrita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Presenta un espesor de 70 cm.

Este segmento corresponde a facies de calizas biomicríticas con estructura interna plano paralela-masiva de capas delgadas tabulares (Cbppmdt).

7.1.2.1.9 Segmento 9

Compuesto de capas con geometría tabular medianas, el contacto entre estas es concordante ondulado, como se muestra en la ilustración 11.



Ilustración 11. A) Facies de calizas micríticas gruesas tabulares. B) Bioesparita con estructura interna masiva compuesta de foraminíferos, restos de peces e intraclastos, extraída del segmento 10.

Fuente: Autores.

La base está compuesta de capas medias de calizas color gris oscuro con estructura interna plano-paralela con 2% de intraclastos (aloquímicos) 26 % de micrita y 72 % de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como micrita con intraclastos y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Hacia el techo, presenta capas medias de caliza color gris oscuro con estructura interna masiva. La superficie de la roca está cubierta por calcreta producto de la disolución del CaCO_3 dados los procesos de precipitación y nuevo revestimiento sobre la misma roca,

compuesta de 3% de bivalvos (aloquímicos) 69% de micrita y 28% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como micrita fosilífera y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Presenta un espesor de 1.5 m y concreciones que van aproximadamente de 10 a 30 cm. Este segmento corresponde a facies de calizas micríticas con estructura interna plano paralela-masiva de capas medianas tabulares (Cmppmmt).

7.1.2.2.1 Segmento 10

Compuesto de capas con geometría tabular gruesas, el contacto entre estas es concordante ondulado.

La base está compuesta por capas gruesas de limolitas calcáreas con estructura interna plano-paralela compuesta por 15% de bivalvos y capas gruesas de calizas color gris oscuro con estructura interna masiva con presencia de venillas de calcita con 9% de foraminíferos, 3% de restos de peces y 1% de intraclastos (aloquímicos), 26% de micrita y 61% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de amonio clasificándose según Trappe [10] como fosclasto- wackestone. El techo, presenta capas gruesas de caliza color gris oscuro con estructura interna plano paralela con 6% de bivalvos, 6% de foraminíferos, 2% de restos de peces y 1% de intraclastos (aloquímicos), 24% de micrita y 43% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y Pettijohn et al. [11] como caliza. Presenta un espesor de 1,7 m y concreciones que van aproximadamente de 15 cm.

Este segmento corresponde a facies de limolitas calcáreas y calizas bioesparíticas con estructura interna plano paralela-masiva de capas gruesas tabulares (Lcbppmgt).

7.1.2.2.2 Segmento 11

Compuesto de capas con geometría tabular gruesa, el contacto entre estas es concordante ondulado.

La base está compuesta por capas gruesas de calizas color gris oscuro con estructura interna plano paralelo con 1% de intraclastos, 7% de foraminíferos (aloquímicos) 24% de micrita y 68% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como micritica fosilífera y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de amonio clasificándose según Trappe [10] como fosclasto- mudstone. Hacia el techo, presenta capas gruesas de limolitas calcáreas con estructura interna plano-paralela. Presenta un espesor de 1 m. En este segmento se encontraron restos de espinas de peces, sin embargo, no fue posible su clasificación taxonómica debido a que estaban fragmentados.

Este segmento corresponde a facies de calizas micríticas y limolitas calcáreas con estructura interna plano-paralela de capas gruesas tabulares (Cmlppgt).

7.1.2.2.3 Segmento 12

Compuesto de capas con geometría tabular y cuneiforme medias a gruesas, el contacto entre estas es concordante ondulado y neto, como se muestra en la ilustración 12.

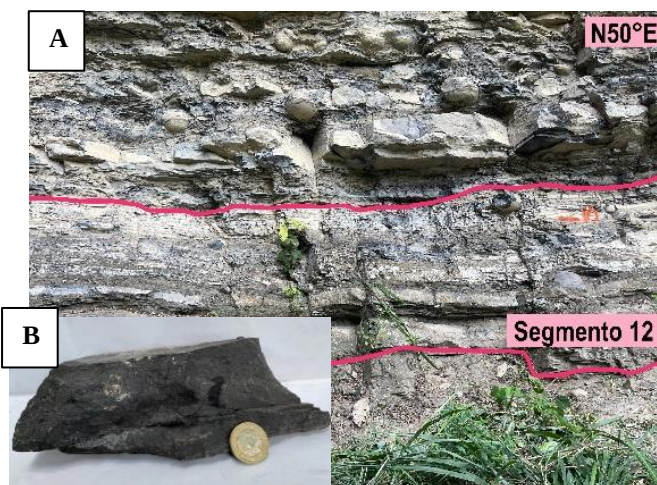


Ilustración 12. A) Facies de calizas biomicrocíticas y bioesparíticas de capas medias a gruesas. B) Biomicrocita, con estructura interna masiva compuesta de bivalvos, foraminíferos y restos de espinas, extraída del techo del segmento 12.

Fuente: Autores.

La base está compuesta de capas gruesas de calizas color gris oscuro con estructura interna masiva con 7% de bivalvos, 5% de foraminíferos y 10% restos de espinas (aloquímicos), 46 % de micrita y 32 % de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone y según Folk [9] como biomicrocita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato clasificándose según Trappe [10] como fosclasto- wackestone; y capas gruesas de limolita calcárea color gris claro con estructura interna plano-paralela compuesta de 5% de intraclastos y 3% de foraminíferos. Hacia el techo presenta capas medias de caliza color gris oscuro con estructura interna plano-paralela con 10% foraminíferos, 2% de intraclastos (aloquímicos), 20% de micrita y 68% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Presenta un espesor de 1,5 m y concreciones que van aproximadamente de 25 cm.

Este segmento corresponde a facies de calizas biomicrocíticas y bioesparíticas con estructura interna masiva- plano paralela de capas medias a gruesas tabulares-cuneiformes (Cbmppmgtc).

7.1.2.3. Miembro Timbetes

La base de este Miembro está compuesta por una intercalación de capas tabulares y cuneiformes delgadas a gruesas de chert y calizas micríticas, biomicrocíticas y bioesparíticas (tormentitas). Hacia el techo presenta capas tabulares y cuneiformes muy delgadas a gruesas de calizas micríticas y bioesparíticas, capas gruesas de chert y esporádicas capas de shales calcáreo hacia el tope. Presenta concreciones que van desde 15 cm a 1,2 m.

El espesor total de este Miembro es de 99,1 m, en el que incluye 50,7 m de cubierto. Debido a cambios faciales se divide en 23 segmentos, descritos a continuación:

7.1.2.3.1 Segmento 13

Compuesto por capas con geometría cuneiforme y tabular delgadas a medias, el contacto entre estas es concordante ondulado y neto, como se muestra en la ilustración 13.

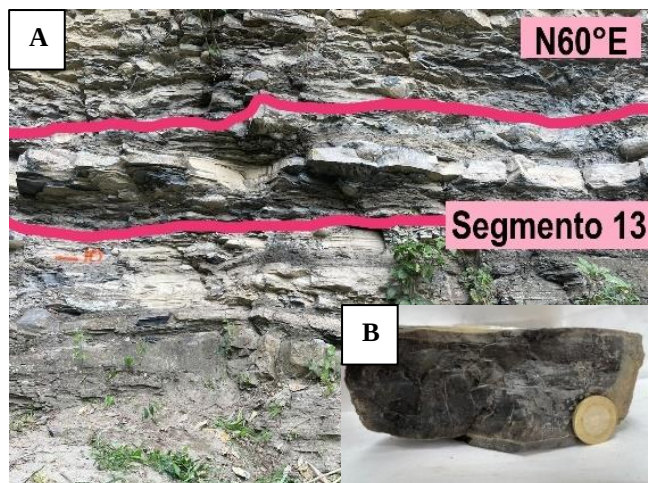


Ilustración 13. A) Facies de chert, calizas micriticas cuneiformes- tabulares. B) Chert color negro con estructura interna plano paralela extraída de la base del segmento 13.
Fuente: Autores.

De base a techo está constituido por una intercalación de capas delgadas a medias de chert color negro, con estructura interna plano-paralela y capas delgadas a medias de calizas color gris oscuro con estructura interna plano-paralela con 3% de intraclastos, (aloquímicos), 38% de micrita y 59% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como micrita con intraclastos y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Presenta un espesor de 1,9 m y concreciones que van aproximadamente de 20 a 30 cm. Este segmento corresponde a facies de chert y calizas micriticas con estructura interna plano-paralela de capas delgadas a medias cuneiforme y tabular (Ccmppdmct).

7.1.2.3.2 Segmento 14

Compuesto por capas con geometría cuneiforme delgadas a gruesas, el contacto entre estas es concordante ondulado. La base está compuesta por capas delgadas de chert color negro, con estructura interna masiva y capas gruesas de caliza con foraminíferos e intraclastos. Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como biomicrita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Hacia el techo, presenta capas medias y delgadas de chert con estructura interna masiva. Presenta un espesor de 1.5 m. Estas capas presentan concreciones que van aproximadamente de 40 a 80 cm.

Este segmento corresponde a facies de chert y calizas biomicriticas con estructura interna masiva de capas delgadas a gruesas cuneiformes (Ccbmdgc).

7.1.2.3.3 Segmento 15

Compuesto de capas con geometría tabular y cuneiforme delgadas a gruesas, el contacto entre estas es concordante ondulado, como se muestra en la ilustración 14.

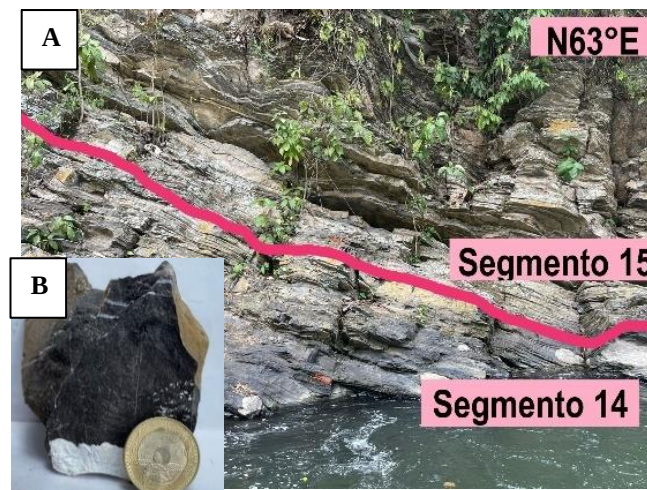


Ilustración 14. Facies de calizas micriticas y chert tabulares- cuneiformes. B) Micrita fosilífera con estructura interna masiva, extraída del tope del segmento 15 compuesta de foraminíferos e intraclastos.
Fuente: Autores.

La base está compuesta de capas medianas de caliza color gris oscuro con estructura interna plano-paralela con 3% de foraminíferos, (aloquímicos), 64% de micrita y 23% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según [9] como mudstone, según Folk [9] como micrita fosilífera y según Pettijohn et al. [11] como caliza; y capas gruesas de chert con estructura interna masiva y presencia calcárea en los intersticios de las diaclasas. El techo, presenta capas delgadas de caliza color gris oscuro con estructura interna masiva con venillas de calcita con 3% de foraminíferos y 2% de intraclastos (aloquímicos), 65% de micrita y 30 % de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como micrita fosilífera y según Pettijohn et al. [11] como Caliza, seguido de caliza color gris oscuro con estructura interna plano-paralela con 3% de foraminíferos (aloquímicos), 17 % de micrita y 80 % de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como micrita fosilífera y según Pettijohn et al. [11] como caliza; también está compuesto de chert color negro con estructura interna masiva con láminas de caliza. Presenta un espesor de 3,5 m y concreciones de aproximadamente de 30 cm. Este segmento corresponde a facies de calizas micriticas y chert con estructura interna plano paralela-masiva de capas delgadas a gruesas tabulares y cuneiformes (Cmcppmdgtc).

7.1.2.3.4 Segmento 16

Compuesto por capas con geometría cuneiforme y tabular medias a gruesas, el contacto entre estas es concordante ondulado, como se muestra en la ilustración 15.



Ilustración 15. Facies de calizas micriticas y chert de capas medias a gruesas tabulares-cuneiformes. B) Chert color negro con estructura interna masiva, presenta láminas de Caliza, extraído del tope del segmento 16.

Fuente: Autores.

La base está compuesta de capas medianas a gruesas de caliza color gris oscuro con estructura interna masiva con 3% de foraminíferos y 1% de restos de peces (aloquímicos), 12% de micrita y 84 % de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como micrita fosilífera y según Pettijohn et al. [11] como caliza.

El techo está compuesto capas medianas de chert color negro con estructura interna masiva con presencia de láminas de caliza. Presenta un espesor de 3 m y concreciones que van aproximadamente de 15 cm.

Este segmento corresponde a facies de calizas micriticas y chert con estructura interna masiva de capas medias a gruesas cuneiformes y tabulares (Cmcmmgct).

7.1.2.3.4 Segmento 17

Compuesto por capas con geometría tabular y cuneiforme medianas a delgadas, el contacto entre estas es concordante ondulado.

La base está compuesta de capas medianas de caliza color gris oscuro con estructura interna plano-paralela, compuesta de 12 % de foraminíferos (aloquímicos), 32 % de micrita y 56 % de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como caliza; y capas medianas de caliza color gris oscuro con estructura interna plano-paralela compuesta de 18 % de foraminíferos (aloquímicos), 12 % de micrita y 70 % de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como caliza.

Hacia el techo presenta capas delgadas de caliza color gris oscuro con estructura interna plano-paralela compuesta de 6%

de foraminíferos (aloquímicos), 10% micrita y 84% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como micrita fosilífera y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de amonio clasificándose según Trappe [10] como fosclasto- mudstone; y capas medianas de chert con estructura interna plano-paralela con lentes calcáreos. Presenta un espesor de 1,8 m y concreciones de 1x0,8m.

Este segmento corresponde a facies de calizas bioesparíticas, micriticas y chert con estructura interna plano-paralela de capas medianas a delgadas tabulares y cuneiformes (Cbcppmdtc).

7.1.2.3.5 Segmento 18

Compuesto por capas con geometría cuneiformes y tabulares medianas, el contacto entre estas es concordante neto y ondulado.

De base a techo está constituido por capas medianas de chert color negro con estructura interna masiva con presencia calcárea en los intersticios de las diaclasas, con láminas de caliza, y capas medianas de calizas color gris oscuro con estructura interna plano-paralela, compuesta de 15% de foraminíferos, 6% de bivalvos y 1% de restos de peces (aloquímicos) 8% de micrita y 70% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Presenta un espesor de 1,2 m.

Este segmento corresponde a facies de chert y calizas bioesparíticas con estructura interna masiva-plano paralela de capas medianas cuneiformes y tabulares (Ccbmpmct).

7.1.2.3.6 Segmento 19

Compuesto por capas con geometrías tabulares muy delgadas a delgadas, el contacto entre estas es concordante neto y ondulado.

La base está compuesta por capas muy delgadas de caliza color gris oscuro con estructura interna plano-paralela, con contenido 13% de foraminíferos, 2% de bivalvos, 3% intraclastos (aloquímicos) 67% de micrita y 5% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone y según Folk [9] como biomicrita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Hacia el techo presenta capas delgadas de chert con estructura interna plano paralela y recristalización de esparita. Presenta un espesor de 1,5 m y concreciones aproximadamente de 25 cm.

Este segmento corresponde a facies de calizas biomicriticas y chert con estructura interna plano-paralela de capas muy delgadas a delgadas tabulares (Cbcppddt).

7.1.2.3.7 Segmento 20

Compuesto por capas con geometría tabular mediana, el contacto entre estas es concordante neto, como se muestra en la ilustración 16.

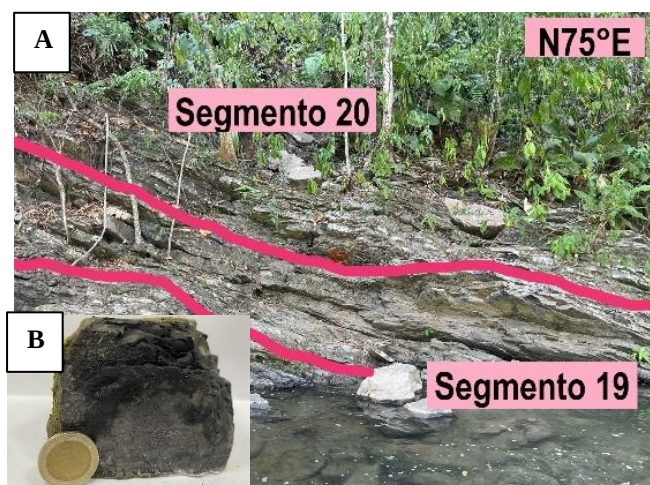


Ilustración 16. A) Facies de calizas bioesparíticas y chert tabulares. B) Chert con estructura interna masiva extraída del tope del segmento 20.
Fuente: Autores.

La base está compuesta de capas caliza color gris oscuro, con estructura interna masiva, contenido de 42% de foraminíferos, 3% de bivalvos y 5% de intraclastos de chert (aloquímicos) micrita 12%, y esparita 38% (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como caliza; también capas de chert color negro, con estructura interna masiva con presencia de nódulos de hematita.

El techo presenta chert con estructura interna masiva y caliza con contenido de 48% de foraminíferos, 6% de bivalvos y 2% de intraclastos de chert (aloquímicos) de micrita 16%, esparita 28% (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Presenta un espesor de 1.5 m.

Este segmento corresponde a facies de calizas bioesparíticas y chert con estructura interna masiva de capas medianas tabulares (Cbcmmt).

7.1.2.3.8 Segmento 21

Compuesto por capas con geometría tabular muy delgadas a medianas, el contacto entre estas es concordante neto, como se muestra en la ilustración 17.

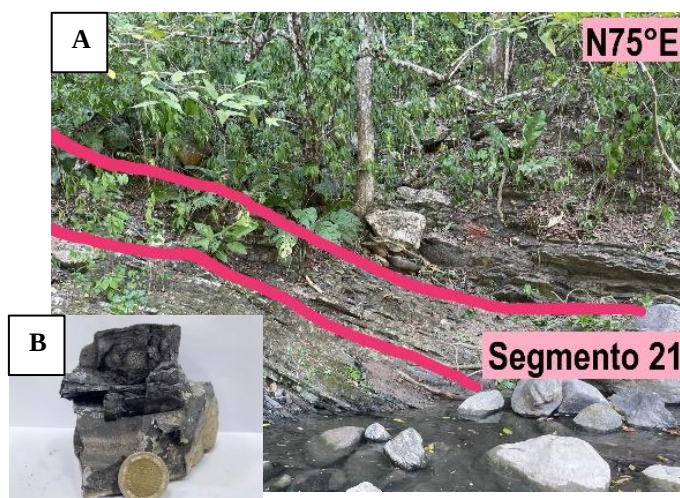


Ilustración 17. A) Facies de calizas biomicríticas y bioesparíticas tabulares. B) Chert color negro con estructura interna plano paralela, extraído de la base del segmento 21.
Fuente: Autores.

La base está compuesta por capas medianas de chert color negro con estructura interna plano paralelo; y caliza color gris oscuro con estructura interna masiva, contenido 12% de foraminíferos, 3% de bivalvos, 1% de ammonites y 5% de intraclastos de chert (aloquímicos) 65% de micrita y 14% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como biomicrita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de amonio clasificándose según Trappe [10] como fosclasto- wackestone.

El techo presenta capas muy delgadas de caliza color gris oscuro con estructura interna masiva, con contenido 10% de foraminíferos, 3% intraclastos de chert (aloquímicos) 12% de micrita y 75% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de amonio, clasificándose según Trappe [10] como fosclasto- wackestone: también capas medianas de chert color negro con estructura interna masiva. Presenta un espesor de 1,7 m.

Este segmento corresponde a facies de chert, calizas biomicríticas y bioesparíticas con estructura interna plano paralela-masiva de capas muy delgadas a medianas tabulares (Ccbppmmdm).

7.1.2.3.9 Segmento 22

Compuesto por capas con geometría tabular y cuneiformes medianas, el contacto entre estas es concordante neto y ondulado, como se muestra en la ilustración 18.



Ilustración 18. Facies de chert y calizas micríticas de capas medianas, tabulares y cuneiformes. B) Chert con estructura interna masiva extraída del tope del segmento 22.
Fuente: Autores.

La base está compuesta por capas medianas de chert color negro con estructura interna masiva y de caliza color gris oscuro con estructura interna plano-paralela, con contenido 4% de foraminíferos, 3% de bivalvos (aloquímicos) micrita 25% y 68% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como micrita fosilífera y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de amonio clasificándose según Trappe [10] como fosclasto - mudstone.

Hacia el techo presenta intercalación de capas medianas de chert color negro con estructura interna masiva y contenido calcáreo en los intersticios de las diaclasas con caliza color gris oscuro con estructura interna masiva, con contenido 4% de foraminíferos, 6% restos de espinas (aloquímicos) 12% de micrita y 78% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como micrita fosilífera y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Presenta un espesor de 4,3 m y concreciones que van aproximadamente de 60 cm.

Este segmento corresponde a facies de chert y calizas micríticas con estructura interna masiva-plano paralela de capas medianas tabulares y cuneiformes (Ccmppmtc).

7.1.2.3.10 Segmento 23

Compuesto por capas con geometría tabular delgadas a medianas, el contacto entre estas es concordante neto y ondulado, como se muestra en la ilustración. 19.



Ilustración 19. A) Facies de calizas biomicríticas, bioesparíticas, micríticas y chert tabulares. B) Biomicrita con estructura interna masiva con contenido de dolomita, extraída de la base del segmento 23.
Fuente: Autores.

La base está compuesta por capas medianas de caliza color gris oscuro con estructura interna masiva, con contenido 23% de foraminíferos, 6% de bivalvos y 10% de intraclastos (aloquímicos) 19% de micrita, 24% de esparita (ortoquímicos) y 18% de dolomita. Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como biomicrita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de amonio clasificándose según Trappe [10] como fosclasto-wackestone; también de caliza color gris oscuro con estructura interna plano-paralela, con contenido 22% de foraminíferos, 3% bivalvos, 1% intraclastos (aloquímicos) de micrita 18%, esparita 56% (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como caliza.

Hacia el techo presenta capas medianas de caliza clasificando según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como micrita fosilífera y según Pettijohn et al. [11] como caliza intercalado con capas delgadas a medianas de chert con estructura interna masiva. Presenta un espesor de 1.5 m.

Este segmento corresponde a facies de calizas biomicríticas, bioesparíticas, micríticas y chert con estructura interna masiva-plano paralela de capas delgadas a medianas tabulares (Cbmcppdmt).

7.1.2.3.11 Segmento 24

Compuesto por capas con geometría tabular mediana, el contacto entre estas es concordante ondulado y neto. Como se muestra en la ilustración 20.



Ilustración 20. A) Facies de calizas bioesparíticas a micríticas de capas medianas tabulares. B) Bioesparita con estructura interna masiva compuesta de foraminíferos, bivalvos y restos de peces, extraída de la base del segmento 24.

Fuente: Autores.

La base está compuesta por capas medianas de calizas color gris oscuro con estructura interna masiva, con contenido 2% de foraminíferos, 16% de bivalvos y 2% restos de espinas (aloquímicos) 25% de micrita y 55% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como caliza; y capas medianas de calizas color gris oscuro con estructura interna masiva, con contenido 12 % de foraminíferos, 2% intraclastos (aloquímicos) de micrita 12%, esparita 74% (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone y según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de amonio clasificándose según Trappe [10] fosclasto- wackestone.

El techo presenta capas medianas de caliza con estructura interna masiva clasificando según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como micrita fosilífera y según Pettijohn et al. [11] como caliza y capas de caliza color gris oscuro, con contenido 26% de foraminíferos y 2% de intraclastos (aloquímicos) 12% de micrita y 60% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Presenta un espesor de 2,8 m y concreciones de 33 a 40 cm.

Este segmento corresponde a facies de calizas bioesparíticas a micríticas con estructura interna masiva de capas medianas tabulares (Cbmmmt).

7.1.2.3.12 Segmento 25

Compuesto por capas con geometría tabular y cuneiforme medianas a gruesas, el contacto entre estas es concordante ondulado, como se muestra en la ilustración 21.

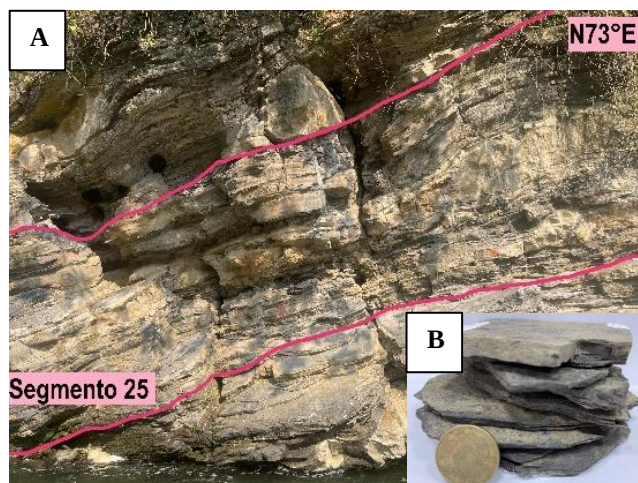


Ilustración 21. A) Facies de chert, calizas micríticas y Shales. B) Shale calcáreo con estructura interna laminar, extraída del tope del segmento 25.

Fuente: Autores.

La base está compuesta por capas medianas de chert color negro con estructura interna plano-paralela y capas medianas a gruesas de calizas color gris oscuro con contenido 8% de foraminíferos, 2% intraclastos (aloquímicos) 18% de micrita y 72% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como micrita fosilífera y según Pettijohn et al. [11] como caliza.

Hacia el techo presenta capas medianas de shales calcáreo color gris claro, con estructura interna laminar compuesto de 2% de intraclastos de chert, 5% de moscovita y capas de chert color negro con contenido calcáreo en los intersticios de las diacclas. Presenta un espesor de 1,5 m y concreciones aproximadamente de 40 cm a 1 m.

Este segmento corresponde a facies de chert, calizas micríticas y shales con estructura interna plano-paralela de capas medianas a gruesas tabulares y cuneiformes (Ccmsppmgtc).

7.1.2.3.13 Segmento 26

Compuesto por capas con geometría tabular muy delgadas a gruesas, el contacto entre estas es concordante ondulado, como se muestra en la ilustración 22.

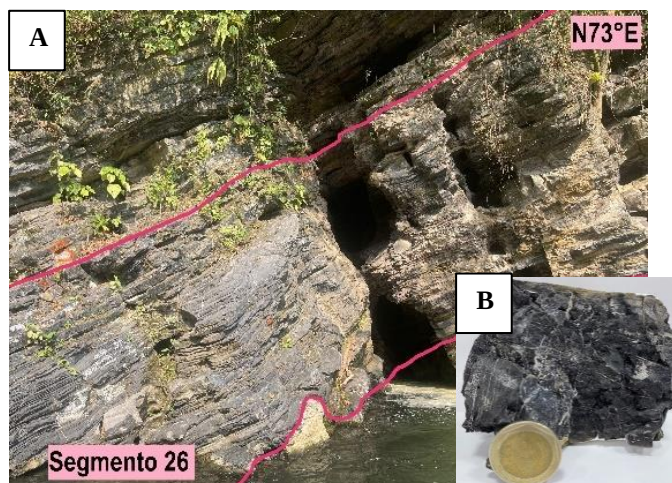


Ilustración 22. A) Facies de caliza bioesparítica, micríticas y chert tabulares. B) Chert con estructura interna masiva, extraída del tope del segmento 26. Fuente: Autores.

La base está compuesta por una intercalación de capas medianas de caliza color gris oscuro con estructura interna plano-paralela, con contenido 10% de foraminíferos, 5% bivalvos y 1% intraclastos (aloquímicos) 33% de micrita y 51% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como caliza; con capas muy delgadas a medianas de chert color negro con estructura interna plano-paralela.

Hacia el techo presenta capas medianas de caliza color gris oscuro con estructura interna plano-paralela, con contenido 3 % de foraminíferos, 2% de bivalvos, 2% de intraclastos (aloquímicos) 18% de micrita, 75% de esparita (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como micrita fosilífera y según Pettijohn et al. [11] como caliza; y capas gruesas de chert color negro con recristalización de esparita y contenido calcáreo en los intersticios de las diaclasas. Presenta un espesor de 3,4 m y concreciones de aproximadamente 1,2 m.

Este segmento corresponde a facies de calizas bioesparíticas, micríticas y chert con estructura interna plano-paralela de capas muy delgadas a gruesas tabulares (Cbmcpdgt).

7.1.2.3.14 Segmento 27

Compuesto por capas con geometría tabular medianas a gruesas, el contacto entre estas es concordante neto como se muestra en la ilustración 23.



Ilustración 23. A) Facies de chert y caliza biomicrítica de capas medianas a gruesas tabulares. B) Micrita fosilífera con estructura interna plano-paralela compuesta de foraminíferos, bivalvos e intraclastos extraída de la base del segmento 27. Fuente: Autores.

La base está compuesta por capas medianas de chert color negro con estructura interna masiva y recristalización de esparita y contenido calcáreo en los intersticios de las diaclasas.

Hacia el techo presenta capas gruesas de chert color negro con estructura interna masiva, recristalización de esparita y contenido calcáreo en los intersticios de las diaclasas; capas medianas de caliza color gris oscuro con estructura interna plano-paralela, con contenido 8% de foraminíferos, 3% bivalvos, 1% de intraclastos, 5% restos de peces (aloquímicos) de micrita, 10%, esparita 73% (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como biomicrítica y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Presenta un espesor de 1,3 m y concreciones de aproximadamente 20 cm.

Este segmento corresponde a facies de chert y caliza biomicrítica con estructura interna masiva-plano paralela de capas medianas a gruesas tabulares (Ccbmppmgt).

7.1.2.3.15 Segmento 28

Compuesto por capas con geometría cuneiformes y tabulares medianas, el contacto entre estas es concordante ondulado y neto como se muestra en la ilustración 24.



Ilustración 24. A) Facies de chert y calizas bioesparíticas de capas tabulares. B) Chert con estructura interna masiva con lentes calcáreos, extraída del tope del segmento 28. Fuente: Autores.

La base está compuesta por capas medianas de chert con lentes calcáreos con estructura interna masiva, color gris oscuro, presenta venillas de calcita; con contenido 7 % de foraminíferos, 2% de bivalvos (aloquímicos) de micrita 10 %, esparita 81 % (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como mudstone y según Folk [9] como micrita fosilífera y según Pettijohn et al. [11] como caliza; y capas de calizas color gris oscuro con lentes de chert, estructura interna masiva, con contenido 12 % de foraminíferos, 2% intraclastos (aloquímicos) de micrita 20 %, esparita 66 % (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de amonio clasificándose según Trappe [10] como fosclasto-wackestone.

Hacia el techo presenta caliza color gris oscuro, con contenido 12 % de foraminíferos, 3% de bivalvos y 2% de intraclastos (aloquímicos) de micrita 2 % y esparita 83 % (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como caliza; también chert color negro con estructura masiva con recristalización de esparita y contenido calcáreo en los intersticios de las diaclasas. Presenta un espesor de 2,09 m y concreciones de aproximadamente 1 m que hace plegar las capas.

Este segmento corresponde a facies de chert y calizas bioesparíticas con estructura interna masiva de capas medianas cuneiformes y tabulares (Ccbmmct).

7.1.2.3.16 Segmento 29

Compuesto por capas con geometría tabulares y cuneiformes delgadas a gruesas, el contacto entre estas es concordante ondulado como se muestra en la ilustración 25.

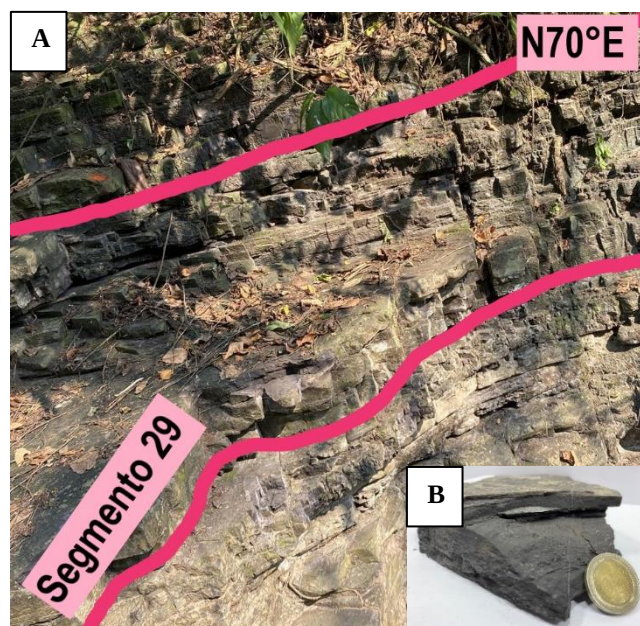


Ilustración 25. A) Facies de calizas bioesparíticas de capas medianas a gruesas tabulares y cuneiformes. B) Bioesparita con estructura interna plano paralela compuesta de foraminíferos e intraclastos, correspondiente a la base del segmento 29. Fuente: Autores.

De base a techo está constituida por capas gruesas a delgadas de caliza color gris oscuro con estructura interna plano-paralela, con contenido 12 % de foraminíferos, 5% intraclastos (aloquímicos) de micrita 32 %, esparita 51 % (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de amonio clasificándose según Trappe [10] como fosclasto-wackestone; y capas delgadas de caliza color gris oscuro, con estructura interna masiva, con contenido 15 % de foraminíferos, 3% intraclastos (aloquímicos) de micrita 22 %, esparita 60 % (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Presenta un espesor de 90 cm. Este segmento corresponde a facies de calizas bioesparíticas con estructura interna masiva- plano paralela de capas delgadas a gruesas tabulares y cuneiformes (Cbmpdpdgtc).

7.1.2.3.17 Segmento 30

Compuesto por capas con geometría tabular medianas a gruesas, el contacto entre estas es concordante ondulado y neto. La base está compuesta por una intercalación de chert color negro con estructura interna masiva con contenido calcáreo y caliza color gris oscuro, con estructura interna plano-paralela, contenido 2% de foraminíferos, 3% intraclastos (aloquímicos) de micrita 13%, esparita 82 % (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como micrita fosilífera y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de

amonio clasificándose según Trappe [10] como fosclasto-mudstone. Hacia el techo presenta capas gruesas a medianas de chert con estructura interna plano-paralela y masiva con contenido calcáreo en el intersticio de las diaclasas. Presenta un espesor de 2,6 m.

Este segmento corresponde a facies de chert y calizas micriticas con estructura interna plano-paralela y masiva de capas medianas a gruesas tabulares (Ccmppm).

7.1.2.3.18 Segmento 31

Compuesto por capas con geometría tabular medianas a gruesas, el contacto entre estas es concordante ondulado y neto como se muestra en la ilustración 26.



Ilustración 26. A) Facies de calizas biomicriticas a micriticas y chert de capas medianas a gruesas tabulares. B) Chert con estructura interna masiva, extraído del tope del segmento 31.

Fuente: Autores.

La base está compuesta por capas gruesas a medianas de calizas con estructura interna plano-paralela, Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como biomicritica y según Pettijohn et al. [11] como caliza; y capas medianas de chert color negro con estructura interna plano paralelo, con contenido calcáreo en el intersticio de las diaclasas.

Hacia el techo presenta intercalación de capas medias de chert con estructura interna masiva con contenido calcáreo en el intersticio de las diaclasas; y capas gruesas de caliza color gris oscuro con estructura interna masiva, contenido de 7% de foraminíferos (aloquímicos) 18% de micrita y 75% de esparita (ortoquímicos). Clasificando según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como micrita fosilífera y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Presenta un espesor de 1,9 m. Este segmento corresponde a facies de calizas biomicriticas, micriticas y chert con estructura interna plano paralela- masiva de capas medianas a gruesas tabulares (Cbmcpmmgt).

7.1.2.3.19 Segmento 32

Compuesto por capas con geometría tabular y cuneiformes delgadas a gruesas, el contacto entre estas es concordante neto como se muestra en la ilustración 27.



Ilustración 27. A) Facies de chert y calizas bioespariticas de capas tabulares y cuneiformes. B) Bioesparita con estructura interna plano paralela compuesta de foraminíferos, bivalvos e intraclastos, extraída del tope del segmento 32.

Fuente: Autores.

La base está compuesta por capas delgadas a gruesas de chert color negro con estructura interna masiva, con contenido calcáreo en el intersticio de las diaclasas.

Hacia el techo presenta capas medianas de calizas color gris oscuro con estructura interna plano-paralela, con 15% de foraminíferos, 2% de bivalvos y 3% de intraclastos (aloquímicos) de micrita 23 %, esparita 57 % (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de amonio clasificándose según Trappe [10] como fosclasto- wackestone. Presenta un espesor de 1,9 m.

Este segmento corresponde a facies de chert y calizas bioespariticas con estructura interna masiva- plano paralela de capas delgadas a gruesas tabulares y cuneiformes (Ccbmpptc).

7.1.2.3.20 Segmento 33

Compuesto por capas con geometría tabular, muy delgadas a medianas, el contacto entre estas es concordante ondulado y neto.

De base a techo está constituida por una intercalación de capas muy delgadas a medianas de calizas color gris oscuro con estructura interna plano-paralela con venillas de calcita, presenta lentes de chert; con contenido 3 % de foraminíferos (aloquímicos) de micrita 16 %, esparita 81 % (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como micrita fosilífera y según Pettijohn [11] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de amonio clasificándose según Trappe [10] como fosclasto-

mudstone; y capas delgadas a medianas de chert con estructura interna plano-paralela con contenido calcáreo en el intersticio de las diaclasas. Presenta un espesor de 2,9 m y concreciones que van aproximadamente de 5 a 35 cm.

Este segmento corresponde a facies de calizas micriticas y chert con estructura interna plano-paralela de capas muy delgadas a medianas tabulares (Cmcppdmt).

7.1.2.3.21 Segmento 34

Compuesto por capas con geometría tabular y cuneiforme, medianas a gruesas, el contacto entre estas es concordante neto y ondulado como se muestra en la ilustración 28.

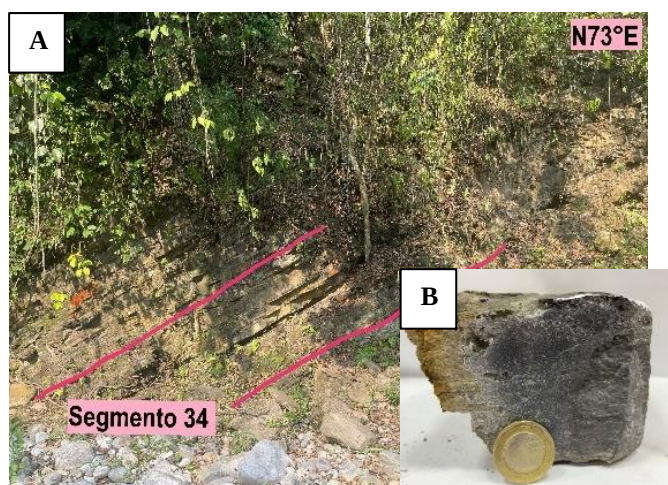


Ilustración 28. A) Facies de caliza micrítica a bioesparítica (tormentitas) y chert con estructura interna tabulares. B) Bioesparita con estructura interna plano paralela compuesta de foraminíferos e intraclastos, extraída del tope del segmento 34.

Fuente: Autores.

La base está compuesta por capas medianas de caliza gris oscuro con estructura interna plano-paralela, presenta lentes de chert, está compuesta de 7% de foraminíferos y 1% de intraclastos (aloquímicos) de micrita 32%, esparita 60% (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como micrita fosilífera y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de amonio clasificándose según Trappe [10] como fosclasto- mudstone; capas gruesas de chert con estructura interna plano-paralela y capas medianas de caliza con contenido 10% de foraminíferos y 1% de intraclastos (aloquímicos) de micrita 6 % y esparita 83 % (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de amonio clasificándose según Trappe [10] como fosclasto- wackestone.

El techo presenta capas medianas de tormentitas color gris oscuro con estructura interna masiva, con contenido 18% de foraminíferos y 10% de intraclastos (aloquímicos) de micrita 3 % y esparita 34 % (ortoquímicos). En su contenido presenta

arenita de grano fino 36% Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn et al. [11] como marga arenosa. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de amonio clasificándose según Trappe [10] como fosclasto- wackestone y chert color gris oscuro con estructura interna plano paralelo y con contenido calcáreo. Presenta un espesor de 2,2 m.

Este segmento corresponde a facies de caliza micrítica a bioesparítica (tormentitas) y chert con estructura interna plano-paralela de capas medianas a gruesas tabulares y cuneiformes (Cmbcpmgct).

7.1.2.3.22 Segmento 35

Compuesto por capas con geometría tabular medianas a gruesas, el contacto entre estas es concordante ondulado y neto como se muestra en la ilustración 29.



Ilustración 29. A) Facies de caliza micrítica y bioesparítica tabulares. B) Micrita fosilífera con estructura interna plano-paralela compuesta de foraminíferos e intraclastos, extraída de la base del segmento 35.

Fuente: Autores.

La base está compuesta por capas medianas de calizas color gris oscuro con estructura interna plano-paralela, con contenido 2% de foraminíferos y 3% de intraclastos (aloquímicos) de micrita 3%, esparita 34% (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como micrita fosilífera y según Pettijohn [11] como caliza; y capas gruesas de caliza color gris oscuro con estructura interna plano-paralela, con contenido 15% de foraminíferos y 1% de intraclastos (aloquímicos) de micrita 18 %, esparita 66 % (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone y según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn [11] como caliza. Hacia el techo presenta capas gruesas de calizas color gris oscuro con estructura interna plano-paralela, con contenido 3 % de foraminíferos y 5 % de intraclastos (aloquímicos) de micrita 13%, esparita 79% (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como mudstone, según Folk [9] como micrita fosilífera y según Pettijohn [11] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de amonio

clasificándose según Trappe [10] como fosclasto- mudstone; y caliza color gris oscuro con estructura interna plano-paralela, con contenido 12 % de foraminíferos (aloquímicos) de micrita 18 %, esparita 70 % (Ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijonh [11] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de amonio clasificándose según Trappe [10] como fosclasto- wackestone. Presenta un espesor de 1,8 m.

Este segmento corresponde a facies de calizas micríticas y bioesparíticas con estructura interna plano-paralela de capas medianas a gruesas tabulares (Cmbppmgt).

7.1.2.4 Ftanita de Táchira

De base a techo este Miembro está constituido por una intercalación de capas tabulares muy delgadas a medianas de chert con capas medianas de caliza biomicrítica y bioesparítica (tormentitas), esporádicas capas medianas y gruesas de shales y limolitas.

El espesor total de este Miembro es de 19,5 m, debido a cambios faciales se divide en 5 segmentos, descritos a continuación:

7.1.2.4.1 Segmento 36

Compuesto por capas con geometría tabular, cuneiforme y lenticular delgadas a medianas, el contacto entre estas es concordante ondulado y neto como se muestra en la ilustración 30.

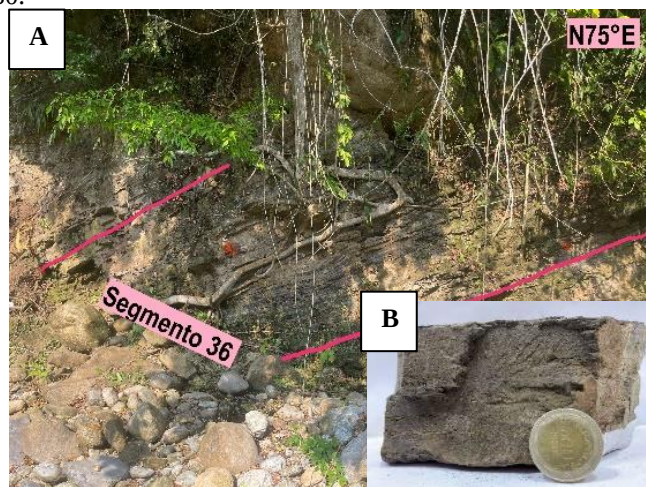


Ilustración 30. A) Facies de chert de capas delgadas a medianas tabulares. B) Chert con estructura interna plano paralela, extraído del tope del segmento 36. Fuente: Autores.

De base a techo está constituida por capas de chert color gris oscuro con estructura interna plano paralelo; no calcáreo, algunos de estos presentan disolución de foraminíferos 48%. Presenta un espesor de 2,3 m.

Este segmento corresponde a facies de chert con estructura interna plano-paralela de capas delgadas a medianas tabulares (Cpdpmt).

7.1.2.4.2 Segmento 37

Compuesto por capas con geometría tabular medianas a gruesas, el contacto entre estas es concordante neto, como se muestra en la ilustración 31.

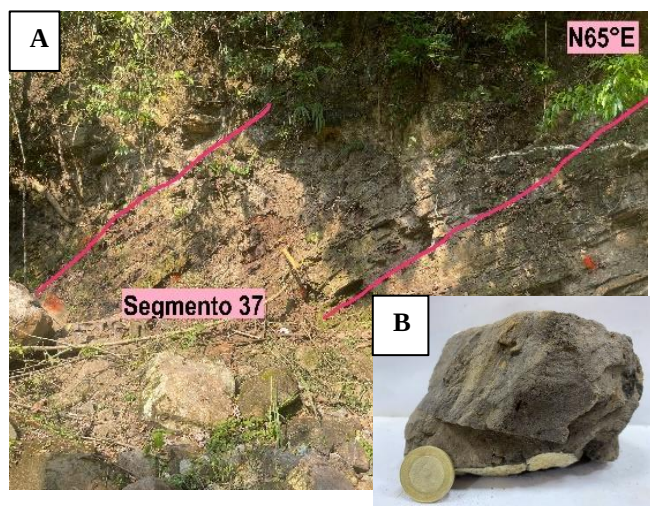


Ilustración 31. A) Facies de calizas bioesparíticas (tormentitas), shales, chert y limolitas tabulares. B) Tormentitas con estructura interna masiva, extraída de la base del segmento 37.

Fuente: Autores.

La base está compuesta por una intercalación de capas medianas de tormentitas color gris oscuro con estructura interna masiva, con contenido 92% de foraminíferos y 2% resto de peces (aloquímicos) de micrita 1%, esparita 5% (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como packstone, según Folk [9] como bioesparita y según Pettijonh [9] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de amonio clasificándose según Trappe [11] como fosclasto-packstone, con shales no calcáreo y capas de chert color negro con estructura interna plano paralelo, con contenido de foraminíferos 52% e intraclastos 42%.

Hacia el techo presenta capas medianas de caliza color gris oscuro con estructura interna plano-paralela, contenido 12 % de foraminíferos, 2% de intraclastos (aloquímicos) de micrita 32 %, esparita 54 % (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone y según Folk [9] como bioesparita y según Pettijonh [11] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de amonio clasificándose según Trappe [10] como fosclasto- wackestone; y capas gruesas de chert color negro con estructura interna plano-paralela con 10% de foraminíferos, capas medianas de shales color gris oscuro con estructura interna laminar. Capas gruesas de limolita con estructura interna plano paralelo, foraminíferos 18%, presencia de moscovita 2%. Presenta un espesor de 3,9 m.

Este segmento corresponde a facies de calizas bioesparíticas (tormentitas), shales, chert y limolitas con estructura interna masiva- plano paralelo de capas medianas a gruesas tabulares (Cbsclmpmgt).

7.1.2.4.3 Segmento 38

Compuesto por capas con geometría tabular, lenticular y cuneiforme muy delgadas a delgadas el contacto entre estas es concordante neto como se muestra en la ilustración 32.

De base a techo está constituido por chert color negro con estructura interna plano-paralela y disolución de foraminíferos del 15-46%. Presenta un espesor de 6,9 m.

Este segmento corresponde a facies de chert con estructura interna plano-paralela de capas muy delgadas a delgadas tabulares, lenticulares y cuneiformes (Cpmmddtlc).

7.1.2.4 Segmento 39

Compuesto por capas con geometría tabular, muy delgadas a delgadas, el contacto entre estas es concordante neto como se muestra en la ilustración 32.



Ilustración 32. A) Facies de calizas bioesparíticas, biomicriticas (tormentitas) y chert tabulares. B) Biomicrita con estructura interna plano paralelo compuesta de foraminíferos e intraclastos, extraído del tope del segmento 39.

Fuente: Autores.

La base está compuesta por capas delgadas de caliza color gris oscuro con estructura interna plano paralelo, contenido 22 % de foraminíferos y 5% de intraclastos (aloquímicos) de micrita 18%, esparita 55% (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone y según Folk [9] como bioesparita y según Pettijohn [11] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de amonio clasificándose según Trappe [10] como fosclasto- wackestone y capas muy delgadas a delgadas de chert color negro con estructura interna masiva y disolución de foraminíferos 38% no calcáreo. Hacia el techo presenta capas delgadas de tormentita color gris oscuro con estructura interna masiva, contenido 20% de foraminíferos y 30% de intraclastos (aloquímicos) de micrita 28 %, esparita 22% (ortoquímicos). Clasificándose según Dunham [9] como wackestone y según Folk [9] como biomicrita y según Pettijohn [11] como caliza. Se le realizó prueba de fósforo con ácido nítrico y molibdato de amonio clasificándose según Trappe [10] como fosclasto- wackestone; y capas de chert color negro con estructura interna plano-

paralela y disolución de foraminíferos 10%. Presenta un espesor de 3,1 m. Este segmento corresponde a facies de caliza bioesparítica a biomicritica (tormentitas) y chert con estructura interna plano paralela- masiva de capas muy delgadas a delgadas tabulares (Cbbmmddt).

7.1.2.4.5 Segmento 40

Compuesto por capas con geometría tabular, muy delgadas a delgadas, el contacto entre estas es concordante neto como se muestra en la ilustración 33.

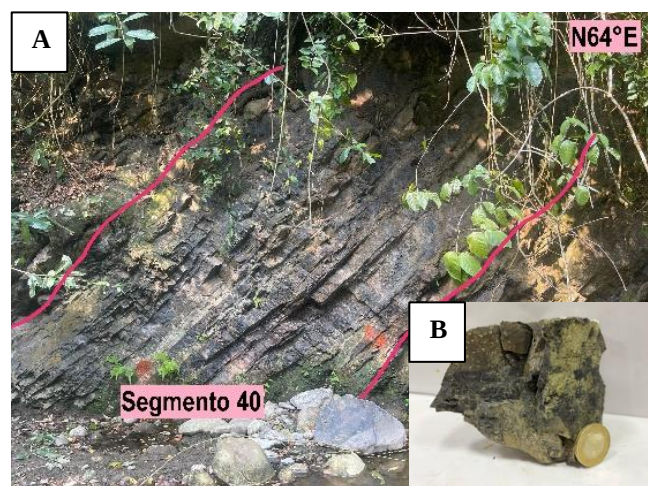


Ilustración 33. A) Facies de chert con estructura interna plano-paralela de capas muy delgadas a delgadas tabulares. B) Chert con estructura interna masiva compuesta de foraminíferos e intraclastos, extraído del tope del segmento 40.

Fuente: Autor.

De base a techo está constituido por capas muy delgadas a delgadas de chert con estructura interna plano-paralela con disolución de foraminíferos del 16-48%, algunos de estos presentan intraclastos y dolomitas. Presenta un espesor de 3.3 m. Este segmento corresponde a facies de chert con estructura interna plano-paralela de capas muy delgadas a delgadas tabulares (Cpmmddt).

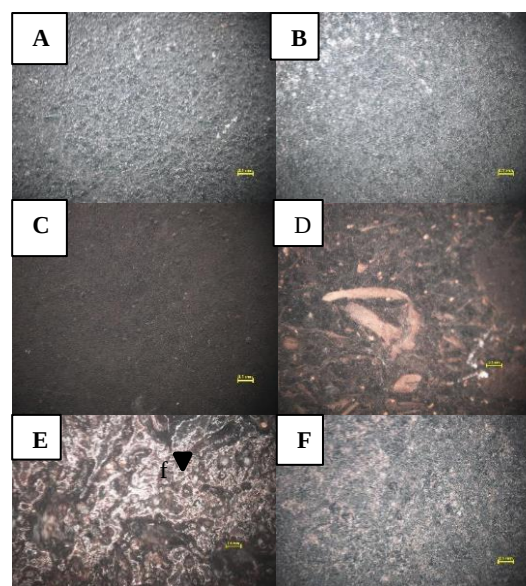


Ilustración 34. Pellejos de roca donde se evidencian los diferentes contenidos de aloquímicos. (A) (B) corresponden a las muestras S2B0-1M1B y S2B6-7MA clasificadas como caliza tipo wackstone (C) Corresponde a la muestra S2B6-7ME clasificada como caliza tipo mudstone (D) correspondiente a la roca S2B25-26MA clasificada como caliza tipo wackstone, se observa una concha de bivalvo bien conservada, mostrando las dos valvas, dado un corte transversal (E) Corresponde a la muestra S3-B23-24MC clasificada como una tormentita, donde se observan gran contenido de foraminíferos (f) vistos como granos blancos y huecos debido a la disolución de los mismos (F) Corresponde a la muestra S3-B32-33MB clasificada como caliza tipo wackstone rica en materia orgánica.

7.1.3 Formación Colón-Mito Juan

En el área de estudio se levantó 1,8 m de la base de la Formación Colón- Mito Juan la cual consta de capas tabulares muy delgadas a gruesas de litoarenitas, tormentitas y shales con contactos concordantes ondulados, como se observa en la ilustración 35.



Ilustración 35. Capas tabulares de litoarenitas, tormentitas y shales de la formación Colón- Mito Juan, Fuente: Autores.

La base de esta Formación está compuesta de capas de capas delgadas a muy delgadas de litoarenitas color gris oscuro con tamaño de grano fino a muy fino con porosidad baja, baja friabilidad, redondeces subangulares a redondeados, contactos completos, cemento silíceo. Compuesto mineralógicamente por 2% glauconita, piritita 1%, líticos 97%. Clasificándose según Dunham [9] como litoarenitas y según Folk [9] como arenita; con capas gruesas de tormentitas, con tamaño de grano muy fino, fino y medio con porosidad baja, baja friabilidad, cemento calcáreo. Con 12% de foraminíferos. Compuesto mineralógicamente por 4% glauconita, 3% de moscovita y 81% de líticos. Clasificándose según Folk [9] como litoarenita y según Folk [9] como arenita.

Por último, capas medianas a gruesas de shales color gris oscuro con estructura interna laminar, con contenido de materia orgánica no calcáreo, con moscovita 3%.

7.2 Interpretación de Ambientes de la Formación La Luna.

Mediante las características faciales analizadas de la sección aflorante de la Formación La Luna en el Río Riecito sector la

Azufrada, se determinaron los ambientes de depositación según el esquema general de distribución de facies de Wilson [7]. representados en el mapa de distribución litológica y el bloque diagrama como se muestra en las ilustraciones 36 y 38 respectivamente que evidencia las fluctuaciones a las que estuvo sometido el mar en el Cretácico Tardío.

Para el Miembro La Aguada, se sugiere un ambiente marino somero que va desde plataforma restringida VIII a plataforma abierta tipo VII de acuerdo a el esquema general de distribución de facies en el modelo estándar de Wilson [7].

Para el Miembro Chejendé, se sugiere un ambiente marino somero que va desde plataforma abierta tipo II a plataforma restringida tipo VIII (excepto arrecife o margen de la plataforma tipo V y arenas del borde la plataforma tipo VI) de acuerdo a el esquema general de distribución de facies en el modelo estándar de Wilson [7]. Continuamente, se encuentra el Miembro Timbetes, se sugiere un ambiente marino profundo que va desde plataforma abierta tipo II a Talud SS tipo IV de acuerdo a el esquema general de distribución de facies en el modelo estándar de Wilson [7]. Hacia el tope, se encuentra el Miembro Ftanita de Táchira, se sugiere un ambiente marino profundo que va desde Cuenca tipo I a pie de talud tipo III de acuerdo a el esquema general de distribución de facies en el modelo estándar de Wilson [7].

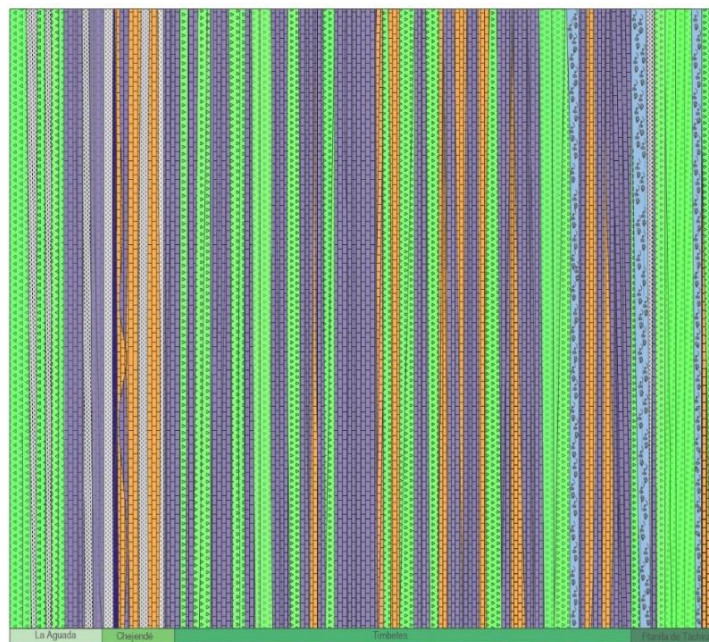


Ilustración 36. Mapa de distribución litológica analizadas de los Miembros de la Formación La Luna en una plataforma continental. Fuente: Autores

8. Discusión

Durante el tiempo geológico, los niveles de los océanos han sido muy variantes, generando ciclos de ascenso y descenso en el nivel relativo del mar. Estos cambios, conocidos como

eustáticos cuando se evalúan a nivel global, están asociados con variaciones estratigráficas, climáticas e incluso tectónicas. En el ámbito local o regional, se denominan cambios eubáricos. Estos procesos están representados en el gráfico de ciclo eustático del Cretácico temprano [25].

Cuando los niveles del océano van en descenso se produce un *Lowstand System Tract (LST)* en el que la línea de costa se traslada hacia el océano, dejando expuesta la superficie antes sumergida y formando superficies de erosión y límites de secuencias. Cuando el nivel del mar aumenta rápidamente la línea de costa se mueve hacia el continente, produciendo una *Transgressive System Tract (TST)* sedimentando secciones condensadas ricas en materia orgánica. Finalmente, cuando el nivel del océano asciende lentamente, pero el aporte de sedimento es mayor al espacio generado la entrada de la línea de costa se moverá hacia el océano con un efecto progradante en los sedimentos provenientes del continente, produciendo un *Highstand System Tract (HST)* [26].

En el desarrollo del presente trabajo fue posible inferir que durante la depositación de La Aguada se pudo haber producido un *HST*, registrando el máximo nivel eustático durante el Cretácico alcanzando el rango de 170 a 280 m sobre el nivel actual del mar [26] con posibles eventos locales de regresión, evidenciados en la litología por la producción de una progradación de clásticos y material terrígeno hacia la cuenca. Se habrían depositado en un ambiente de plataforma restringida VIII a plataforma abierta VII y en condiciones anóxicas asociada al que podría representar el Evento Anóxico Oceánico 2 (OAE 2) registrado durante el Cretácico (Cenomaniano/Turoniano) [6].

Por otro lado, el Miembro Chejendé, Timbetes y Ftanita de Táchira se pudieron depositar en un ambiente marino profundo *TST* caracterizado por un aumento en el nivel del océano con picos locales regresivos, relativamente de magnitud media-alta y locales eventos de transgresión que se trasladaron hacia el continente registrando un proceso de ahogamiento [26] con eventuales tormentas distales y condiciones de fondo anóxicas restringidas, en presencia de sedimentos pelágicos de baja influencia terrígena típica de un aumento en el nivel relativo del océano. El intervalo Ftanita de Táchira probablemente coincidiría con el evento anóxico oceánico global 3 (OAE3) registrado en el Cretácico tardío (Coniaciano- Santoniano) [6].

De acuerdo al origen de las rocas silíceas distribuidas a lo largo de la secuencia sedimentaria se postulan tres hipótesis; teniendo en cuenta procesos tanto diagenéticos como depositacionales.

Los procesos diagenéticos tienen dos sistemas, el primero (1) formado en ambientes disoxicos, en el que comienzan a desarrollarse los procesos de silicificación como resultado de la degradación de materia orgánica en presencia de arcillas montmorillonita/esmectita (ricas en S y P) [27]. El segundo (2), involucra el reemplazamiento de minerales carbonatados por sílice, debido a la disolución de carbonatos y la precipitación casi simultánea de sílice [28]. El tercer (3) origen es depositacional e involucra la acumulación de sílice, que puede provenir de la precipitación directa del agua de mar o la disolución de restos orgánicos silíceos como conchas de radiolarios, diatomeas y espículas de esponjas, incluso por acumulación de estos mismos restos, seguido de enterramiento y preservación de la sílice para dar origen al chert [29].

Ahora bien, la depositación de la Formación La Luna seguramente ocurrió en condiciones de baja energía reflejado por presentar estructuras internas masivas a estructuras laminadas, la plataforma y el talud, estaban cubiertas por una capa de agua oxigenada, mientras que el fondo presentaba un ambiente anóxico, permitiendo la acumulación de materia orgánica. Posteriormente, las condiciones paleoceanográficas fueron modificadas con corrientes de surgencia las cuales según Rodríguez [30] pueden tener dos orígenes; uno producido por el viento y otro por corrientes subterráneas. La surgencia impulsada por el viento es la respuesta del océano a fuertes vientos que empuja la columna superficial del agua mar adentro, siendo reemplazada gracias a la surgencia de aguas más profundas y cercanas a la costa.

Dada la presencia de diversos ambientes a lo largo de la secuencia se interpretan estos procesos de la siguiente manera: en el Miembro La Aguada posiblemente tuvo lugar un proceso de silicificación (1) de ambiente transicional con un mayor aporte de terrígenos finos de origen continental. Esto produjo un reemplazamiento extensivo en relación Si/Al, que ha dejado huella de chert laminados con intercalación de capas delgadas de shale [27].

Para el Miembro Timbetes, se consideraría una silicificación (2) ya que el hallazgo de algunas muestras de chert encontradas en la parte media y superior de este Miembro, muestran contenido calcáreo en forma de lentes que presumiblemente se silicificaron por reemplazamiento diagenético de carbonato

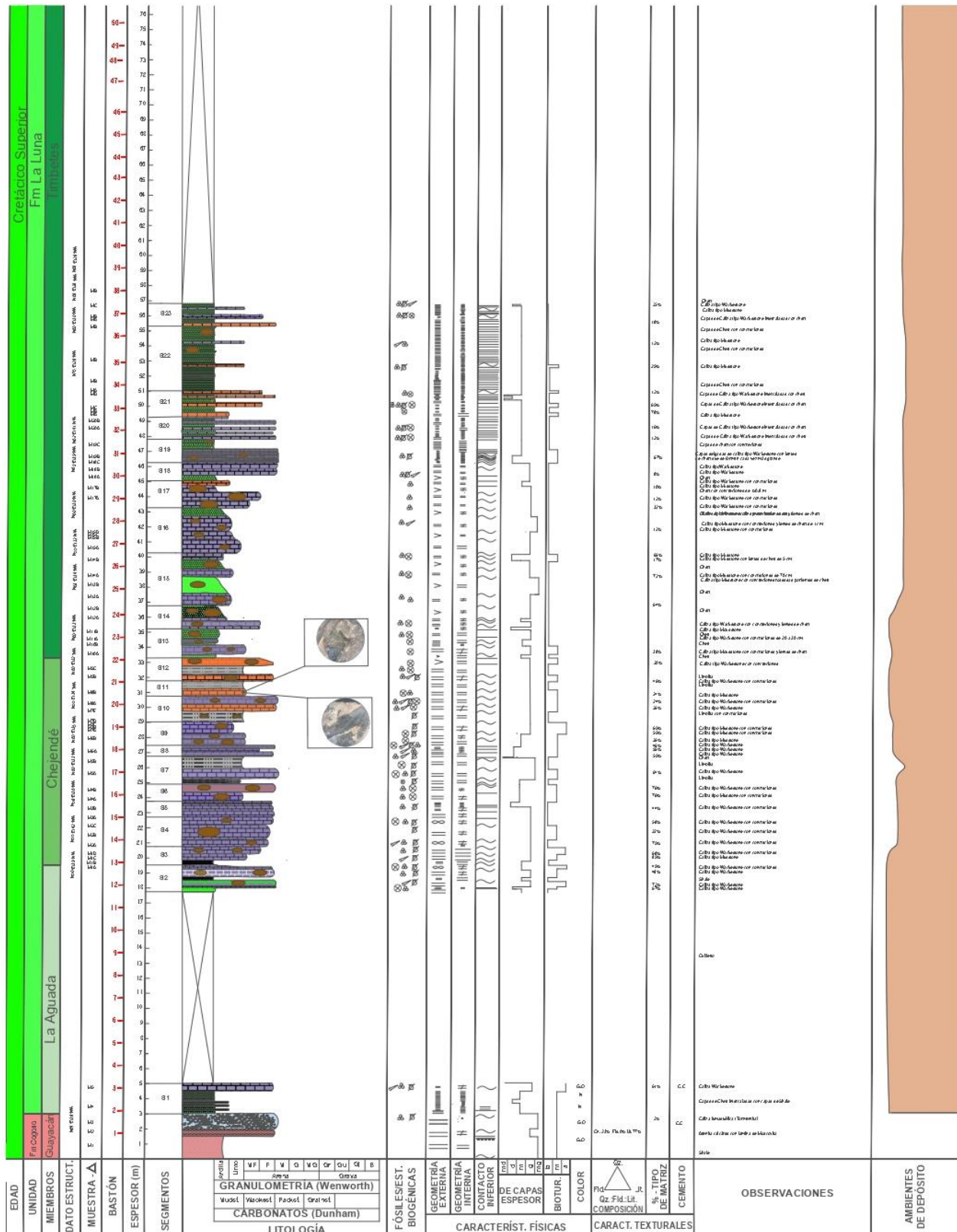


Ilustración 37. Columna generalizada de la Formación La Luna a escala 1:100. (El material suplementario incluye esta ilustración en una mayor resolución)

Fuente: Autores.

preexistente y quedaron algunos vestigios de ese carbonato, en una primera transformación de ópalo tipo A a ópalo tipo CT y que posteriormente por diagénesis se transforma a chert. Las formas lenticulares de caliza sin afectar indican que se tuvo un reemplazamiento de baja intensidad conservando las texturas calcáreas. Esto indicaría que se produjeron condiciones de mejor oxigenación en el fondo permitiendo que se conservaran las calizas [28].

El Miembro Ftanita de Táchira con predominio de chert, se deposita en un ambiente de Cuenca tipo I a pie de talud tipo III, en el que se propone que los chert son producto de diatomeas y radiolarios; organismos planctónicos que aparecen durante el Cámbrico/Ordovícico-Holoceno y las diatomeas durante el Jurásico(?)-Holoceno [31] en latitudes bajas especialmente hacia el norte de la cuenca captando la sílice del medio producto de posible disolución de ceniza volcánica para formar sus estructuras esqueléticas que al morir precipitan como sílice opalina como describe Vergara [31]. Por tanto, en la parte superior del Miembro se evidencian chert con alta porosidad, por lo que se deducen procesos de disolución de foraminíferos de especies calcáreas, que se alimentaban de bacterias, diatomeas, dinoflagelados, radiolarios, partículas de plantas y otros foraminíferos existentes en el medio [32].

Por otro lado, la surgencia provocada por corrientes subterráneas consiste en flujo de agua profunda en contra del viento y el flujo de agua en superficie, para la Formación se interpretan posibles corrientes subterráneas que traerían columnas de agua fría, rica en nutrientes especialmente nitratos a la superficie y grandes poblaciones de fitoplancton, proporcionando un alto contenido de materia orgánica y sedimento fino calcáreo con una elevada tasa de productividad biológica correspondiente a la columna estratigráfica levantada a la acumulación de fósiles como gasterópodos. Estas corrientes alcanzan su velocidad máxima en la pendiente superior de la rampa [26]. La estratificación del agua en zonas de surgencia, estabiliza la columna de agua y se genera una capa mixta de superficie lo que permite la depositación de fosfatos. En general, la presencia del ion PO_4 reemplaza esos componentes aloquímicos de las rocas carbonatadas; este proceso está asociado con la descomposición de la materia orgánica y la reducción de sulfato en el medio proporcionando un aumento en los niveles de concentración de fósforo cerca del fondo oceánico; esto genera condiciones de sobresaturación de fosfato en el agua, debido a todo el fósforo liberado por la degradación bioquímica de la materia orgánica, favoreciendo la nucleación del apatito [32]. Este fenómeno probablemente se evidenciaría en el Tope del Miembro Chejendé y a lo largo de los Miembros Timbetes y Ftanita de Táchira donde se ha reportado contenido de fósforo comprobados mediante la técnica de ácido nítrico

(70%) y molibdato de amonio. Es posible que la fosfatización haya sido en condiciones subóxicas, que permitieron la preservación de materia orgánica durante la sedimentación, en un entorno regional caracterizado por condiciones oxigenadas en la columna de agua [32].

Las tormentitas probablemente fueron asociadas a corrientes de surgencia subterráneas, especialmente para el Miembro Ftanita de Táchira, este oleaje rápido podría haber generado un impacto en los sedimentos sublitorales de tal manera que agitan y remueven arenas, cantos, algas, troncos, detritos de conchas y material de grano fino [33] como se observa en la tormentita de la ilustración. 34 (f), contribuyendo además al ahogamiento de la cuenca, justificado por acontecimientos de *HST* y en el tope del Miembro Timbetes y Ftanita de Táchira con eventos *TST*, terminando con un retiro del mar *LST*, dada la inversión tectónica que permite la fracción arenosa en la base de la Formación Colón-Mito Juan [4].

9. Conclusiones

Las facies definidas para cada Miembro y su posterior correlación con el esquema general de distribución de facies en el modelo estándar de Wilson [7] sugieren que en el sector se desarrolló un ambiente de plataforma continental carbonatada con un aporte terrígeno al inicio de la sección levantada, evidenciando un *HST* en el Miembro La Aguada en un ambiente de depositación somero, en el que se infiere una progradación de clásticos y material terrígeno hacia la cuenca. Luego, se observa una transición a un *TST* evidenciado en los Miembros Chejendé, Timbetes y Ftanita de Táchira que fueron depositados en un ambiente marino profundo, con sedimentos pelágicos y poca influencia terrígena típica de un aumento en el nivel relativo del océano (transgresión marina).

El Miembro Chejendé presenta un espesor de 13,5 m, representado por capas tabulares y cuneiformes de shales, limolitas calcáreas y calizas micríticas, biomicríticas y bioesparíticas con concreciones que van de 10 cm a 1 m en el que por sus características faciales indican un ambiente marino somero que va desde plataforma abierta tipo II a plataforma restringida tipo VIII (excepto arrecife o margen de la plataforma tipo V y arenas del borde la plataforma tipo VI) de acuerdo al esquema general de distribución de facies en el modelo estándar de Wilson [7].

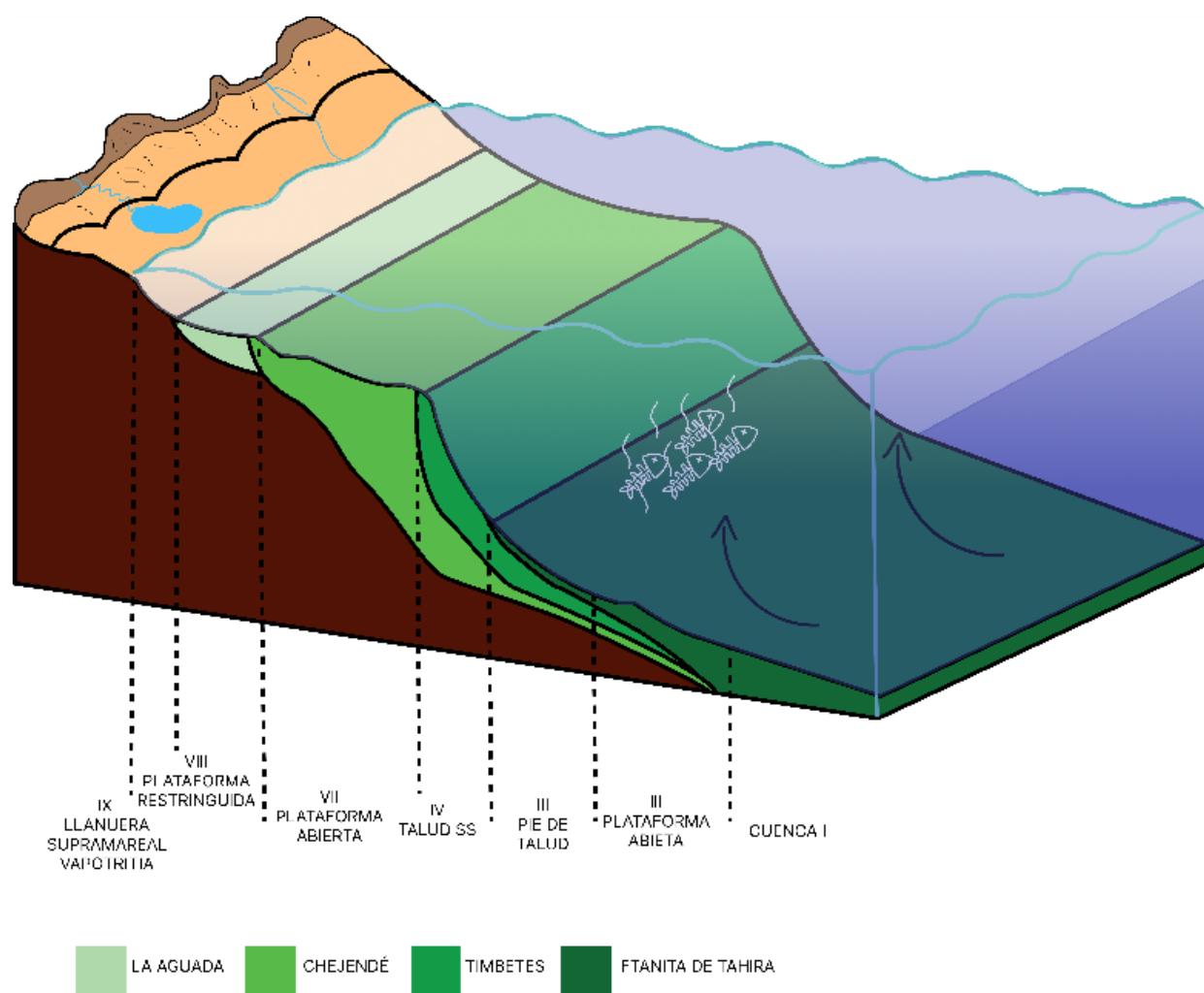


Ilustración 38. Bloque diagrama de los ambientes de la Formación La Luna.

Fuente: Autores.

El Miembro Timbetes presenta un espesor de 99,1 m en el que incluye 50,4 m de cubierto representado por capas tabulares y cuneiformes delgadas a gruesas de chert y calizas micríticas, biomicríticas y bioesparíticas (tormentitas) y esporádicas capas de shales calcáreo hacia el tope con concreciones que van desde 15 cm a 1,2 m en el que por sus características faciales indican un ambiente marino profundo que va desde plataforma abierta tipo II a Talud SS tipo IV de acuerdo al esquema general de distribución de facies en el modelo estándar de Wilson [7].

El Miembro Ftanita de Táchira presenta un espesor de 19,5 m representado por capas tabulares de chert con esporádicas calizas biomicríticas y bioesparíticas (tormentitas), capas de shales y limolitas en el que por sus características faciales indican un ambiente marino profundo que va desde

Cuenca tipo I a pie de talud tipo III de acuerdo al esquema general de distribución de facies en el modelo estándar de Wilson [7].

El contenido de fósforo en algunas muestras del tope del Miembro Chejendé y a lo largo de los Miembros Timbetes y Ftanita de Táchira indican periodos en los cuales hubo una gran mortandad de organismos ricos en el ión PO_4 , lo cual provocó un enriquecimiento en el agua que posteriormente reemplazó las fases carbonatadas previas asociadas a corrientes de surgencia (*upwelling*).

Los restos de peces encontrados en el tope del Miembro Chejendé estaban muy fragmentados, lo que impidió su clasificación taxonómica. Sin embargo, Maraven *et al.* [34] clasificaron un fragmento de rostro de pez reemplazado por

fosfato, recolectado en la parte inferior de la Formación La Luna, a unos 23 km al NW de Villa del Rosario, distrito de Perijá, Estado Zulia. Este fragmento presentaba una forma delgada y alargada con numerosos dientes a lo largo, permitiendo su asignación al género *Belonostomus*, semejante al fósil encontrado en la sección levantada en el Río Riecito, Sardinata, Norte de Santander.

Los elementos radiactivos presentan mayores picos en el Miembro Timbetes, debido a que el contenido de fosfatos para este Miembro se presenta en mayor concentración.

10. Recomendaciones

En la actualidad de los minerales que sustentarán la transición energética el Miembro Timbetes representa un gran potencial en el sector económico debido a su alto contenido de elementos radiactivos (fósforo), se recomienda realizar estudios en detalle mediante una caracterización geoquímica y petrográfica para determinar sus concentraciones y su posible potencial económico.

Llevar a cabo un estudio de las muestras que presentan dolomitas con técnicas como dolomitización, catodoluminiscencia y estratigrafía de inclusiones fluidas para determinar los procesos de dolomitización que hayan afectado las rocas.

Realizar un estudio bioestratigráfico enfocado en microfósiles para determinar las edades de los Miembros de la Formación la Luna y correlacionarse con los Miembros conocidos como Salada, Pujama y Galembo, denominaciones utilizadas en la cuenca de Maracaibo según Morales [2].

Elaborar secciones delgadas para llevar a cabo un análisis microfacial más detallado y así establecer con mayor claridad un ambiente de depósito.

Reconocimientos

Queremos dar gracias a Dios por darnos la fortaleza y sabiduría necesarias para culminar esta etapa. A nuestros padres y demás familiares, por su amor incondicional, su apoyo constante y sus palabras de aliento que nos han acompañado en cada paso de este camino. Sus sacrificios y su fe en nosotras ha sido la base de todos nuestros logros. A nuestra amiga Andrea, por su amistad sincera y su apoyo incondicional, su presencia ha sido un pilar fundamental en este proceso. A nuestros fieles compañeros, Niño, Milú, Chupeta, Nicky y Dominik por

acompañarnos en esas noches de desvelo, en las que solo bastaba verlos cerca para sentirnos acompañadas. A nuestros compañeros Yuliana, Isa, Julián y Julio, gracias por acompañarnos en campo y ser una parte esencial de este trabajo. A nuestros directores, la profesora Alejandra y el profesor Ilich, gracias por brindarnos su valioso conocimiento.

Referencias

- [1] Lozano, E., & Zamora, N. Compilación de la Cuenca del Catatumbo. Servicio Geológico Colombiano, (2014) 2-21. <https://recordcenter.sgc.gov.co/B20/23008100024725/Documento/Pdf/21052Reco47251104000.pdf>.
- [2] Morales. General Geology and Oil Occurrences of Middle Magdalena Valley, Colombia. Habitat of Oil, Symposium. Am. Ass. Petr. Geol, (1958) 641 - 695.
- [3] Garbán, Grony, y Olga Rey. «Geoquímica del Miembro Ftanita De Táchira, Formación La Luna, Venezuela Occidental: Origen y Modelo de Sedimentación.» *Geos*, (2013) 153-168.
- [4] Agencia Nacional de Hidrocarburos. Cuenca Catatumbo. Integración Geológica de la Digitalización y Análisis de Núcleos. Ingrain. Digital Rock Physics Lab, (2012) 40-45.
- [5] Patarroyo, G., Alarcón, C., Torres, J., Díaz, J., Gómez, J., Marquez, J., Ponton, L., & Barragan, D. Reconocimiento geológico de la Formación La Luna en el sector de Matanza (Oeste del Macizo de Santander, Colombia). (2020) 36-37. https://revistas.uis.edu.co/visores/Boletin_de_Geologia_Vol_43_Num_1/349668296003/
- [6] Núñez U., Ricardo, F., & Moreno, B., «Mexican archives for the major Cretaceous Oceanic Anoxic Events.» *Scielo* (Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana), (2014) 7-12.
- [7] Arche, A. Sedimentología Del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Consejo superior de investigaciones científicas (2010): 882. <https://www.geologiaviva.info/wpcontent/uploads/2020/12/Libro-sedi.pdf>
- [8] Alcaldía Municipal de Sardinata. Estrategia Municipal para la respuesta a emergencias y desastres. Alcaldía municipal de Sardinata (2017) 7.
- [9] Adams, A., MacKenzie, W., & Guilfors, C. Atlas de rocas sedimentarias. Manchester: Masson. (1997) 24-62.
- [10] Martinez, German, & Nadia Rojas. «Prospección de Fosfatos en el Departamento del Huila.» Servicio Geológico Colombiano, (2011) 143. <https://www.researchgate.net/publication/326723313>
- [11] Pettijohn, F., Potter, P., & Sierver, R. Sand and Sandstone. Springer-Verlag (1973), 631.
- [12] Hollis, H. Guía Estratigráfica Internacional. Barcelona, Bogotá, Buenos Aires, Caracas, México, Río de Janeiro: editorial reverté. (1980) 4-22.
- [13] Hedberg, H.D., and Sass, L.C. Synopsis of the geologic formations of the western part of the Maracaibo Basin, Venezuela. Boletín de Geología y Minas (Venezuela), (1937) 73-112.
- [14] Notestein, F. B., Hubman, C. W., & Bowler, J. W. Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia, South America. Geol. Soc. Am. Bulletin of the Geological Society of America (1944). <https://doi.org/10.1130/GSAB-55-1165>

-
- [15] Renz, O., & Basel. The cretaceous ammonites of Venezuela. Venezuela: Maraven (1982) 63-105.
- [16] Ingeominas. Geología del Cuadrángulo G-13 Cúcuta (1967).
- [17] Cathcart, J., Zambrano, F. Roca fosfórica en Colombia. Bogotá: Servicio Geológico Nacional. (1967).
- [18] Abozaglo, Jacob. «Estudios Exploratorios del Yacimiento de Fosfatos de Sardinata.» Eominas, (1973) 14.
- [19] Zambrano, F. Roca fosfórica de Sardinata, departamento de Norte de Santander. Ingeominas, (1971), 44.
- [20] Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, J., & Restrepo, H. Recursos Minerales de los Dptos. de Norte de Santander y Santander. Boletín Geológico, (1970)152.
- [21] Agencia Nacional de Hidrocarburos. Cuenca Catatumbo. Integración Geológica de la Digitalización y Análisis de Núcleos. Ingrain. Digital Rock Physics Lab, (2012) 40-45.
- [22] Ochoa, A., García P., G. D., Edgar, M., Leixón, L., Paula, R., Oviedo, J., & Cardozo O, A. Cartografía Geológica de la plancha 87- Sardinata departamento de Norte de Santander. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano (2016) 98-116.
- [23] Pacheco, R. Posición estratigráfica, espesor y génesis de los niveles de roca fosfórica de la Formación la Luna en la Quebrada la Patilla en Salazar de las Palmas, Norte de Santander. Colombia. Universidad de Pamplona, (2017) 19-122.
- [24] Talukdar, S., & Marcano, F. Petroleum System of the Maracaibo Basin, Venezuela. In L.B. Magoon; W.G. Dow. The petroleum system-from source to trap. (1994) 463-481.
- [25] Bilal, Haq. «Cretaceous Eustasy Revisited.» *ResearchGate*, (2013) 17.
- [26] Gomez, D. Estratigrafía del miembro Galembo de la Formación La Luna en el flanco oriental del. Universidad de los Andes, (2019) 50.
- [27] Dos Santos, D., Zapata, E., Soto, G., & Padrón, V. «Caracterización Diagnética de la Formación la Luna en la sección de la Quebrada Chiriría, estado Táchira Venezuela.» *Geogasetta* 33, (2003) 4.
- [28] Terraza M., Origen diagenético de Cherts y Porcelanitas en las formaciones Lidita Inferior y Lidita Superior (Grupo Oliní), al sur de San Luis (Tolima), Valle Superior del Magdalena, Colombia. - GEOLOGÍA COLOMBIANA, (2003): 28, pp. 79-94, 5 Ilustración. 5 láminas, 3 Tablas, Bogotá.
- [29] Piña, B. «Trabajo sobre chert, hierro y fosfatos.» *Research*, (2015) 18.
- [30] Slatt, R., & Rodríguez, N. Comparative sequence stratigraphy and organic geochemistry of gas shales: Commonality or coincidence?. Houston. EE.UU.: Journal of Natural Gas Science and Engineering. (2012) 68-84. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2012.01.008>.
- [31] Vergara, O., Marchant, M., & Giglio, S. Radiolarios polycystina (protozoa: nassellaria y spumellaria) sedimentados en la zona centro-sur de Chile (36°- 43° S). *Gayana*, 72(1). (2008) 80-91. <https://doi.org/10.4067/s0717-65382008000100010>.
- [32] Márquez, E. «Caracterización geoquímica y petrográfica de rocas fosfáticas Cretácicas, de la Formación La Luna, Estado Táchira, Venezuela.» 200, (2009) 138.
- [33] T, Aguilar & R Granados. «Depósitos someros de acumulación de conchas afectados por tormentas en el Pacífico Central de Costa Rica, formación punta Carballo, mioceno.» *Scielo*, (2018) 14. <http://dx.doi.org/10.15517/rgac.v59i0.34159>
- [34] Casas, E., y J Moody. «Primera Descripción del Género Belonostomus en la Formación La Luna (Cretácico), Sierra de Perijá. (Pices: Aspidorhynchidae).» *Boletín de la Sociedad Colombiana de Geólogos*, (1997) 51-55.