

Caracterización del contacto entre la Formación La Renta y la Formación Umir en la  
Quebrada Aguablanca – Lebrija, Santander

Dayanna Marcela Suarez Abril & Juan Sebastián Tarazona  
Rodríguez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Geólogo

Mario García González

Director

Geólogo Phd

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Fisicoquímicas

Escuela de Geología

Bucaramanga

2024

### **Dedicatoria**

*Le dedico esta tesis primeramente a Dios, que sin él nada de esto hubiera podido ser posible, segundo a mis padres, especialmente a mi mamá, que con su gran amor y compañía me ayudo a sobrellevar cada etapa que viví en la universidad siendo mi apoyo incondicional en los días buenos y malos que se me presentaron, forjando la persona que soy hoy en día. A mi hermanita Laura que se convirtió en mi mejor amiga y mi motor de vida. A mi perrita Luna que fue mi fiel soporte emocional, alegrando cada uno de mis días. A mis abuelitos, Eligio y Vicky que desde el cielo han sido un ángel para guiar mi camino, también a mi abuelita Elsa, que desde la tierra es mi gran motor y apoyo. Asimismo, a toda mi familia que siempre se han alegrado de mis logros. A mis amigos, especialmente Yeimy y Valentina, por confiar en mis capacidades e impulsarme a luchar por mis sueños, a cada uno de mis profesores que han logrado que amé mi carrera. Por último, los amo con todo mi corazón, les agradezco su aporte y paso en mi vida.*

*-Dayanna*

*Le dedico mi tesis, a mi madre Marcela y a mi padre Víctor que con sus fuerzas dieron todo lo que es necesario, por apoyarme en el transcurso de toda la carrera. Por brindarme las bases para empezar todo; también a mi abuela Gladys por la comprensión y la fuerza. A Vane por el amor, el cariño y la infancia, a Iván por la comprensión y la fuerza. A todas las personas que compartieron conmigo cualquier detalle de sus vidas de manera abierta y espontánea, a ellos, a los cientos y miles, a ellos mi camino de aprendizaje profundo. También quisiera agradecerle al profesor Germán Patarroyo por su entrega auténtica a apoyar el trabajo. Este trabajo lo dedico a mi familia que por ellos he vivido este proceso hermoso. También lo quiero dedicar a todos los niños, a los perros y a los gatos. Quiero agradecerme también a mí.*

*-Juan Sebastián*

### **Agradecimientos**

Ofrecemos un especial agradecimiento a la Escuela de Geología y todos sus miembros que hicieron parte directa e indirectamente en el desarrollo de este proyecto. A los funcionarios y empleados por su constante ayuda y disponibilidad en todo momento: Cesar Llerena, Rosadilia Carrillo y Martha Blanco. Al laboratorio de Rayos X por su colaboración en Guatiguará. Al Coordinador de escuela Juan Diego Colegial por su contribución significativa en nuestra formación profesional. A todos los docentes que a lo largo de nuestra vida académica aportaron de distintas formas en pro de nuestro crecimiento personal y profesional. A nuestro director de tesis, por confiar en nuestras habilidades, brindándonos herramientas y oportunidades que fortalecieran nuestros conocimientos, convirtiéndose en un maestro y consejero en el ámbito académico y profesional. Finalmente, a nuestros compañeros, amigos y futuros colegas, por hacer de estos años en la universidad una etapa inolvidable y llena de muchos recuerdos que persistirán por toda nuestra vida.

### Tabla de Contenido

|   |    |
|---|----|
| Introducción .....                                | 14 |
| 1. Planteamiento del problema.....                | 15 |
| 2. Justificación .....                            | 16 |
| 3. Punto de estudio .....                         | 17 |
| 4. Objetivos .....                                | 19 |
| 4.1. Objetivo General.....                        | 19 |
| 4.2. Objetivos Específicos .....                  | 19 |
| 5. Marco Geológico.....                           | 20 |
| 5.1. Formación la Renta.....                      | 20 |
| 5.2. Formación Umir .....                         | 21 |
| 6. Metodología .....                              | 22 |
| 6.1. Fase 1: Pre-campo.....                       | 22 |
| 6.2. Fase 2: Trabajo de campo .....               | 22 |
| 6.3. Fase 3: Trabajo de Laboratorio .....         | 22 |
| 6.3.1. Análisis Mesoscópico .....                 | 22 |
| 6.3.2. Análisis Microscópico .....                | 23 |
| 6.3.3. Análisis de fluorescencia de Rayos X:..... | 24 |
| 6.3.4. Difracción de Rayos X (DRX).....           | 24 |
| 6.4. Fase 4: Trabajo de oficina: .....            | 24 |

|  |    |
|--|----|
| 7. Resultados .....                        | 25 |
| 7.1. Trabajo de campo.....                 | 25 |
| 7.1.1. Paquete 1A.....                     | 25 |
| 7.1.2. Paquete 2A.....                     | 26 |
| 7.1.3. Paquete 3A.....                     | 26 |
| 7.1.4. Paquete 4A.....                     | 27 |
| 7.1.5. Paquete 5A.....                     | 27 |
| 7.1.6. Paquete 6A.....                     | 28 |
| 7.1.7. Paquete 7A.....                     | 30 |
| 7.2. Petrografía.....                      | 32 |
| 7.2.1. Muestra DJ1 .....                   | 32 |
| 7.2.2. Muestra DJ2 .....                   | 35 |
| 7.2.3. Muestra DJ3 .....                   | 37 |
| 7.2.4. Muestra DJ4.....                    | 40 |
| 7.2.5. Muestra DJ5: .....                  | 43 |
| 7.2.6. Muestra DJ6: .....                  | 47 |
| 7.3. Análisis Geoquímico .....             | 49 |
| 7.3.1. Fluorescencia de rayos X (FRX)..... | 49 |
| 7.3.2. Difracción de rayos X (DRX) .....   | 52 |
| 7.3.2.1. DJ1.....                          | 52 |
| 7.3.2.2. DJ2.....                          | 53 |
| 7.3.2.3. DJ3.....                          | 54 |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 7.3.2.4.DJ4.....                | 55 |
| 7.3.2.5.DJ5.....                | 56 |
| 7.3.2.6.DJ6.....                | 57 |
| 8. Discusión.....               | 58 |
| 9. Conclusión .....             | 60 |
| Referencias Bibliográficas..... | 62 |

### Lista de Tablas

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1.</b> Porcentaje elemental cuantitativo de las muestras .....   | 51 |
| <b>Tabla 2.</b> Porcentajes en óxidos en las muestras.....  | 51 |
| <b>Tabla 3.</b> Concentración en PPM para las muestras.....   | 51 |
| <b>Tabla 4.</b> Relaciones geoquímicas de cada muestra.....   | 52 |
| <b>Tabla 5.</b> Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF 2021 del International Centre for Diffraction Data (ICDD), de la muestra DJ1 .....  | 52 |
| <b>Tabla 6.</b> Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF 2021 del International Centre for Diffraction Data (ICDD), de la muestra DJ2 .....  | 54 |
| <b>Tabla 7.</b> Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF 2021 del International Centre for Diffraction Data (ICDD), de la muestra DJ3 .....  | 55 |
| <b>Tabla 8.</b> Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF 2021 del International Centre for Diffraction Data (ICDD), de la muestra DJ4 .....  | 56 |
| <b>Tabla 9.</b> Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF 2021 del International Centre for Diffraction Data (ICDD), de la muestra DJ5 .....  | 57 |
| <b>Tabla 10.</b> Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF 2021 del International Centre for Diffraction Data (ICDD), de la muestra DJ6 ..... | 58 |

### Lista de Figuras

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Mapa de tipos de contactos, según Vera (1994) y Boggs (2006) .....   | 10 |
| <b>Figura 2.</b> Localización del punto de estudio, en la quebrada Aguablanca. (Modificado de Etayo-Serna,2019).....              | 18 |
| <b>Figura 3.</b> Paquetes estratigráficos donde se representa el contacto La Renta-Umir ( línea negra) (Quebrada Aguablanca)..... | 25 |
| <b>Figura 4.</b> Nódulos de pirita.....   | 27 |
| <b>Figura 5.</b> Contacto discordante entre el paquete 5A y 6A.....   | 28 |
| <b>Figura 6.</b> Cuadros realizados para conteo de las partículas observadas en el paquete 6A .....                               | 29 |
| <b>Figura 7.</b> Columna estratigráfica del punto objeto de estudio, en la quebrada Aguablanca .....                              | 31 |
| <b>Figura 8.</b> Packstone Biomicritico .....   | 33 |
| <b>Figura 9.</b> Packstone Biomicritico .....   | 34 |
| <b>Figura 10.</b> Wackstone fosilífero rico en materia orgánica .....   | 36 |
| <b>Figura 11.</b> Wackstone fosilífero .....  | 38 |
| <b>Figura 12.</b> Wackstone fosilífero rico en materia orgánica .....   | 39 |
| <b>Figura 13.</b> Wackestone fosilífera biomicritica con foraminíferos bentónicos y planctónicos .....                            | 41 |
| <b>Figura 14.</b> Wackestone fosilífera biomicritica con foraminíferos planctónicos trocoespirales .....                          | 42 |
| <b>Figura 15.</b> Wackestone fosilífera, rico en materia orgánica.....  | 44 |
| <b>Figura 16.</b> Wackestone fosilífero .....   | 45 |
| <b>Figura 17.</b> Wackestone fosilífera rico en materia orgánica.....   | 46 |
| <b>Figura 18.</b> Wackstone biomicritico con bioperturbación moderada .....   | 48 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 19.</b> Wackstone biomicritico con fragmentos de bivalvos y algunas formas de foraminíferos quillados y trocoespirales. .... | 49 |
| <b>Figura 20.</b> Proxys geoquímicos considerados en la quebrada Aguablanca.....   | 50 |
| <b>Figura 21.</b> Difractograma de la muestra DJ1.....   | 53 |
| <b>Figura 22.</b> Difractograma de la muestra DJ2.....   | 54 |
| <b>Figura 23.</b> Difractograma de la muestra DJ3.....   | 55 |
| <b>Figura 24.</b> Difractograma de la muestra DJ4.....   | 56 |
| <b>Figura 25.</b> Difractograma de la muestra DJ5.....   | 57 |
| <b>Figura 26.</b> Difractograma de la muestra DJ6.....   | 58 |

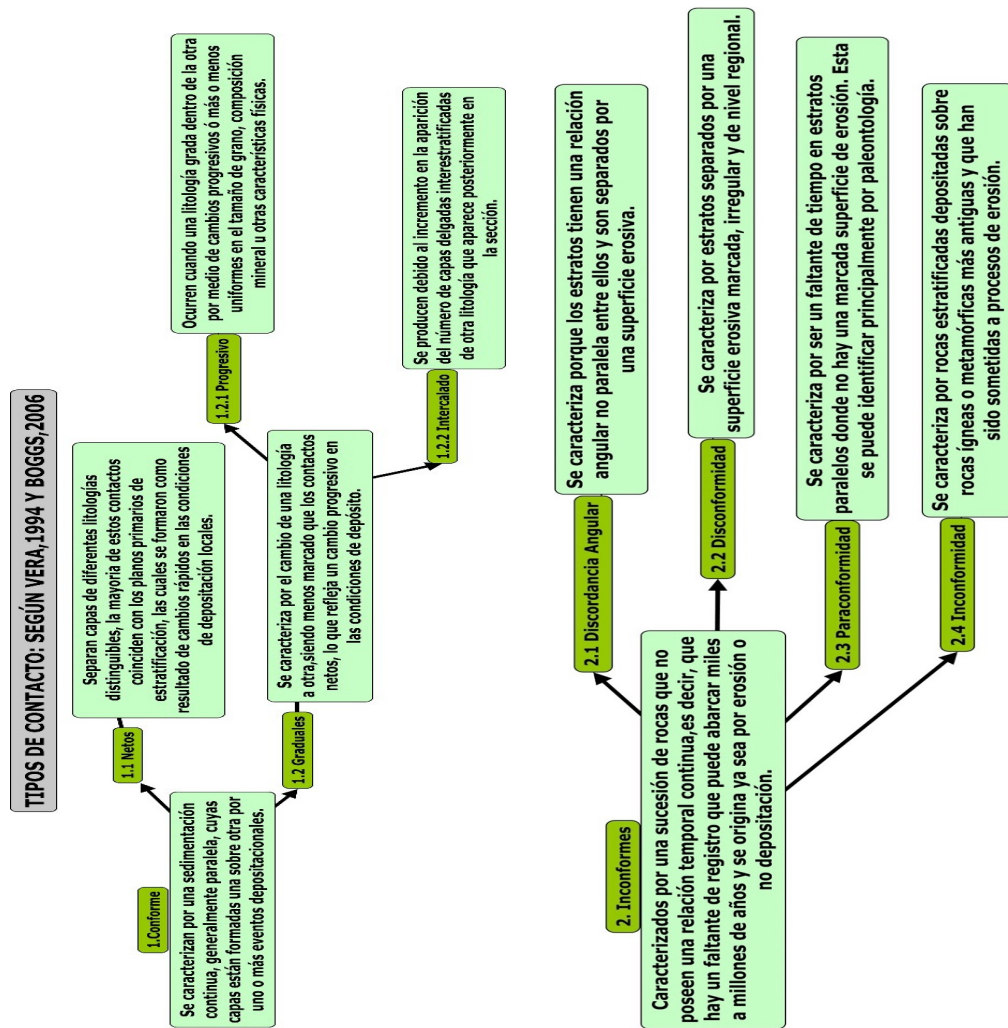
Glosario

En esta sección se muestran las definiciones encontradas en la literatura que diversos autores han usado en descripciones de rocas sedimentarias encontradas en campo.

**Contacto Geológico:** la definición de contacto se realizó basada en una recopilación bibliográfica resumida en la figura 1.

Figura 1.

Mapa de tipos de contactos, según Vera (1994) y Boggs (2006).



**Foraminífero planctónico:** son organismo protistas ameboides principalmente marinos, los hay también de agua dulce el termino planctónico refiere a que viven flotando en la columna de agua, generalmente entre los 10 y 50 m por debajo de la superficie, alimentándose de los nutrientes existentes en ella y cuando mueren, sus conchas caen al fondo de los mares. (Sanchez,2012).

**FRX:** la espectrometría de fluorescencia de rayos-X consiste en analizar la radiación generada por una muestra al ser irradiada con rayos-X. Esta técnica permite obtener análisis químicos de manera rápida y no destructiva, pudiendo analizarse cualquier elemento químico entre el sodio y el uranio. (Laboratorio de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos-X, Universidad de Chile).

**Imbricación:** la imbricación es el mecanismo por el cual los clastos orientan sus ejes mayores de manera paralela o perpendicular a la dirección del flujo, y adquieren una suave inclinación corriente arriba, dependiendo del medio en el que fueron transportados (Selley, 2000).

**Marino somero:** relativo a zonas, aguas, medios, condiciones, entre otros, cerca de la superficie del agua. (Glosario del Servicio Geológico Colombiano).

**Micropaleontología:** es la disciplina que estudia la vida del pasado y la evolución de la biosfera a partir de los fósiles de pequeño tamaño, empleando técnicas especiales de muestreo, preparación y observación con el microscopio (Molina, 2004).

**Xenoconformidad:** es una superficie estratigráfica o un intervalo de gradación que registra un cambio fundamental, abrupto y persistente en las facies sedimentarias a lo largo de escalas de cuenca a escala global. (Carrol, 2017).

## Resumen

**Título:** Caracterización del contacto entre la Formación La Renta y la Formación Umir en la Quebrada Aguablanca – Lebrija, Santander.

**Autores:** Dayanna Marcela Suarez Abril y Juan Sebastián Tarazona.

**Palabras Clave:** Formaciones La Renta y Umir, geoquímica, micropaleontología, paleoambientes, petrografía.

El presente trabajo estudia el paleoambiente del contacto entre las Formaciones La Renta-Umir, localizadas en la Quebrada Aguablanca (Lebrija, Santander), a partir de análisis petrográfico de una serie de muestras que abarca la sucesión sedimentaria reportada, al igual que una valoración geoquímica de algunos elementos presentes en la roca (Sr, Ba, Fe, Ca, V, Cu, Al), por medio de los métodos de fluorescencia de rayos x (FRX) y difracción de rayos x (DRX).

Dichos resultados petrográficos arrojaron que la sección Aguablanca está conformada principalmente por Wackstone y Packstone biomicríticos, dominadas en su composición por foraminíferos (formas trocospirales quilladas, heterohelicidos, *Siphogenerinoides spp*, *Anomalina spp.* entre otras) y conchas de bivalvos. Por otra parte, los resultados de las relaciones geoquímicas de Fe/Ca y Zn/Al, obtenidas por análisis de fluorescencia de rayos X, sugieren variaciones en las condiciones de energía como ascendencia de oxigenación del fondo oceánico y aumento de nivel base del mar, aporte de material terrígeno, y una depositación en un ambiente de aguas de fondo anóxicas para el tope de la Formación La Renta.

Teniendo en cuenta la información sedimentológica, petrográfica y geoquímica colectada, se evidencia la presencia de altas concentraciones de metales traza, lo que se interpreta como un depósito en un escenario marino somero de costa abierta, cuyo perfil se representa por una plataforma intermedia con condiciones de agua poco oxigenadas y contrastando estos datos, los registros de foraminíferos bentónicos y las relaciones elementales muestran tendencias ascendentes para la base de la Formación Umir, en una configuración de plataforma interna retrogradacional.

\*Trabajo de Grado

\*\*Facultad de Físicoquímicas. Escuela de Geología. Programa académico. Director: Mario García Gonzales. Geólogo Phd.

### Abstract

**Title:** Characterization of the contact between the La Renta Formation and the Umir Formation in the Creek Aguablanca – Lebrija, Santander.

**Author(s):** Dayanna Marcela Suarez Abril and Juan Sebastián Tarazona.

**Key Words:** La Renta Formation and the Umir Formation, foraminifera, paleoenvironment, geochemistry and petrography.

This study investigates the paleoenvironment and genesis of the contact between the La Renta and Umir Formations, located in Creek Aguablanca (Lebrija, Santander), the research includes petrographic analysis of a series of samples covering the reported sedimentary succession and a geochemical assessment of elements present in the rock (Sr, Ba, Fe, Ca, V, Cu, Al) using X-ray fluorescence (XRF) and X-ray diffraction (XRD) methods.

The petrographic results indicate that the Aguablanca section mainly comprises biomicritic wackstone and packstone, dominated by foraminifera (keeled trochospiral forms, heterohelicids, Siphogenerinoides spp., Anomalina spp., among others) and bivalve shells. Besides, the geochemical analyses of Fe/Ca and Zn/Al ratios suggest variations in energy conditions, such as increased oxygenation of the ocean floor, rising sea levels, terrigenous material contribution, and deposition in an anoxic bottom water environment at the top of the La Renta Formation. Taking into account the sedimentological, petrographic and geochemical information collected, the presence of high concentrations of trace metals is evident, which is interpreted as a deposit in a shallow marine setting of an open coast whose profile is represented by an intermediate platform with shallow water conditions oxygenated and contrasting these data, benthic foraminiferal records and elemental relationships show ascending trends for the base of the Umir Formation in a retrogradational internal platform configuration. The unconformity between these units has been previously described and proposed as a regional stratigraphic feature.

\*Trabajo de Grado

\*\*Facultad de Fisicoquímicas. Escuela de Geología. Programa académico. Director: Mario García Gonzales. Geólogo Phd.

### Introducción

El Cretácico Superior del norte de Suramérica se dio en condiciones deposicionales marinas profundas y con fondos anóxicos (Martínez & Hernández, 1992; Erlich et al., 1999; Patarroyo et al., 2021), es por esto que entre las unidades litológicas descritas para este intervalo temporal se destaca la “Formación La Luna” la cual ha sido ampliamente estudiada en cuencas, como la cuenca del Valle Medio del Magdalena (VMM). Con la estandarización de la nomenclatura estratigráfica realizada por la industria del petróleo en la cuenca del VMM (Morales & The Colombian Petroleum Industry, 1958), las formaciones Salada, Pujamana y Galembo, establecidas originalmente por Wheeler (1929) para la estratigrafía del Cretácico superior en la Concesión de mares del VMM fueron agrupadas bajo el concepto de “Formación La Luna” que representaría un depósito sedimentario de shale calcáreo, separado en tres “Miembros” con los mismos nombres utilizados por Wheeler (1929).

De conformidad con las recomendaciones de la *International stratigraphic guide* (Salvador, 1994), se propone una nueva unidad litoestratigráfica denominada, Formación La Renta, en Etayo (2019) donde se muestra la necesidad de incorporarla en la estratigrafía colombiana para una facilidad y claridad en su uso. Por esta razón, es importante definir y estudiar esta formación para la interpretación del paleoambiente según las condiciones que tenemos hoy día, producto del embalse Topocoro, siendo crucial para el desarrollo de nuevas investigaciones sobre el contacto geológico entre la Formación La Renta y la Formación Umir.

Esta Formación La Renta en su base infrayace a la Formación Galembo de características transgresivas y en su techo suprayace a la Formación Umir, en un contacto discordante planteado por Hedberg (1937) (Ward et al., 1973; Cohen et al., 2013; Ballesteros et al., 2013; Pacheco-Sintura et al., 2014; Sarmiento et al; 2015, Montaña et al., 2016; Terraza, 2019; Patarroyo et al., 2023). En consecuencia, el objetivo de este proyecto es, caracterizar las muestras obtenidas en los diferentes

paquetes observados en campo que se distancian en unidades de decímetros y que se ordenan antes y después del contacto, las cuales nos brindan datos e información sobre el paleoambiente, reforzando el modelo deposicional de los sedimentos que componen este contacto, por medio de relaciones geoquímicas y secciones delgadas.

### **1. Planteamiento del problema**

En la región del Valle Medio del Magdalena (VMM), en la sección la Quebrada Aguablanca se reporta un contacto discordante entre la Formación La Renta y la Formación Umir (Morales & The Colombian Petroleum Industry, 1958; Ward et al., 1973; Maughan et al., 1979, Terraza, 2019; Patarroyo et al., 2023) entre la Formación La Renta y la Formación Umir. Este contacto es crucial para comprender la evolución sedimentológica y paleoambiental de la zona.

La caracterización detallada de este contacto y la transición entre ambas formaciones no ha sido suficientemente estudiada y documentada, lo que dificulta la comprensión de la evolución geológica y paleoambiental de este punto en esta región. Es por esto, que es importante realizar un estudio de nuevos indicadores paleoambientales los cuales permitan avanzar en la comprensión de su modelo deposicional, debido a que, el modelo actual aún necesita ser complementado, siendo necesario análisis micropaleontológicos, descripción litológica detallada del contacto y la caracterización composicional por medio de secciones delgadas. Adicionalmente es necesario integrar el análisis de la geoquímica elemental de Fe/Ca, Zn/Al, ya que sus relaciones son indicativas de condiciones paleoambientales tales como el aporte de terrígenos, paleosalinidad y paleoxigenación (Kujau et al., 2010; Govin et al., 2012; Wei & Algeo, 2020; Dummann et al., 2021; Yelwa et al., 2022).

## 2. Justificación

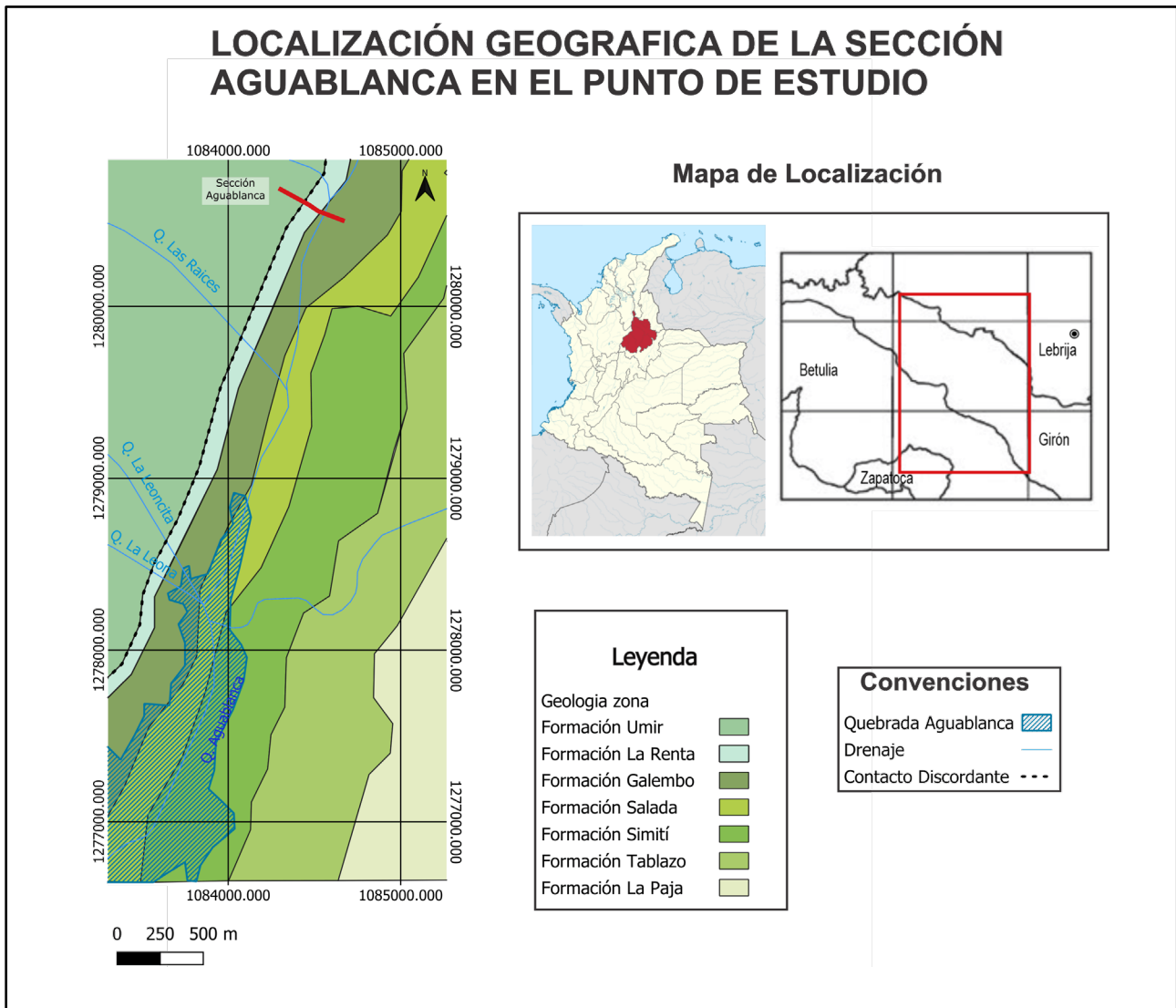
El trabajo realizado por el Servicio Geológico Colombiano con la dirección científica de Fernando Etayo Serna en el trabajo: “Estudios geológicos y paleontológicos sobre el Cretácico en la región del embalse de río Sogamoso, Valle Medio del Magdalena”, profundizó en las características sedimentológicas y paleoambientales que define la unidad, e incluso propuso un nuevo tratamiento litoestratigráfico para la misma. Entre las distintas propuestas que hizo, dicho trabajo reportó el contacto entre la Formación La Renta (definida por primera vez) y la Formación Umir, en la quebrada Aguablanca en el cual se menciona la presencia de la inconformidad en el contacto, sin hablar de la relación microfósil y el cambio abrupto de paleoambiente a partir de escalas decimétricas y métricas. Por ejemplo, publicaciones recientes en la misma localidad, sugieren la presencia de una xenoconformidad, donde los microfósiles y análisis geoquímicos indican un cambio paleoambiental abrupto (Patarroyo et al., 2023). Estas razones justifican el estudio allí propuesto, por su unicidad en el momento actual, y por ser un nuevo registro en superficie del contacto de la Formación La Renta y la Formación Umir, el cual ofrece la posibilidad de entender la naturaleza de dicho límite y reforzar las nuevas interpretaciones que propone Terraza (2019) para el Cretácico Superior del VMM.

### **3. Punto de estudio**

El punto de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Lebrija, Santander, sobre la quebrada Aguablanca (N: 07°07'29.8", W: 73°18'54.5"). La vía de acceso principal corresponde a la nueva vía Bucaramanga – San Vicente de Chucurí, sobre el parador llamado “La Y”. De allí se transita por un sendero veredal hasta llegar al balneario “Los Almendros”, donde va el cauce de la quebrada Aguablanca. La sección estudiada de la quebrada se encuentra localizada en las planchas 120IVC del IGAC 2014 (Figura 1).

**Figura 2.**

*Localización del punto de estudio, en la quebrada Aguablanca. (Modificado de Etayo-Serna, 2019).*



*Nota. La figura muestra la sección de la columna sobre la Quebrada Aguablanca, en línea roja, dentro del mapa y sus unidades geológicas alrededor, se resalta en rojo el área del departamento Santander, donde se encuentra ubicado.*

## **4. Objetivos**

### **4.1. Objetivo General**

Caracterizar a partir de las relaciones elementales Fe/Ca y Zn/ Al, la información geoquímica de fluorescencia de rayos X, la difracción de rayos X y de secciones delgadas, el contacto entre la Formación La Renta y la Formación Umir, en la Quebrada Aguablanca (VMM).

### **4.2. Objetivos Específicos**

Analizar macro y microscópicamente (petrografía) las muestras tomadas en campo.

Evaluar la variación de las relaciones elementales (Fe/Ca y Zn/Al) de las muestras recolectadas a través de análisis de fluorescencia y de difracción de rayos x.

Interpretar el paleoambiente de la transición entre las formaciones La Renta-Umir a partir de los datos compilados en los análisis sedimentológicos y geoquímicos (DRX, FRX, Sección Delgada).

## 5. Marco Geológico

El Valle del Magdalena Medio (VMM) corresponde a una cuenca sedimentaria ubicada geográficamente entre la Cordillera Oriental y Central de Colombia. La cuenca está delimitada por el sistema de fallas de Espíritu Santo al norte, el sistema de fallas de Bucaramanga al noreste, los sistemas de fallas de Bituima y Salina al sureste, la zona de pliegues de Girardot al sur, y al oeste por sedimentos del Neógeno que cubren el basamento central de la serranía de San Lucas y Cordillera (Sarmiento et al., 2015).

Dentro del Valle del Magdalena Medio, encontramos la Formación La Luna, la cual fue descrita como “La Luna Limestone” por Hedberg (1931) a partir de afloramientos localizados en la Quebrada La Luna (Venezuela), y la extienden al VMM por una marcada similitud (Hedberg & Sass, 1937, Morales et al. 1958; Ward et al., 1973; Terraza, 2019). Sin embargo, en la actualidad dicho nombre de “Formación La Luna” ha entrado en controversias. Este grupo es de interés y de uso para los datos actuales del VMM y se define nombrar a las formaciones que la componen de base a techo: Formación Salada, Pujamana y Galembo (Terraza,2019).

### 5.1. Formación la Renta

La Formación la Renta, *sensu* Terraza (2019), es litológicamente similar a la Formación Galembo, a excepción que en la base existen capas medianas y gruesas (16 cm hasta 1.2 m) de fosforitas de peloides con textura packstone potencialmente explotables. A su vez, es común encontrar niveles delgados o lentes de chert negro interpuestos, y capas delgadas a gruesas de calizas silíceas, con presencia de foraminíferos bentónicos. El espesor de las capas varía de centimétrico a decimétricas, con una continua estratificación planar paralela. El espesor de la

nueva unidad propuesta oscila entre 45 m, en la sección por la Quebrada Aguablanca (Terraza, 2019). Recientemente, Patarroyo et al., (2023) caracterizó en la misma sección la microfauna (foraminíferos, nanofósiles calcáreos) y la geoquímica de la transición Galembo (La Renta *sensu* Terraza, 2019) y la parte basal de la Formación Umir.

## **5.2. Formación Umir**

Según Rangel et al. (2000), la Formación Umir fue designada originalmente por Huntley en 1917 en un informe no publicado, para finalmente ser descrita por Morales et al. (1958). Su localidad tipo se describe en la quebrada Umir, al oriente del cerro Umir en Santander (Julivert, 1968). De acuerdo a diversos estudios la Formación Umir se superpone discordantemente a la Formación La Renta, cuya base consiste principalmente en arcillolitas de color marrón-negro (5YR 2/1), calcáreas a ligeramente calcáreas (e.g., Ward et al., 1973; Sarmiento et al., 2015; Terraza, 2019; Patarroyo et al., 2023).

## **6. Metodología**

Para llevar a cabo el desarrollo y alcance de los objetivos propuestos, se llevará a cabo el cumplimiento de las siguientes fases:

### **6.1. Fase 1: Pre-campo**

Durante esta fase fue llevado a cabo la recopilación de información general acerca del punto de estudio, tales como formaciones que afloraban, accesibilidad, estructuras, etc., las cuales serían útiles al momento de una fase de campo.

### **6.2. Fase 2: Trabajo de campo**

Se tomaron las coordenadas del punto de estudio, se toman los datos estructurales correspondientes, se realizaron las respectivas descripciones a nivel macroscópico y se tomaron fotografías de la superficie, con un debido control estratigráfico. Además, se levanta una columna de 6.6 metros, en la cual, se realizó el muestreo selectivo, y se segregó el material para realizar análisis petrográficos y geoquímicos.

### **6.3. Fase 3: Trabajo de Laboratorio**

Se inició con el trabajo de procesamiento de muestras para efectuar las siguientes actividades: (1) análisis macroscópicos de muestras de mano, (2) análisis de microscopía óptica y; (3) análisis de fluorescencia y de difracción de rayos X (10-15 gramos por muestra).

#### **6.3.1. Análisis Mesoscópico**

La descripción y clasificación de las rocas es una tarea que comienza en el campo, con ayuda de una lupa de mano si fuese necesario. La descripción mesoscópica de las rocas, es decir, a la escala de un afloramiento o muestra de mano, es esencial en cualquier estudio sobre el

terreno orientado a la cartografía geológica, la obtención de muestras para estudios geoquímicos y petrográficos avanzados, la construcción de secuencias temporales, cortes geológicos, entre otros (Castro-Dorado, 2015). Las características mesoscópicas que analizamos en este trabajo fueron: (1) tamaño de grano, (2) forma de los granos, (3) estructura, (4), fábrica, (5) redondez, (6) esfericidad y (7) *sorting* o selección (Pellant, 1993; Adams *et al.*, 1997).

Por otro lado, la verificación de los espesores se hizo mediante la combinación de la técnica del bastón de Jacob y cálculos matemáticos (Kottlowski 1955).

### **6.3.2. Análisis Microscópico**

La descripción y clasificación a escala microscópica, precisan del uso de una herramienta básica: el microscopio petrográfico de polarización. El uso del microscopio no solo sirve para determinar los minerales que forman las rocas, también es fundamental en la descripción e interpretación de las relaciones entre los cristales que forman las rocas. En la primera tarea es imprescindible conocer las características ópticas de los minerales tales como la forma, color, pleocroísmo, exfoliaciones, maclas, entre otras (MacKenzie & Adams, 1997). Para la segunda tarea, es necesario conocer los principios básicos de la depositación y erosión. Estos principios nos permiten entender las texturas de las rocas y son esenciales para establecer pautas en las descripciones y clasificaciones (Castro-Dorado, 2015). Por otra parte, una de las ventajas del análisis de secciones delgadas es que permite la comparación y validación de las características macroscópicas con las microscópicas (Malavé, 2004). Es por esto, que para el trabajo se dispuso de 6 secciones delgadas preparadas y proporcionadas por la empresa HOCOL S.A, las cuales forman parte de la Formación Umir y La Renta, con el fin de clasificar las rocas calcáreas, se utilizó la

clasificación textural de Dunham (1992) y Folk (1974).

### ***6.3.3. Análisis de fluorescencia de Rayos X:***

Los análisis de FRX se realizaron en 10 a 13 g de roca molida, con concentraciones elementales informadas como partes por millón (ppm). Las muestras se midieron de 20 kV a 60 kV en un rango de Na-U. Los análisis se realizaron en el laboratorio de rayos X, en la sede UIS-Guatiguara en un equipo de espectrómetro de fluorescencia de rayos X marca BRUKER modelo S8 TIGER. Los datos se interpretaron principalmente como proporciones elementales logarítmicas. Las variaciones en la relación  $\log (Fe/Ca)$  se utilizarán como indicador del aporte terrígeno y la acumulación de carbonato (Kujau et al., 2010; Govin et al., 2012).

### ***6.3.4. Difracción de Rayos X (DRX)***

En el presente estudio de laboratorio se examinaron las mismas seis muestras del análisis de frx, las cuales se realizaron en el laboratorio de rayos x, en la sede de la UIS-Guatiguará, por medio de un análisis cualitativo de fases minerales para determinar a mayor detalle los componentes de las rocas, utilizando el software Diffrac.Eva sobre el cual se trabajaron las bases de datos PDF-2 de 2021 del International Center for Diffraction Data (ICDD).

## **6.4. Fase 4: Trabajo de oficina:**

Para finalizar, se estructurará el documento final del trabajo de investigación en donde se evidencian los datos adquiridos, y se sintetizan las conclusiones a las cuales se llegaron, permitiendo así, dar cumplimiento a los objetivos planteados. Los resultados obtenidos tienen como fin aportar al conocimiento sobre el contacto entre las Formaciones La Renta- Umir, en la quebrada Aguablanca.

## 7. Resultados

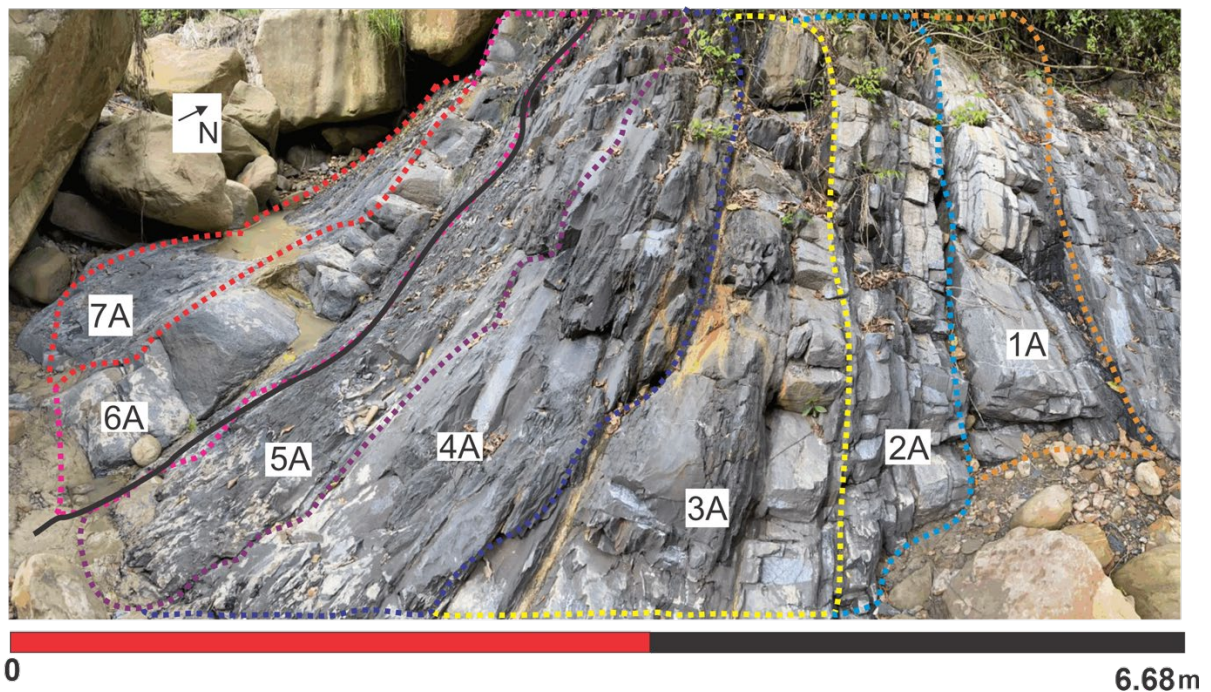
En esta sección discutiremos los resultados obtenidos en nuestra practica de campo con las siguientes secciones: trabajo de campo, petrografía, análisis de FRX y DRX.

### 7.1. Trabajo de campo

En campo se realizó una caracterización de 7 paquetes los cuales los nombramos de base a tope: 1A, 2A, 3A, 4A, 5A, 6A y 7A, respectivamente (Figura 3).

**Figura 3.**

*Paquetes estratigráficos donde se representa el contacto La Renta-Umir ( línea negra) (Quebrada Aguablanca).*



*Nota. Paquetes estratigráficos representados en líneas punteadas y colores diferentes para un mejor entendimiento (1A-7A). Línea negra continua representa el contacto La Renta-Umir (Quebrada Aguablanca).*

Los paquetes 1A, 2A, 3A, 4A y 5A corresponden a la Formación La Renta.

#### 7.1.1. Paquete 1A

En este paquete encontramos que tiene un espesor de 1.30 m, el cual corresponde a una

intercalación de limolitas de color gris azulado claro que según la escala del color de Munsell corresponde (7/103G) con diferente fisilidad, con una laminación ondulada y sin rastros de bioturbación, las cuales se intercalan con espesores de base a tope de: 40 cm de limolitas compacto, 20 cm de limolitas fisiles, 20 cm de limolitas compactas, 20 cm de limolitas fisiles y 30 cm de limolitas compactas. En donde, las capas de limolitas compactas tienen mayor contenido fosilífero (conchas de bivalvos y foraminíferos) en relación a las capas más fisiles. Estos bivalvos tienen una dimensión de 1 cm \*1 mm, siendo alargadas y subangulares. Por otra parte, se observan fragmentos de pirita con tamaño de 1 mm, y venas de calcita perpendiculares, a favor de la dirección de estratificación.

#### ***7.1.2.Paquete 2A***

Se observa una capa de limolita grisácea clara, que según la escala del color de Munsell corresponde (7/10B), la cual tiene un espesor de 20 cm, con fósiles principalmente de bivalvos. y foraminíferos fraccionados, los cuales tienen una leve orientación paralela al plano de estratificación. Dichos bioclastos tienen diferentes tamaños de diámetro los cuales varían entre 0.8 mm y 0.15 mm.

#### ***7.1.3.Paquete 3A***

Este paquete tiene un espesor de 45 cm, correspondiente a un chert grisáceo que según la escala del color de Munsell corresponde (6/10G) con pequeños granos subredondeados y esféricos de pirita. Así mismo, se observó un lente masivo de color gris pardo de 1cm<sup>2</sup> con nódulos de pirita (Figura 4) cada 1-3 cm de distancia, donde su matriz es de grano fino. Por otra parte, también fue posible observar venillas de calcita de 1 mm de espesor que van a favor del plano de estratificación.

**Figura 4.**

*Nódulos de pirita.*



*Nota. Nódulos de pirita observados en el Paquete 3A de la sección Aguablanca.*

#### **7.1.4. Paquete 4A**

En este paquete encontramos una limolita grisácea oscura que según la escala del color de Munsell corresponde (5/BG) con un espesor de 1.06 m, con presencia de fósiles de foraminíferos y conchas de bivalvos (0,5 mm), las cuales están levemente orientadas al plano de estratificación. Además, se alcanzan a observar unos pequeños intraclastos en la roca.

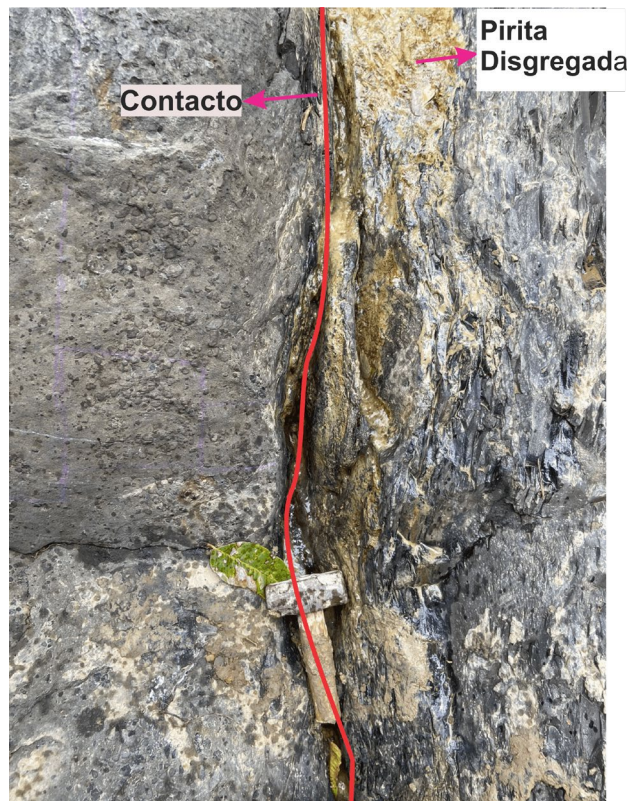
#### **7.1.5. Paquete 5A**

Paquete con un espesor de 1.17 m, el cual corresponde a una limolita que según la escala del color de Munsell corresponde a 3/10Y (Gris oscuro), esta limolita presenta nódulos los cuales, son de difícil visibilidad, oxidados, y que no van en un mismo plano de estratificación. Por otro lado, se observó pirita disgregada (Figura 5), ubicada de manera aleatoria en el paquete. Este paquete también cuenta con un contenido fósil, correspondiente a conchas de bivalvos de 5 mm, levemente

orientadas al plano de estratificación ( el cual es de 29 grados NE).

**Figura 5.**

*Contacto discordante entre el paquete 5A y 6A.*



*Nota. Contacto discordante entre el paquete 5A y 6A, con presencia de pirita. disgregada en el paquete 5A. Dicho contacto representa el inicio de la Formación Umir.*

A continuación, encontraremos los paquetes 6A y 7A, los cuales hacen parte de la Formación Umir.

#### **7.1.6. Paquete 6A**

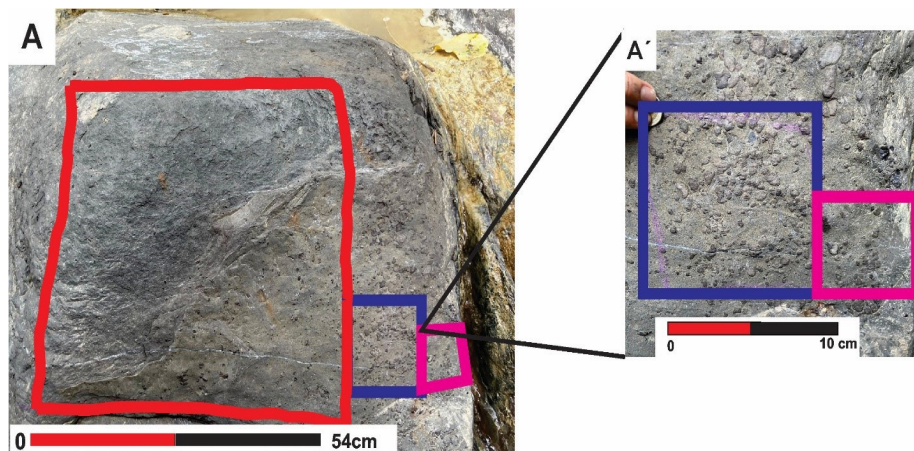
En este paquete encontramos la base de Umir, con un espesor de 90 cm. Este corresponde a una lutita negra que según la escala del color de Munsell corresponde (4/10G) levemente calcárea, la cual en los primeros 15 cm encontramos partículas de roca subangulares, subredondeadas a

subesféricas, las cuales se les realizo un conteo por medio de tres cuadros de diferentes tamaños, con el fin de lograr una mejor descripción (Figura 6). En un cuadro de  $10\text{cm}^2$  (Figura 6A') encontramos aproximadamente 63 partículas, siendo la partícula más grande de un tamaño de 1.05 cm en la parte más amplia, y de 1.02 cm en la parte menos amplia; las partículas más abundantes son de 5 mm (70% de la cantidad total), con un espaciamiento de 5 cm. En el cuadro de  $15\text{cm}^2$  (Figura 6A'), se contaron aproximadamente 153 partículas, muy compactadas, y con un espaciamiento de 4cm. Finalmente, en el cuadro de  $54\text{cm}^2$  (Figura 6A), encontramos 253 partículas sin imbricación, donde el tamaño de los clastos más grandes es de 1.5 cm, y un espaciamiento máximo de 20cm.

Por otro lado, los datos de rumbo para el plano de contacto entre las formaciones La Renta y Umir son 28 grados NE, en el cual el ángulo de depositacion del plano de estratificación de la Formación la Renta no es planoparalelo al ángulo de depositacion del plano de estratificación de la Formación Umir y su variación es aproximadamente de 20 grados de inclinación de diferencia.

**Figura 6.**

*Cuadros realizados para conteo de las partículas observadas en el paquete 6A.*



*Nota. Cuadros realizados para un mejor conteo de las partículas observadas en el paquete 6A, las cuales se observaban después de contacto entre La Renta-Umir. A. Cuadro fucsia:  $10\text{cm}^2$ , cuadro azul:  $15\text{cm}^2$  y cuadro rojo:  $54\text{cm}^2 \times 54\text{cm}$ . A'. Cuadro azul y fucsia ampliados.*

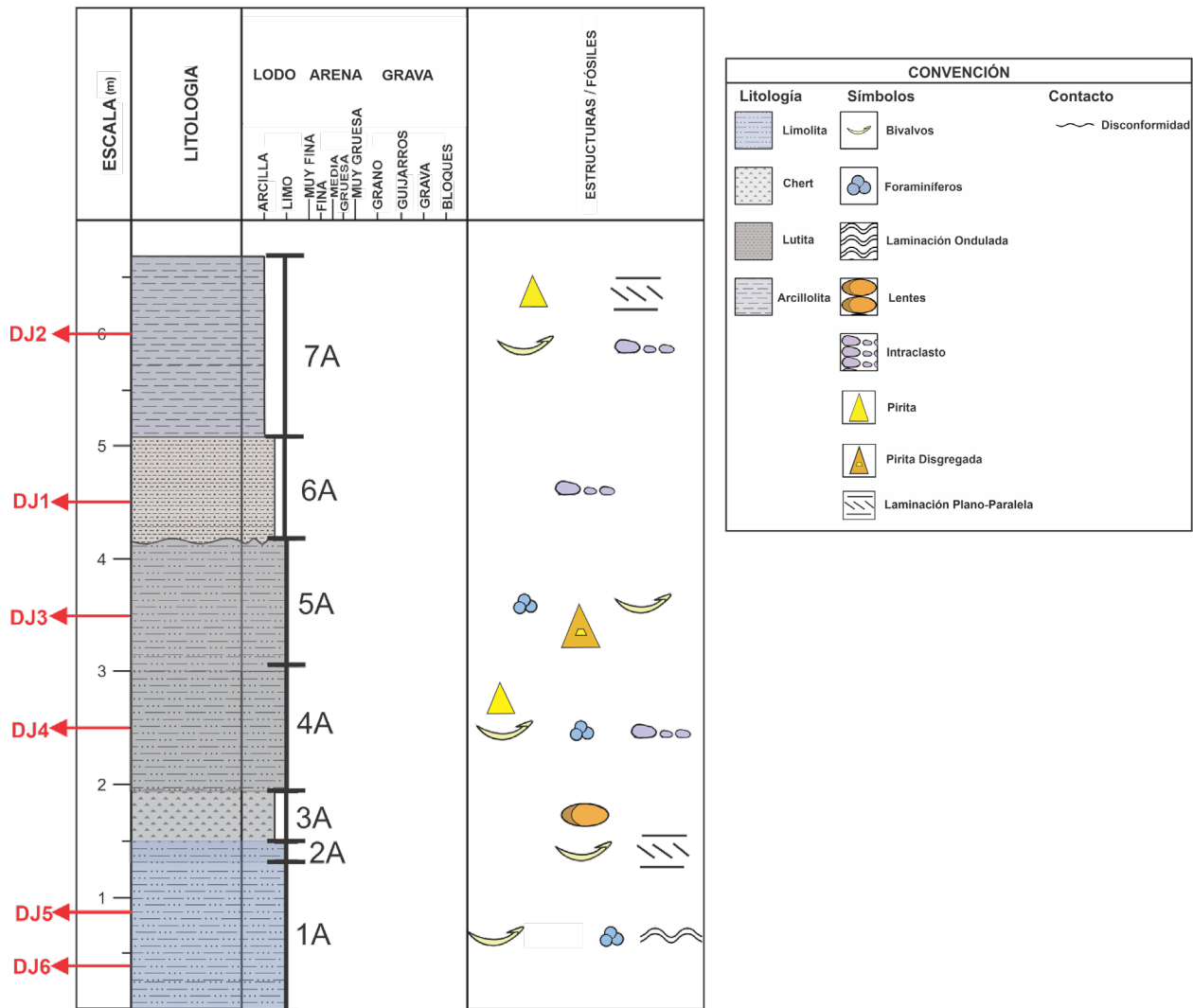
### ***7.1.7. Paquete 7A***

Tiene un espesor de 1.60 m, siendo más fisil que el paquete anterior. Corresponde a una arcillolita de color negro parduzco, marrón amarillento oscuro o negro grisáceo (5YR 2/1, 10YR 4/2, N2), calcárea a levemente calcárea, en la cual sus capas se observan plano-parallelas. Se observa pirita, la cual no es abundante, se encuentra en forma angular y esférica, con tamaños que van de 0.5 mm a 1.5 mm respectivamente, y una distribución aleatoria. Este paquete presenta algunas venillas de carbonato que cortan la capa de forma perpendicular, y de forma paralela al plano de estratificación (26 grados NE de Rumbo) a 1 metro de la capa de Umir.

La figura 7 indica la distribución estratigráfica de los paquetes definidos en la quebrada Aguablanca, al igual que la ubicación de las muestras colectadas para los análisis petrográficos y geoquímicos.

**Figura 7.**

*Columna estratigráfica del punto objeto de estudio, en la quebrada Aguablanca.*



*Nota. Columna estratigráfica del punto objeto de estudio, en la quebrada Aguablanca. La nomenclatura negra corresponde a la utilizada en campo y la nomenclatura roja corresponde a las muestras tomadas para análisis de laboratorio (FRX y DRX).*

## **7.2. Petrografía**

Todas las muestras fueron descritas a una ampliación de 5x en microscopio de luz transmitida.

### **7.2.1. Muestra DJ1**

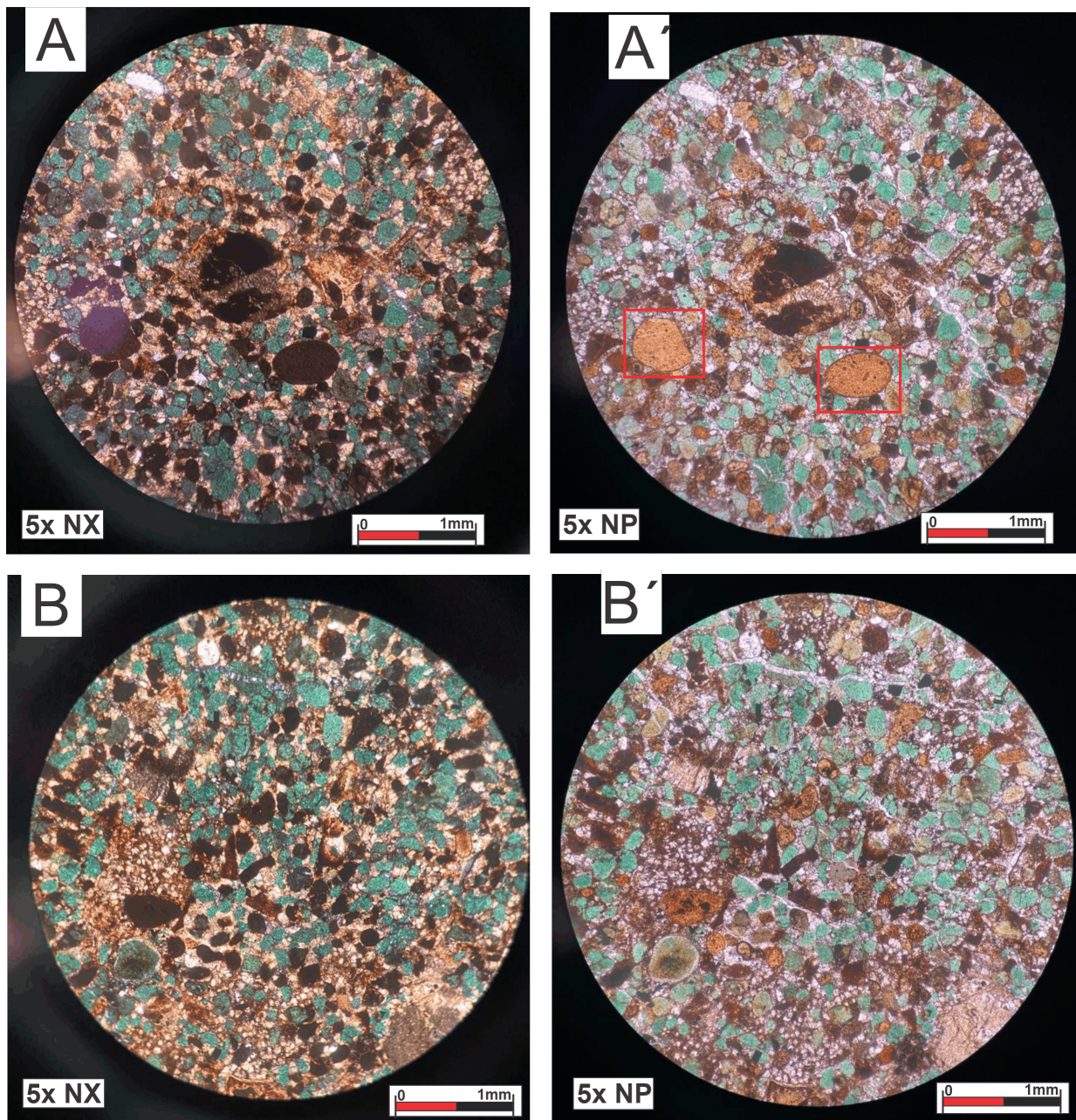
La muestra DJ1 (Figura 8-9), la cual corresponde al paquete 6A, se encuentra principalmente constituida por aloquímicos que representan el 67%, los cuales se distribuyen porcentualmente de la siguiente manera: Glauconita: 33%, Fragmentos fósiles: 25%, Cuarzo: 25%, Pellets: 10%, Intraclastos: 7%. Estos constituyen un armazón homogéneo característico de una roca bien clasificada y texturalmente madura. Su componente aloquímico está compuesto por glauconita, intraclastos, pellets y bioclastos. En los fragmentos de glauconita se observó que algunas partículas, están siendo fosfatizadas a su alrededor, mientras que otras son atravesadas por venillas de calcita, el tamaño promedio de estas partículas es de 10 micras, siendo particular semiesféricas y subredondeadas. Para los intraclastos, se observó que se encuentran siendo rellenados por glauconita, cuarzo y opacos, estos fragmentos son subangulares-angulares, con formas semielípticas y angulares, el más grande es de 240 micras, y el tamaño promedio de estos intraclastos es de 10 micras. Por último, encontramos que los bioclastos (bivalvos), presentan un tamaño promedio de 10 micras. Para el caso de la matriz, se observa que es un lodo calcáreo microcristalino (micrita) el cual constituye el 33% de la muestra.

Clasificación según Dunham (1962): Packestone.

Clasificación según Folk (1974): Biomicrita.

**Figura 8.**

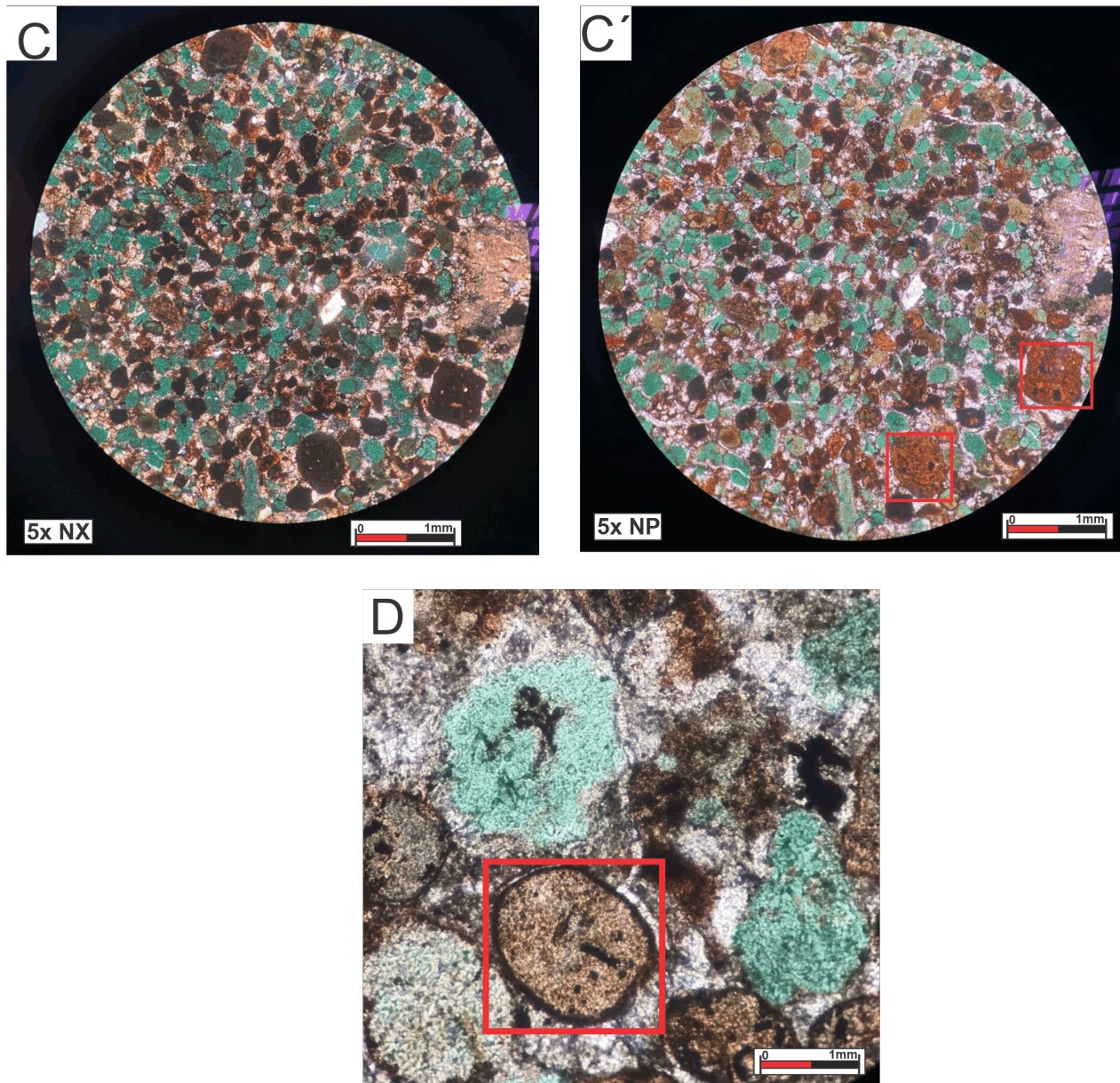
*Packstone Biomicritico.*



*Nota. A-A', B-B'. Packstone Biomicritico; roca soportada por granos redondeados de glauconita de color verde, con tamaño arena fina, intraclastos y pellets fosfatizados cementados por micrita. Se puede observar un fragmento óseo fosfatizados y este mismo refragmentado por un relleno de calcita. En menor cantidad aparecen algunos granos de cuarzo con tamaño limo. También se observan venillas de cuarzo de menor tamaño que las de calcita.*

**Figura 9.**

*Packstone biomicritico.*



*Nota. C-C' Packstone biomicritico; roca soportada por granos redondeados de glauconita de color verde, con tamaño arena fina, intraclastos y pellets fosfatizados cementados por micrita; en menor cantidad aparecen algunos granos de cuarzo con tamaño limo. D. Pellet fosfatizado. También, se puede observar algunas glauconitas con su halo alteración alrededor de ella y otra con borde mejor definido.*

### **7.2.2. Muestra DJ2**

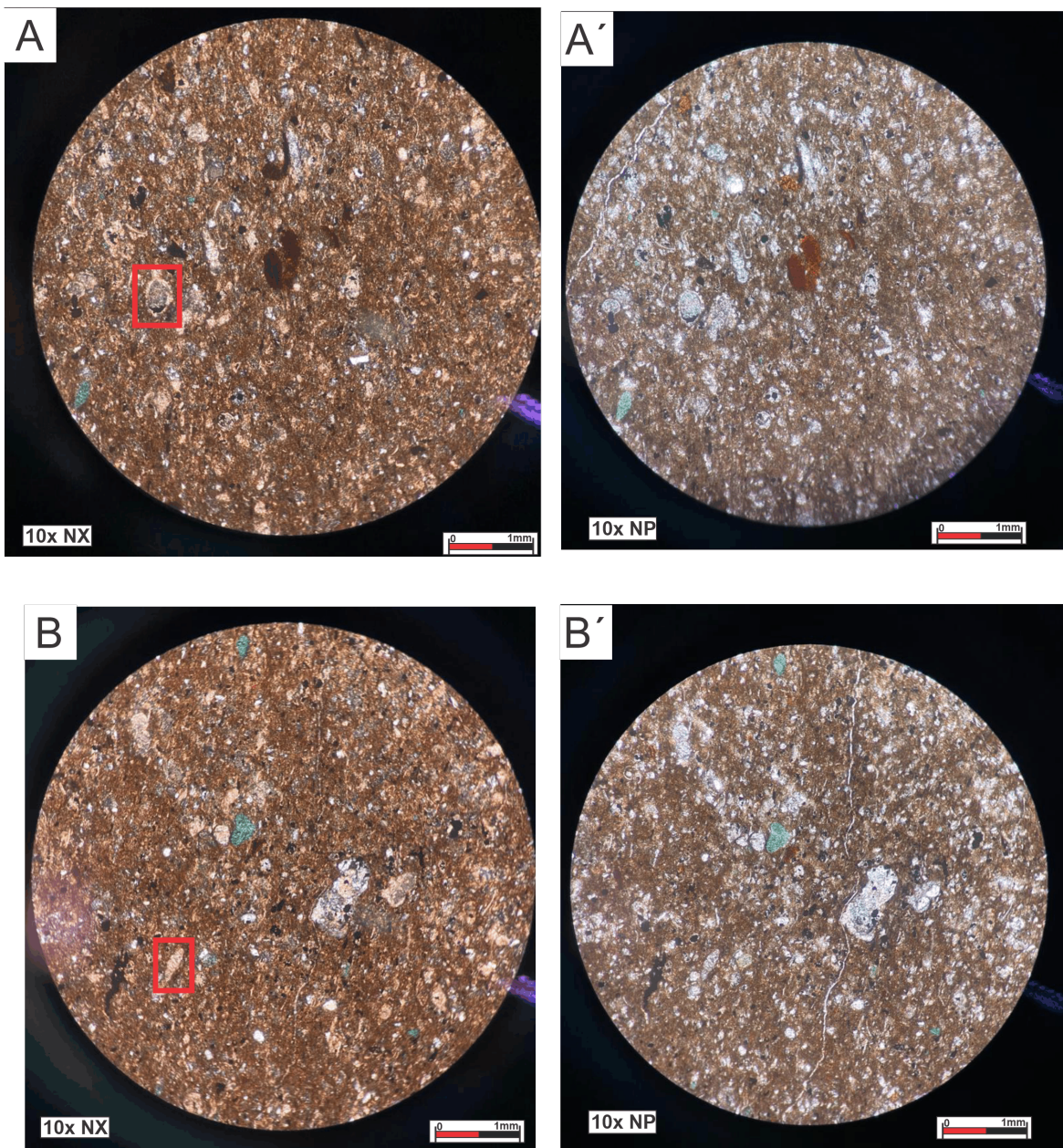
La muestra DJ2 (Figura 10), la cual corresponde al paquete 7A, se encuentra compuesta principalmente por una matriz de lodo calcáreo correspondiente al 54% de la muestra. Entre los aloquímicos se distinguen mayoritariamente bioclastos (bivalvos y foraminíferos), subredondeados y en formas de espículas, con una abundancia correspondiente al 27%, uniformemente distribuidos en la muestra, sin orientación preferente. La glauconita representa un 14% del total de la muestra, siendo sus partículas subredondeadas y subesféricas. Se observaron intraclastos que corresponden al 5%, donde el de mayor tamaño mide 20 micras. Por último, encontramos venillas de cuarzo y algunas venillas ya alteradas a calcita, las cuales tienen un grosor de 1-2 micras y tienen continuidad.

Clasificación según Dunham (1962): Wackestone.

Clasificación según Folk (1974): Biomicrita.

**Figura 10.**

*Wackstone fosilífero rico en materia orgánica.*



*Nota. Wackstone fosilífero rico en materia orgánica; roca con soporte de micrita mezclada con materia orgánica que envuelve bioclastos de foraminíferos bentónicos y planctónicos (en un cuadro rojo aparece foraminífero de forma trocospiral).; la muestra presenta baja bioturbación. B-B'. Wackstone fosilífero rico en materia orgánica, encerrado en un cuadro rojo un foraminífero planctónico Planoheterohelix, en una matriz donde la mayoría de los granos muy fragmentados y se han fosfatizado.*

### **7.2.3. Muestra DJ3**

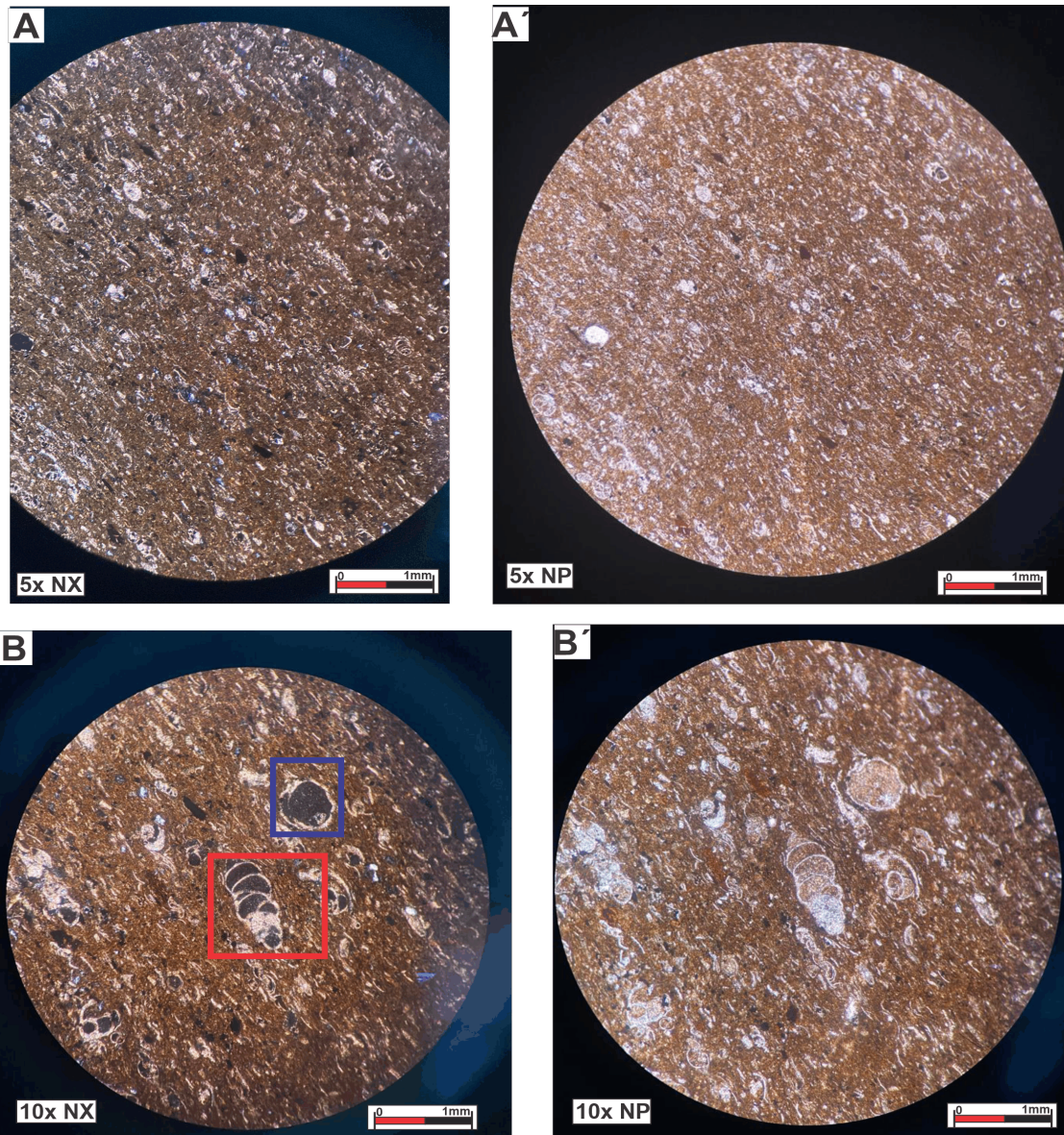
La muestra DJ3 (Figura 11-12), la cual corresponde al paquete 5A, presenta una orientación pseudoplanoparalela se encuentra compuesta principalmente por una matriz de lodo calcáreo correspondiente al 62% de la muestra. Entre los aloquímicos se distinguen mayoritariamente bioclastos de manera subredondeada y alargados, los cuales están orientados. Los tamaños de los bioclastos varían entre 40 micras y 1 micra, comprendiendo foraminíferos planctónicos biseriales (*Planoheterohelix*) y trocospirales (Figura 11 B-B'), y foraminíferos bentónicos de los géneros *Anomalina* y *Siphogenerinoides* (Figura 12 D-D'). Otros bioclastos correspondieron a conchas de bivalvos (Figura 11 A-A'). La muestra presenta venillas de cuarzo, de un tamaño entre 4 y 2 micras que atraviesan longitudinalmente la muestra.

Clasificación según Dunham (1962): Wackestone.

Clasificación según Folk (1974): Biomicrita.

**Figura 11.**

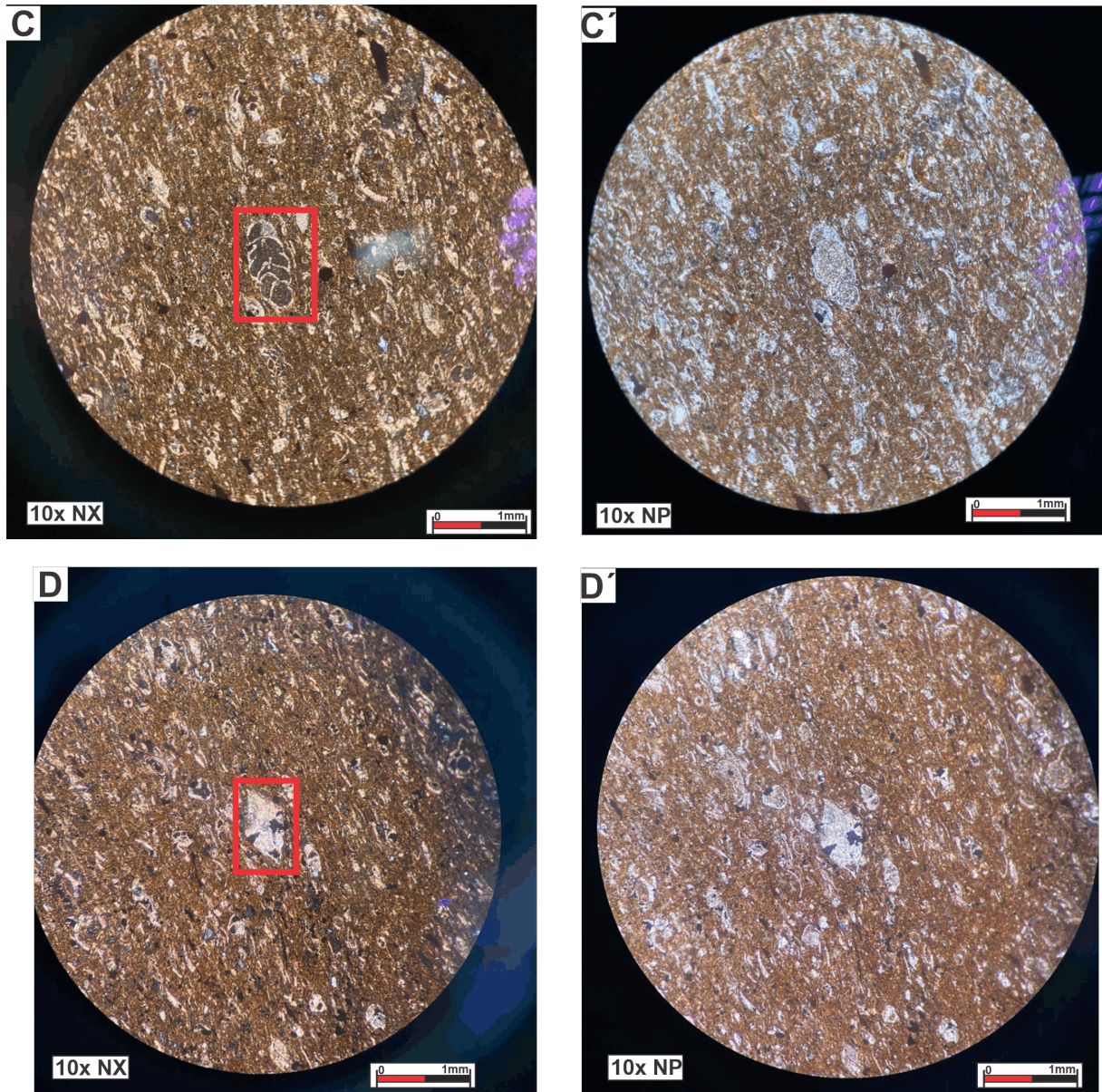
*Wackstone fosilifero.*



*Nota. A-A'. Wackstone fosilifero; roca con soporte de micrita mezclada con materia orgánica que envuelve bioclastos de foraminíferos bentónicos, planctónicos y conchas de bivalvos. B-B'. Foraminífero planctónico Planoheterohelix (Cuadro rojo), formas trocoespirales (Cuadro azul), embebidos en una matriz de aspecto masivo y fosfatizada con fragmentos fósiles orientados en planos pseudoparalelos.*

**Figura 12.**

*Wackstone fosilífero rico en materia orgánica.*



*Nota. C-C'. Wackstone fosilífero; roca biosoportada cementada con micrita, la matriz fosfatizada envuelve bioclastos de foraminíferos bentónicos (Cuadro rojo Siphogenerinoides), planctónicos y conchas de bivalvos. D-D'. Foraminíferos bentónicos como la Anomalina (Cuadro rojo). Embebidos en matriz fosfatizada con lineamientos pseudoparalelos.*

#### **7.2.4. Muestra DJ4**

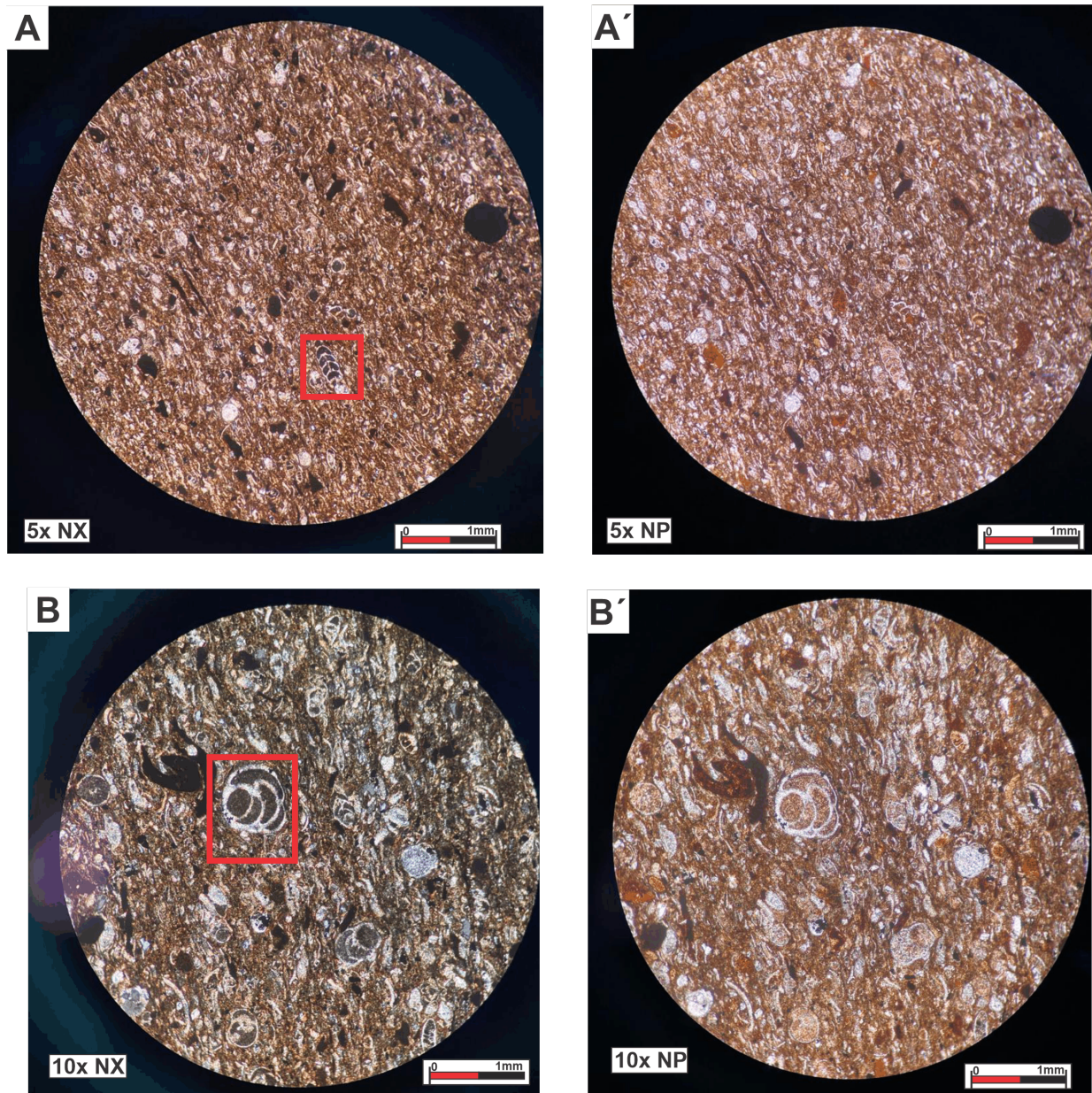
La muestra DJ4 (Figura 13-14), la cual corresponde al paquete 4A, se encuentra principalmente constituida por aloquímicos (73%) que constituyen un armazón homogéneo característico de una roca bien clasificada y texturalmente madura. Los bioclastos constituyen el 51% de aloquímicos, los cuales están muy juntos entre sí, y donde el 9% de ellos se encuentran completos, con un tamaño de 10-15 micras, algunos de ellos están siendo reemplazados por minerales calcáreos con apariencia moteada. Entre estos bioclastos encontramos foraminíferos tanto planctónicos como bentónicos, donde se observan *Anomalina*, y rotálidos sin diferenciar (Figura 13 B-B'). Otros bioclastos corresponden a conchas de bivalvos (Figura 14 D-D'), mientras, que el otro 19% de aloquímicos corresponden a intraclastos, con tamaños que van de 40 a 2 micras. La matriz está compuesta de un lodo calcáreo correspondiente al 27% restante de la muestra.

Clasificación según Dunham (1962): Wackestone.

Clasificación según Folk (1974): Biomicrita.

**Figura 13.**

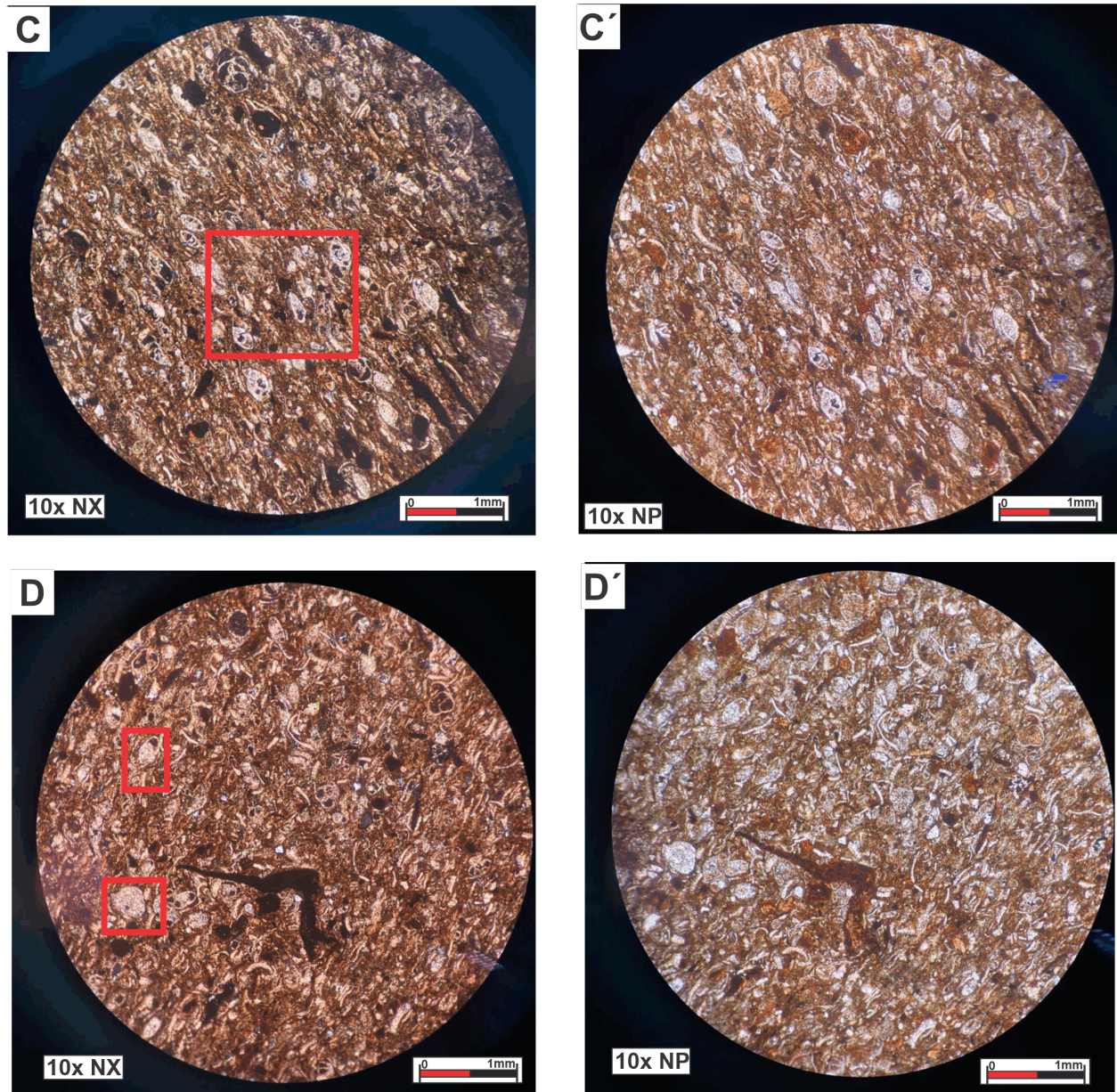
*Wackestone fosilífera biomicrítica con foraminíferos bentónicos y planctónicos.*



*Nota. A-A'. Wackestone fosilífera biomicrítica con foraminíferos bentónicos y planctónicos con tamaño arena fina, muchos con sus cámaras rellenas, parcial o totalmente, de material fosfático de color pardo o por calcita de color blanco. B-B'. Rotálido sin diferenciar. Entre matriz con alta cantidad de fragmentos fósiles levemente orientados por el pseudoparalelismo de los lineamientos.*

**Figura 14.**

*Wackestone fosilífera biomicritica con foraminíferos planctónicos trocoespirales.*



*Nota. C-C'. Wackestone fosilífera biomicritica con foraminíferos planctónicos trocoespirales, vistos desde un corte transversal. Se evidencia una tendencia lineal de los minerales, los fósiles y los fragmentos de fósil. D- D'. Wackestone fosilífera biomicritica con foraminíferos planctónicos quillados y trocoespirales, conchas de bivalvos, algunos de ellos rellenos, parcial o totalmente de material fosfático o calcita, en esta fotografía se evidencia la disposición desordenada de los fragmentos fósiles, fósiles y minerales que la componen.*

### **7.2.5. Muestra DJ5:**

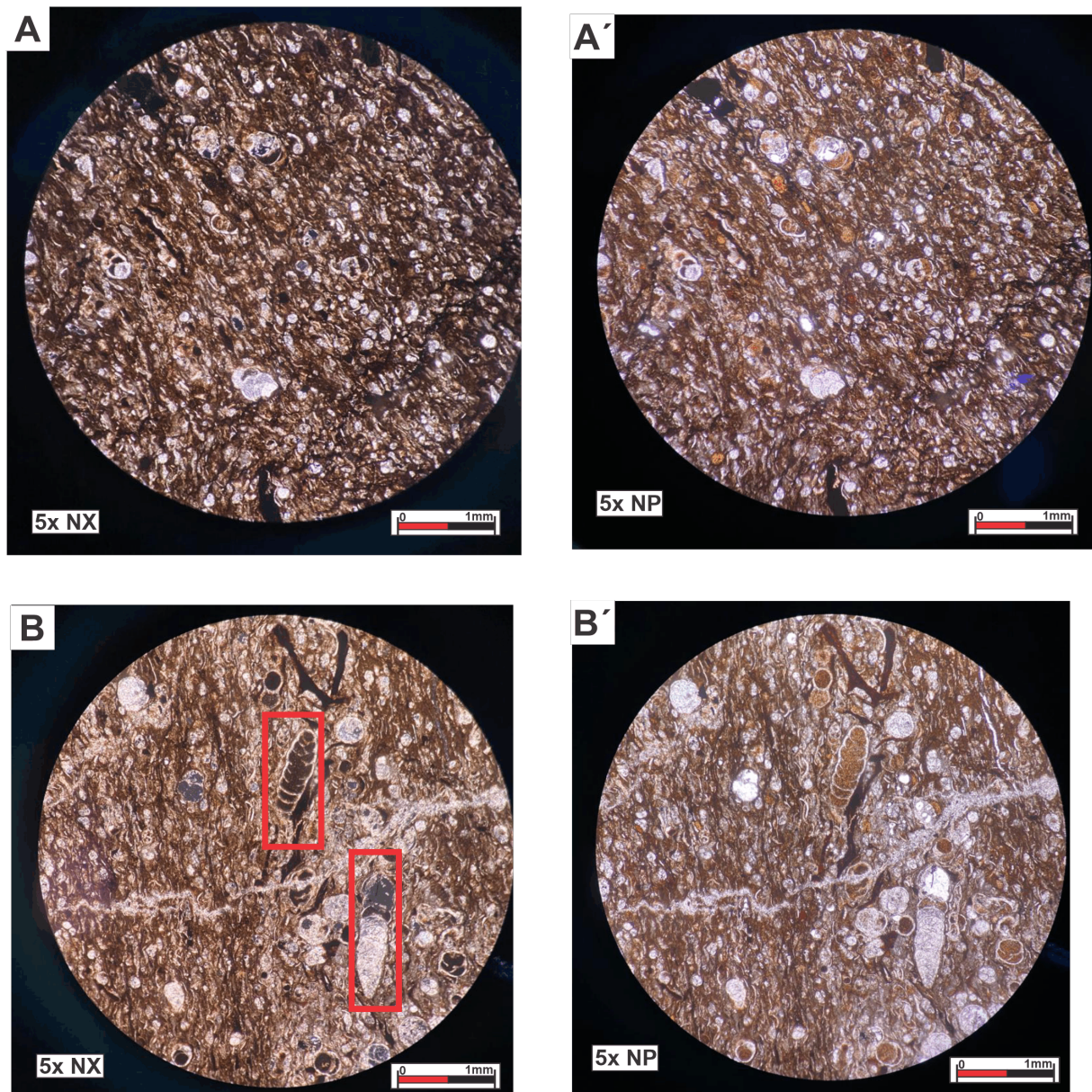
La muestra DJ5 (Figura 15,16 y 17), la cual corresponde al paquete 1A, dicha muestra se encuentra principalmente constituida por aloquímicos (61%) que constituyen un armazón homogéneo característico de una roca bien clasificada y texturalmente madura. Entre los bioclastos podemos observar foraminíferos planctónicos trocoespirales, quillados y biseriales (*Planoheterohelix*; Figura 15 B-B'), mientras que los bentónicos comprendieron *Anomalina*, (Ver figura 15 B-B' y figura 16 C-C'), *Siphogenerinoides*, y algunos uniseriales (Figura 17 D) La muestra tiene un comportamiento pseudolenticular, en donde los lentes son de estos fragmentos fósiles. También se observan venillas de calcita. Su matriz de lodo calcáreo microcristalino (micrita) constituye el 35% de la muestra.

Clasificación según Dunham (1962): Wackestone.

Clasificación según Folk (1974): Biomicrita.

**Figura 15.**

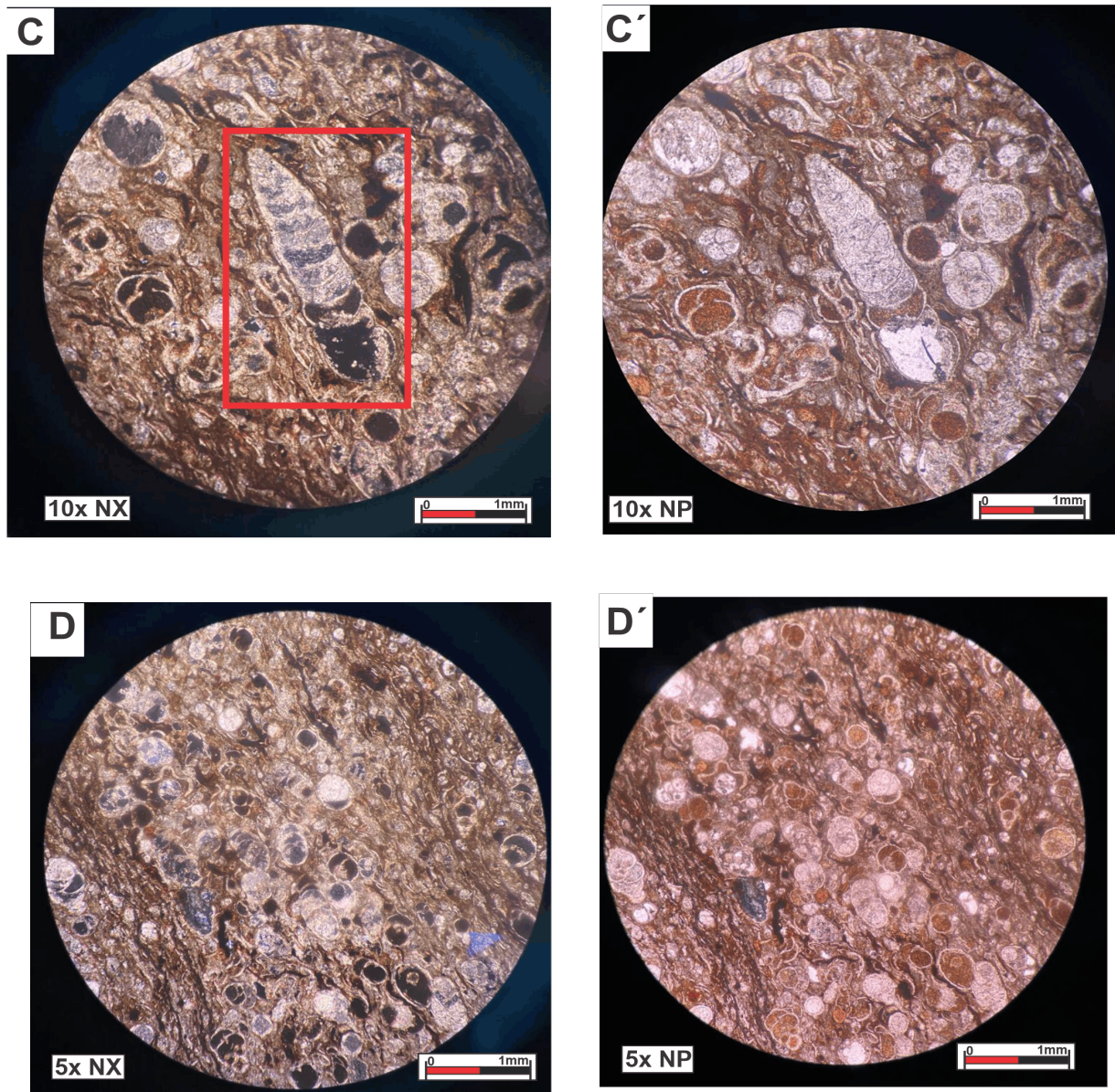
*Wackestone fosilifero, rico en materia orgánica.*



*Nota. A-A' Wackestone fosilifero, rico en materia orgánica, foraminíferos planctónicos, bentónicos y conchas de bivalvos con textura de limo fino, muchos con sus cámaras rellenas, parcial o totalmente de material fosfático de color pardo o por calcita de color blanco, con disposición de los componentes de la matriz ligeramente paralelos. B-B'. Wackestone fosilifero, atravesado por una venilla de cuarzo, con una leve orientación de sus foraminíferos planctónicos quilladas, trocospirales y biserials*

**Figura 16.**

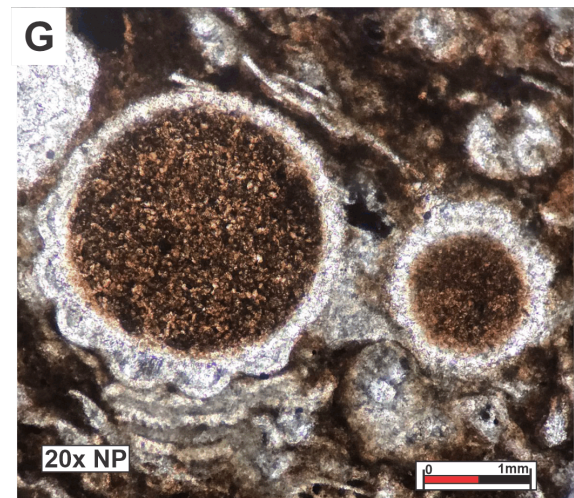
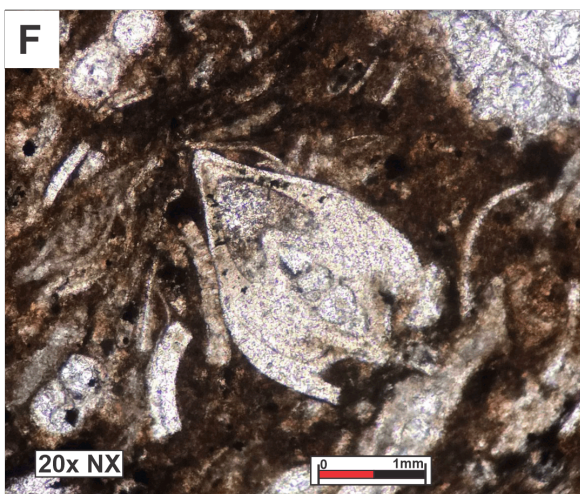
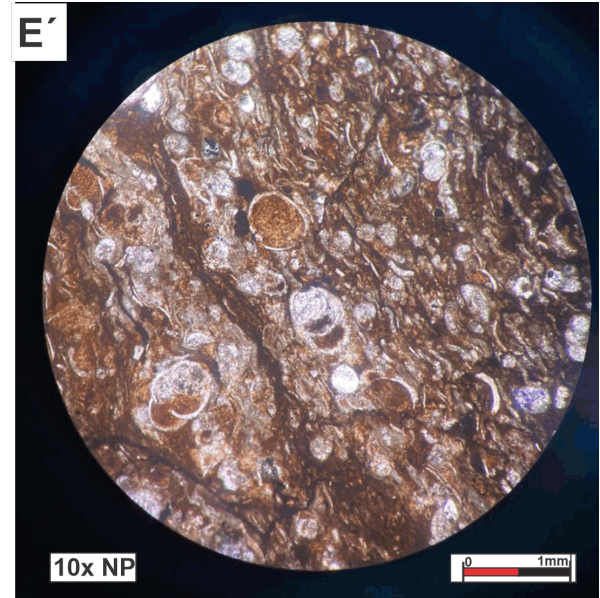
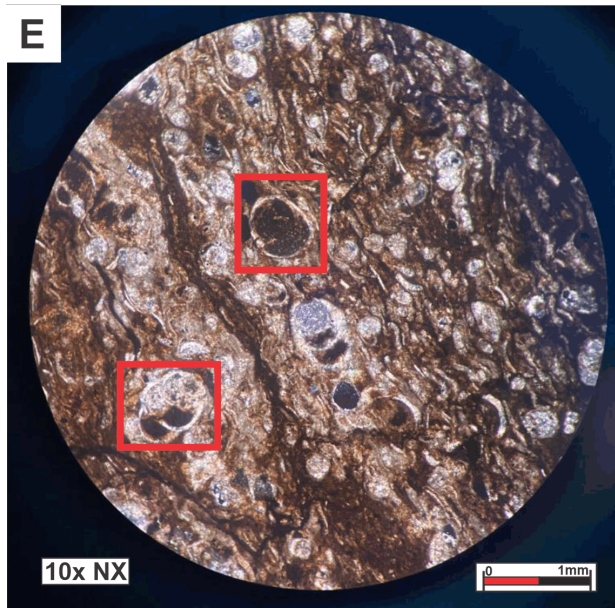
*Wackestone fosilifero.*



*Nota . C-C'. Foraminifero bentónico (encerrado en rojo) y alrededor algunas formas quilladas y trocospirales, también se observan pellets, rellenos de material fosfatizado y cortes transversales de los foraminiferos bentónicos. D-D'. Wackestone fosilífero, rico en materia orgánica, con un gran contenido de foraminiferos planctónicos, bentónico, pellets y conchas de bivalvos, distribuidos y orientados de manera paralela al plano de estratificación, presencia de láminas que están compuestas de una textura de tamaño más fino y con presencia solo de fragmentos fósiles de menor tamaño y en su mayoría alargados.*

**Figura 17.**

*E-E'. Wackestone fosilífero rico en materia orgánica.*



*Nota. E-E'. Wackestone fosilífero rico en materia orgánica; roca soportada por una estructura en forma de mezcla de materia orgánica y micrita de tono marrón que rodea foraminíferos planctónicos, entre ellos algunas formas quilladas, trocospirales y biserials. F. Anomalina spp. G. Foraminífero Bentónico uniserial, visto en corte perpendicular.*

### **7.2.6. Muestra DJ6:**

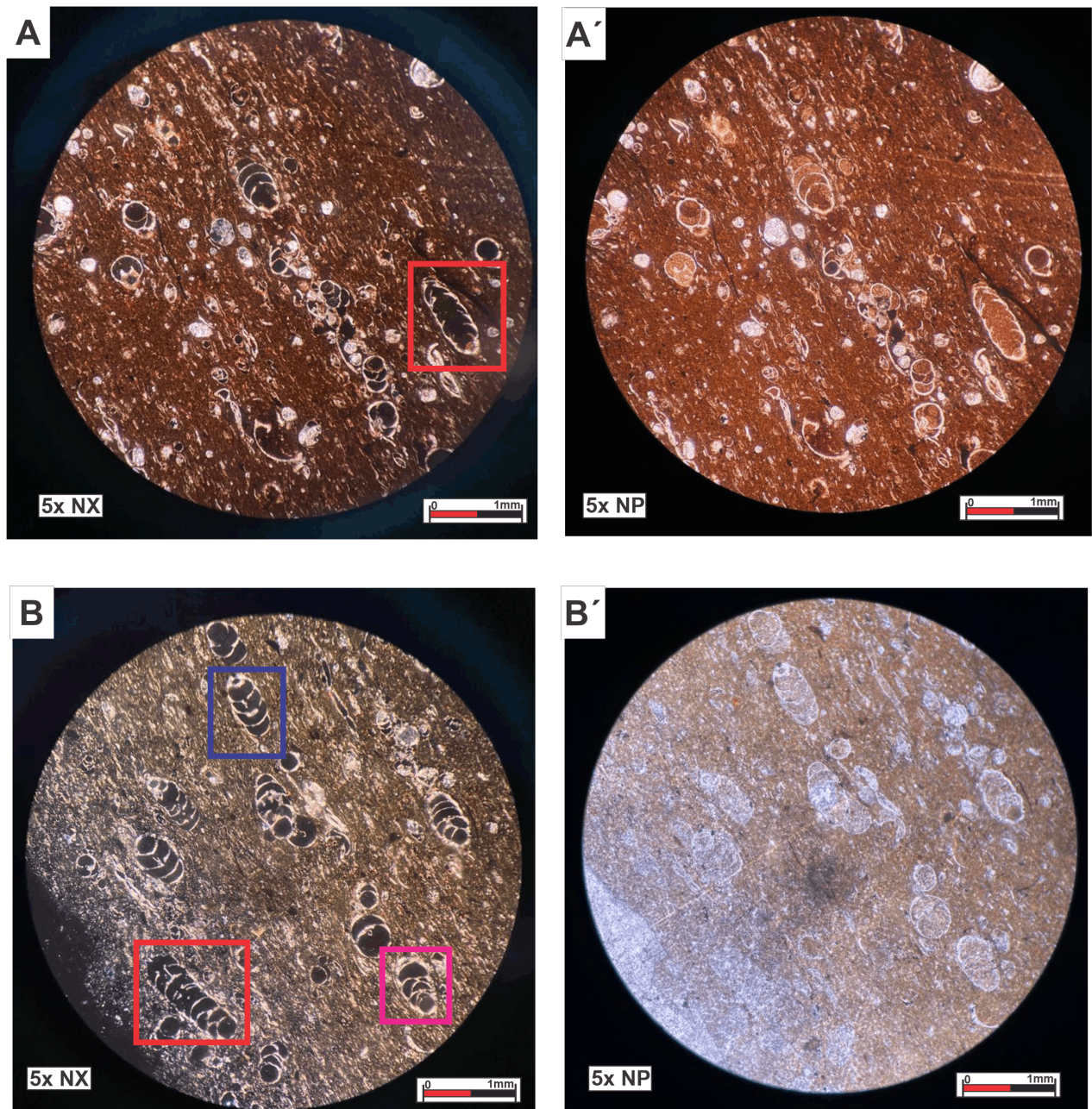
La muestra DJ6 (Figura 18-19), la cual corresponde al paquete 1A, presenta una estructura planoparalela, se encuentra compuesta principalmente por una matriz de lodo calcáreo (83%). El tamaño de los bioclastos varía entre 75 y 4 micras, distribuidos de forma equidistante principalmente. Sin embargo, se observó una franja donde los bioclastos estaban muy juntos y algunos fracturados. Entre los bioclastos se encuentran foraminíferos planctónicos quillados, trocospiralados, así como rotálidos y *Siphogenerinoides* (Ver figura 18 y 19) entre los bentónicos y también algunas conchas de bivalvos.

Clasificación según Dunham (1962): Wackestone.

Clasificación según Folk (1974): Biomicrita.

**Figura 18.**

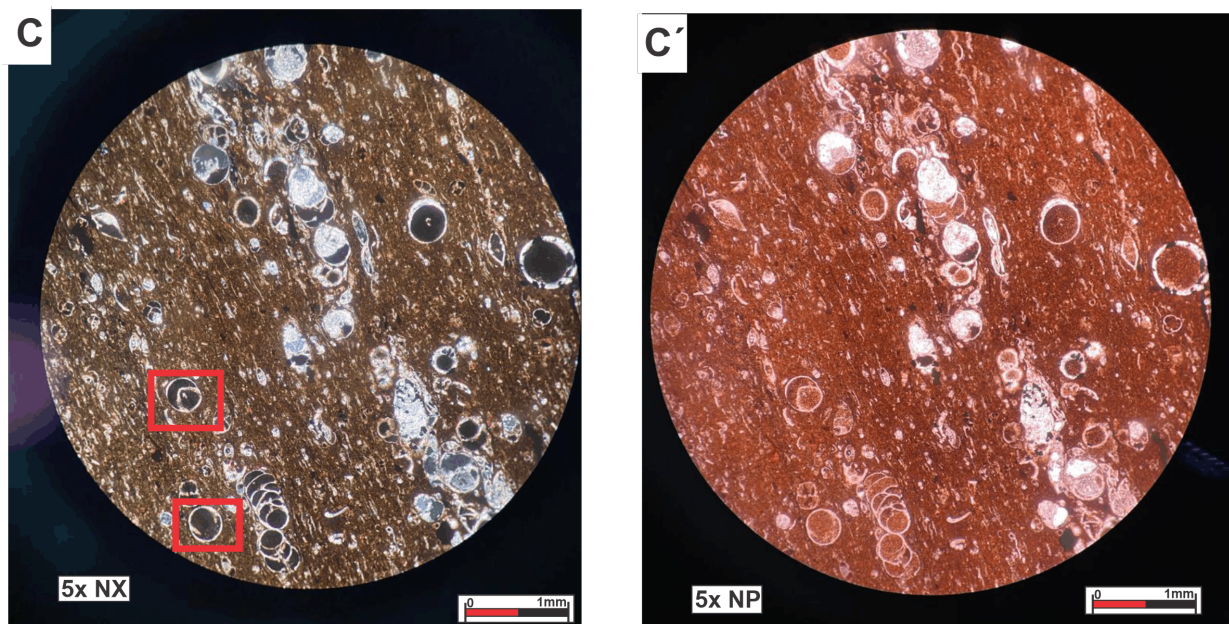
*Wackstone biomicritico con bioperturbación moderada.*



*Nota. A-A'. Wackstone biomicritico con bioperturbación moderada, se puede observar un foraminífero Siphogenerinoides (Cuadro rojo). Y lineamientos de concentraciones de foraminíferos. B-B'. Foraminífero planctónico quillado (Cuadro fucsia) Siphogenerinoides sp (Cuadro rojo) y planctónicos biseriales (Cuadro azul).*

**Figura 19.**

*Wackstone biomicritico con fragmentos de bivalvos y algunas formas de foraminiferos quillados y trocoespirales.*



*Nota. C-C'. Wackstone biomicritico con fragmentos de bivalvos y algunas formas de foraminiferos quillados y trocoespirales, presenta concentración de foraminiferos y algunos fragmentos de bivalvos dispuestos en lineamientos, se observan Pellets rellenos de material fosfático.*

### 7.3. Análisis Geoquímico

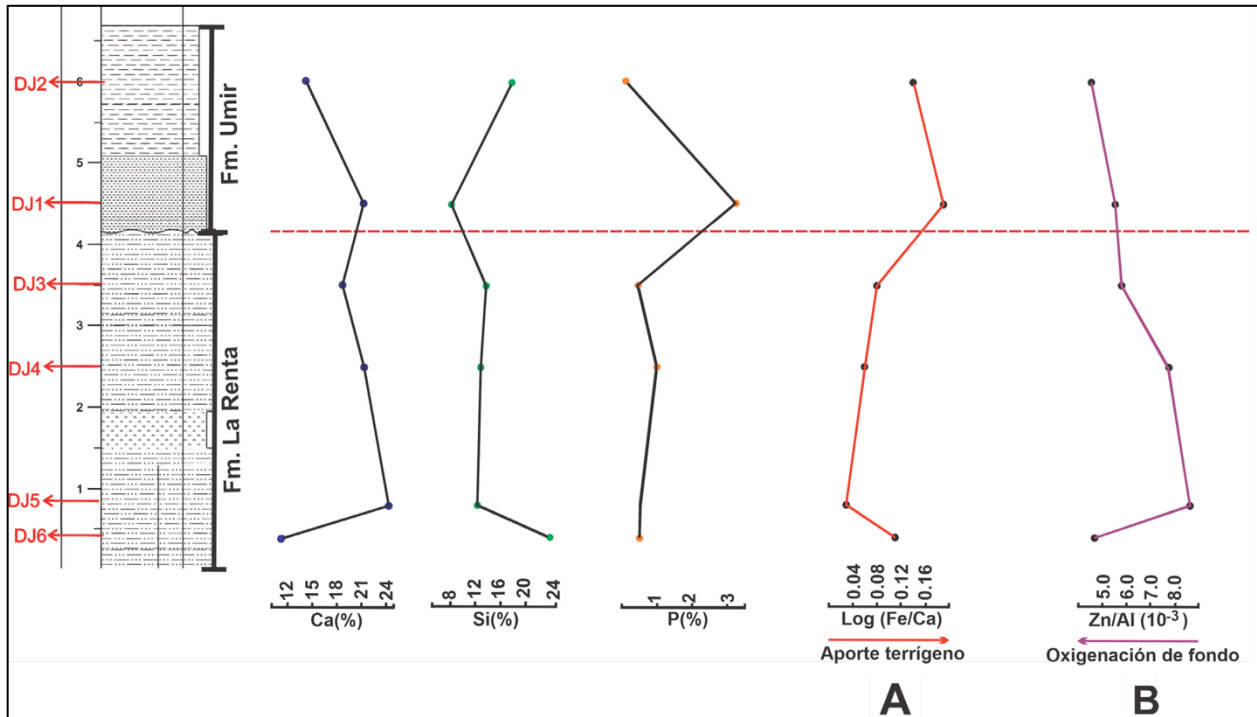
#### 7.3.1. Fluorescencia de rayos X (FRX)

Los datos se interpretaron principalmente como proporciones elementales logarítmicas. Las variaciones en la relación  $\log(\text{Fe}/\text{Ca})$  se utilizarán como indicador del aporte terrígeno y la acumulación de carbonato (Kujau et al., 2010; Govin et al., 2012). En los resultados se pudo evidenciar que los valores de  $\log(\text{Fe}/\text{Ca})$  tienden a aumentar en un sentido estratigráfico. En el registro  $(\text{Fe}/\text{Ca})$  los valores oscilaron entre 0.8 y 0.12, con el pico más bajo en 0.8 m, y el valor más alto en 4.5 m (Figura 20 A).

Para metales como el Ni, Cu, Zn y V, se utilizará su relación respecto a las concentraciones de Al como un indicador de oxigenación de fondo. Por ejemplo, los valores de Zn/ Al ( $10^{-3}$ ) tienden a disminuir en un sentido estratigráfico con valores oscilando entre 6.0 y 7.5, con el pico más bajo en 0.4 m, y el valor más alto en 0.8 m (Figura 19 B). A su vez, las concentraciones elementales de Ca y Si, utilizados como indicadores de contenido de material carbonatado y siliciclástico reflejan un cambio para el contacto La Renta-Umir.

**Figura 20.**

*Proxys geoquímicos considerados en la quebrada Aguablanca.*



*Nota. Proxys geoquímicos considerados en la quebrada Aguablanca. A) Log (Fe/Ca) como proxy del aporte de sedimentos terrígenos. B) Zn/ Al ( $10^{-3}$ ) como proxy de Oxigenación de fondo, la línea roja representa el contacto entre la Formación La Renta y Umir.*

Todos los datos geoquímicos se proporcionan en las tablas complementarias 1, 2, 3, y 4.

**Tabla 1.**

*Porcentaje elemental cuantitativo de las muestras.*

| Muestra | Altura estratigráfica (m) | Concentración (%) |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------|---------------------------|-------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|         |                           | Ca                | Si    | Fe   | Mg   | P    | S    | Al   | K    | Sr   | Ti   | Cr   | Y    | Mn   | Zn   | Na   | Ba   | Zr   | Cu   | Ni   |
| DJ2     | 6,0                       | 14,30             | 17,84 | 1,95 | 0,93 | 0,12 | 0,83 | 6,53 | 1,45 | 0,06 | 0,33 | 0,01 | 0    | 0    | 0,03 | 0,20 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0    |
| DJ1     | 4,5                       | 21,26             | 8,12  | 4,11 | 3,53 | 3,26 | 2,44 | 1,80 | 1,04 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| DJ3     | 3,5                       | 18,64             | 13,71 | 1,60 | 0,69 | 0,47 | 0,75 | 5,14 | 1,02 | 0,06 | 0,21 | 0,03 | 0    | 0    | 0,03 | 0,17 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| DJ4     | 2,5                       | 21,25             | 12,80 | 1,28 | 0,85 | 1,01 | 0,71 | 3,87 | 0,69 | 0,07 | 0,15 | 0,02 | 0    | 0    | 0,03 | 0,09 | 0,03 | 0,02 | 0    | 0,01 |
| DJ5     | 0,8                       | 24,31             | 12,28 | 0,78 | 0,79 | 0,54 | 0,69 | 2,32 | 0,32 | 0,09 | 0,08 | 0,01 | 0    | 0    | 0,02 | 0,04 | 0    | 0    | 0    | 0    |
| DJ6     | 0,4                       | 11,35             | 23,92 | 1,29 | 0,53 | 0,51 | 0,71 | 4,23 | 0,61 | 0,04 | 0,12 | 0,02 | 0    | 0    | 0,02 | 0    | 0,03 | 0    | 0    | 0,01 |

**Tabla 2.**

*Porcentajes en óxidos en las muestras.*

| Muestra | Altura estratigráfica (m) | Concentración (%) |       |       |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------|---------------------------|-------------------|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|         |                           | CaCO              | SiO2  | Fe2O3 | MgO  | P2O5 | SO3  | Al2O3 | K2O  | SrO  | TiO2 | Cr2O3 | Y2O3 | MnO  | ZnO  | BaO  | ZrO2 | CuO  | Na2O | NiO  |
| DJ2     | 6,0                       | 20,01             | 38,16 | 2,79  | 1,54 | 0,28 | 2,07 | 12,33 | 1,74 | 0,07 | 0,56 | 0     | 0    | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,01 | 0,28 | 0    |      |
| DJ1     | 4,5                       | 29,75             | 17,53 | 5,88  | 5,86 | 7,47 | 6,08 | 3,40  | 1,26 | 0,07 | 0,09 | 0,05  | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0    | 0    | 0    | 0    |      |
| DJ3     | 3,5                       | 26,08             | 29,32 | 2,28  | 1,15 | 1,07 | 1,88 | 9,72  | 1,23 | 0,07 | 0,35 | 0,04  | 0    | 0    | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,22 | 0,02 |
| DJ4     | 2,5                       | 29,73             | 27,39 | 1,84  | 1,41 | 2,30 | 1,78 | 7,30  | 0,83 | 0,08 | 0,26 | 0,04  | 0    | 0    | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0    | 0,12 | 0,02 |
| DJ5     | 0,8                       | 34,01             | 26,27 | 1,11  | 1,31 | 1,23 | 1,72 | 4,38  | 0,38 | 0,11 | 0,14 | 0,02  | 0    | 0    | 0,02 | 0    | 0    | 0    | 0,06 | 0    |
| DJ6     | 0,4                       | 15,88             | 51,17 | 1,85  | 0,89 | 1,16 | 1,77 | 7,99  | 0,74 | 0,05 | 0,21 | 0,03  | 0    | 0    | 0,03 | 0,03 | 0    | 0    | 0    | 0,01 |

**Tabla 3.**

*Concentración en PPM para las muestras.*

| Muestra | Altura estratigráfica (m) | Concentración (ppm) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------|---------------------------|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|         |                           | Cu                  | Rb | Ni | As | Nb | Mn | Pb | Ga | Y  | Mo | Zr |
| DJ2     | 6,0                       | 0                   | 88 | 94 | 0  | 11 | 89 | 29 | 12 | 0  | 0  | 0  |
| DJ1     | 4,5                       | 95                  | 50 | 50 | 27 | 15 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| DJ3     | 3,5                       | 0                   | 54 | 0  | 20 | 0  | 81 | 0  | 13 | 32 | 0  | 0  |
| DJ4     | 2,5                       | 83                  | 40 | 0  | 15 | 0  | 61 | 0  | 0  | 0  | 18 | 0  |
| DJ5     | 0,8                       | 52                  | 11 | 65 | 9  | 0  | 86 | 0  | 0  | 0  | 0  | 99 |
| DJ6     | 0,4                       | 72                  | 30 | 0  | 17 | 0  | 70 | 0  | 0  | 0  | 23 | 94 |

**Tabla 4.**

*Relaciones geoquímicas de cada muestra.*

| Muestra | Altura estratigráfica (m) | Zn/Al (10 <sup>-3</sup> ) | Fe/Ca | K/Al |
|---------|---------------------------|---------------------------|-------|------|
| DJ2     | 6,0                       | 4,59                      | 0,14  | 0,22 |
| DJ1     | 4,5                       | 5,56                      | 0,19  | 0,58 |
| DJ3     | 3,5                       | 5,84                      | 0,08  | 0,19 |
| DJ4     | 2,5                       | 7,75                      | 0,06  | 0,18 |
| DJ5     | 0,8                       | 8,62                      | 0,03  | 0,14 |
| DJ6     | 0,4                       | 4,73                      | 0,11  | 0,14 |

**7.3.2. Difracción de rayos X (DRX)**

Se realizó un análisis cualitativo de fases minerales para determinar a mayor detalle los componentes de las rocas. Se utilizó el software Diffrac.Eva sobre el cual se trabajaron las bases de datos PDF-2 de 2021 del International Center for Diffraction Data (ICDD).

**7.3.2.1.DJ1.** De acuerdo con las firmas del difractograma, se reconocieron minerales como calcita, cuarzo, yeso, y moscovita principalmente. Además, fue posible identificar fluorapatito, ankerita y dolomita, los cuales no habían sido previamente reconocidos en el análisis petrográfico.

**Tabla 5.**

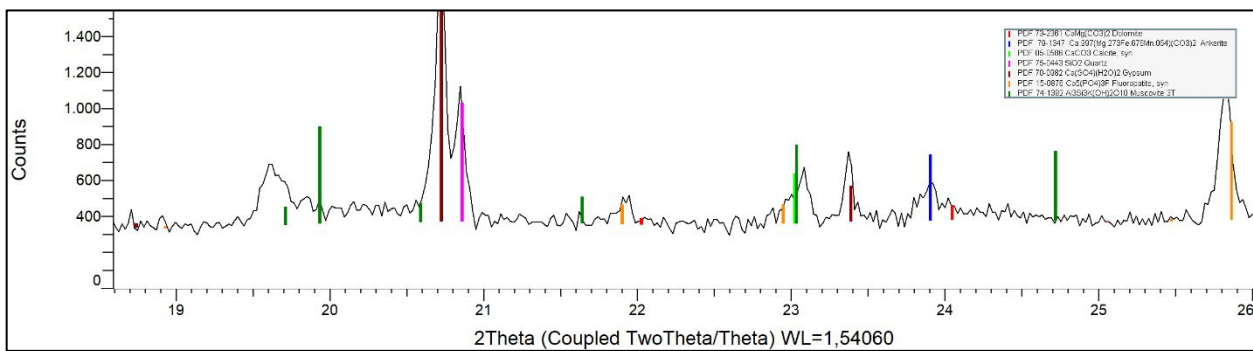
*Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF 2021 del International Centre for Diffraction Data (ICDD), de la muestra DJ1.*

| Nombre   | Fórmula  | Sistema       |
|----------|--|---------------|
| Dolomita | CaMg (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>               | Rhombo.H.axes |
| Ankerita | CaFe <sup>2+</sup> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> | Rhombo.H.axes |
| Calcita  | CaCO <sub>3</sub>                                  | Rhombo.H.axes |

|              |  |             |
|--------------|--|-------------|
| Cuarzo       | SiO <sub>2</sub>   | Hexagonal   |
| Yeso         | CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O                                   | Monoclínico |
| Fluorapatito | Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> F                      | Hexagonal   |
| Moscovita    | KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub> | Hexagonal   |

**Figura 21.**

*Difractograma de la muestra DJ1.*



*Nota. Difractograma de la muestra DJ1 donde se evidencian las firmas de los principales minerales de la muestra.*

**7.3.2.2.DJ2.** De acuerdo con las firmas del difractograma, se reconocieron minerales como cuarzo, calcita, albita, y moscovita principalmente. Además, fue posible identificar caolinita y yeso, minerales que no habían sido previamente reconocidos en el análisis petrográfico.

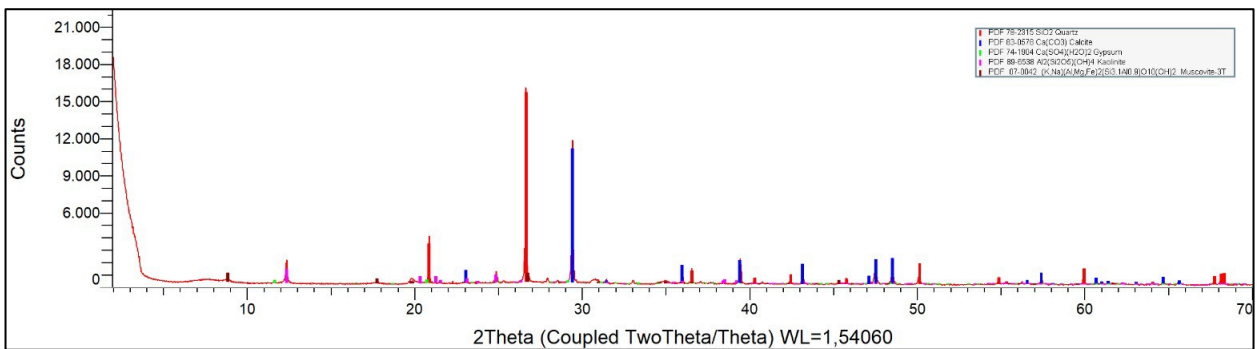
**Tabla 6.**

*Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF 2021 del International Centre for Diffraction Data (ICDD), de la muestra DJ2.*

| Nombre    | Fórmula  | Sistema       |
|-----------|--|---------------|
| Cuarzo    | SiO <sub>2</sub>   | Hexagonal     |
| Calcita   | CaCO <sub>3</sub>  | Rhombo.H.axes |
| Yeso      | CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O                                   | Monoclínico   |
| Caolinita | Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>       | Triclínico    |
| Moscovita | KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub> | Hexagonal     |

**Figura 22.**

*Difractograma de la muestra DJ2.*



*Nota. Difractograma de la muestra DJ2 donde se evidencian las firmas de los principales minerales de la muestra.*

**7.3.2.3.DJ3.** De acuerdo con las firmas del difractograma, se reconocieron minerales como cuarzo y calcita principalmente. Además, fue posible identificar caolinita y fluorapatito, minerales que no habían sido previamente reconocidos en el análisis petrográfico.

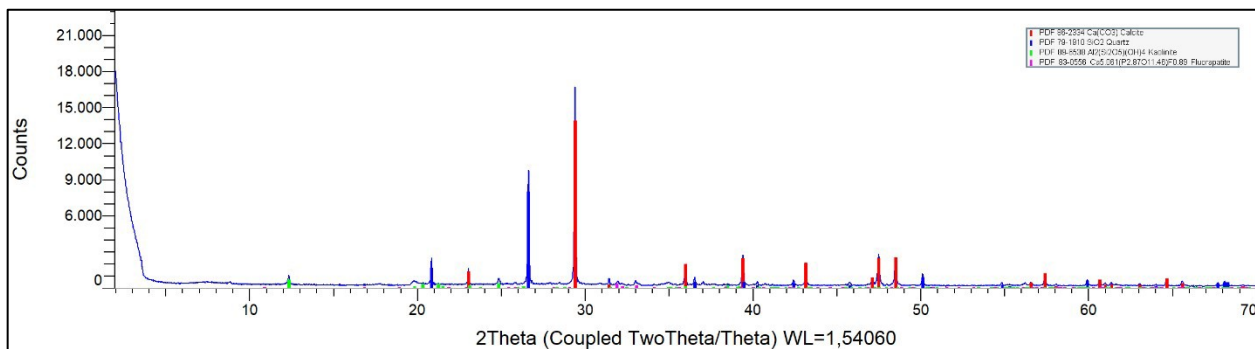
**Tabla 7.**

*Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF 2021 del International Centre for Diffraction Data (ICDD), de la muestra DJ3.*

| <b>Nombre</b> | <b>Fórmula</b>   | <b>Sistema</b> |
|---------------|--|----------------|
| Calcita       | CaCO <sub>3</sub>  | Rhombo.H.axes  |
| Cuarzo        | SiO <sub>2</sub>   | Hexagonal      |
| Caolinita     | Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> | Triclínico     |
| Fluorapatito  | Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> F                | Hexagonal      |

**Figura 23.**

*Difractograma de la muestra DJ3 donde se evidencian las firmas de los principales minerales de la muestra.*



*Nota. Difractograma de la muestra DJ3 donde se evidencian las firmas de los principales minerales de la muestra.*

**7.3.2.4.DJ4.** De acuerdo con las firmas del difractograma, se reconocieron minerales como cuarzo, calcita y moscovita principalmente. Además, fue posible identificar caolinita, fluorapatito, y dolomita, minerales que no habían sido previamente reconocidos en el análisis petrográfico.

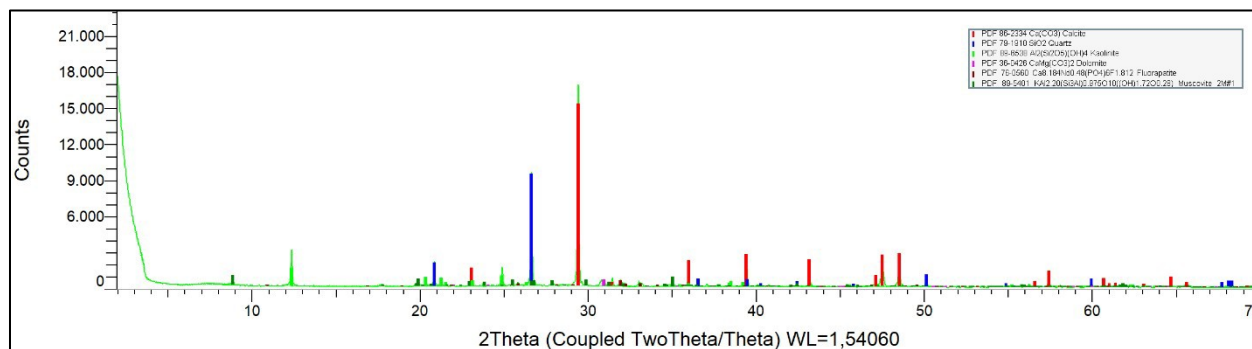
**Tabla 8.**

*Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF 2021 del International Centre for Diffraction Data (ICDD), de la muestra DJ4.*

| Nombre       | Fórmula  | Sistema       |
|--------------|--|---------------|
| Cuarzo       | SiO <sub>2</sub>   | Hexagonal     |
| Calcita      | CaCO <sub>3</sub>  | Rhombo.H.axes |
| Dolomita     | CaMg (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>                                   | Rhombo.H.axe  |
| Caolinita    | Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>       | Triclínico    |
| Moscovita    | KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub> | Monoclínico   |
| Fluorapatito | Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> F                      | Hexagonal     |

**Figura 24.**

*Difractograma de la muestra DJ4 donde se evidencian las firmas de los principales minerales de la muestra.*



*Nota. Difractograma de la muestra DJ4 donde se evidencian las firmas de los principales minerales de la muestra.*

**7.3.2.5.DJ5.** De acuerdo con las firmas del difractograma, se reconocieron minerales como cuarzo y calcita principalmente. Además, fue posible identificar caolinita y yeso, minerales que no habían sido previamente reconocidos en el análisis petrográfico.

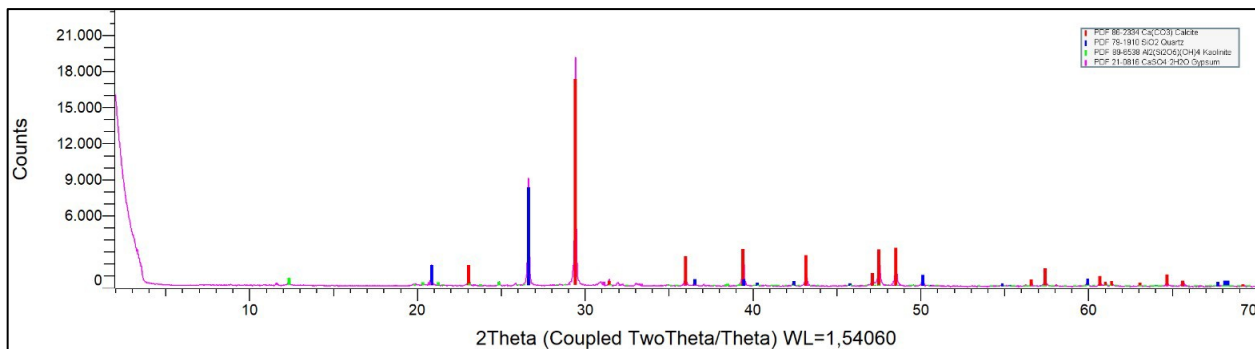
**Tabla 9.**

*Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF 2021 del International Centre for Diffraction Data (ICDD), de la muestra DJ5.*

| Nombre    | Fórmula  | Sistema       |
|-----------|--|---------------|
| Calcita   | CaCO <sub>3</sub>  | Rhombo.H.axes |
| Cuarzo    | SiO <sub>2</sub>   | Hexagonal     |
| Caolinita | Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> | Triclínico    |
| Yeso      | CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O                             | Monoclínico   |

**Figura 25.**

*Difractograma de la muestra DJ5.*



*Nota. Difractograma de la muestra DJ5 donde se evidencian las firmas de los principales minerales de la muestra.*

**7.3.2.6.DJ6.** De acuerdo con las firmas del difractograma, se reconocieron minerales como cuarzo y calcita principalmente. Además, fue posible identificar caolinita, mineral que no había sido previamente reconocido en el análisis petrográfico.

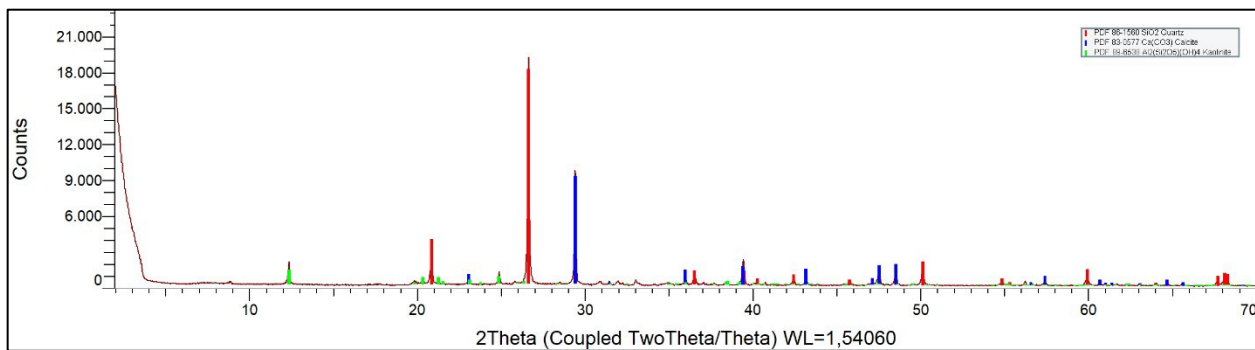
**Tabla 10.**

*Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF 2021 del International Centre for Diffraction Data (ICDD), de la muestra DJ6.*

| Nombre    | Fórmula  | Sistema       |
|-----------|--|---------------|
| Calcita   | CaCO <sub>3</sub>  | Rhombo.H.axes |
| Cuarzo    | SiO <sub>2</sub>   | Hexagonal     |
| Caolinita | Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> | Triclínico    |

**Figura 26.**

*Difractograma de la muestra DJ6.*



*Nota. Difractograma de la muestra DJ6 donde se evidencian las firmas de los principales minerales de la muestra.*

### 8.Discusión

A continuación, serán discutidos y analizados los resultados obtenidos a partir de estudios petrográficos, de fluorescencia de rayos X(FRX) y difracción de rayos X (DRX) que contribuyen con la caracterización del contacto entre la Formación La Renta- Umir.

Nuestra integración de análisis petrográficos y geoquímicos nos permite observar en la transición La Renta-Umir de la quebrada Aguablanca, donde el dominio de las rocas carbonatadas,

reflejado en el lito de litología descrito en la petrografía y una mayor concentración de carbonato reflejado en los análisis de Frx, sugiere condiciones marinas abiertas para el segmento de la Formación La Renta y una somerización de la sucesión. La presencia de foraminíferos planctónicos, trocoespirales y quillados, sugiere una configuración de una plataforma intermedia, para la parte superior de la Formación La Renta. A su vez, los mayores valores de  $Zn/Al \cdot 10^{-3}$  y la presencia común de formas bentónicas infaunales (*Siphogenerinoides*) y generalistas (*Anomalina*), sugieren que los sedimentos se depositaron en condiciones de baja oxigenación en la Formación La Renta.

Se corroboró con los datos elementales de fluorescencia de rayos X la presencia de un cambio paleoambiental hacia el contacto La Renta-Umir, los resultados de FRX evidencian un predominio del fósforo en el tope de la Formación La Renta y en la base de la Formación Umir, posiblemente producto de la alteración de los carbonatos y un aumento de la fosfatación en proporción con el aumento de material carbonático. A su vez, las variaciones en las concentraciones de carbonatos y sílices, indicados por las variaciones en ppm de Ca y Si, evidencian posiblemente cambios de nivel base. Dichos cambios sugieren el cambio de un régimen de depositación por precipitación química (Formación La Renta) a uno de componente siliciclástico (Formación Umir). Como se indicó previamente, las fluctuaciones en la relación  $\log (Fe/Ca)$  se pueden utilizar como indicador de la entrada terrígena en relación con los sedimentos carbonatados (Govin et al., 2012). El aumento de dicha razón desde el tope de la Formación La Renta hasta la base de la Formación Umir, sugieren también un aumento en el aporte de material terrígeno, posiblemente producto de la erosión de la Cordillera Oriental (Sarmiento et al., 2015; Bayona et al., 2020), y una transición abrupta de una plataforma interior a entornos sublitorales que caracterizaron a la Formación Umir (Patarroyo et al., 2023).

Teniendo también en cuenta el comportamiento de los paquetes sedimentarios definidos para el contacto, incluyendo el análisis de la alternancia entre los niveles, donde los elementos en la sección delgada muestran fósiles fragmentados, el relleno que se encuentra en algunos foraminíferos y las estructuras fluidas sin dirección preferencial, sugieren un entorno de alta energía intercalado con entornos donde los elementos depositacionales se acomodan de manera tranquila. Esta alternancia deja de ser tranquila para convertirse en una aún más arriscada para el tope de la Formación La Renta y la base de la Formación Umir, sugiriendo que dicho cambio fue de forma abrupta, discordante

## 9. Conclusión

La caracterización del contacto entre la Formación la Luna y la Formación Umir en la quebrada Aguablanca (VMM), permitió llegar a las siguientes conclusiones:

- En la sección Aguablanca la geoquímica (Fr<sub>x</sub>) también evidencia un importante cambio paleoambiental entre las formaciones La Renta y Umir. Pasando de plataforma interna a entornos litorales, basados en la relación Log (Fe/Ca), y la presencia de altas concentraciones de metales traza (Ni, Cu y Zn), interpretamos que la parte superior de Formación La Renta se depositó en un escenario marino somero de costa abierta, cuyo perfil se representa por una plataforma intermedia, con condiciones de agua de fondo poco oxigenadas. Por el contrario, los registros de foraminíferos bentónicos y los registros de log (Fe/Ca) y Zn/ Al, muestran una tendencia ascendente para la base de la Formación Umir en una configuración de plataforma interna retrogradacional.
- Los fósiles fragmentados, el relleno que se encuentra en algunos foraminíferos y las estructuras fluidas sin dirección preferencial, corresponde a un entorno de alta energía intercalado con entornos donde los elementos depositacionales se acomodan de manera tranquila. Esta alternancia deja de ser tranquila para convertirse en una aún más abrupta, lo que nos ayuda junto a

los ángulos de depositación de las capas de la Formación La Renta y la Formación Umir (diferenciación de 20 grados en su buzamiento) a concluir que no son paralelas entre sí, confirmando la presencia de una discordancia reportada por (Morales & The Colombian Petroleum Industry, 1958; Ward et al., 1973; Maughan et al., 1979, Terraza, 2019; Patarroyo et al., 2023).

- Los estratos aflorantes en la quebrada Aguablanca están compuestos litológicamente de Wackstone y Packstone biomicríticos, denotando una variación clara en el contacto entre el techo de la Formación La Renta y la base de la Formación Umir, ya que, hacia el techo de la Formación La Renta, comienza a disminuir el tamaño de grano y a aumentar la cantidad de fragmentos fósiles, relacionado a la somerización de la cuenca.

### Referencias Bibliográficas

- Adams A.E. et al., 1997. Atlas de rocas sedimentarias. Edición Masson.
- Aguilera, R., 2009. Play Calcáreo de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena. ¿Un ¿Gigante Dormido? Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en Cuencas Subandinas. Cartagena. Colombia.
- Ballesteros et al., 2013. “Anotaciones acerca de la estratigrafía del intervalo Cenomaniano Campaniano atravesado por el pozo La Luna-1, cuenca del valle medio del Magdalena”. XIV Congreso Colombiano de Geología, Primer Simposio de Exploradores. Bogotá, Sociedad Colombiana de Geología, Universidad Nacional de Colombia y Servicio Geológico Colombiano.
- Carroll, AR, 2017, Xenconformidades y el registro estratigráfico de paleo en cambio ambiental: Geología.
- Castro-Dorado, A., 2015. Petrografía de rocas Ígneas y Metamórficas. Ediciones Parainfo, SA.
- Cohen et al., 2013. “The ICS International Chronostratigraphic Chart”.
- Dekker M., 1993. Handbook of X Ray Spectrometry: Methods and Techniques, editado por R. Van Grieken, New York.
- Dummann, et al., 2021. A refined model of Early Cretaceous South Atlantic–Southern Ocean gateway evolution based on high resolution data from DSDP Site 511 (Falkland Plateau). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.

Erlich et al., 1999. Palaeoecology, paleogeography and depositional environments of Upper Cretaceous rocks of western Venezuela. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.

Etayo-Serna, F. (Ed.), 2020. Estudios geológicos y paleontológicos sobre el Cretácico en la región del embalse del río Sogamoso, Valle Medio del Magdalena (Vol. Volumen 23). Libros del Servicio Geológico Colombiano. Recuperado a partir de <https://libros.sgc.gov.co/index.php/editorial/catalog/book/24>.

Gomez, E., 2011. Tectonic controls on the late Cretaceous to Cenozoic sedimentary fill of the Middle Magdalena Valley Basin, Eastern Cordillera and Llanos Basin, Colombia. Cornell University.

Gordon et al. ,1989. An X-Ray microprobe facility using synchrotron radiation.

Govin, A. et al., 2012. Distribution of major elements in Atlantic surface sediments (36°N-49°S): imprint of terrigenous input and continental weathering.

Hedberg, H., 1931. Cretaceous limestone as petroleum source rock in Northwestern, Venezuela, AAPG.

Julivert, M., 1968. “Colombie (première partie), Précambrien, Paléozoïque, et intrusions d'âge mésozoïque-tertiaire”. En *Lexique Stratigraphique International V. Amérique Latine*,

dirigido por R. Hoffstetter, fascicule 4a. Paris: Centre National De La Recherche Scientifique.

Kujau, A. et al., 2010. Mississippi River discharge over the last ~560,000 years — indications from X-ray fluorescence core scanning. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*

Laboratorio de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos-X (EDX-XRF). (s/f). Uchile.cl. Recuperado el 16 de octubre de 2023, de <https://uchile.cl/i90814>.

Laboratorio de química. DRX. (s/f). Universidad Católica de Valparaíso. Recuperado el 19 de octubre de 2023, de <https://www.pucv.cl/uuaa/asistencia-tecnica-y-capacitacion-instituto-dequimica/drx>.

Lozano, E. & Zamora, N., 2014. *Compilación de la Cuenca de la Cordillera Oriental*. Servicio Geológico Colombiano.

MacKenzie, W.S. & Adams A. E., 1997. *Atlas en color de Rocas y minerales en lámina delgada*. Ediciones Masson.

Malavé, L., 2004. *Análisis petrográfico de rocas clásticas*. LUMA S.A.

Marguí, E. et al., 2011. Aplicación de la técnica de espectrometría de fluorescencia de rayos-X en el estudio de la dispersión de metales en áreas mineras. *Boletín Geológico y Minero*.

- Martinez, J.I., & Hernandez, R., 1992. Evolution and drowning of the Late Cretaceous Venezuelan carbonate platform. *Journal of South American Earth Sciences*.
- Maughan, Edwin K. et al., 1979. "Paleontologic and stratigraphic relations of phosphate beds in Upper Cretaceous rocks of the Cordillera Oriental, Colombia". U. S. Geological Survey.
- Meléndez, P. & Camacho D., 2009. Espectrometría de fluorescencia de rayos X. Facultad de ciencias Químicas/Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Melgarejo, Joan Carles, 1997. Atlas de Asociaciones Minerales en Lámina Delgada. Edicions De La Universitat De Barcelona.
- Molina, E., 2004. Micropaleontología. Concepto, historia y estado actual.
- Morales, Luis G. & The Colombian Petroleum Industry., 1958. "General geology and oil occurrences of Middle Magdalena Valley, Colombia". En *Habitat of oil. A symposium; conducted by the American Association of Petroleum Geologists*, edited by Lewis G. Weeks. Special Publication 18. Tulsa: The American Association of Petroleum Geologist.
- Pacheco-Sintura, P. et al., 2014. Compositional characterization and storage capacity of shale samples from La Luna and Conejo Formations (Middle Magdalena basin and the Eastern Cordillera): Implications for evaluation of cretaceous shale gas in Colombia. Scielo. Recuperado 14 de febrero de 2023, de

<http://mr.crossref.org/iPage?doi=10.15446%2Frbct.n37.43685>.

Patarroyo, G. et al., 2021. Reconocimiento geológico de la Formación La Luna en el sector de Matanza (Oeste del Macizo de Santander, Colombia). Boletín De Geología.

Patarroyo, G. et al., 2023. Maastrichtian microfossils of the shallow marine Umir Formation, North-eastern Colombia. Ameghiniana.

Pellant, C., 1993. Manuales de identificación. Rocas y minerales. Ediciones Omega, S.A.

Ponce, J. et al. (s/f). ATLAS DE ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS INORGÁNICAS Y BIOGÉNICAS. Fundacionypf.org. Recuperado el 19 de mayo de 2023, de <https://fundacionypf.org/Documents/Publicaciones/ATLAS-ESTRUC-SEDIMINORGANICAS-BIOGENICAS-.pdf>.

Rangel, A. et al., 2000. The La Luna formation: chemostratigraphy and organic facies in the Middle Magdalena Basin. Organic Geochemistry.

Sanchez, H.J. & Valentinuzzi, M.C., 2006. X Ray Spectrom.

Sarmiento, G. et al., 2015. Estratigrafía y Petrofacies de la Formación La Luna en el Sinclinal de Nuevo Mundo, Valle Medio del Magdalena.

Sarmiento, L.F., 2011. Middle Magdalena Basin. Geology and hydrocarbon potential. In: Cediell F (ed) Petroleum geology of Colombia. Universidad Eafit for ANH, Medellín.

Sarmiento-Rojas, L.F., 2001. Mesozoic rifting and Cenozoic basin inversion history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes. Inferences from tectonic models. Ph.D. Thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam.

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

Valentinuzzi, M. C., 2008. Análisis por fluorescencia de rayos x: implementación de guías de haces en reflexión total.

Vega, L.M., 2014. Estratigrafía de la Formación La Luna en el Valle Medio del Magdalena. Trabajo de Grado, Departamento de Geociencias. Universidad Nacional de Colombia.

Velasquez, C.A., 2019. Geología y optimización del control de calidad con el uso del analizador de fluorescencia por rayos X (XRF) en unidad minera Cerro Lindo, Chinca – Ica. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de Geología, Geofísica y Minas. Arequipa – Perú.

Ward, D.E. et al., 1973. Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, Departamento de Santander. Boletín Geológico.

Ward, D. E. et al., 1977. “Mapa Geológico del cuadrángulo H-12, Colombia, Bucaramanga, escala 1:100.000”. Instituto Nacional de Investigaciones GeológicoMineras.

Wei, W., & Algeo, T., 2020. Elemental proxies for paleosalinity analysis of ancient shales and mudrocks. *Geochimica Et Cosmochimica*.

Yelwa, N. et al., 2022. Biomarkers, stable carbon isotope, and trace element distribution of source rocks in the Orange Basin, South Africa: implications for paleoenvironmental reconstruction, provenance, and tectonic setting. *Journal Of Petroleum Exploration and Production Technology*.