

**CARACTERIZACION GEOQUIMICA DE LA ROCA FUENTE DE
HIDROCARBUROS DEL PALEOZOICO SUPERIOR DE LAS FORMACIONES
DIAMANTE Y TIBURON, CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA”.**

JAIRO ANDRÉS QUINTERO NAVAS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2011**

**“CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LA ROCA FUENTE DE
HIDROCARBUROS DEL PALEOZOICO SUPERIOR DE LAS FORMACIONES
DIAMANTE Y TIBURÓN, CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA”.**

JAIRO ANDRÉS QUINTERO NAVAS

TESIS DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO DE GEÓLOGO

DIRECTOR:

MARIO GARCÍA GONZÁLEZ, Ph.D.

PROFESOR TITULAR.

CO-DIRECTOR:

LUIS ENRIQUE CRUZ, Ph.D.

PROFESOR TITULAR

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS FISICOQUÍMICAS

ESCUELA DE GEOLOGÍA

BUCARAMANGA

2011

Dedicatoria

A Dios por su inmensa misericordia y amor, por ser la luz en mi camino.

*A mi madre Luz Amparo y a mi padre Jairo Orlando quienes con su ejemplo,
apoyo y gran amor han hecho de mí el hombre que soy.*

*A mis hermanas Carito y Titi quienes llenan de alegría mi vida y día a día me
manifiestan su gran confianza y cariño.*

A mis amigas y amigos de la vida...espero tenerlos siempre.

Andrés Quintero.

AGRADECIMIENTOS

En especial a Dios y a mis padres, a quienes les debo todo, porque sin su apoyo, sacrificio y gran amor nada de esto hubiera sido posible. Y a mis hermanas, amigos y amigas por aportar su granito de arena en la realización de esta meta.

A Mario García González, director de este proyecto, por sus enseñanzas, apoyo, paciencia y tiempo.

Al geólogo y amigo Álvaro Mancera por su colaboración valiosa para la realización de este proyecto.

A todos los profesores que conforman la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, por hacer de mí la profesional que ahora soy. Especialmente a los profesores Mario García, Luis Enrique Cruz y Eliecer Uribe, también a Jorge Eduardo Pinto por su amistad y consejos, y a mis calificadores por sus sugerencias y tiempo.

Al Grupo de Investigación en Geología de Hidrocarburos y Carbones (GIGHC), por financiar este trabajo de investigación y por creer en los nuevos investigadores.

A CEMEX-Colombia S.A por permitir el levantamiento y muestreo de las columnas estratigráficas en el área de la Cantera La Cemento.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	16
1. OBJETIVOS	18
1.1. OBJETIVO GENERAL	18
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	18
2. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO	19
2.1 LOCALIZACIÓN	19
2.2. MARCO GEOLÓGICO	20
2.2.1 Geología Estructural.	20
2.2.2 Estratigrafía.	22
3. METODOLOGIA	26
3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	26
3.2 LEVANTAMIENTO DE COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	26
3.3 FASE DE MUESTREO	27
3.4 FASE ANALÍTICA	28
3.4.3 Caracterización de la Roca Fuente.	28
4. RESULTADOS	30
4.1 ANÁLISIS FACIAL PARA LA FORMACIÓN DIAMANTE.	30
4.1.1 Estratigrafía de la Formación Diamante.	30
4.1.2 Facies de la Formación Diamante.	57
4.1.3 Interpretación ambiental de la Formación Diamante	60
4.2 ANÁLISIS FACIAL PARA LA FORMACIÓN TIBURÓN.	66
4.2.1 Estratigrafía de la Formación Tiburón.	66
4.2.2 Facies de la Formación Tiburón.	73
4.2.3 Interpretación ambiental de la Formación Tiburón.	74

4.3 PETROGRAFIA DE LAS FACIES RICAS EN MATETIRA ORGANICA DE LAS FORMACIONES DIAMANTE Y TIBURON	76
4.4 CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN GEOQUÍMICA	97
4.4.1 Resultados de T.O.C.	97
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
BIBLIOGRAFIA	104

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de localización geográfica del área de estudio.	19
Figura 2: Mapa de principales rasgos geológicos y estructurales.	22
Figura 3: Unidades estratigráficas de las provincias tectónicas de la Cordillera Oriental (modificado de Royero & Clavijo 2001).	23
Figura 4: Formato utilizado para la recolección de información de campo del levantamiento de la columna estratigráfica.	27
Figura 5: Ubicación de las poligonales de las Formaciones Diamante y Tiburón.	30
Figura 6: Poligonal y perfil geológico del miembro inferior Formación Diamante 32 Escala 1:2000.	32
Figura 8: fotografía de la muestra MDI-001.	34
Figura 9: fotografía de afloramiento de la	35
Figura 10: fotografía de la muestra MDI-002.	36
Figura 11: fotografía de la muestra MDI-003.	37
Figura 12: fotografía de la muestra MDI-004	38
Figura 13: fotografía de la muestra MDI-005.	39
Figura 14: Poligonal y perfil geológico miembro medio Formación Diamante. Escala 1:2000	41
Figura 15: Columna estratigráfica generalizada del miembro medio de la Formación Diamante a escala 1:1000.	42
Figura 16: fotografía de la muestra MDM-006.	43
Figura 17: Fotografía de la muestra MDM-007.	44
Figura 18: Fotografía de la muestra MDM-008.	44
Figura 19: fotografía de la muestra MDM-011. Micrita.	45
Figura 20: fotografía de la muestra MDM-013.	46
Figura 21: Fotografía de la muestra MDM-014.	47

Figura 22: Poligonal y perfil geológico del miembro superior Formación Diamante.	48
Figura 23: Columna estratigráfica generalizada del miembro superior de la Formación Diamante. Escala 1:1000	49
Figura 24: Fotografía panorámica (Az foto 200°)	50
Figura 25: fotografía de la muestra MDS-020.	51
Figura 26: fotografía de la muestra MDS-021.	51
Figura 27: fotografía de la muestra MDS-027.	52
Figura 28: fotografía de la muestra MDS-028.	53
Figura 29: fotografía de la muestra MDS-034.	54
Figura 30: fotografía de la muestra MDS-044.	55
Figura 31: fotografía de la muestra MDS-045.	56
Figura 32: fotografía de la muestra MDS-048.	57
Figura 33: Fotografía DMCrino1	64
Figura 34: Poligonal y perfil geológico de la Formación Tiburón.	67
Figura 35: Columna estratigráfica generalizada de la Formación Tiburón a escala 1:1000.	68
Figura 36: fotografía de la muestra MTI-050.	69
Figura 37: fotografía de la muestra MTI-052.	70
Figura 38: fotografía de la muestra MTI-053.	71
Figura 39: fotografía de la muestra MTI-054.	72
Figura 40: Fotografía DM090034	76
Figura 41: Fotografía DM090058	77
Figura 42: Fotografía DS200024	78
Figura 43: Fotografía DS200032	79
Figura 44: Fotografía DS210009	80
Figura 45: Fotografía DS210010	81
Figura 46: Fotografía DS270008	82
Figura 47: Fotografía DS270006	83

Figura 48: Fotografía DS280054	84
Figura 49: Fotografía DS280050	85
Figura 51: Fotografía DS300007	87
Figura 52: Fotografía DS460004	88
Figura 53: Fotografía DS460015	89
Figura 54: Fotografía DS470011	90
Figura 55: Fotografía DS470023	91
Figura 57: Fotografía DS480007	93
Figura 58: Fotografía TI540005	94
Figura 59: Fotografía TI540018	95
Figura 60: Fotografía TI54003	96

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Parámetros de interpretación de Carbono Orgánico Total	97
Tabla 2: Resultados de TOC obtenidos de las 54 muestras y	98
Tabla 3: Parámetros de Interpretación de Tmax	101
Tabla 4: Parámetros de Interpretación de HI para determinar el tipo de Kerógeno	101
Tabla 5: Resultados de Pirolisis Rock-Eval	102

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Columna estratigráfica Formación Diamante. Escala 1.500.....	Digital
ANEXO B. Columna estratigráfica Formación Tiburón. Escala 1.500.....	Digital
ANEXO C. Catálogo Descripción Macroscópica.....	Digital
ANEXO D. Catálogo Descripción Microscópica.....	Digital

RESUMEN

TITULO: CARACTERIZACION GEOQUIMICA DE LA ROCA FUENTE DE HIDROCARBUROS DEL PALEOZOICO SUPERIOR DE LAS FORMACIONES DIAMANTE Y TIBURON, CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA*.*

AUTOR: ANDRÉS QUINTERO NAVAS**

PALABRAS CLAVE: Formación Diamante, Formación Tiburón, Paleozoico, TOC, Tmax, HI, Geoquímica.

DESCRIPCIÓN

En este trabajo se realizó una caracterización geoquímica para las rocas del Paleozoico de la Formación Diamante y la Formación Tiburón, ubicadas en la cordillera Oriental al norte de la ciudad de Bucaramanga. Se inicia el estudio con el levantamiento de dos columnas estratigráficas a escala 1:500 por medio de poligonales abiertas y un posterior muestreo para la realización de los análisis petrográficos y geoquímicos. La interpretación de ambientes de depositación se hizo identificando los diferentes tipos de facies y macrofacies. Los ambientes propuestos para los segmentos de mayor interés son ambientes de plataforma abierta para el segmento XVIII y XXII de la Formación Diamante, y ambiente continental de abanico aluvial para el segmento XXVIII de la Formación Tiburón. Esta caracterización geoquímica se realizó por medio de análisis tales como TOC y Pirolysis Rock-Eval.

De acuerdo a la información obtenida de la caracterización geoquímica, la tendencia en las rocas de las dos formaciones es un TOC pobre ($\text{TOC} < 0.5\%$) aproximadamente el 90% del total de las muestras, a excepción de las anomalías mostradas en los segmentos de interés, con un TOC excelente ($\text{TOC} > 4.0\%$) en la muestra MDS-027 del segmento XVIII y un TOC bueno (TOC entre $1.0 - 2.0\%$) en la muestra MDS-048 del segmento XXII ambas de la Formación Diamante. En la Formación Tiburón se encontró una anomalía con TOC muy bueno (TOC entre $2.0 - 4.0\%$) en la muestra MTI-054 del segmento XXVIII. Los resultados del Tmax se hallan entre los 470°C y 481°C , encontrándose entonces estas rocas en el rango de madurez termal de sobremadura ($\text{Tmax} > 470^{\circ}\text{C}$) y los resultados de IH muestran un calidad de materia orgánica de Kerógeno Tipo IV.

* Trabajo de Investigación.

** Facultad de Ingeniería Físicoquímicas, escuela de Geología, Director Mario García González.

ABSTRACT

TITLE: GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF OIL SOURCE ROCKS OF UPPER PALEOZOIC, DIAMANTE FORMATION AND TIBURÓN FORMATION, EASTERN CORDILLERA, COLOMBIA .

AUTHOR: ANDRÉS QUINTERO NAVAS.**

KEY WORDS: Diamante Formation, Tiburón Formation, Paleozoic, TOC, Tmax, HI, Geochemistry.

DESCRIPTION

This study was conducted to characterize the geochemistry of the Paleozoic rocks of the Diamante Formation and Tiburón Formation, located in the Eastern Cordillera range north of the city of Bucaramanga. We began to study with the lifting of two 1:500 scale stratigraphic columns through open polygonal and subsequent sampling for the realization of the petrographic and geochemical analysis. The interpretation of depositional environments was made by identifying the different types of facies and macrofacies. Environments proposed for segments of interest, are open-platform environments for the segment XVIII and XXII of the Diamante Formation, and continental alluvial fan environment for the Tiburón Formation segment XXVIII. The geochemical characterization was performed by analysis such as TOC and Rock-Eval Pyrolysis.

According to the information obtained from the geochemical characteristics, the trend in the rocks of the two formations is a poor TOC (TOC <0.5%), approximately 90% of total samples, with the exception of the anomalies shown in the segment of interest, with an excellent TOC (TOC > 4.0%) in MDS-027 sample, segment XVIII and good TOC (TOC between 1.0 - 2.0%) in MDS-048 sample, segment XXII, both Diamante Formation. Tiburón Formation found an anomaly with very good TOC (TOC between 2.0 - 4.0%) MTI-054 sample, in the XXVIII segment. The results of Tmax are among the 470 °C and 481 °C, being then these rocks in the range of thermal maturity of overmature (Tmax > 470 °C) and the results of IH show a quality of organic matter of kerogen Type IV.

* Research Project

** Physicochemical Faculty of Engineering, School of Geology, Director Mario García González.

INTRODUCCION

La importancia del presente estudio es debido a que la mayoría de las rocas fuente de hidrocarburos en Colombia son del Cretáceo Superior y algunas del Cretáceo Inferior. Hasta el momento no se reportan en el país rocas fuente de hidrocarburos del Paleozoico. En caso de existir, se abre una nueva frontera de exploración en dichos lugares.

El presente estudio se realizó en la Cantera Suratá de la Compañía Cemex en un área de aproximadamente 12 km², ubicada al Norte de la ciudad de Bucaramanga en el departamento de Santander, en donde Dickey (1941; en Ward et al 1973), Jullivert (1959 y 1961), Navas 1962 y León 1991 ya habían reportado y descrito unidades sedimentarias de edad paleozoica.

La investigación tiene por objetivo realizar una caracterización geoquímica de la posible roca fuente de hidrocarburos del Paleozoico Superior de la Formaciones Diamante y Formación Tiburón, a partir de muestras obtenidas en Campo.

Se pretende partir de la cartografía geológica a escala 1:5000 suministrada por las tesis de pregrado de Geología de Arias & Gómez 1993: “Contribución al conocimiento geológico de la Formación Tiburón, en un sector al Norte de Bucaramanga” y Bernal & Lázaro 1994: “Estudio de las Sedimentitas al N de Bucaramanga (Sector Vuagual – Los Colorados - Finca Cementos Diamante)”; seleccionar los lugares donde hay mejor exposición de los afloramientos de las Formaciones Diamante y Tiburón para levantar las columnas estratigráficas a escala 1:500 controladas con poligonales abiertas.

En el trabajo de Campo se recolectaron muestras representativas para realizar un estudio petrográfico en secciones delgadas, como también análisis químicos de la

cantidad de materia orgánica (TOC), calidad de la materia orgánica (tipo de Kerógeno) y análisis de madurez termal de la Roca (R_o).

Teniendo en cuenta el trabajo de Campo, la petrografía, los análisis químicos y el análisis facial realizado para la Formación Diamante y Formación Tiburón, se busca hacer una interpretación de ambiente de depositación para las mismas y su relación con las facies orgánicas y grado de maduración.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterización geoquímica de las posibles rocas fuente de hidrocarburos.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Levantar una columna estratigráfica a escala 1:500 de la Formación Diamante y de la Formación Tiburón.
- Realizar un estudio petrográfico de la Formación Diamante y de la Formación Tiburón por medio de secciones delgadas y secciones pulidas.
- Realizar un estudio geoquímico de la Formación Diamante y de la Formación Tiburón por medio de los análisis químicos: T.O.C, Pirolisis Rock-Eval y reflectancia de Vitrinita (R_o).
- Realizar una interpretación de ambientes de depositación para la Formación Diamante y de la Formación Tiburón.

2. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio se encuentra localizada en la vereda El Paulón-1 hacia el Norte de la ciudad de Bucaramanga en el departamento de Santander – Colombia (Figura 1), en la mina de cemento perteneciente a la cantera de la compañía CEMEX-COLOMBIA S.A., sobre la cordillera Oriental colombiana. Geológicamente se encuentra al costado oeste de la Falla Bucaramanga-Santa Marta, en afloramientos del Paleozoico, a la altura de las coordenadas planas:

$X_1: 1'104.688$ $Y_1: 1'286.186$
 $X_2: 1'105.636$ $Y_2: 1'284.880$

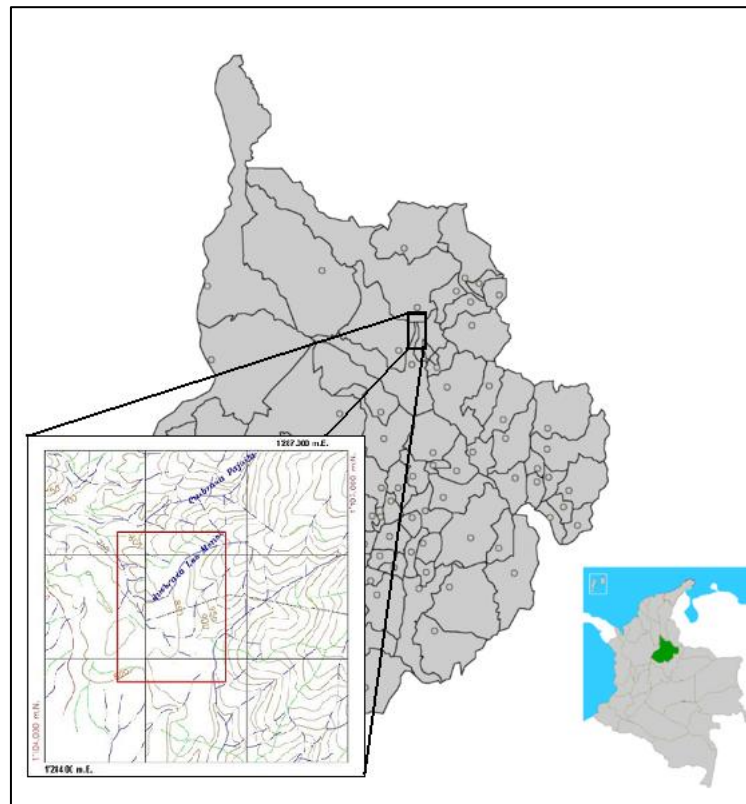


Figura 1. Mapa de localización geográfica del área de estudio.

Adoptadas del sistema de coordenadas para Colombia (Esteroide Internacional 1904, proyección conforme de Gauss) con origen de coordenadas X: 1´000.000 y Y: 1´000.000, del observatorio astronómico de Santafé de Bogotá D.C. (Figura 1.).

2.2. MARCO GEOLÓGICO

2.2.1 Geología Estructural. La zona de estudio se encuentra dominada por el sistema de falla Bucaramanga-Santa Marta, ubicado al costado más oriental. Este sistema de fallas es considerado como el rasgo estructural más importante, es de gran extensión y tiene una dirección de N20°W, con un desplazamiento sinistral calculado por Campbell (1965), y un importante componente vertical, descrito por Jullivert (1958,1961); según la memoria explicativa del Departamento de Santander y el mapa H12 Bucaramanga (Campbell, 1965; León, 1991; Vargas y Niño 1992; Clavijo 1994).

Este sistema ha deformado, plegado y generado una secuencia de fallas inversas y de rumbo en la zona norte de Bucaramanga, las cuales en la zona de estudio han permitido el desplazamiento, plegamiento y fracturamiento de la formación Diamante y Tiburón. Encontrándose entre las litologías correspondientes a el miembro inferior de la Formación Diamante y el miembro medio de la misma Formación, hay una falla local, a ésta la llamaremos Falla Diamante, como registro estructural que describe la existencia de esta falla encontramos datos de rumbo los cuales presentan diferencias estructurales de rumbo; esta falla se encuentra descrita en el mapa H12, presentando una dirección NW, con características similares a la registrada por el sistema de fallas Bucaramanga – Santa Marta.

En el costado más W de la zona de estudio se reporta la existencia de una falla, con características de una falla de rumbo la cual se encuentra cubierta por un

depósito cuaternario. Durante la exploración y toma de registro de los datos, se observó la presencia de una serie de fallas locales con características de rumbo y de dirección las cuales, se comportan de una forma paralela en todo el sistema que controla esta formación litológica (Figuras 2), como dato estructural importante se encontraron estilolitos en la descripción de las secciones delgadas, esta estructura se generaron por compresión y fracturamiento posterior de la roca caliza, permitiendo una disolución en la roca, como consecuencia de la presión que se ejerció sobre la roca caliza; esta estructura de presión-disolución se encontró en las muestras MDS-020, MDS-021, MDS-027, MDS-028 (Anexo 4), pertenecientes al nivel superior de la Formación Diamante.

- **Falla Bucaramanga – Santa Marta**

El sistema de fallas Bucaramanga – Santa Marta esta dominando la zona de estudio y se caracteriza por ser de tipo sinistral con una dirección aproximada de N30°W, con un buzamiento de 80°NE. Según Jullivert (1961), esta falla presenta un movimiento inverso el cual se aprecia más al occidente, este sistema pone en contacto las litologías del paleozoico de las Formaciones Diamante (PCd) y Tiburón (TRPt), pertenecientes al grupo Surata; con rocas ígneas del jurasico de Cuarzo Monzonita y granito (JTRcg).

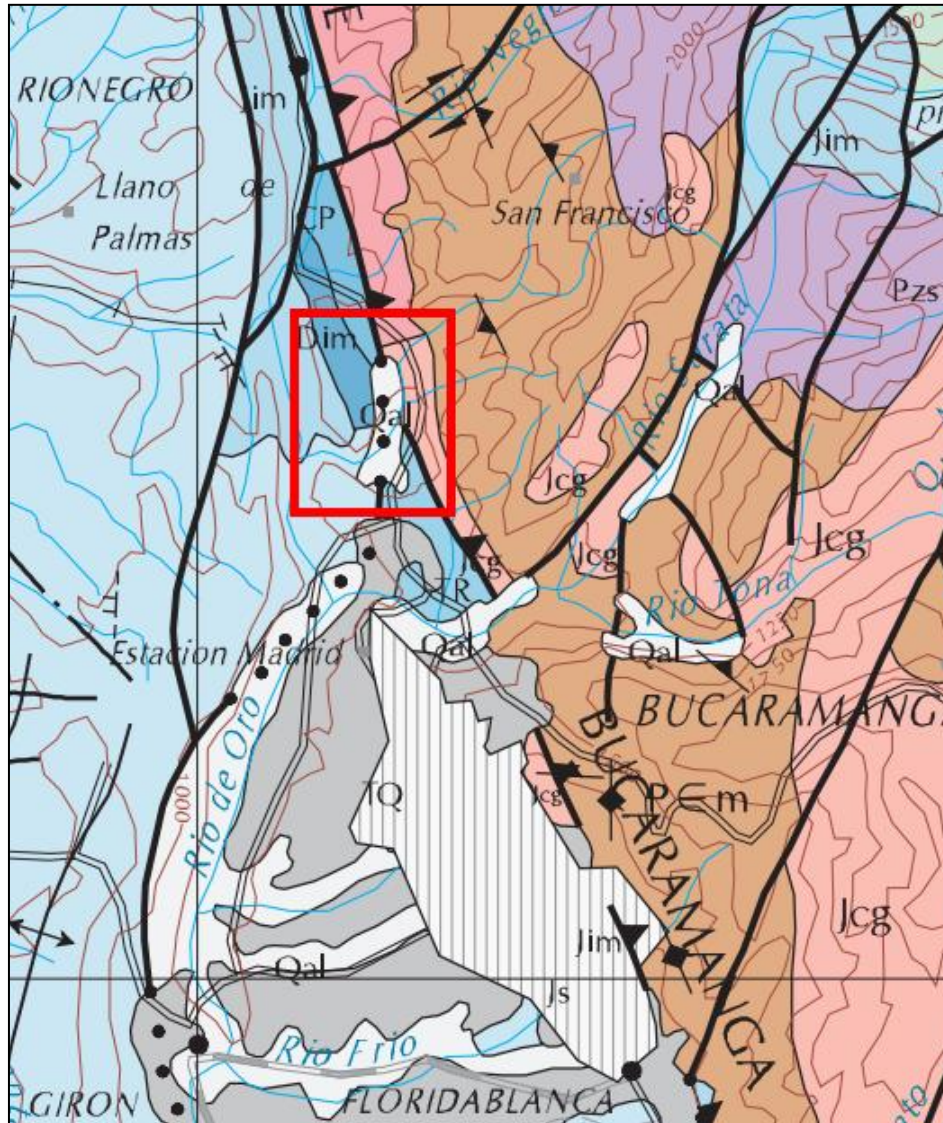


Figura 2: Mapa de principales rasgos geológicos y estructurales. Tomado del mapa Geológico del Cuadrángulo H-12, Bucaramanga, 1977.

2.2.2 Estratigrafía. La secuencia estratigráfica en el área de estudio inicia con rocas del Devónico Medio correspondientes a la Formación Floresta, luego se tienen rocas del Pensilvaniano medio al Pérmico medio correspondiente a la Formación Diamante y finaliza con rocas del Carbonífero Superior – Pérmico Medio y Triásico correspondientes a la Formación Tiburón (según Ward et al, 1973). Las dos últimas, objeto de estudio de este trabajo.

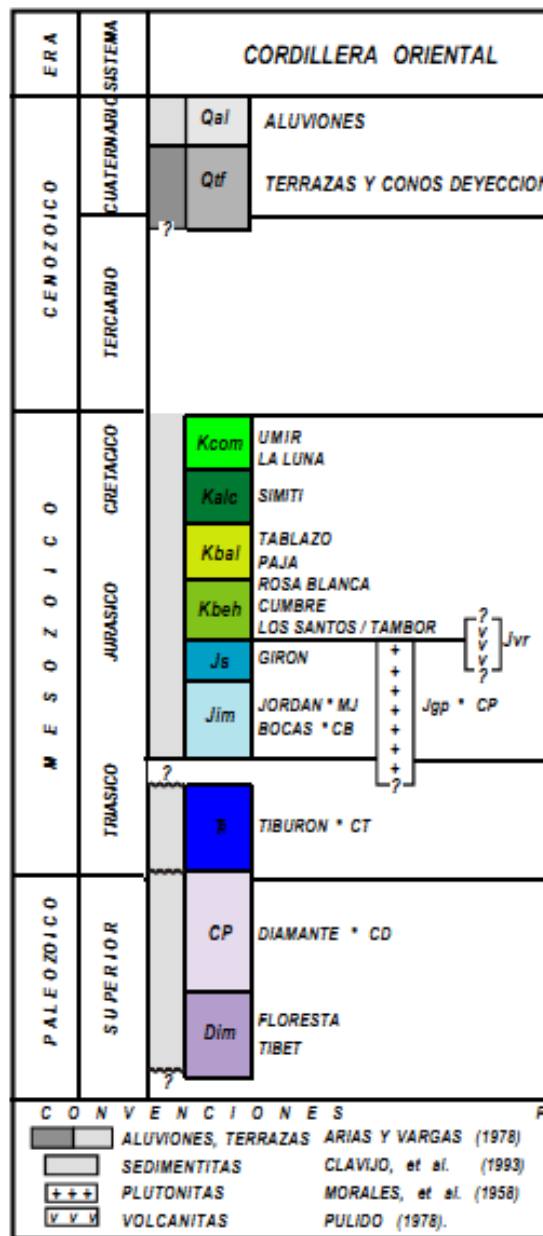


Figura 3: Unidades estratigráficas de las provincias tectónicas de la Cordillera Oriental (modificado de Royero & Clavijo 2001).

2.2.2.1 Formación Diamante. La Formación Diamante forma la parte inferior de la Serie Suratá y fue descrita por Dickey (1941; en Ward et al, 1973). Para Ward et al. (1973) constituye la parte inferior de la sección que fue medida y descrita por Navas (1962).

La sección tipo localizada en las canteras de Cementos Diamante S.A con espesor aproximado de 570.8 m y se le asigna edad desde el Pensilvaniano medio al Pérmico medio, por el contenido fosilífero (Ward 1973).

Ward (1973) dividió la Formación Diamante en tres miembros: Miembro Inferior caracterizado por Areniscas de grano grueso a grano fino gris, crema y verde. Miembro Medio formado por Lodolitas a Areniscas de grano muy fino verdes, pardo y gris con intervalos de rocas carbonatadas (microesparita, micrita fosilífera, biomicrita, bioesparita e intramicrita) color gris y pardo; y el Miembro Superior compuesto en su totalidad por rocas sedimentarias carbonatadas (biomicritas, bioesparitas y en menor proporción micritas a micritas fosilíferas) grises.

La Formación Diamante presenta límite estratigráfico a la base con la Formación Floresta y hacia el techo presenta límite estratigráfico discordante con la Formación Tiburón.

2.2.2.2 Formación Tiburón. La Formación Tiburón forma la parte superior de la Serie Suratá descrita por Dickey (1941; en Ward et al, 1973).

La sección tipo se encuentra a lo largo del lado Sur del río Suratá y parcialmente sobre la vía Bucaramanga – Suratá con espesor de 350 m según Arias y Gómez (1993) y 450 – 500 m según Ward et al. (1973) que le asigna edad entre el Carbonífero Superior – Pérmico Medio y Triásico, conforme a su localización estratigráfica entre las Formaciones Diamante y Bocas.

Según Navas, J. (1962) está constituida por una serie de calizas conglomeráticas con cantos calcáreos de color más oscuro que la masa de caliza y con un diámetro que oscila entre 1 – 10 cm, siendo más frecuente los de 1 – 5 cm.

Según Castro. A, (1968; en Ward et al 1973) son principalmente capas masivas de conglomerados gris oscuro con guijos de caliza de la infrayacente Formación Diamante, incluidos en una matriz calcárea, gris, de grano fino.

Según Arias y Gómez (1993) son una intercalación de niveles de calcirudita gris con niveles de calcarenita gris a rojizo.

3. METODOLOGIA

Para el desarrollo y logro de los objetivos formulados se hizo un trabajo distribuido en las siguientes fases: 1) Fase de revisión bibliográfica, 2) Fase de levantamiento de columna estratigráfica, 3) Fase de Muestreo y 4) Fase analítica.

3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Esta etapa del proyecto consiste en la revisión de la información estratigráfica, petrográfica, paleontológica y geoquímica existente en la cuenca. Para esto se tuvieron en cuenta principalmente los trabajos de Ward et al 1973, Navas J. (1962), Arias y Gómez (1993) y Bernal & Lázaro (1994).

3.2 LEVANTAMIENTO DE COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

Fase de campo que fue realizada durante 14 días en la antigua carretera Bucaramanga – Ríonegro y en la cantera de la finca La Cemento de la compañía CEMEX, al norte de la ciudad de Bucaramanga. Se realizó la columna estratigráfica a una escala 1:500. La columna estratigráfica se levantó por medio de poligonales abiertas georeferenciadas. La recolección de información se realizó empleando el formato indicado en la figura 4.



 Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS												Columna Estratigráfica de las Formaciones Tiburón.													
Mina de Cemex																									
Etapa	Unidad	Contorno	Composición	Elementos	Representación	Muestra	Asesor capital	Asesor	LITOLOGÍA	GRANULOMETRÍA			TEXTURA			Color	Folios	Descripción							
										LOCO	GRAN	GRAN	GRAN	GRAN	GRAN										
COLUMNA No.						LOCALIZACIÓN:						UNIDADES GEOLÓGICAS:													
Escala 1:100																									
Coordenadas Poligonal						Elaborado por:																			
Punto Inicial.																									
Punto Final.																									

Figura 4: Formato utilizado para la recolección de información de campo del levantamiento de la columna estratigráfica.

3.3 FASE DE MUESTREO

Se realizó un inventario de las muestras tomadas en campo durante el levantamiento de la columna estratigráfica. El muestreo se realizó teniendo en cuenta las diferentes características litológicas en las rocas de las formaciones de interés para el presente trabajo. Después de hacer una revisión general de la cantidad de muestras disponibles, la selección se lleva a cabo teniendo en cuenta litologías finas y carbonatadas principalmente, se tuvo preferencia en la coloración oscura de las muestras.

Se realizó el análisis de las pruebas preliminares de Carbono Orgánico Total a todas las 54 muestras seleccionadas del levantamiento de la columna estratigráfica, con el fin de establecer la cantidad de materia orgánica presentes en la zona de estudio para iniciar los análisis geoquímicos posteriores.

A las muestras que presentaron un porcentaje de COT mayor a 0.4% fueron seleccionadas para hacerles el análisis geoquímico de Reflectancia de Vitrinita. En total fueron 10 el número de muestras que dieron un porcentaje de COT mayor a 0.4% de las cuales solo 5 de ellas presentaron un porcentaje mayor a 0.5%. Es

por este motivo que se decide no realizar el análisis geoquímico de Rock-eval, debido a que los resultados de este análisis no serían representativos para toda la formación.

3.4 FASE ANALÍTICA

Comprende la descripción macroscópica y microscópica de las muestras seleccionadas, y la caracterización de la roca madre y de la materia orgánica.

3.4.1 Descripción Macroscópica. La descripción macroscópica de las muestras recolectadas fue realizada en dos fases: la primera de ellas fue una descripción general hecha en campo y la segunda de ellas fue más detallada, y para ello se usaron las lupas estereoscópicas de 40X de aumento de la escuela de geología de la Universidad Industrial de Santander. Las muestras fueron descritas usando los modelos de clasificación para rocas sedimentarias según Folk, 1974 (ver ANEXO C).

3.4.2 Descripción Microscópica. La descripción microscópica de las muestras recolectadas fue realizada usando los microscopios de luz reflejada *NIKON eclipse E-200* de la escuela de geología de la Universidad Industrial de Santander. La descripción se hizo por medio de conteo de puntos, con un total de 300 puntos, se usaron los modelos de clasificación para rocas sedimentarias según Folk, 1974 y se tomaron fotografía de las secciones delgadas en sus partes más representativas (Ver sección 4.3 y Anexo 4).

3.4.3 Caracterización de la Roca Fuente. Para caracterizar la roca fuente, en una sección es necesario conocer la cantidad, calidad y madurez térmica de la materia orgánica presente en las muestras. A continuación se describe cada parámetro:

- **Cantidad de la materia orgánica**

Este parámetro se mide a partir del análisis del porcentaje de Carbono Orgánico Total (TOC, por sus siglas en inglés). El equipo que se utilizó para este análisis fue LECO 144SR del laboratorio de geología en Guatiguará.

- **Calidad de roca fuente**

La calidad de la materia orgánica se describe a partir de microscopía de luz transmitida mediante la identificación de los tres principales grupos de componentes orgánicos: materia orgánica amorfa, materia orgánica leñosa y palinomorfos (facies orgánicas de Tyson); además de otros componentes secundarios tales como bitumen, hongos, foraminíferos, algas. Este análisis no se pudo realizar debido al tamaño de la materia orgánica, que por ser muy pequeño, no permitía hacer una correcta medición de la reflectancia de Vitrinita. Ni los microscopios de la sede de la UIS en Guatiguará ni los del ICP tenían los objetivos necesarios para la medición de este tamaño de materia orgánica.

- **Pirolisis Rock-eval**

La pirolisis es una técnica analítica de la industria del petróleo que permite evaluar en una roca la presencia de trazas de hidrocarburos, el potencial de generación de crudo o gas y la madurez termal de una posible roca generadora de hidrocarburos, también da la información del tipo de materia orgánica. Para muestras con tan bajos porcentajes de TOC (<0.5%), las curvas de campana de S1 y S2 son muy tenues y no se les puede hacer una correcta interpretación. Es por este motivo que se realizan los análisis de Pirolisis Rock-eval para las muestras con TOC con porcentaje mayor de 0.5%.

4. RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS FACIAL PARA LA FORMACIÓN DIAMANTE.

4.1.1 Estratigrafía de la Formación Diamante. La columna estratigráfica de la Formación Diamante (ANEXO A) se levantó en dos sectores diferentes. El primero de ellos por un sector de la antigua carretera Bucaramanga – Ríonegro, en donde aflora el miembro inferior de la Formación Diamante, y el segundo sector está ubicado en la cantera La Cemento de la compañía CEMEX, en donde afloran los miembro medio y superior de la Formación Diamante (Figura 5). La Formación Diamante tiene un espesor total de 589.47 m y se le asigna edad desde el Pensilvaniano medio al Pérmico medio, por el contenido fosilífero (Ward 1973).

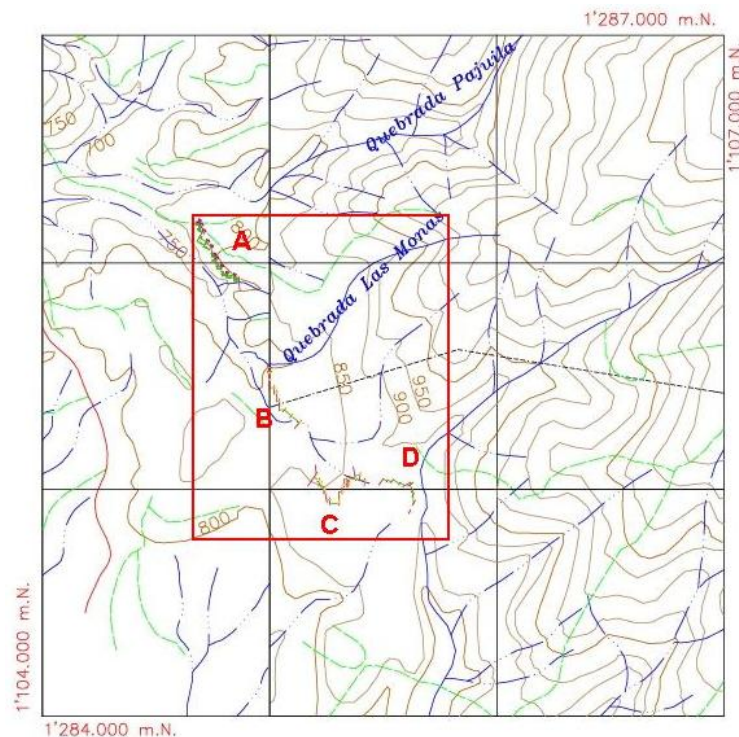


Figura 5: Ubicación de las poligonales de las Formaciones Diamante y Tiburón. A) Poligonal miembro inferior Formación Diamante, B) Poligonal miembro medio Formación Diamante, C) Poligonal miembro superior Formación Diamante y D) Poligonal Formación Tiburón.

La columna estratigráfica de la Formación Diamante fue dividida en 51 intervalos agrupados en XXII segmentos. Los primeros X segmentos pertenecen al miembro inferior de la Formación Diamante, del segmento XI al segmento XVI pertenecen al miembro medio y del segmento XVII al segmento XXII pertenecen al miembro superior de la Formación Diamante. A continuación se muestra la descripción de cada uno de los segmentos para los miembros de la Formación Diamante:

- **Miembro Inferior:**

El miembro inferior de la Formación Diamante aflora en la antigua carretera Bucaramanga – Rionegro, la poligonal levantada se observa en la figura 6. El contacto con la Formación Floresta, que es la unidad que la infrayace, está separado por una superficie de erosión. El miembro inferior de la Formación Diamante tiene un espesor de 187.66m, eso son casi 38m más que lo propuesto por Ward, 1973. La columna estratigráfica generalizada se puede observar en la figura 7.

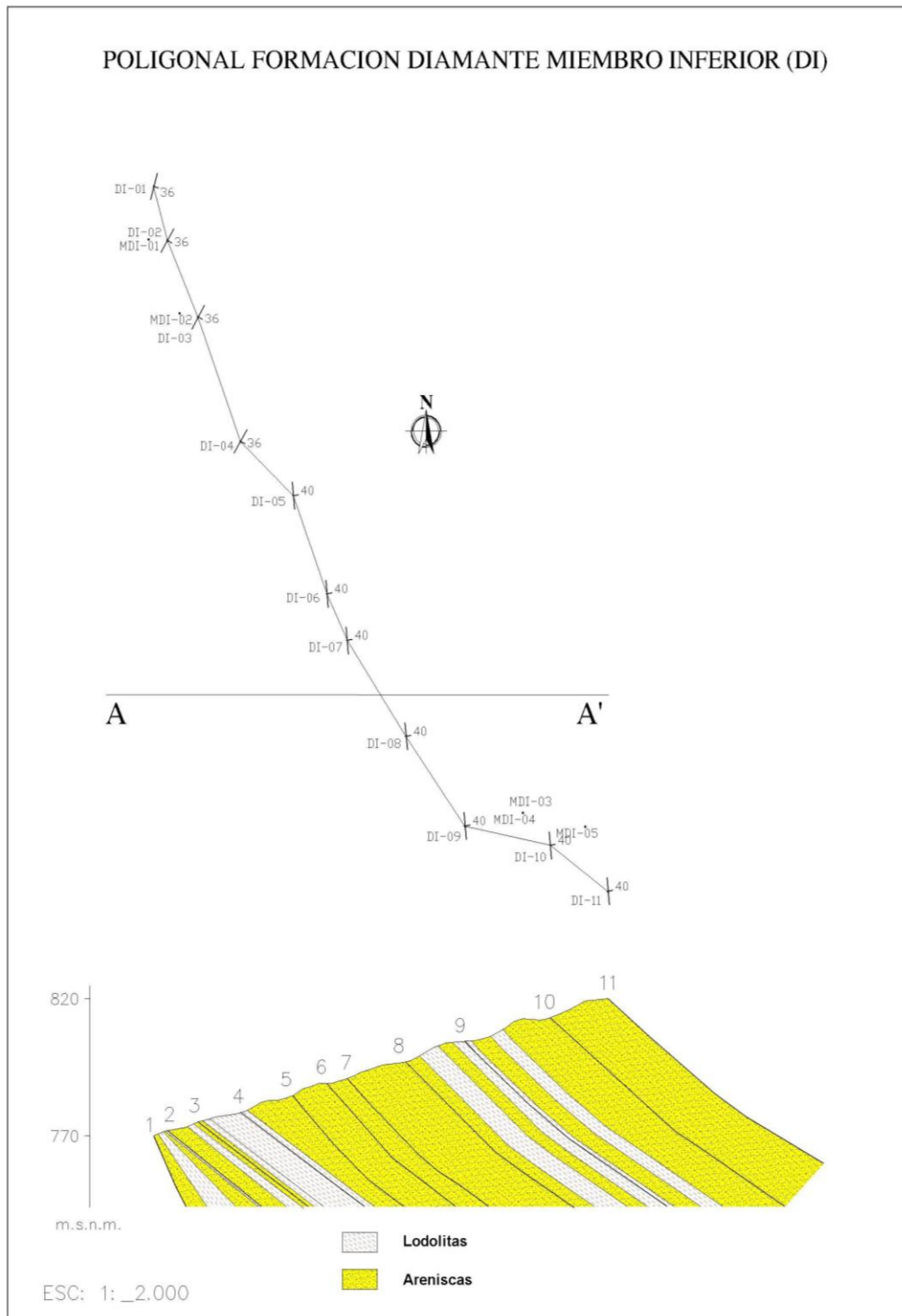


Figura 6: Poligonal y perfil geológico del miembro inferior Formación Diamante
Escala 1:2000.

SEGMENTO	CAPA	LITOLOGIA					ESTRUCTURA SEDIMENTARIA		VALORES GEOQUIMICOS			AMBIENTE
		gmt	gr	gm	gg	qmg	SUPERFICIE ESTRATIFICACION	FOSILES	MUESTRA	TOC	ROCK/EAL	
		mud	wack	pack	grain							
S-X	C-19	X										
S-IX	C-18	[Laminated pattern]					S		MDI-05	0,0633		Canal mareal
	C-17											
	C-16											
S-VIII	C-15	[Laminated pattern]					S		MDI-04	0,0600	Llanura mareal	
S-VII	C-14											
S-VI	C-13	[Laminated pattern]					S	Cri	MDI-03	0,1776		Llanura mareal
	C-12											
	C-11											
S-V	C-10	[Laminated pattern]					S					Canal mareal
	C-9											
S-IV	C-8	[Laminated pattern]					S					Canal mareal
S-III	C-7	[Laminated pattern]					S		MDI-02	0,1286		Canal mareal
S-II	C-6	[Laminated pattern]					S					Llanura mareal
	C-5	[Laminated pattern]					S					Llanura mareal
	C-4											
S-I	C-3	[Laminated pattern]					S					Canal mareal de relleno
	C-2											
	C-1	[Laminated pattern]					S		MDI-01	0,0652		Canal mareal de relleno

Figura 7: Columna estratigráfica generalizada del miembro inferior de la Formación Diamante a escala 1:1000.

Segmento I

Este segmento se encuentra conformado por dos intervalos de areniscas Sublitaranita de grano medio lodosa de color morado muestra MDI-001 (ver figura 8 y ANEXO C) con tamaños de grano fino, medio y grueso están en una secuencia granocreciente que es más notable en las capas superiores. Se observan laminaciones plano paralelas y onduladas. Las capas se encuentran dispuestas de forma tabular, con espesores gruesos y medios, en contactos ondulados y subparalelos, las cuales se encuentran esporádicamente intercalados con paquetes de Limolitas Arenosas de colores morados y hacia el techo areniscas lodosa conglomeráticas. Presenta un espesor total 9.5m y esta dividido en dos intervalos, el intervalo C-1 de 5.5m y el intervalo C-2 de 4.0m de espesor.



**Figura 8: fotografía de la muestra MDI-001.
Sublitaranita lodosa de grano medio.
Formación Diamante miembro inferior segmento I**

Segmento II

Segmento de 13.5m de espesor conformado por 3 intervalos, las cuales se encuentran conformados por el intervalo C-03 de 4m de espesor, compuesto por una arenisca arcillosa litarenita feldespática de color morado, de grano fino a

medio, dispuesta en capas tabulares en contacto inferior ondulado y contacto superior difuso, el intervalo C-04 con un espesor de 4.5m está conformada por intercalaciones de Limolitas arenosas y areniscas Subarcosas arcillosas de grano muy fino a medio, en contacto ondulado; se observan laminaciones plano paralelas. El intervalo C-05 con un espesor de 5m presenta capas gruesas de areniscas subarcosas de color morado oscuro y claro, dispuestas de forma tabular con contactos ondulados entre las capas y presencia de laminaciones ligeramente onduladas finas.

Segmento III

Segmento de 15m de capas muy gruesas de areniscas arcillosas a cuarzoarenitas y capas de Limolitas dispuestas en estratos tabulares de hasta 80cm de espesor en contacto subparalelo. En el segmento se observa un predominio de las Limolitas color morado con presencia de micas, y de laminaciones onduladas finas y laminaciones tipo Flaser. El contacto con el siguiente segmento es planoparalelo (ver figura 9) y está separado o intercalado por un estrato de Limolitas color violáceo con un espesor de hasta 20cm.



Figura 9: fotografía de afloramiento de la Formación Diamante miembro inferior (Az foto 280°).

Segmento IV

Segmento de 11m de espesor compuesto de estratos gruesos de areniscas limosas Sublitarenita de color gris azulado con tamaño de grano fino a medio, subangulares a angulares bien calibrados, muestra MDI-002 (ver figura 10 y ANEXO C). Se observan secuencias granocreciente, y se encuentran dispuestas en capas tabulares con contactos irregulares. En algunos sectores se observa un delgado nivel conglomerático.

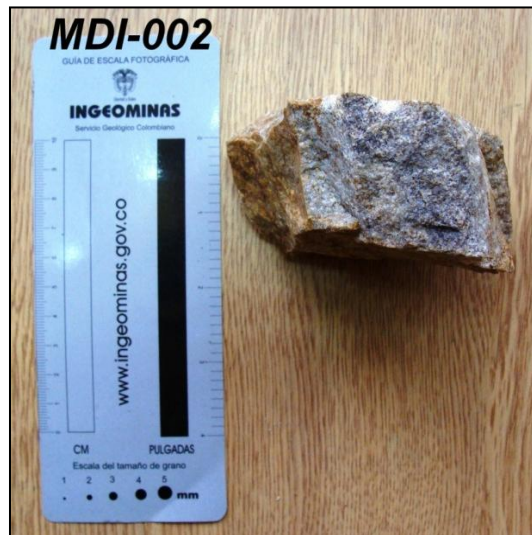


Figura 10: fotografía de la muestra MDI-002. Sublitarenita de grano fino a medio bien calibrada. Formación Diamante miembro inferior segmento IV

Segmento V

Segmento de 32.5m de espesor conformado por 2 intervalos, el intervalo C-08 de 30m de espesor compuesto por estratos gruesos a muy gruesos de areniscas lodosas conglomeráticas y Litarenita feldespática con tamaño de grano muy fino a grueso hacia la base y areniscas limosas tipo subarcosas hacia el techo. Las capas se encuentran en contactos ondulados e irregulares con el intervalo C-09 de espesor de solo 2.5m compuesto por un paquete de Limolitas rojizas arenosas.

Segmento VI

Segmento de 27.5m de espesor conformado por 3 intervalos gruesos. El intervalo C-10 con un espesor de 7.5m de areniscas de grano fino a grueso, el intervalo C-11 con 8.4m de espesor de litarenita limosa feldespática y el intervalo C-12 con 11.6m de espesor de una arenisca limosa conglomerática, en la cual se registra una secuencia grano decreciente. Los tres intervalos presentan laminaciones ligeramente onduladas a subparalelas y presentan contacto irregular entre ellas. Se observa la presencia de materia orgánica.

Segmento VII

Segmento de 13.5m de espesor compuesto por dos intervalos. El intervalo C-13 con un espesor de 7.5m presenta una intercalación de Lodolitas de color gris amarillento (ver figura 11) y Litarenita limosas Feldespática con tamaño de grano muy fino medio, dispuestas en capas tabulares con contactos irregulares y paralelos, presenta micas y materia orgánica y fragmentos fósiles de crinoideos principalmente donde la capa tiene más Lodolitas.



Figura 11: fotografía de la muestra MDI-003. Lodolita con Crinoideos <1%, m.o, y cemento silíceo. Formación Diamante miembro inferior segmento VII

El intervalo C-14 con un espesor de 6.0m presenta una Intercalación con una secuencia granodecreciente; hacia la base areniscas conglomeráticas y hacia el techo arcosa lítica lodosa de color gris medio oscuro (ver figura 12), presentan contactos irregulares y plano paralelos, se encuentran laminaciones cruzadas entre las capas.

Segmento VIII

Segmento de 14.86m de espesor conformado por un solo intervalo, el intervalo C-15 conformado por intercalaciones de estratos de Limolitas y arenitas limosas a capas de areniscas sub arcosas – arcosa de color gris medio oscuro, con tamaños de grano muy fino a gruesos, mal calibradas, con laminaciones tipo Flaser y presencia de materia orgánica.

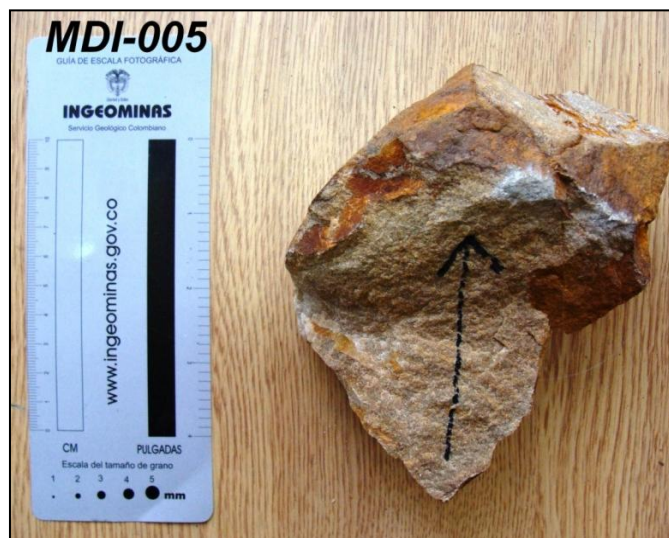


**Figura 12: fotografía de la muestra MDI-004
Arcosa lítica lodosa de grano medio.
Formación Diamante miembro inferior segmento VII**

Segmento IX

Este segmento tiene un espesor de 21.9m de espesor y se encuentra conformado por tres intervalos gruesos. El intervalo C-16 con un espesor de 10.0m muestra intercalaciones de estratos gruesos en contactos ondulados a paralelos de

Areniscas Subarcosa limosa de grano muy fino a medio, con arenisca ligeramente conglomerática limosa de grano muy fino a grueso; se observan laminaciones ligeramente onduladas, paralelas y cruzadas de espesores muy finos a finos y presencia de materia orgánica. El intervalo C-17 con un espesor de 6.3m de estratos delgados a gruesas con contactos irregulares y paralelos en el techo, compuesto por Litarenita feldespática limosa de grano muy fino a grueso de colores verdes a pardos, con presencia de materia orgánica y micas. Se presenta laminación plano paralela, discontinuas y continuas entre las capas. El intervalo C-18 con 5.6m de espesor está conformada por estratos gruesos de subarcosa, muestra MDI-005 (ver figura 13) a cuarzoarenitas con tamaño de grano muy fino a grueso, en contacto irregular entre sus capas.



**Figura 13: fotografía de la muestra MDI-005.
Subarcosa de grano fino bien calibrada.
Formación Diamante miembro inferior segmento IX**

Segmento X

Segmento con un espesor de 28.6m de espesor que muestra una zona de cubierta vegetal que no permite observar la litología presente.

- **Miembro medio:**

La base del miembro medio de la Formación Diamante está en contacto neto con el miembro inferior de la misma formación y aflora en la antigua carretera Bucaramanga – Ríonegro, pero este miembro es interrumpido por la capa vegetal y deja de aflorar. En la cantera La Cemento de la compañía CEMEX su exposición continúa y es mucho mejor. La poligonal levantada para el miembro medio de la Formación Diamante se puede observar en la figura 14. El miembro medio de la Formación Diamante tiene un espesor de 163.25m, siendo casi 69m más que lo propuesto por Ward, 1973. La columna estratigráfica generalizada del miembro medio de la Formación Diamante se muestra en la Figura 15:

Segmento XI

Segmento de 3.0m de espesor conformado por un solo intervalo, el intervalo C-20 está caracterizado por tener una litología muy diferente a la vista en el miembro inferior. Está compuesta por Micrita de color gris azulado (ver figura 16 y ANEXO C) sin contenido fósil, muestra MDM-006.

Segmento XII

Segmento de 48.97m de espesor conformado por 3 intervalos. El intervalo C-21 con un espesor de 20m está conformada por Limolitas de color pardo a verde, dispuesta en capas tabulares planoparalelas de 5-6 cm de espesor, con laminaciones onduladas, el intervalo C-22 con un espesor de 4m está conformada por arenitas de color pardo de tamaño de grano muy fino y el intervalo C-23 con un espesor de 24.97m está conformada en su totalidad por estratos tabulares planoparalelos de hasta 50 cm de espesor de arcillolitas de color pardo.

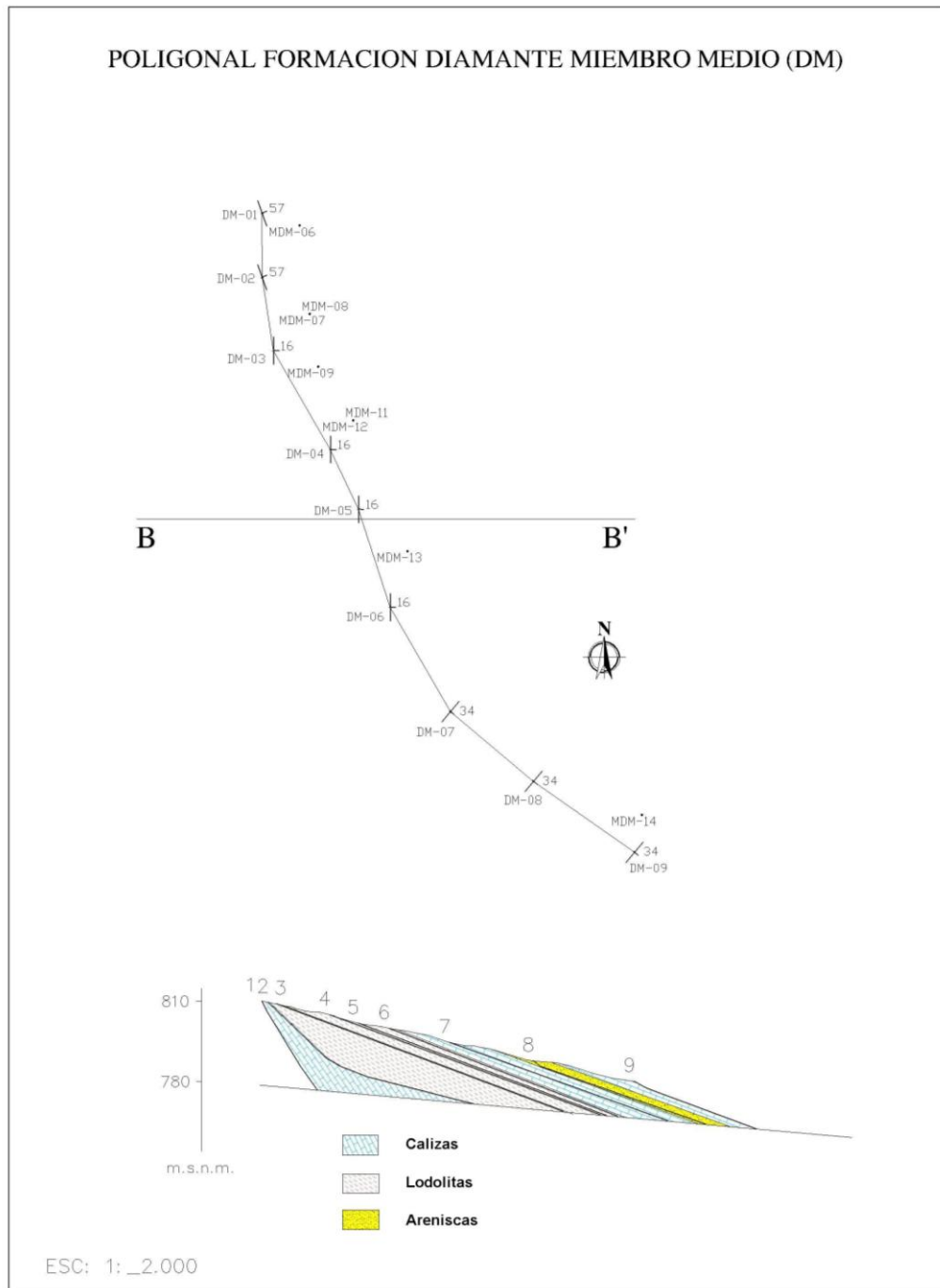


Figura 14: Poligonal y perfil geológico miembro medio Formación Diamante. Escala 1:2000











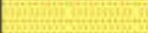





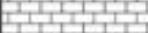
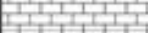

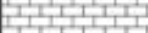
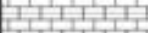



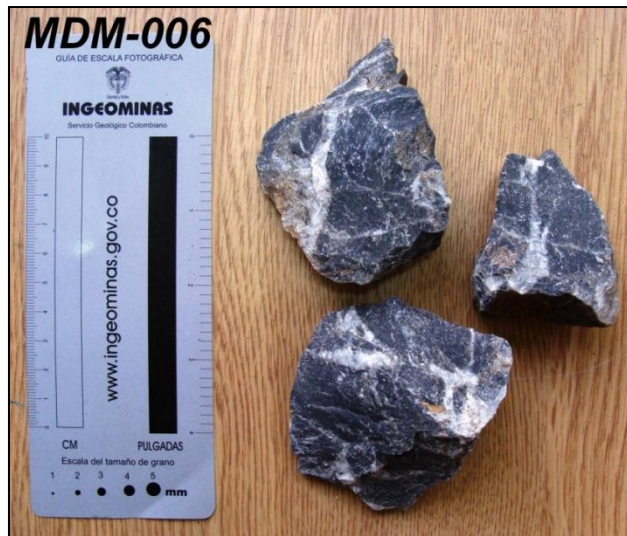
SEGMENTO	CAPA	LITOLOGIA				ESTRUCTURA SEDIMENTARIA	VALORES GEOQUIMICOS	AMBIENTE		
		gm ⁺ mud	qt v'ach	qm Pack	gg Grain				SUPERFICIE ESTRATIFICACION	FOSILES
S-XVI	C-36							MDM-14	0,0683	
	C-35									
S-XV	C-34						Bra Cri	MDM-12	0,1144	
	C-33									
S-XIV	C-32							MDM-10		
	C-31									
S-XIII	C-30									
	C-29									
S-XII	C-28						Bra Ool	MDM-09	0,5773	
	C-27									
S-XI	C-26						Bra Cri	MDM-07	0,1455	
	C-25									
S-XI	C-24									
	C-23									
S-XI	C-22									
	C-21									
S-XI	C-20							MDM-06	0,0706	

Figura 15: Columna estratigráfica generalizada del miembro medio de la Formación Diamante a escala 1:1000.



**Figura 16: fotografía de la muestra MDM-006.
Caliza Tipo III o Micrita.
Formación Diamante miembro medio segmento XI**

Segmento XIII

Segmento de 42.0m de espesor conformado por 4 intervalos. El intervalo C-24 de 10.0m de espesor de Calcirudita arenosa de Braquiópodos de color amarillento o Biomicrita rala arenosa con bioclastos de Braquiópodos (ver figura 17 y ANEXO C), dispuestas en capas tabulares de 20 a 60 cm de espesor, presentan fragmentos de fósiles y moldes externos de Crinoideos y Braquiópodos mal preservados. El intervalo C-25 de 10.0m de espesor está conformada por Micritas de color gris azulosos dispuestas en capas tabulares de hasta 20cm de espesor, el intervalo C-26 con 10.0m de espesor está conformado por Calcirudita cristalina muy gruesa de Crinoideos de color gris azuloso (ver figura 18 y ANEXO C) dispuestas en estratos tabulares de hasta 30cm de espesor en contacto ondulado y en el intervalo C-27 de 12.0m de espesor se observan Biomicrarenitas de color gris obscuro, muestra MDM-009 (ver ANEXO C y 4), con Foraminíferos y moldes externos de Braquiópodos, porosidad secundaria por disolución de carbonato y venas de CaCO_3 de poco espesor.

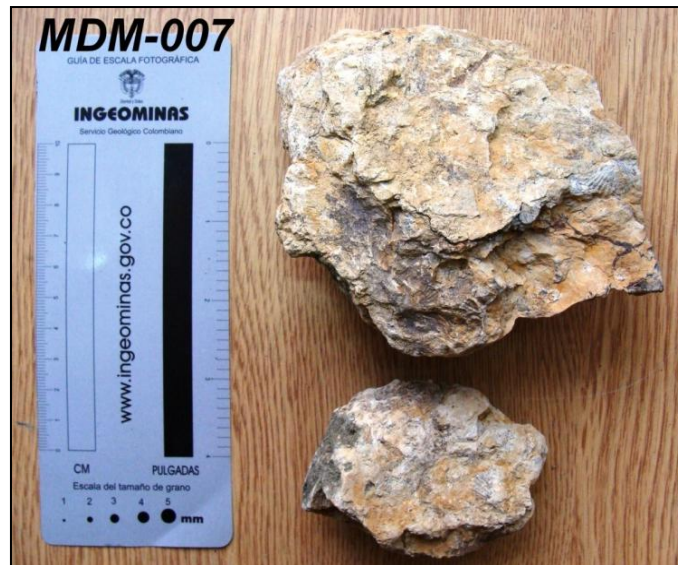


Figura 17: Fotografía de la muestra MDM-007. Calcirudita arenosa gruesa de Braquiópodos. Formación Diamante miembro medio segmento XIII



Figura 18: Fotografía de la muestra MDM-008. Calcirudita cristalina muy gruesa de Crinoideos. Formación Diamante miembro medio segmento XIII.

Segmento XIV

Segmento de 28m de espesor conformado por 3 intervalos: el intervalo C-28 de 12m de espesor compuesto por Limolitas de colores cremas, verdes, las cuales se encuentran dispuestas en capas tabulares, estas se observan intercaladas con una capa gruesa de areniscas de grano muy fino de colores rojos claros, con estratos de geometría tabular, se ven contactos ondulados discontinuos entre las capas. Las Limolitas presentan en algunos sectores cemento calcáreo y finas láminas de yeso.

Segmento XV

Segmento de 17m de espesor conformado por 2 intervalos: el intervalo C-31 de 2.5m de espesor está compuesta por Limolitas arenosas a areniscas de grano muy fino, al techo del intervalo predominan las Limolitas de colores cremas. Estas se encuentran intercaladas con estratos de Lodolitas calcáreas de colores verdes claros, y el intervalo C-32 de 14.5m de espesor conformado por Micritas de color gris oscuro (ver figura 19 y ANEXO C) dispuestas en capas tabulares de 2 a 10 cm de espesores.



Figura 19: fotografía de la muestra MDM-011. Micrita. Formación Diamante miembro medio segmento XV

Segmento XVI

Segmento de 24.28m de espesor conformado por 4 intervalos: el intervalo C-33 con un espesor de 3m está compuesto por Micrita de color gris oscuro (muestra MDM-012, ver ANEXO C) dispuestas en capas tabulares en contacto ondulado de hasta 20cm de espesor, el intervalo C-34 de 11.98m de espesor está compuesto por intercalaciones de Limolitas y areniscas de tamaño de grano muy fino, el intervalo C-35 de 2.87m de espesor está compuesto de calizas Tipo III Micritas de color negro grisáceo (ver figura 20 y ANEXO C) dispuestas en capas tabulares en contacto



**Figura 20: fotografía de la muestra MDM-013.
Formación Diamante miembro medio segmento XVI**

onduloso de hasta 20cm de espesor y el intervalo C-36 de 6.43m de espesor está conformado por intercalaciones de Limolitas y arenitas tipo Arcosas de color grisáceo naranjado (ver figura 21 y ANEXO C) de tamaño de grano muy fino lodosa bien calibrada, se encuentran dispuestas en capas tabulares de 20 cm, con laminaciones onduladas y contactos ondulados irregulares entre las capas.



**Figura 21: Fotografía de la muestra MDM-014.
Formación Diamante miembro medio segmento XVI**

- **Miembro superior:**

La base del miembro superior de la Formación Diamante está en contacto neto con el miembro medio de la misma formación y aflora en la cantera La poligonal realizada para levantamiento de la columna estratigráfica se hizo en la cantera La Cemento (Figura 22) de la compañía CEMEX, su exposición es continua. El miembro superior de la Formación Diamante tiene un espesor de 238.56m, siendo casi 35m más que lo propuesto por Ward, 1973, quién le da un espesor de 204m. El miembro superior, está caracterizado, a diferencia de los demás miembros de la Formación, por estar compuesto en su totalidad por rocas sedimentarias carbonatadas, en su mayoría Biomicritas, Micritas fosilíferas y Micritas y por presentar sus estratos casi verticales (Figura 24). La columna estratigráfica generalizada del miembro superior de la Formación Diamante se observa en la figura 23.

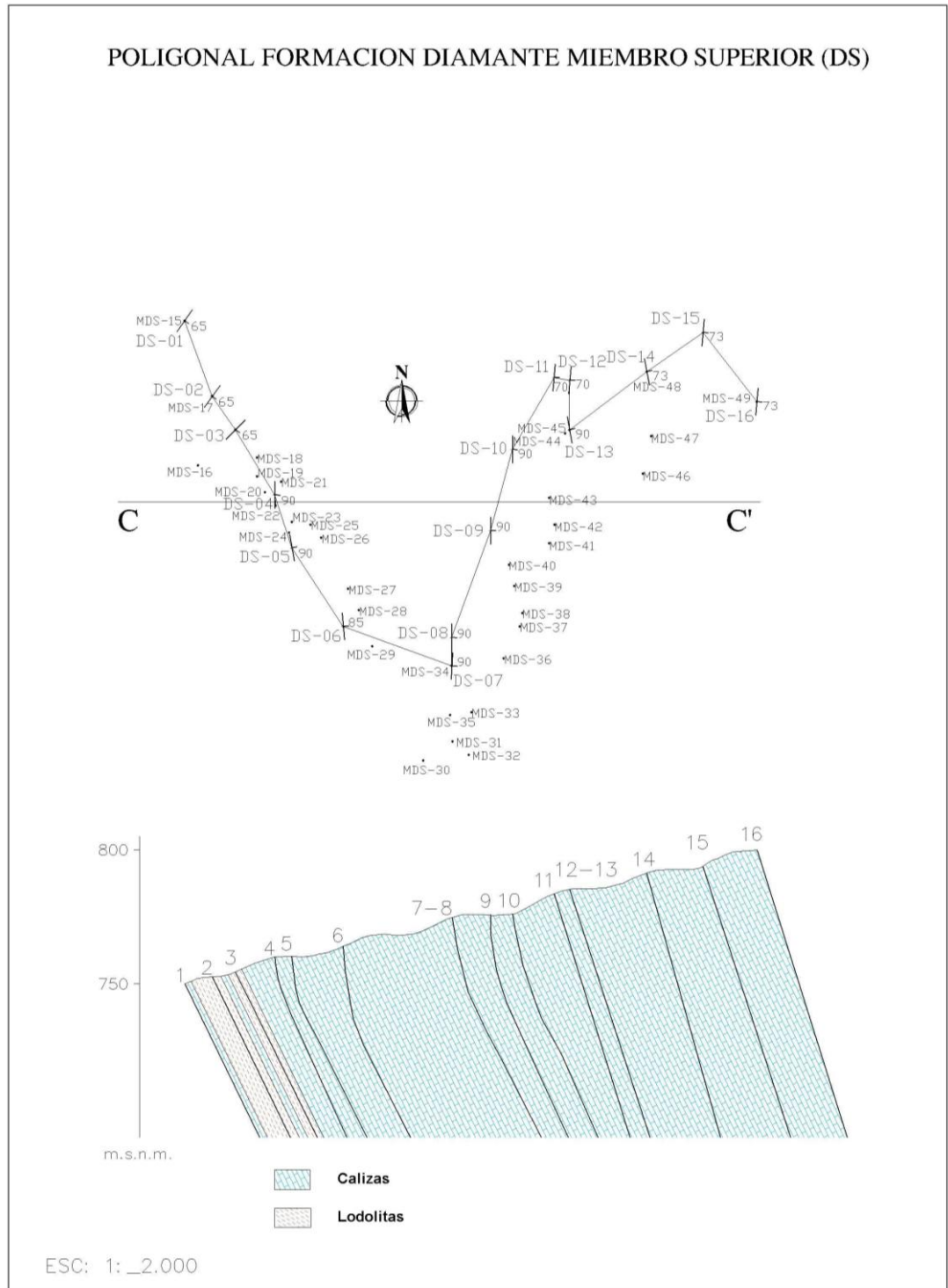


Figura 22: Poligonal y perfil geológico del miembro superior Formación Diamante.

SEGMENTO	CAPA	LITOLOGIA				ESTRUCTURA SEDIMENTARIA		VALORES GEOQUIMICOS			AMBIENTE
		am f	ot	am	ag	lamo	SUPERFICIE ESTRATIFICACION	FOSILES	MUESTRA	TOC	
S-XXII	C-51						Gst	MDI-49	0,0849	470 C ⁺ 0,268	
	C-50							MDI-48	1,8631		
S-XXI	C-49						Bra	MDI-47	0,2741	481 C ⁺ 0,5726	
	C-48							MDI-46	0,2907		
S-XX	C-47						Bra Cri	MDI-45	0,1635		
	C-46							MDI-44	0,2041		
S-XIX	C-45						Bra Cri	MDI-43	0,0728		
	C-44							MDI-34	0,1825		
S-XVIII	C-43						Cri	MDI-33	0,1449	481 C ⁺ 0,5726	
								MDI-32	0,0816		
								MDI-31	0,1010		
	C-42						Ool Cri	MDI-30	0,3624		
								MDI-29	0,1583		
	C-41						Bra	MDI-28	0,6764		
								MDI-27	4,3654		
C-40		Ool Cri	MDI-26	0,2302							
			MDI-25	0,0941							
			MDI-24	0,1231							
			MDI-23	0,1464							
S-XVII	C-39		Ool Cri	MDI-22	0,1476						
				MDI-21	0,2581						
				MDI-20	0,4457						
				MDI-19	0,1050						
				MDI-18	0,1983						
C-38		Ool Cri	MDI-17	0,2094							
C-37			MDI-16	0,1587							
			Ool	MDI-15	0,1946						

Figura 23: Columna estratigráfica generalizada del miembro superior de la Formación Diamante. Escala 1:1000



**Figura 24: Fotografía panorámica (Az foto 200º)
De la Formación Diamante miembro superior.
Se puede observar la disposición casi vertical de los estratos.**

Segmento XVII

Segmento de 39.93m de espesor conformado por tres intervalos: intervalo C-37 de 5.0m de espesor compuesto de calizas Tipo III Micrita de color gris oscuro, muestra MDS-015 (ver ANEXO C), las cuales presentan espesores de hasta 50cm, el intervalo C-38 de 5.0m de espesor compuesto por Micritas dispuestas en capa tabulares delgadas en contacto ondulado, el intervalo C-39 con un espesor de 29.93m está conformado por Micrita de color gris obscuro intercalada con una capa de Esparita de color gris medio obscuro, muestra MDS-019 (ver ANEXO C), las capas tiene espesores muy gruesos, se observan entre las capas contactos ondulados a suparalelos, presencia de intraclastos y fragmentos fósiles mal preservados de Crinoideos y Foraminíferos, en las capas superiores encontrando pobres niveles de materia orgánica y pequeños cristales de pirita, hecho

observado en las muestra MDS-016 (ver ANEXO C) y MDS-020 (ver figura 25, Anexo3 y 4).

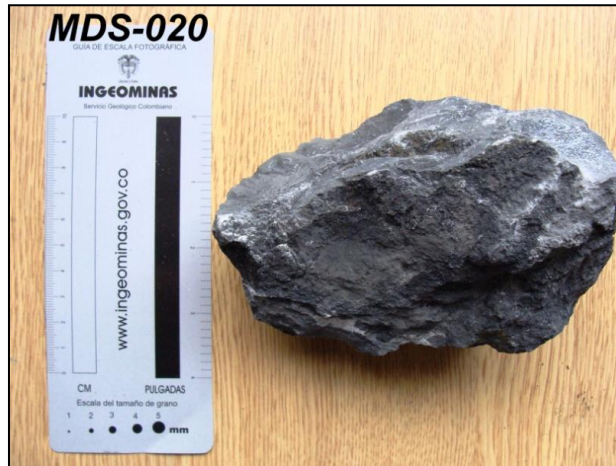


Figura 25: fotografía de la muestra MDS-020. Micrita con bioclastos de Crinoideos <1% y Pirita <1% Formación Diamante miembro superior segmento XVII

Segmento XVIII

Segmento de 86.81m de espesor conformado por cuatro intervalos: el intervalo C-40 con un espesor de 20.56m está compuesto de calizas Tipo III, Micritas

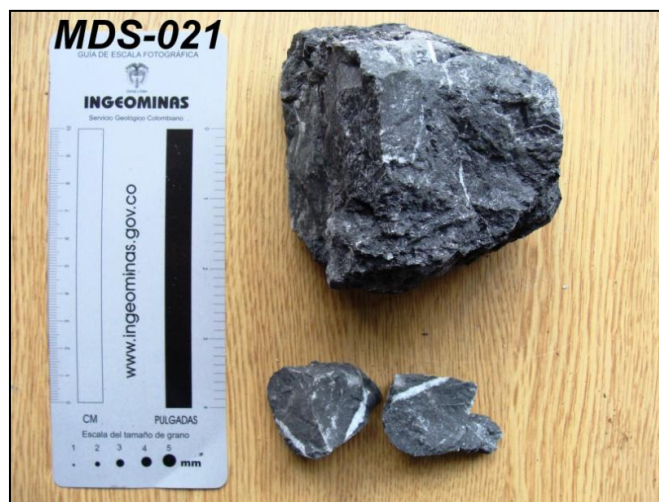


Figura 26: fotografía de la muestra MDS-021. Micrita con <1% de oolitos y Crinoideos. Formación Diamante miembro superior segmento XVIII

de color negro grisáceo, muestra MDS-021 (ver figura 26, Anexos 3 y 4), MDS-022, MDS-023 y MDS-024 (ver ANEXO C), con presencia de fósiles de Algas, Braquiópodos, Crinoideos, Foraminíferos y Briozoarios, se encuentran conformados por capas con contactos ondulados, estas capas presentan espesores muy gruesos. El intervalo C-41 con 26.82m de espesor compuesto de Micritas muestras MDS-025 y MDS-026 (ver ANEXO C), y también por Biomicrita Rala de color negro grisáceo muestra MDS-027 (ver figura 27, Anexos 3, 4 y 5) dispuestas en capas tabulares gruesas en contactos ondulados subparalelos.



**Figura 27: fotografía de la muestra MDS-027.
Biomicrita rala con 30% de aloquímicos. TOC excelente.
Formación Diamante miembro superior segmento XVIII**

El intervalo C-42 con un espesor de 19.54m de espesor compuesto por Micritas Fosilíferas de colores negros y negros grisáceos, muestras MDS-028 (ver figura 28, Anexos 3, 4 y 5) y MDS-029 (ver Anexos 3), y por Micrarenitas fosilíferas de color negro grisáceo, con presencia de fósiles de Foraminíferos y Braquiópodos, muestra MDS-030 (ver Anexos 3 y 4) dispuestas en capas tabulares de menor espesor con contactos ondulados, por último el intervalo C-43 con 20.33m de espesor está compuesto por Micritas y Micritas Fosilíferas de color gris más

claros, muestras MDS-031, MDS-032 y MDS-033 (ver ANEXO C), dispuestas en capas tabulares de hasta 20cm de espesor y en contactos ondulados.



**Figura 28: fotografía de la muestra MDS-028.
Micrita fosilífera con 10% de aloquímicos y materia orgánica.
Formación Diamante miembro superior segmento XVIII**

Segmento XIX

Segmento de 15.64m de espesor caracterizado por su color muy oscuro casi negro, conformado por dos intervalos: el intervalo C-44 con un espesor de 7.54m está compuesto por calizas Tipo III Micritas de colores negros grisáceos, muestra MDS-034 (ver figura 29 y ANEXO C) y muestras MDS-035 a la MDS-040 (ver ANEXO C), no presentan fósiles, están dispuestas en capas tabulares de espesores delgados a medios en contacto onduloso.



**Figura 29: fotografía de la muestra MDS-034.
Micrita sin contenido aloquímico.
Formación Diamante miembro superior segmento XIX**

El intervalo C-45 con 8.1m de espesor compuesto por Micritas de colores grisáceos más claros, muestras MDS-041, MDS-042 y MDS-043 (ver ANEXO C) sin presencia de fósiles, dispuestas en capas tabulares de espesores medios en contacto ondulado.

Segmento XX

Segmento 22.71M de espesor conformado por tres intervalos: el intervalo C-46 de 8.0m de espesor es compuesto de caliza Tipo III Micritas de color grisáceo sin contenido fósil, dispuestas en capas tabulares de espesores muy gruesos en contactos irregulares, el intervalo C-47 de 8.0m de espesor está compuesto por Micritas de color gris medio oscuro muestra MDS-044 (ver figura 30 y ANEXO C) con presencia de bioclastos de conchillas de Crinoideos y Braquiópodos mal preservados dispuestas por capas tabulares de espesores gruesos y el intervalo C-48 con un espesor de 6.71m está compuesto por Micritas de colores grises oscuros dispuestas en capas tabulares de espesores delgados en contactos ondulados.



**Figura 30: fotografía de la muestra MDS-044.
Micrita con 2% de bioclastos de conchillas de braquiópodos y crinoideos.
Formación Diamante miembro superior segmento XX**

Segmento XXI

Segmento de 32.17m de espesor conformado por un intervalo, el C-49, compuesto calizas Tipo III Micritas de colores grises medios a oscuros con presencia de bioclastos de conchillas de Braquiópodos, muestra MDS-045 (ver figura 31 y ANEXO C) y sin contenido fósil, muestras MDS-046 y MDS-047 (ver ANEXO C). Las capas son tabulares de espesores delgados a gruesos y están en contacto ondulado.



**Figura 31: fotografía de la muestra MDS-045.
Micrita con 1% de bioclastos de conchillas de braquiópodos.
Formación Diamante miembro superior segmento XXI**

Segmento XXII

Segmento de 41.31m de espesor conformado por dos intervalos: el intervalo C-50 con un espesor de 12.06 de cubierta de materia vegetal y el intervalo C-51 con un espesor de 29.25m compuesto por Micrita de color gris medio oscuro, muestra MDS-048 (ver figura 32 y ANEXO C, 4 y 5) sin presencia de fósiles y por Micrita fosilífera de color gris medio oscuro, muestra MDS-049 (ver ANEXO C) con presencia de fósiles de Gasterópodos. Las capas del intervalo están dispuestas de forma tabular de espesores gruesos con contactos ondulados.

La parte superior de este intervalo corresponde al tope de la Formación Diamante y su contacto superior es una discordancia angular con la Formación Tiburón de aproximadamente 34° a 42° (según González Bernal, N. & Lázaro de la Rosa, M.B, 1994).



**Figura 32: fotografía de la muestra MDS-048.
Micrita fosilífera y TOC bueno (1.86%)
Formación Diamante miembro superior segmento XXII**

4.1.2 Facies de la Formación Diamante. Varias discusiones se han dado sobre cómo usar correctamente el término de Facies. Middleton (1978) ha dado una definición moderna muy útil del término facies: “el uso más común (moderno) es ejemplificado en de Reef et al (1965) quien dividió un grupo de tres formaciones en una repetición cíclica de un grupo de Facies distinguidas por aspectos litológicos, estructurales y orgánicos detectables en campo.

En los segmentos descritos anteriormente se distinguen tres facies principales de acuerdo a la metodología de XXXX:

Facies Terrígenas (miembro inferior y medio), Facies Carbonatadas (miembro superior) y Facies Mixtas (miembro medio y superior), cada una de las cuales está representada por diferentes facies distintivas que pueden tener variaciones en cuanto a textura y espesor.

FACIES TERRÍGENAS:

Comprende las siguientes facies:

- Facies areniscas macizas (A):

Areniscas de tamaño de grano muy fino a grano fino, bien calibradas, contactos ligeramente ondulosa paralelas a subparalelas. Laminación no visible.

- Facies de Areniscas con ondulación paralela (Aop)

Areniscas con tamaño de grano fino a grano medio, localmente con tamaños de grano grueso, bien calibrados. Los contactos varían de ondulosa subparalelos con un carácter difuso a neto. Geometría tabular a lenticular y laminación ondulosa paralela a subparalela.

- Facies Areniscas con laminación planoparalela (App)

Areniscas de tamaño de grano muy fino a medio, con buen calibrado, capas en contactos planos, ligeramente ondulosa a irregulares. Laminación planoparalela continua a discontinua.

- Facies Arenisca Lodosa con laminación cruzada (ALc)

Areniscas de tamaño de grano muy fino a muy grueso, regularmente calibrada, contactos entre las capas planos a ondulosa paralelos a subparalelos. Presencia de laminación cruzada.

- Facies de Areniscas Lodosas macizas (AL)

Se observa una variación de la fracción arena en tamaños de grano muy fino a grano fino, en capas con contactos ondulosa paralelos a subparalelos. Laminación no visible.

- Facies de Areniscas Lodosas con laminación plana (ALp)

Areniscas con tamaño de grano muy fino a muy grueso, regularmente calibrada. Capas con contactos planos, ligeramente ondulosa netos. Geometría tabular con laminación plana paralela continua y discontinua, granodecreciente y presencia de materia orgánica.

- **Facies Areniscas Lodosas Conglomeráticas macizas (ALC)**
Areniscas con tamaño de granos muy finos, gruesos y guijos, regularmente calibradas, dispuestas en capas tabulares con contactos ligeramente ondulados. Granodecrecientes. Colores pardos rojizos.
- **Facies Arenisca Lodosas con laminación Flaser (ALf)**
Areniscas con tamaño de grano muy fino a grano grueso, dispuestas en capas tabulares con contactos ondulados y planos, paralelos a subparalelos. Se observa laminación tipo flaser.
- **Facies Areniscas Lodosas con ondulación plana (ALop)**
Areniscas con tamaño de grano muy fino a grano medio con buen calibrado, dispuestas en capas tabulares con contactos ondulados y netos. La laminación presente es ligeramente ondulosa paralela a subparalela. Se observa la presencia de materia orgánica.
- **Facies Lodosas macizas (Lm)**
Caracterizada por la presencia de Lodolitas con apariencia maciza, sin laminación interna visible. Contactos transicionales, ligeramente ondulados y planos. Localmente muestra manchas grises verdosas y materia orgánica.
- **Facies Lodosas laminadas (LI)**
Lodolitas con laminación plana o ligeramente ondulosa paralela, continua y discontinua. Localmente se observa arenas de tamaño de grano muy fino.

FACIES MIXTAS

- **Facies Lodolita calcárea (Lc)**
Caracterizada por el predominio de Lodolitas calcáreas de color gris medio. Son de capas tabulares de aspecto macizo con contactos ligeramente ondulados subparalelos.

FACIES CARBONATADAS

- **Facies de Micrita (M)**

Micritas de colores grises sin aloquímicos o con menos del 1%, dispuestas en capas tabulares con contactos ondulados a ondulados paralelos. Localmente con contenido de materia orgánica. Presentan venillas de carbonato de calcio y porosidad secundaria por disolución de carbonato de calcio.

- **Facies Micritas fosilíferas (Mf)**

Micritas fosilíferas de colores grises a negros con contenido de fósiles de Foraminíferos, Braquiópodos, Crinoideos y Briozoarios, localmente con presencia de algas. Dispuestas en capas tabulares con contactos ondulados paralelos a ondulados subparalelos. Localmente contenido de materia orgánica. Presentan venillas de carbonato de calcio y porosidad secundaria por disolución de carbonato de calcio.

- **Facies Biomicrita o Biomicrarenita (BM)**

Biomicritas de colores grises a negros con contenido de fósiles del 11% al 22% de Foraminíferos, Braquiópodos, Crinoideos y Briozoarios, localmente con presencia de algas. Dispuestas en capas tabulares con contactos ondulados paralelos a ondulados subparalelos. Localmente contenido de materia orgánica. Presentan venillas de carbonato de calcio y porosidad secundaria por disolución de carbonato de calcio.

4.1.3 Interpretación ambiental de la Formación Diamante

- **Miembro Inferior**

Ambiente sedimentario del Segmento I:

Las facies que la conforman son: **A, Aop, App, AL y ALC**. Inicialmente se tiene una secuencia granodecreciente que finaliza con una capa de facies de areniscas de tamaño de grano muy fino, la ausencia de laminación ondulosa hacia el techo indica una disminución de energía del ambiente, que posteriormente se reactiva

con la aparición de capas tabulares de facies de areniscas lodosas conglomeráticas ALC, hacia el final de la secuencia.

La presencia de limolitas y areniscas de tamaño de grano muy fino a grano medio con laminación planoparalela podría reflejar condiciones de régimen superficial combinada con depositación por suspensión causada por corrientes unidireccionales o acción de las olas (Reading, 1980). Podría ser un ambiente de canal mareal rellenado. Después de haberse llenado el canal parece haber una reactivación del mismo por la presencia de areniscas lodosas conglomeráticas.

Ambiente sedimentario del Segmento II:

Las Facies que la conforman son **A, AL, ALpp y ALop**. Inicia con una secuencia granodecreciente de areniscas lodosa de tamaño de grano fino a grano medio con laminación planoparalela que podría reflejar condiciones de régimen superficial causa posiblemente por la acción de las olas en un ambiente de canales mareales. Hacia el techo las facies de areniscas de tamaño de grano finos a granos medio podrían indicar que era un ambiente con suficiente energía como para no depositar lodos y las laminaciones ondulosas muestran movimiento de la carga de fondo que podrían reflejar un ambiente de llanura mareal.

Ambiente sedimentario Segmento III:

Las Facies que la conforman son: **AL, LI, ALop y ALf**. La presencia de facies de arenisca arcillosa y lodolitas laminadas intercaladas en capas con contactos ondulosos y la existencia de estructuras internas como laminación flaser, laminación ligeramente ondulosa podrían indicar un ambiente de depositación de tipo de llanura mareal.

Ambiente sedimentario del Segmento IV:

Las facies que lo conforman son: **AL** y **ALC**. Se identifica por un secuencia granocreciente de areniscas lodosas de tamaño de grano fino a medio bien calibradas hacia la base, lo que indicaría inicialmente una disminución de la energía del medio, debido a la ausencia de laminación, pudiendo tratarse de un ambiente de planicie mareal, para posteriormente aumentar progresivamente la energía del ambiente a una areniscas lodosas conglomeráticas de un ambiente tipo canal mareal.

Ambiente sedimentario del Segmento V:

Las facies que lo conforman son: **ALC**, **A** y **AL**. Inicia con areniscas lodosas conglomeráticas intercaladas por una arenisca con tamaño de grano muy fino a grano medio sin estructuras internas observables, podría tratarse entonces de canales mareales con disminución de la energía y la posterior reactivación de estos, para finalmente disminuir la energía.

Ambiente sedimentario del Segmento VI:

Las Facies que lo conforman son: **A**, **AL**, **ALC** y **ALop**. Hacia la base del segmento la facies de arenisca sin estructuras internas no nos pueden decir mucho del subambiente en que se depositaron, solo que era un ambiente de energía suficientemente alta como para no permitir la depositación de limos. Hacia el techo del segmento encontramos la presencia de facies de areniscas lodosas y areniscas lodosas conglomeráticas, con laminaciones ligeramente onduladas a subparalelas, además del contenido de materia orgánica, podrían indicar un ambiente de canal mareal que fue abandonado y posteriormente reactivado.

Ambiente sedimentario del Segmento VII:

Las Facies que lo conforman son: **ALC, AL, ALp, Lm y ALc**. Hacia la base inicia con areniscas lodosas conglomeráticas intercaladas por una arenisca con tamaño de grano muy fino a grano medio sin estructuras internas observables, podría tratarse entonces de canales mareales con disminución de la energía. Hacia el techo del segmento encontramos la presencia de facies de areniscas lodosas y lodolitas masivas, con laminaciones ligeramente planoparalelas a cruzadas, además del contenido de materia orgánica, podrían indicar un ambiente de depositación de tipo de llanura mareal.

Ambiente sedimentario del Segmento VIII:

Las Facies que la conforman son: **AL, LI y ALf**. La presencia de facies de arenisca arcillosa y lodolitas laminadas intercaladas en capas con contactos ondulados y la existencia de estructuras internas como laminación flaser, laminación ligeramente ondulosa y la materia orgánica, podrían indicar un ambiente de depositación de tipo de llanura mareal.

Ambiente sedimentario del Segmento IX:

Las Facies que la conforman son: **A, AL, ALC, App, ALc y Alop**. Hacia la base del segmento la facies de arenisca sin estructuras internas no nos pueden decir mucho del subambiente en que se depositaron, solo que era un ambiente de energía suficientemente alta como para no permitir la depositación de limos. Hacia el techo del segmento encontramos la presencia de facies de areniscas lodosas y areniscas lodosas conglomeráticas, con laminaciones planoparalelas, cruzadas y ligeramente ondulosas a subparalelas, podrían indicar un ambiente de canal mareal que fue abandonado y posteriormente reactivado.

- **Miembro Medio**

Ambiente sedimentario del miembro medio

Las Facies presentes en el miembro medio de la Formación Diamante son: **Aop, App, AL, LI, Lm, Lc, M, Mf y BM**. Básicamente se trata de una secuencia compuesta por una alternancia de facies clásticas de grano fino y facies carbonatadas. Según las asociaciones de Reading (1980) basadas en los tipos de granos presentes, las rocas carbonatadas pertenecen a la asociación oolito – agregado (puede presentar o no pellets) lo cual está restringido a las áreas de *Chlorozoan*. (asociación típica en aguas cálidas).

Las facies calcáreas de esta unidad se caracterizan principalmente por la presencia de fósiles como Crinoideos, Braquiópodos, Foraminíferos y Briozoarios.

De los Crinoideos se puede mencionar que se presentan en tallos de longitud variable y planas columnares (ver figura 33), por esto y tomando en cuenta



**Figura 33: Fotografía DMCrino1
Muestra fósiles de Crinoideos corte longitudinal y transversal.**

descripciones de calizas de Crinoideos escritas en Clarckson (1986) se considera que son rocas más o menos autóctonas y representan los restos de asociaciones de crinoideos que fueron enterrados antes de su completa desintegración, así mismo como estos restos no están orientados, se considera que se hundieron en el sedimento sin haber sido arrastrados por la corriente.

Tanto los Briozoarios como los Braquiópodos encontrados reflejan un ambiente somero, y según Camacho (1974) es posible que los Crinoideos del Paleozoico, habitaran principalmente mares someros.

Las anteriores características junto con la clasificación de distribución de facies de Wilson (1975 en Reading, 1980), permiten enmarcar las rocas del miembro medio dentro de una plataforma abierta (que cuando tiene capas terrígenas, estas están bien segregadas de las calcáreas) en un ambiente submareal.

- **Miembro Superior**

Ambiente sedimentario del miembro superior

Las Facies presentes en el miembro superior de la Formación Diamante son: **M**, **Mf** y **BM**. Este miembro se caracteriza por una secuencia de rocas carbonatadas con escaso a casi nada de aporte de material terrígeno. Además se observan capas con alto contenido de fósiles como Braquiópodos, Crinoideos, Foraminíferos, Briozoarios, algunos Gastrópodos, además de algas, oolitos y pellets. Por las mismas características presentadas para los fósiles del miembro medio, se considera que estas calizas se formaron en un ambiente marino somero. Por comparación con las facies descritas para la plataforma de los Apalaches se podría considerar entonces que las del miembro superior se formaron en un ambiente submareal profundo, el cual para la plataforma en mención se caracteriza por una estratificación gruesa, masiva, con abundancia de

fósiles variable y con la presencia de fósiles de Braquiópodos, Trilobites, Briozoarios y Crinoideos como principales representantes. De acuerdo a Wilson (1975, en Reading, 1980) el ambiente de formación de estas rocas podría ser el de plataforma abierta.

4.2 ANÁLISIS FACIAL PARA LA FORMACIÓN TIBURÓN.

4.2.1 Estratigrafía de la Formación Tiburón. La columna estratigráfica de la Formación Tiburón se levantó en el sector ubicado en la cantera La Cemento de la compañía CEMEX (Figura 3). Al igual que el levantamiento de la columna estratigráfica de la Formación Diamante, se utilizó una poligonal abierta; los datos de la poligonal de la Formación Tiburón se muestran en la figura 34. Tiene un espesor total de 170 m y se le asigna una edad entre el Carbonífero Superior – Pérmico Medio y Triásico, conforme a su localización estratigráfica entre las Formaciones Diamante y Bocas, según Ward et al. (1973).

La columna estratigráfica de la Formación Tiburón fue dividida en 9 intervalos agrupados en 9 segmentos. Los primeros 2 segmentos están compuestos por limolitas de colores rojos a pardos y los últimos 7 segmentos están compuestos por Calciarenitas y Calciruditas. La columna estratigráfica generalizada para la Formación Tiburón se observa en la Figura 35. A continuación se muestra la descripción de cada uno de los segmentos para los miembros de la Formación Tiburón:

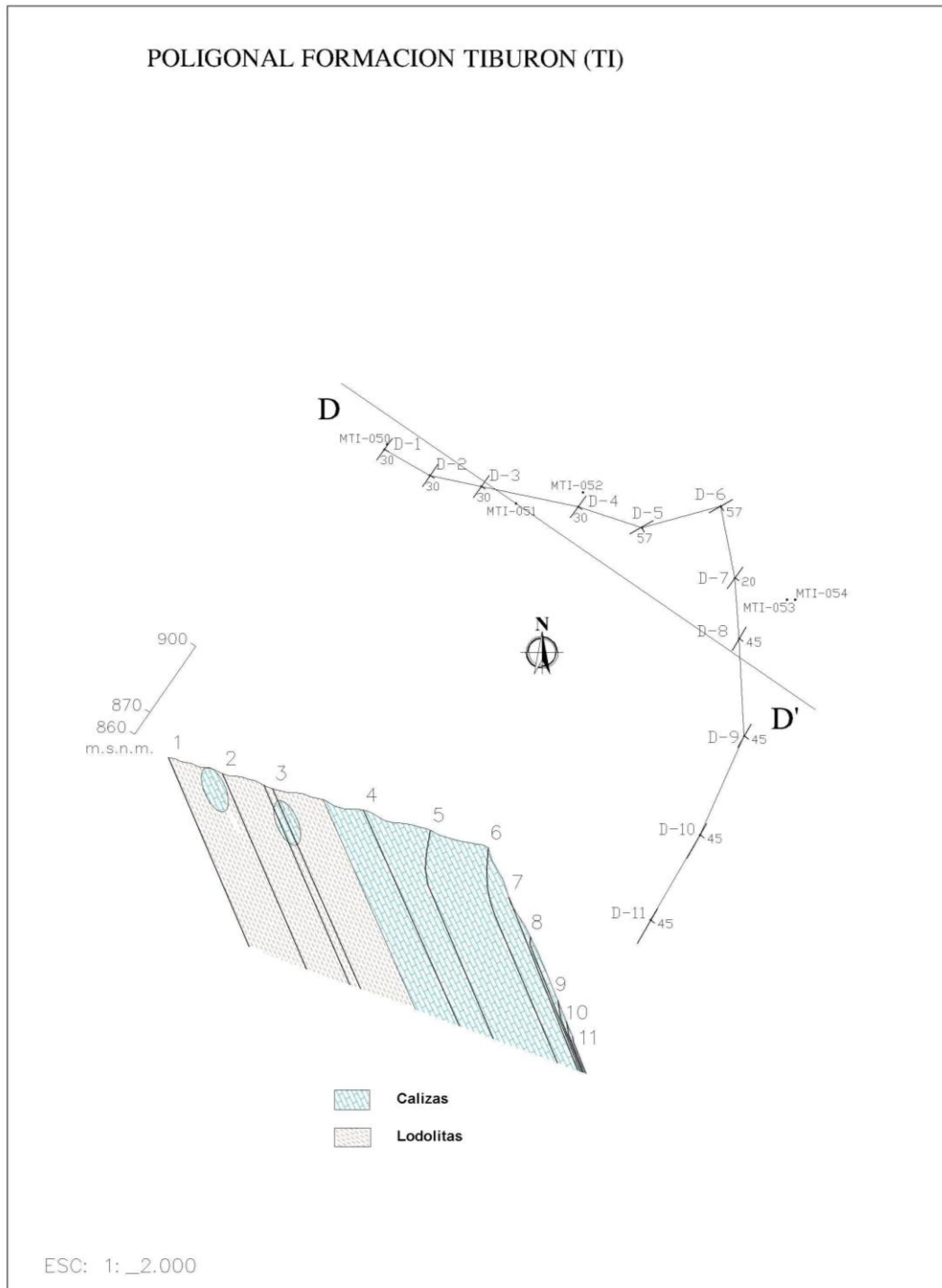


Figura 34: Poligonal y perfil geológico de la Formación Tiburón.

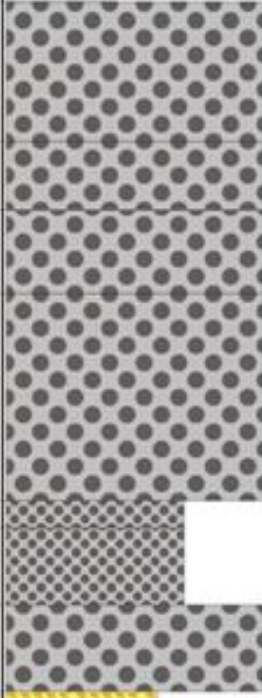

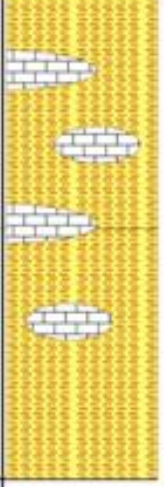
SEGMENTO	CAPA	LITOLOGIA					ESTRUCTURA SEDIMENTARIA		VALORES GEOQUIMICOS			AMBIENTE		
		gm f	gf	gm	gg	gm g	SUPERFICIE ESTRATIFICACION	FOSILES	MUESTRA	TOC	ROCK-EVAL T _{max} - H _i			
		Mud	Wack	Pack	Grain									
S-XXXI	C-60										DEPOSITACION CONTINENTAL DE ABANICO ALUVIAL			
S-XXX	C-59													
S-XXIX	C-58													
S-XXVIII	C-57											MTI-54	2,9622	475,5 C 0,337
S-XXVII	C-56													
S-XXVI	C-55													
S-XXV	C-54											MTI-53	0,1437	
S-XXIV	C-53						Cri	MTI-52	0,1853					
								MTI-51	0,0900					
S-XXIII	C-52							MTI-50	0,1263					

Figura 35: Columna estratigráfica generalizada de la Formación Tiburón a escala 1:1000.

Segmento XXIII

Segmento de 37.44 m de espesor conformado por un intervalo de limolitas de colores rojos a pardos. Se encuentran dispuestas en capas tabulares de 10 cm de espesor. presentan un contacto erosivo a la base y una discontinuidad litológica y angular, se encuentran intercaladas con capas de limolitas sin cemento calcáreo y con presencia de concreciones calcáreas de gran tamaño de hasta 3m de diámetro redondeadas, compuestas por calcarenitas muy finas (Figura 36 y ANEXO C), y un 5% de arena. Al techo del segmento se observa un aumento en el tamaño del grano a grano fino.

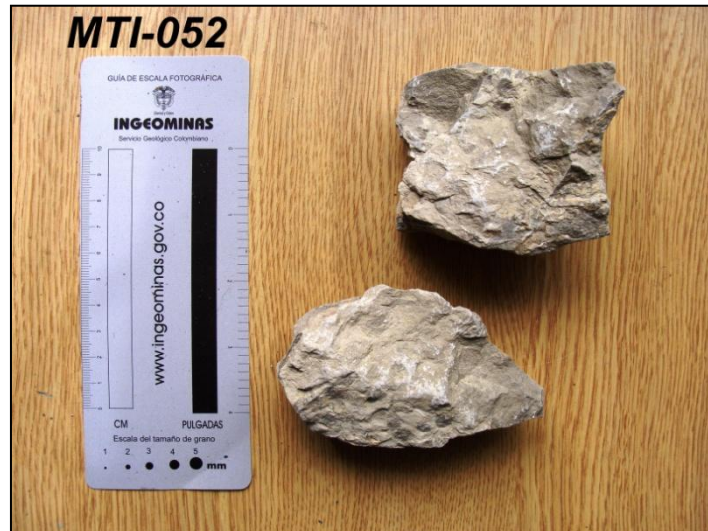


Figura 36: fotografía de la muestra MTI-050. Micrita con 5% arenas de grano muy fino o Calciarenitas. Formación Tiburón segmento XXIII

Segmento XXIV

Segmento de 33.92 m de espesor conformado por un intervalo de limolitas de colores rojos a pardos. Se encuentran dispuestas en capas tabulares de 10 cm de espesor. Presenta intercalaciones las cuales se acuñan de calcarenita muy fina con presencia de fragmentos fósiles crinoideo mal preservados, muestra MTI-052 (Figura 37 y ANEXO C) y granos de arenas en un 5%, dispuestas en capas de 40-50 cm. de espesor conformando una capa de 9 m la cual se acuña. Las limolitas presentan intercalaciones con areniscas de grano muy fino principalmente hacia el techo del

segmento se encuentran en contacto erosivo y discontinuo con el segmento suprayacente.



**Figura 37: fotografía de la muestra MTI-052.
Micrita con 2% de arenas de grano muy fino o Calcarenita.
Formación Tiburón segmento XXIV**

Segmento XXV

Segmento de 12.80 m de espesor conformado por una intervalo de calcirudita muy gruesas clasto-soportadas de color gris, muestra MTI-053 (Figura 38 y ANEXO C) con abundancia de guijos muy gruesos subangulares y sub-redondeados de calizas, poco esféricos, encajados en una matriz calcárea arenosa. Dispuestas en capas tabulares gruesas. Presenta contacto inferior irregular erosivo.



**Figura 38: fotografía de la muestra MTI-053.
Calcirudita gruesa.
Formación Tiburón segmento XXV**

Segmento XXVI

Segmento de 11.00 m de espesor conformado por una intervalo de calcarenitas fina, con guijos de calizas muy gruesos, gruesos y medianos subangulares y subredondeados con buena esfericidad. Dispuestos en capas tabulares gruesas. Con contacto inferior ondulado.

Segmento XXVII

Segmento de 4.00 m de espesor conformado por una intervalo de calcarenita fina, con guijos gruesos de calizas, subangulares y subredondeados de escasa esfericidad, hacia la base aumenta el tamaño de los guijos, encontrando una capa de calcirudita gruesa, clasto-soportada. Dispuestos en capas tabulares medianas. Contacto inferior ondulado.

Segmento XXVIII

Segmento de 30.11 m de espesor conformado por una intervalo de Calcirudita gruesa, muestra MTI-054 (Figura 39 y ANEXO C) y Calciruditas muy gruesas clasto soportada de

color gris, con presencia de guijos muy gruesos de calizas, subangulares de poca esfericidad, rodeados de una matriz calcárea arenosa fina. Dispuestas en capas tabulares gruesas y muy gruesas. Presenta un contacto inferior ondulado.



**Figura 39: fotografía de la muestra MTI-054.
Calcirudita gruesa.
Formación Tiburón segmento XXVIII**

Segmento XXIX

Segmento de 12.09 m de espesor conformado por una intervalo de Calcirudita muy gruesa clasto-soportada, con guijos de calizas muy gruesos subangulares y de poca esfericidad, rodeados de una matriz calcárea areno-lodosa de color gris. La base se encuentra conformada por calcarenitas media con guijos finos y más gruesos hacia la base, compuestos de caliza gris, angulares y más esféricos en la base. Dispuestas en capas tabulares gruesas. Presenta un contacto inferior irregular.

Segmento XXX

Segmento de 10.00 m de espesor conformado por una intervalo de Calcirudita gruesa clasto-soportada gris, con guijos gruesos de calizas grises, subangulares y esféricos embebidos en una matriz calcárea arenosa. En la base se observa una

capa de calcarenitas media con guijos finos y más gruesos y angulares hacia la base de caliza gris. Dispuestas en capas tabulares gruesas. En esta capa se observa la presencia de venas de recristalización de calcita de 1-3cm de espesor. Presenta un contacto inferior onduloso.

Segmento XXXI

Segmento de 20.41 m de espesor conformado por un intervalo de Calcirudita muy gruesa clasto soportada, con guijarros muy gruesos de calizas angulares a subangulares poco esféricos encajados al azar en una matriz calcáreo arenosa, se encuentran dispuestas en capas tabulares muy gruesas en el techo del segmento. En la base se observa una capa de calcarenitas media con guijos finos y más gruesos hacia la base, compuestos de caliza gris, angulares y más esféricos en la base. Dispuestas en capas tabulares gruesas. Presenta un contacto inferior irregular y erosivo.

4.2.2 Facies de la Formación Tiburón. Varias discusiones se han dado sobre cómo usar correctamente el término de Facies. Middleton (1978) ha dado una definición moderna muy útil del término facies: “el uso más común (moderno) es ejemplificado en de Reef et al (1965) quien dividió un grupo de tres formaciones en una repetición cíclica de un grupo de Facies distinguidas por aspectos litológicos, estructurales y orgánicos detectables en campo.

En los segmentos descritos anteriormente se distinguen dos facies principales: Facies Terrígenas (base Formación Tiburón) y Facies Carbonatadas, cada una de las cuales está representada por diferentes facies distintivas que pueden tener variaciones en cuanto a textura y espesor.

FACIES TERRIGENAS

- Facies Lodosas macizas (Lo)

Caracterizada por la presencia de Lodolitas de color rojizo a pardo con laminación ondulosa. Contactos transicionales, ligeramente ondulosos y planos. Localmente muestra calcarenitas acuñaadas.

FACIES CARBONATADAS

- Facies de Micrarenitas (Mar)

Micrarenitas de colores grises y rojizos sin aloquímicos o con menos del 1%, con tamaños de grano fino a muy fino, dispuestas en capas tabulares gruesas con contactos ondulosos a ondulosos paralelos.

- Facies Calcirudita (Ca)

Calciruditas de colores grises a grises oscuros compuesta de clastos subangulares a subredondeados y con baja esfericidad de calizas de color gris (Formación Diamante) como constituyente del armazón.

4.2.3 Interpretación ambiental de la Formación Tiburón. La presencia de materiales finos a la base de la Formación Tiburón y la depositación de las facies de calcarenitas reflejan una disminución gradual de la granulometría del material, por pérdida de competencia del flujo de detritos abanico abajo. La alternancia de calcarenitas y Calciruditas sugieren variaciones en la competencia del agente de transporte.

La existencia de variaciones cíclicas en la granulometría del material y en el espesor de las capas en las facies de calcarenitas y Calciruditas refleja la influencia tectónica en el área de sedimentación. (Walter, 1984).

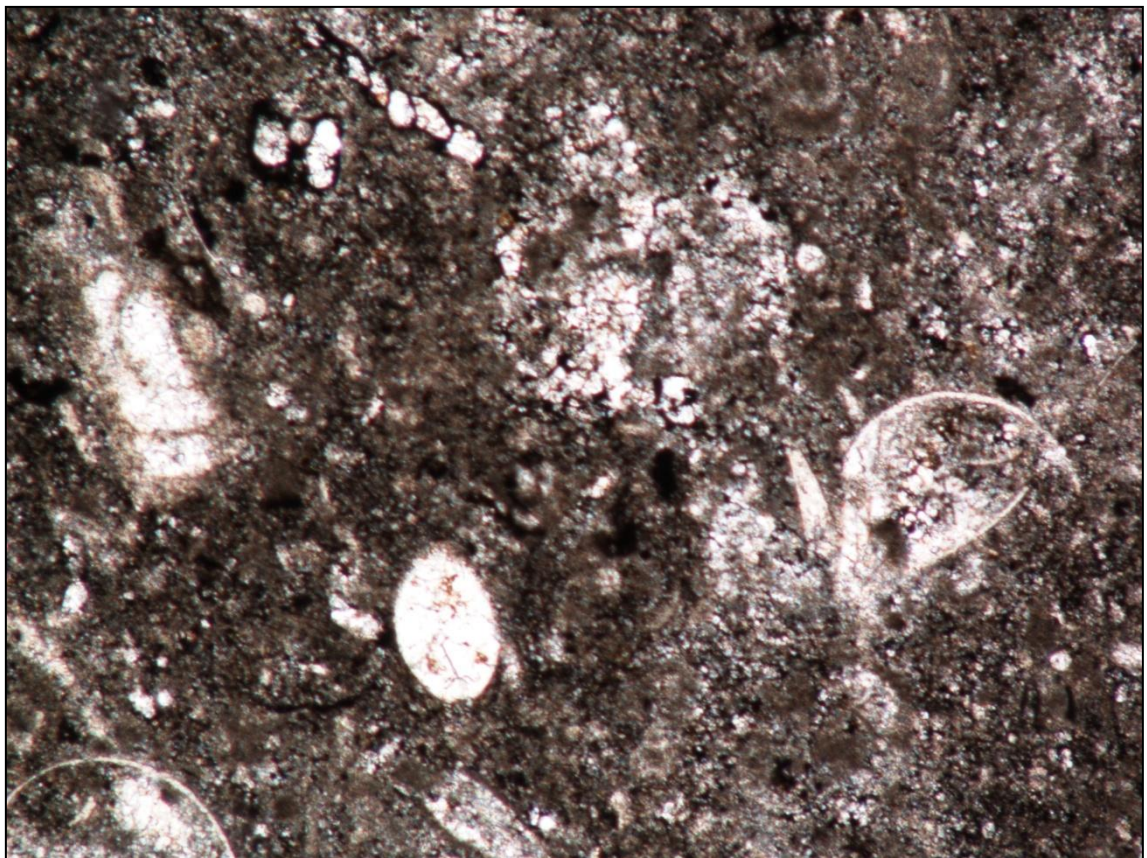
La presencia de cuarzo policristalino, típicos de esquistos sugieren una fuente secundaria metamórfica producto de un proceso erosivo que afecto el neis de Bucaramanga,

Con base en las características sedimentológicas y faciales analizadas, se proponen para los sedimentos de la Formación Tiburón un modelo de depositación continental de tipo abanico aluvial en una cuenca tectónicamente activa.

4.3 PETROGRAFIA DE LAS FACIES RICAS EN MATETIRA ORGANICA DE LAS FORMACIONES DIAMANTE Y TIBURON

- **Muestra MDM-009**

Sección delgada realizada a partir de la muestra ubicada en la cantera La Cemento, pertenece a miembro medio de la Formación Diamante en el intervalo C-027 del segmento XIII. El nombre de la roca es Biomicrarenita de Foraminíferos, ver figura 40 y Anexo 4).



**Figura 40: Fotografía DM090034
Nicoles Paralelos con lente Nikon 10x/0.15**

La materia orgánica está presente de manera dispersa, laminar y como relleno en cavidades de fósiles (predominando en los foraminíferos). El contenido fósil está

compuesto por Braquiópodos en cortes longitudinales o transversales y en fragmentos de conchillas; y por Foraminíferos bentónicos de hasta 100 micras. La Esparita se presenta principalmente como venas de CaCO_3 y como la recristalización del CaCO_3 . VER FIGURA 40

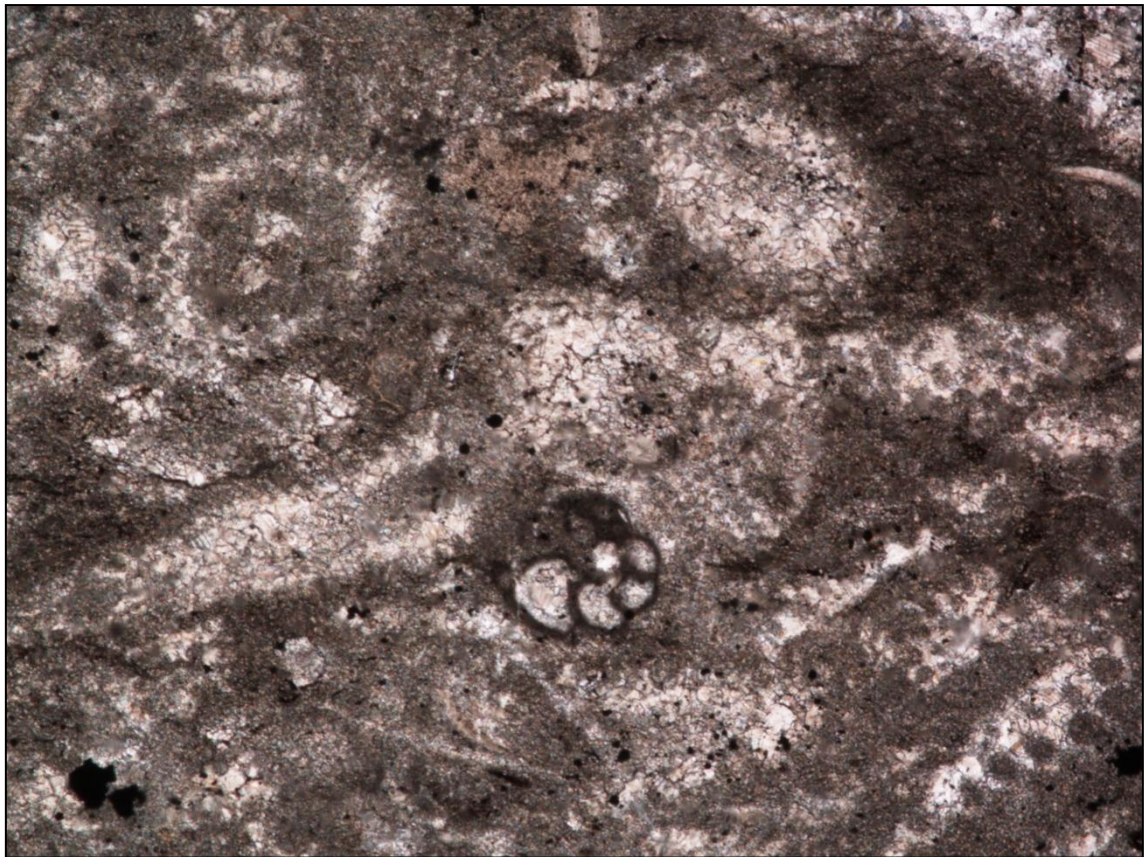


**Figura 41: Fotografía DM090058
Nicoles Paralelos con lente Nikon10x/O.15**

Foraminífero multilobulado de la Superfamilia Nodosoriacea (Camacho 1974) en corte longitudinal que muestra cinco cámaras dispuestas en serie rectilínea (centro). Se observa un predominio de micrita. La materia orgánica se encuentra dispersa y en rellenos de fósiles.

- **Muestra MDS-020**

Sección delgada realizada a partir de la muestra ubicada en la cantera La Cemento, pertenece a miembro superior de la Formación Diamante en el intervalo C-039 del segmento XVII. El nombre de la roca es Biomicrarenita de Briozoarios, ver figura 42 y Anexo 4.



**Figura 42: Fotografía DS200024
Nicolas Paralelos con lente Nikon 5x/0.15**

La materia orgánica está presente principalmente de manera dispersa y como relleno en cavidades de fósiles y grietas o estilolitos. El contenido fósil está compuesto por Briozoarios, Algas y Braquiópodos en cortes longitudinales o transversales y en fragmentos de conchillas, al igual que los Foraminíferos

bentónicos de hasta 500 micras de la Familia Textularidae. La Esparita se presenta principalmente como recristalización del CaCO_3 y como venas de CaCO_3 .

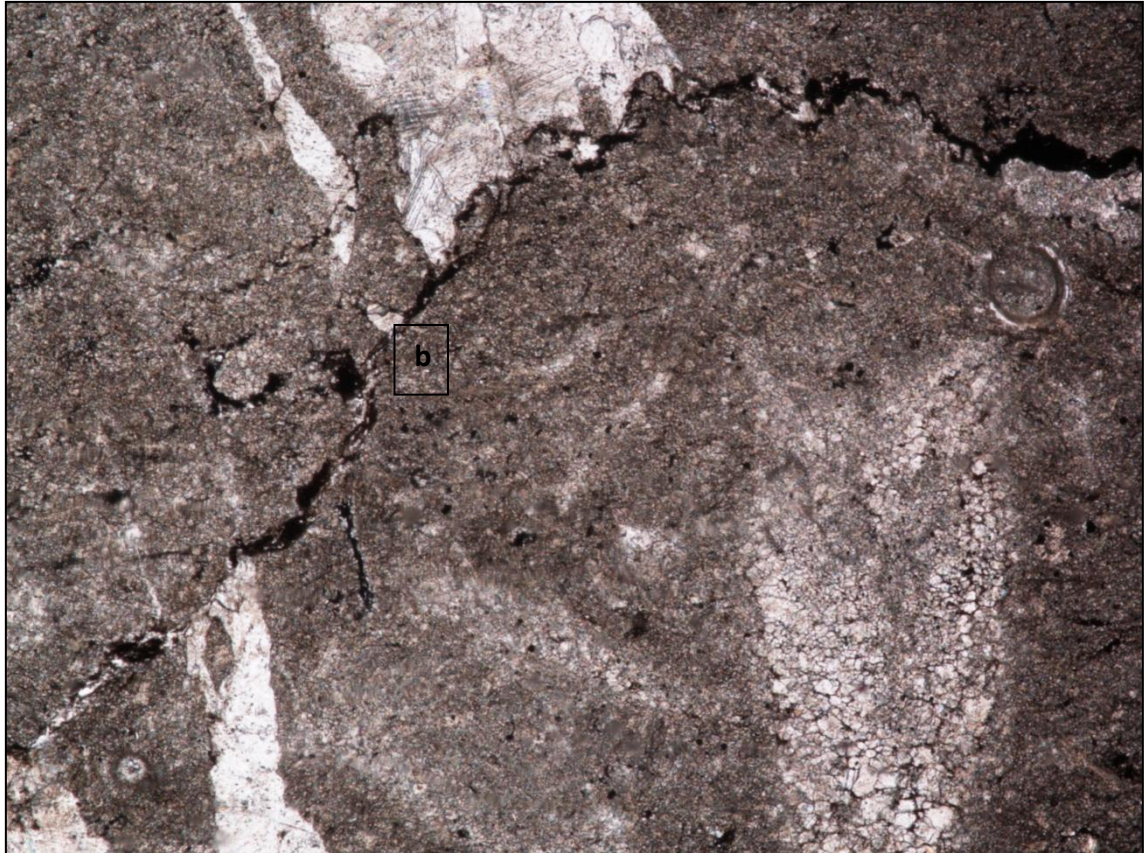


Figura 43: Fotografía DS200032
Nicoles Paralelos con lente 5x/O.15

Materia orgánica dispersa y estilolitos rellenos de BITUMEN (**b**), muestran cómo se interrumpe y se desplaza la vena de CaCO_3 , indicando posible migración de hidrocarburos. Al margen derecho se observa un fragmento de alga circular en corte transversal. Predominio de micrita.

- **MDS-021**

Sección delgada realizada a partir de la muestra ubicada en la cantera La Cemento, pertenece a miembro superior de la Formación Diamante en el intervalo C-040 del segmento XVIII. El nombre de la roca es Micrarenita Fosilífera, ver figura 44 y Anexo 4.



**Figura 44: Fotografía DS210009
Nicoles Paralelos con lente Nikon 5x/0.15**

La materia orgánica está presente de manera dispersa y principalmente como relleno en estilolitos. El contenido fósil está compuesto por Braquiópodos en cortes longitudinales y transversales y en fragmentos de conchillas; por algas, Briozoarios y por Foraminíferos bentónicos de la Familia Textularidae (Camacho 1974). La Esparita se presenta principalmente como venas de CaCO_3 .

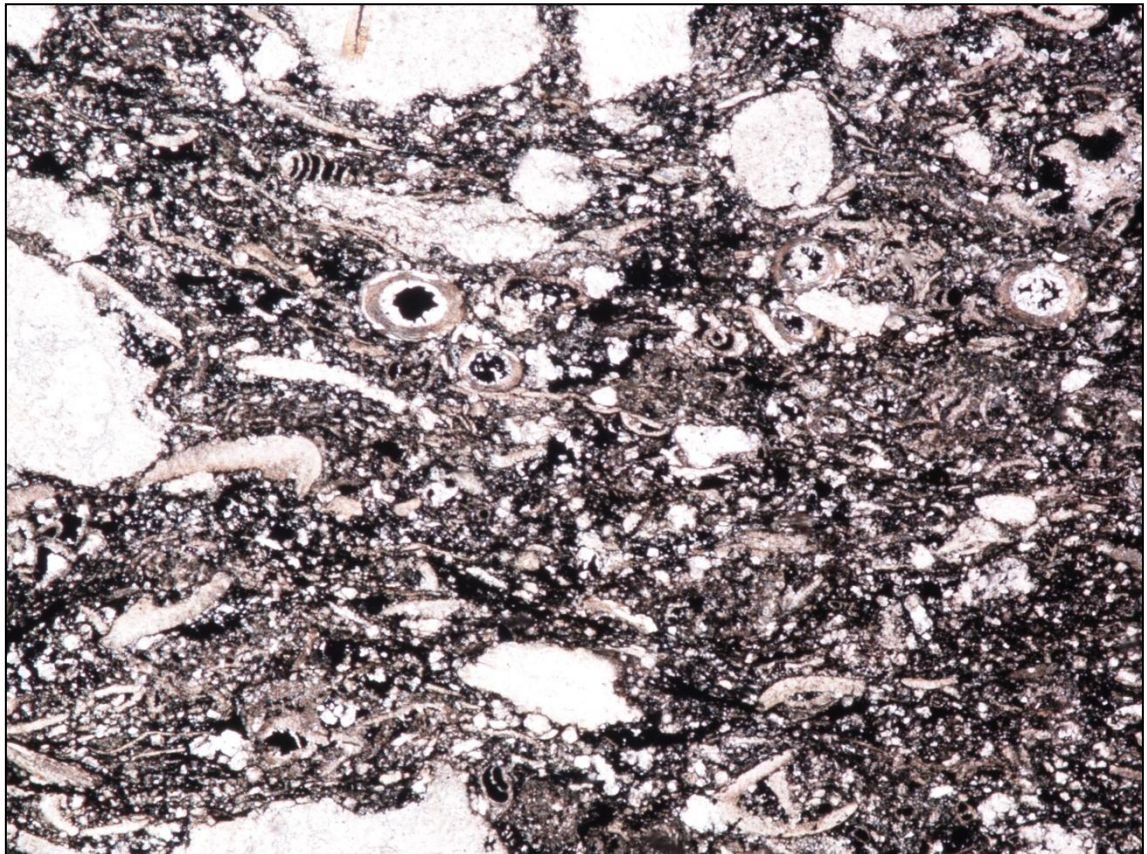


**Figura 45: Fotografía DS210010
Nicoles Paralelos con lente 5x/O.15**

En esta fotografía se observan Briozoarios, Foraminíferos bentónicos multiloculados con cámaras colocadas en serie alterna de la Familia Textularidae (Camacho 1974) y un estilolito relleno de materia orgánica de una posible migración de hidrocarburos.

- **Muestra MDS-027**

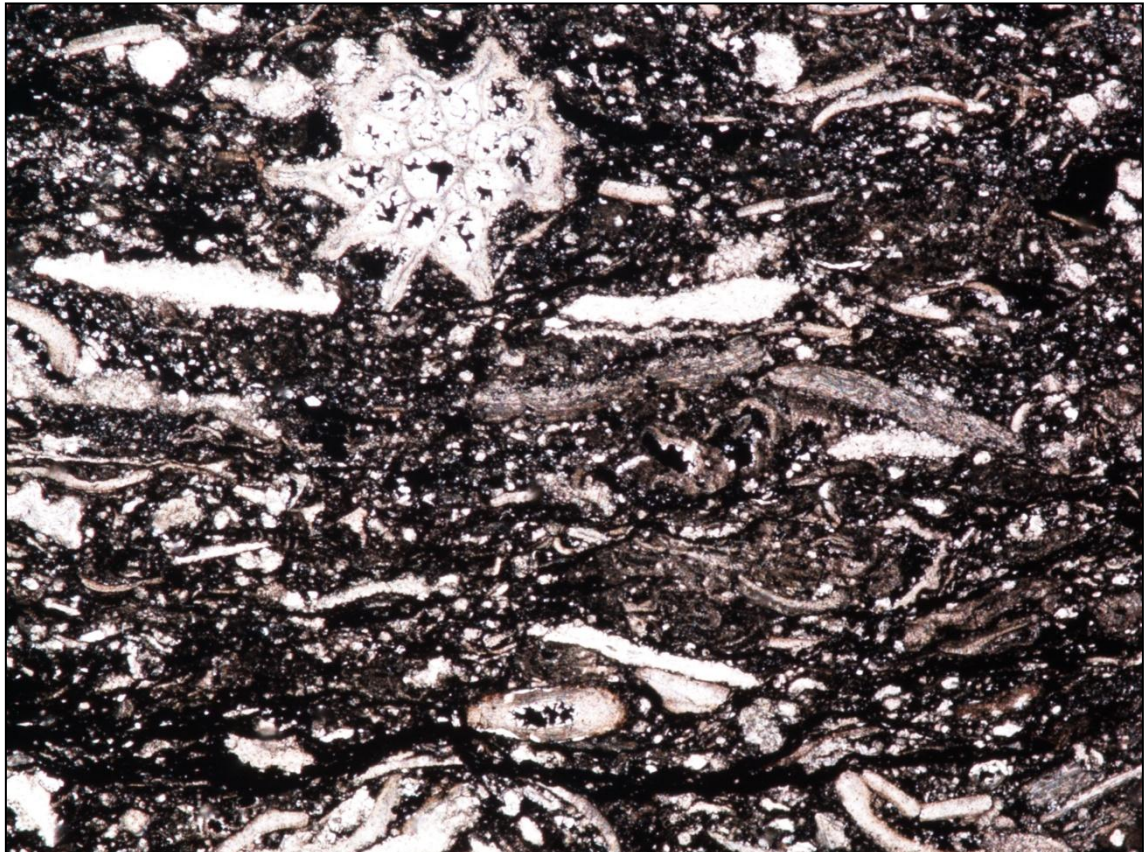
Sección delgada realizada a partir de la muestra ubicada en la cantera La Cemento, pertenece a miembro superior de la Formación Diamante en el intervalo C-041 del segmento XVIII. El nombre de la roca es Biomicrarenita de Braquiópodos, ver figura 46 y Anexo 4.



**Figura 46: Fotografía DS270008
Nicles Paralelos con lente Nikon 5x/0.15
Biomicrita de Braquiópodos con alto contenido de Bitumen.**

La materia orgánica está presente de manera dispersa, como bandas, como relleno en cavidades de fósiles (predominando en los foraminíferos) y como relleno en estilolitos. El contenido fósil está compuesto por Braquiópodos en cortes longitudinales o transversales y en fragmentos de conchillas; y por

Foraminíferos bentónicos de hasta 100 micras. La Esparita se presenta principalmente como venas de CaCO_3 y como la recristalización del CaCO_3 .



**Figura 47: Fotografía DS270006
Nicolas Paralelos con lente 5x/O.15
Biomicrografía de Braquiópodos con alto contenido de Bitumen.**

En la parte superior se puede observar una familia de Briozoarios, también foraminíferos, pero predominan los fósiles de fragmentos de conchillas de Braquiópodos. En la parte inferior de la fotografía se observan estilolitos rellenos por materia orgánica por posible migración de hidrocarburos. Se observa también cierta alineación de los fósiles.

- **Muestra MDS-028**

Sección delgada realizada a partir de la muestra ubicada en la cantera La Cemento, pertenece a miembro superior de la Formación Diamante en el intervalo C-042 del segmento XVIII. El nombre de la roca es Biomicrarenita de Foraminíferos y Braquiópodos, ver figura 48 y Anexo 4.

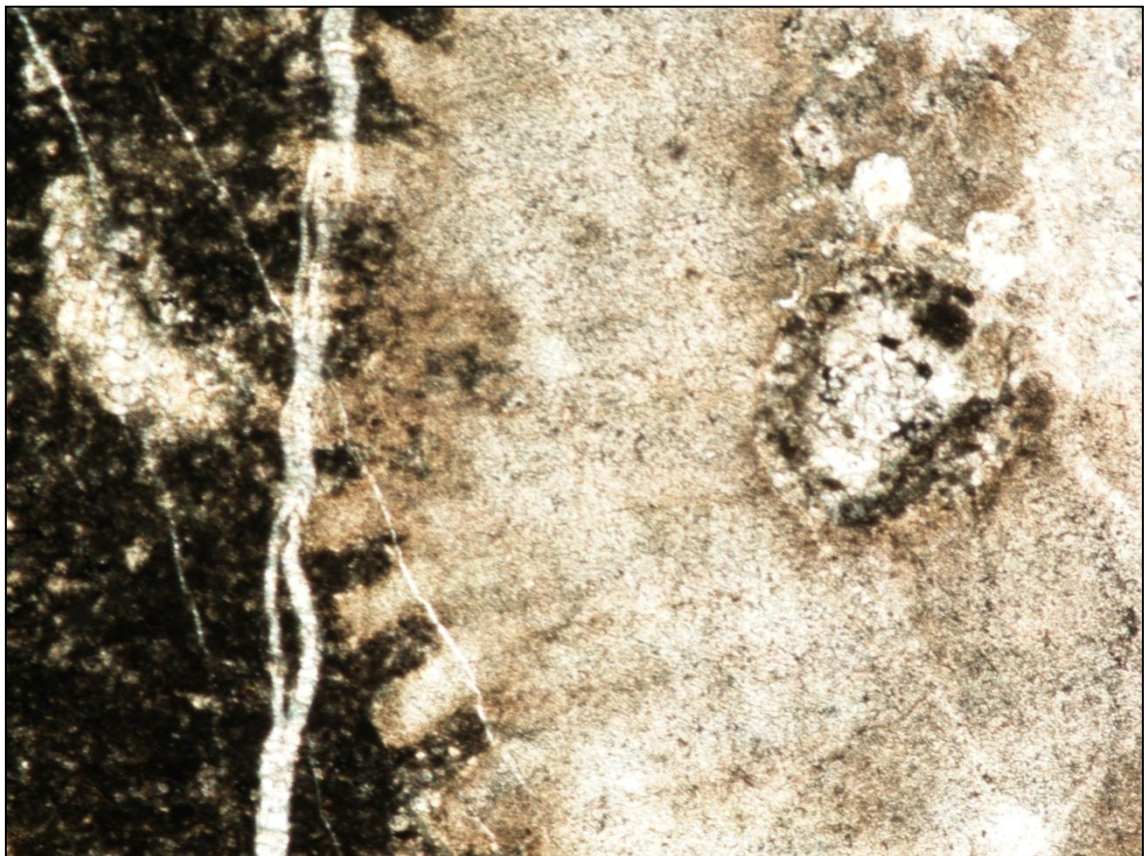


**Figura 48: Fotografía DS280054
Biomicrarenita de Foraminíferos y Braquiópodos
Nicoles Paralelos con lente 5x/O.15**

La materia orgánica está presente de manera dispersa, laminar, como relleno en cavidades de fósiles (predominando en los foraminíferos) y como relleno en estilolitos. El contenido fósil está compuesto por Braquiópodos, Briozoarios, algas, oolitos y en fragmentos de conchillas; y por Foraminíferos bentónicos

multiloculados de la Familia Textularidae de hasta 100 micras. La Esparita se presenta principalmente como venas de CaCO_3 y como la recristalización del CaCO_3 .

La fotografía muestra un estilolito relleno de materia orgánica que rompe la roca, diferenciando un cambio leve en la litología de la muestra. Evidencia de un posible migración de hidrocarburos. Además se observa un fósil de un braquiópodo en corte longitudinal (inferior derecha).

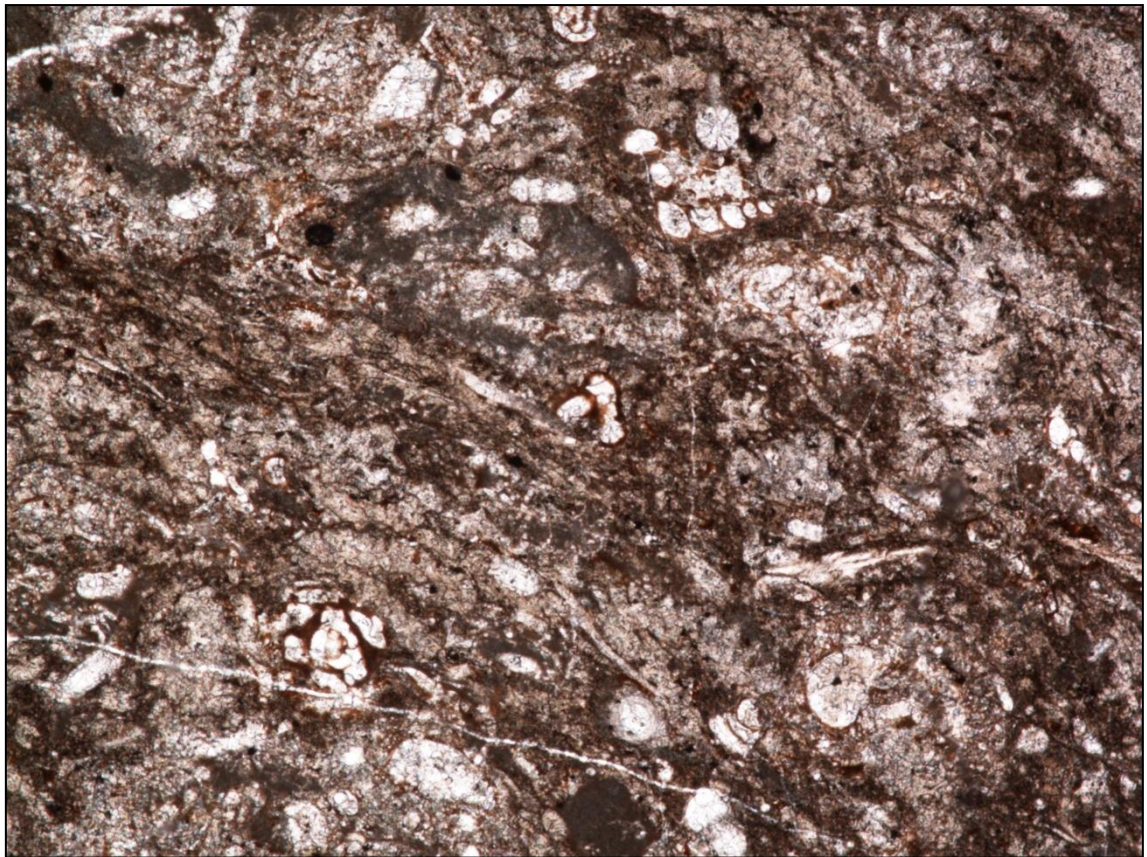


**Figura 49: Fotografía DS280050
Biomicroarenita de Foraminíferos y Braquiópodos
Nicoles Paralelos con lente 5x/O.15**

La fotografía muestra la sección columna de un Crinoideo de 2mm de diámetro con relleno de materia orgánica en la parte interna del pedúnculo.

- **Muestra MDS-030**

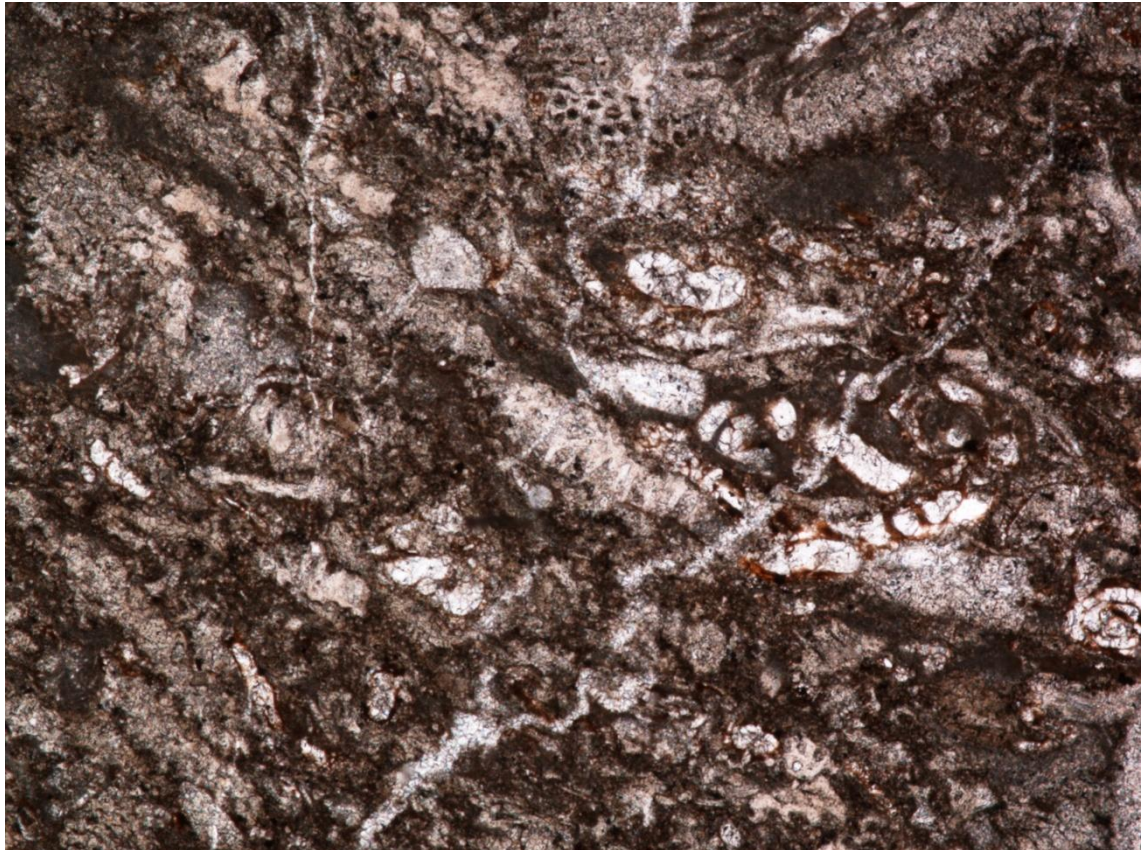
Sección delgada realizada a partir de la muestra ubicada en la cantera La Cemento, pertenece a miembro superior de la Formación Diamante en el intervalo C-042 del segmento XVIII. El nombre de la roca es Micrarenita de Foraminíferos, ver figura 50 y Anexo 4.



**Figura 50: Fotografía DS300009
Micrarenita de Foraminíferos
Nicolas Paralelos con lente Nikon 5x/0.15**

La materia orgánica está presente de manera dispersa, en relleno de grietas y como relleno en cavidades de fósiles (predominando en los foraminíferos). El contenido fósil está compuesto por Braquiópodos, Briozoarios, algas, Crinoideos y en fragmentos de conchillas; y por Foraminíferos bentónicos de hasta 100 micras.

La Esparita se presenta principalmente como venas de CaCO_3 y como la recristalización del CaCO_3 .

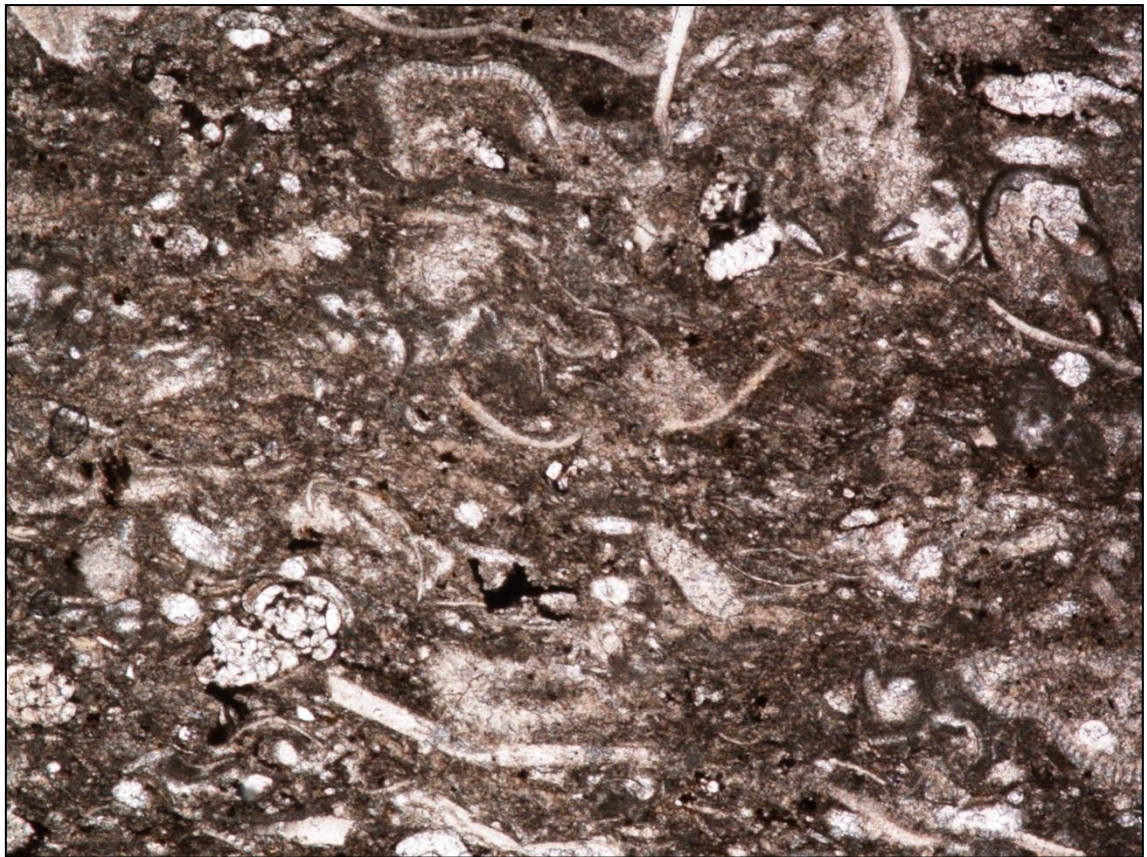


**Figura 51: Fotografía DS300007
Micrarenita de Foraminíferos
Nicoles Paralelos con lente 5x/O.15**

La fotografía muestra Briozoarios reticulados con zoecio de contorno cuadrado perteneciente posiblemente a la clase Gymnolaemata (Camacho 1974), Foraminíferos multiloculados de cámaras en series rectilíneas de la Superfamilia Nodosoriacea y de la familia Lituolidae (Camacho 1974).

- **Muestra MDS-046**

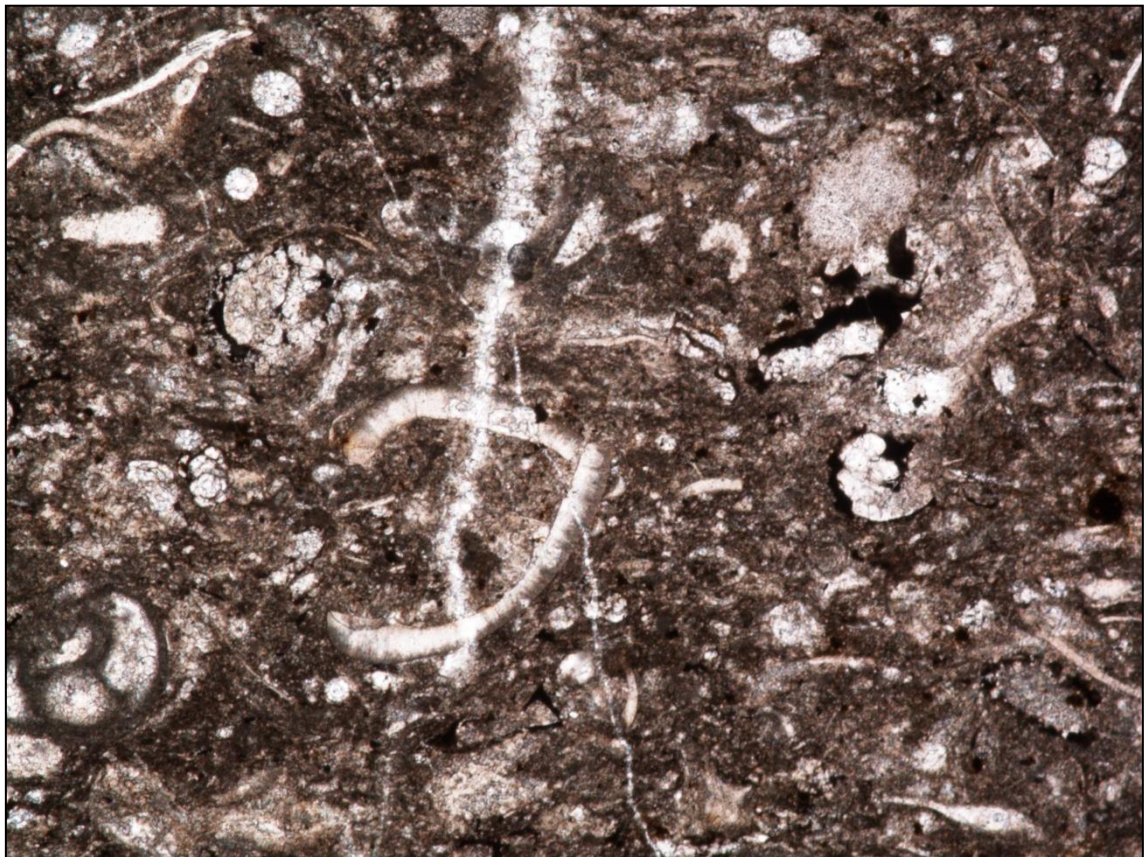
Sección delgada realizada a partir de la muestra ubicada en la cantera La Cemento, pertenece a miembro superior de la Formación Diamante en el intervalo C-049 del segmento XXI. El nombre de la roca es Biomicrarenita de Foraminíferos, ver figura 52 y Anexo 4.



**Figura 52: Fotografía DS460004
Biomicrarenita de Foraminíferos
Nicolas Paralelos con lente Nikon 5x/0.15**

La materia orgánica está presente de manera dispersa, bandas y como relleno en cavidades de fósiles (predominando en los foraminíferos). El contenido fósil está compuesto por Braquiópodos en cortes longitudinales o transversales, Crinoideos, fragmentos de conchillas; y por Foraminíferos bentónicos de hasta 100 micras. La

Esparita se presenta principalmente como venas de CaCO_3 y como la recristalización del CaCO_3 .



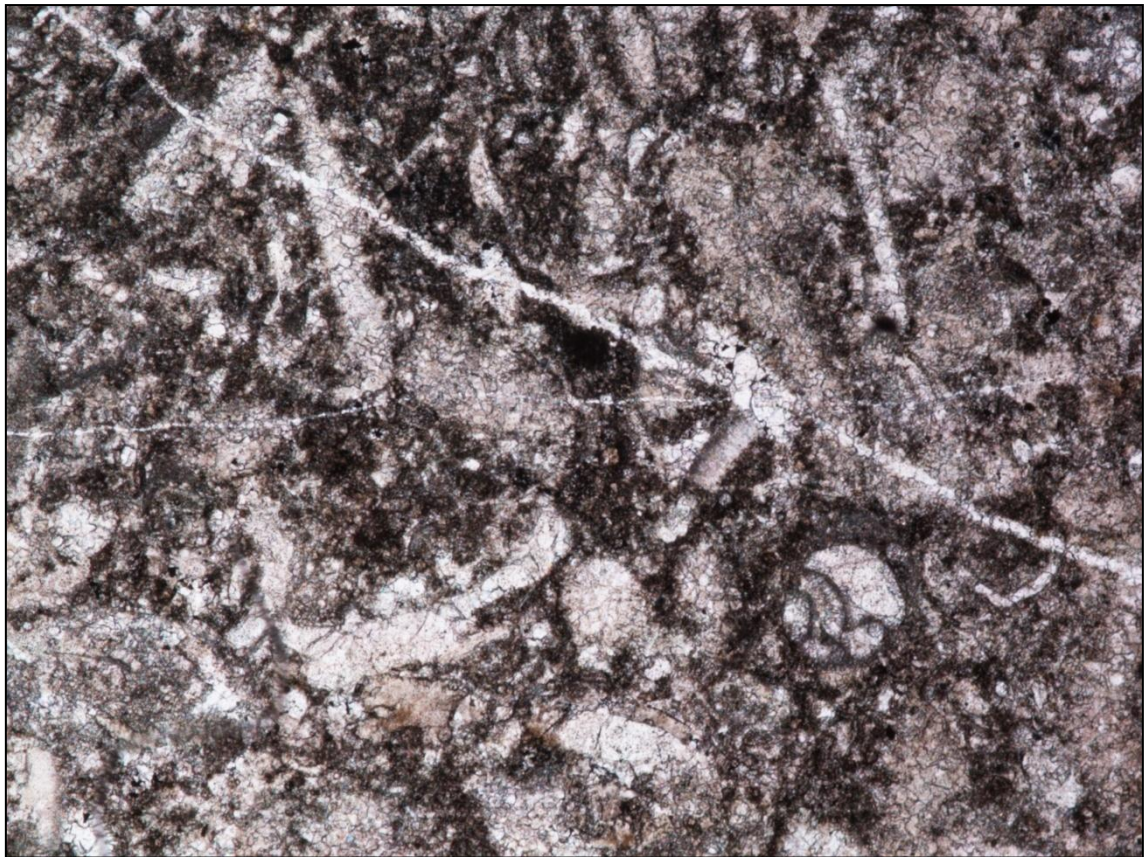
**Figura 53: Fotografía DS460015
Biomicroarenita de Foraminíferos
Nicoles Paralelos con lente 5x/O.15**

La fotografía muestra: Foraminíferos multiloculados de la Familia Lituolidae (Camacho 1974) con relleno de materia orgánica, Foraminífero multiloculado de la Familia Textularidae con cámaras colocadas en una serie alterna (Colon 1946), Conchillas de Braquiópodos y Crinoideo.

- **Muestra MDS-047**

Sección delgada realizada a partir de la muestra ubicada en la cantera La Cemento, pertenece a miembro superior de la Formación Diamante en el intervalo C-049 del segmento XXI.

El nombre de la roca es Micrarenita Fosilífera, ver figura 54 y Anexo 4.



**Figura 54: Fotografía DS470011
Micrarenita Fosilífera
Nicolas Paralelos con lente Nikon 5x/0.15**

La materia orgánica está presente de manera dispersa, en bandas y como relleno en cavidades de fósiles (predominando en los foraminíferos). El contenido fósil está compuesto por Braquiópodos en cortes longitudinales o transversales y en fragmentos de conchillas, por algas y por Foraminíferos bentónicos de hasta 100

micras. La Esparita se presenta principalmente como venas de CaCO_3 y como la recristalización del CaCO_3 .

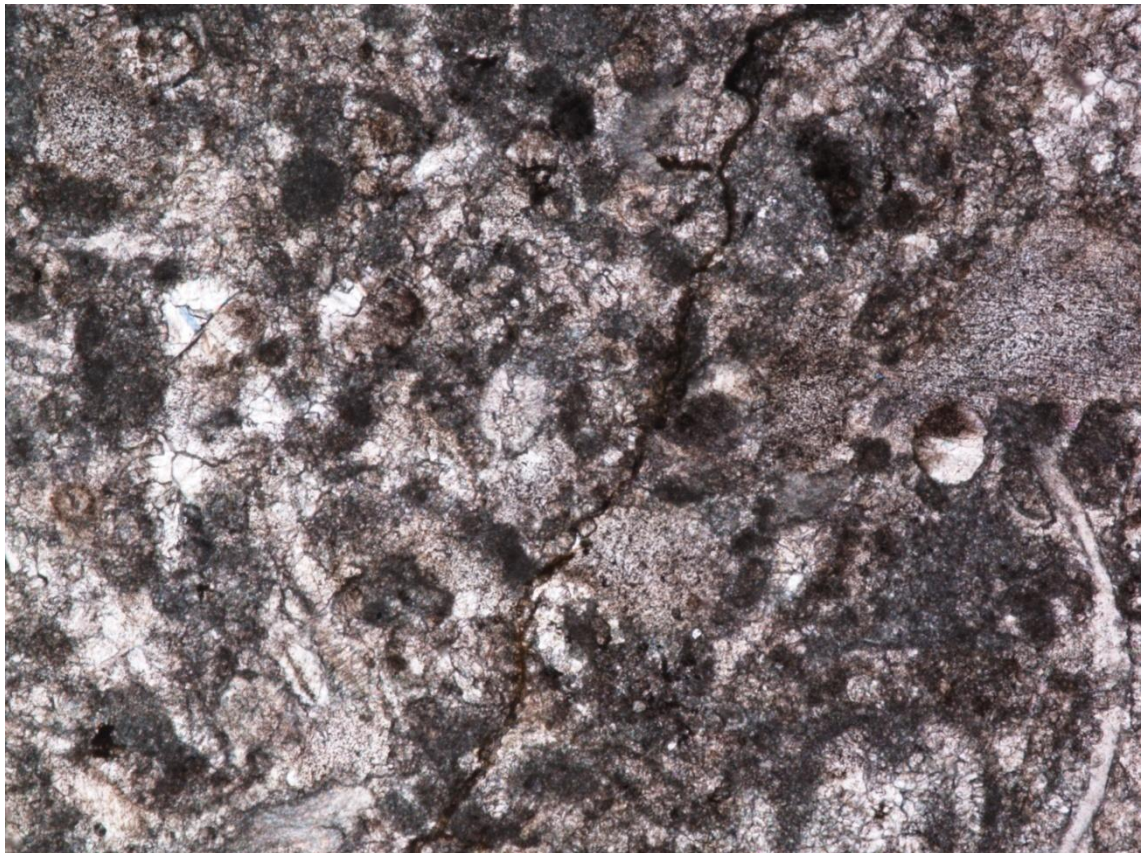


**Figura 55: Fotografía DS470023
Micarenita Fosilífera
Nicoles Paralelos con lente 5x/O.15**

La fotografía muestra hacia el centro y hacia la margen inferior derecha, restos de algas de forma alargada. Matriz de micrita, fósiles de foraminíferos, Crinoideos, Briozoarios y braquiópodos en corte longitudinal de aproximadamente 400 micras, Foraminíferos de la Familia Textularidae (Camacho 1974), Crinoideos con recristalización de CaCO_3 , fragmentos de conchillas de Braquiópodos y venillas de CaCO_3 .

- **Muestra MDS-048**

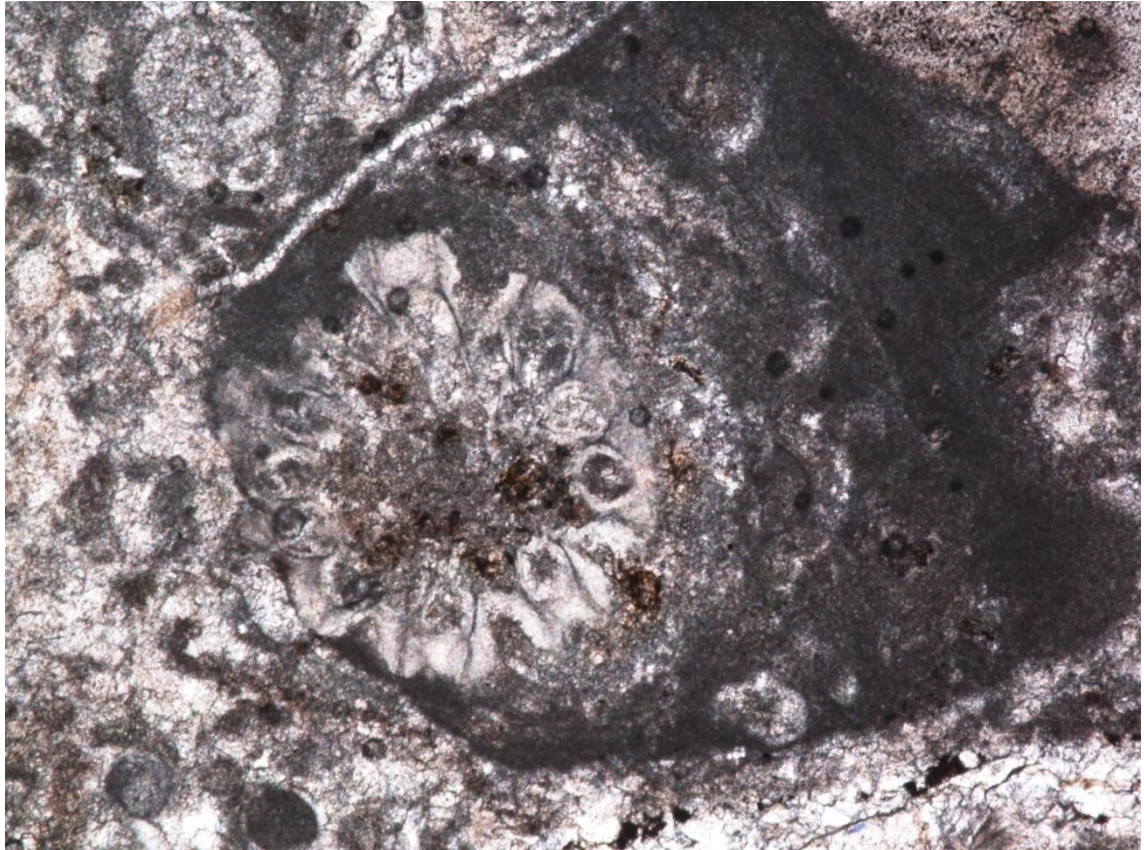
Sección delgada realizada a partir de la muestra ubicada en la cantera La Cemento, pertenece a miembro superior de la Formación Diamante en el intervalo C-051 del segmento XXII. El nombre de la roca es Micrarenita Fosilífera, ver figura 56 y Anexo 4.



**Figura 56: Fotografía DS480012
Micrarenita Fosilífera
Nicolas Paralelos con lente Nikon 5x/0.15**

La materia orgánica está presente de manera dispersa y como relleno en cavidades de fósiles (predominando en los foraminíferos). El contenido fósil está compuesto por Braquiópodos, Briozoarios, algas, Crinoideos y en fragmentos de conchillas; y por Foraminíferos bentónicos de hasta 100 micras. La Esparita se

presenta principalmente como venillas de CaCO_3 y como la recristalización del CaCO_3 .

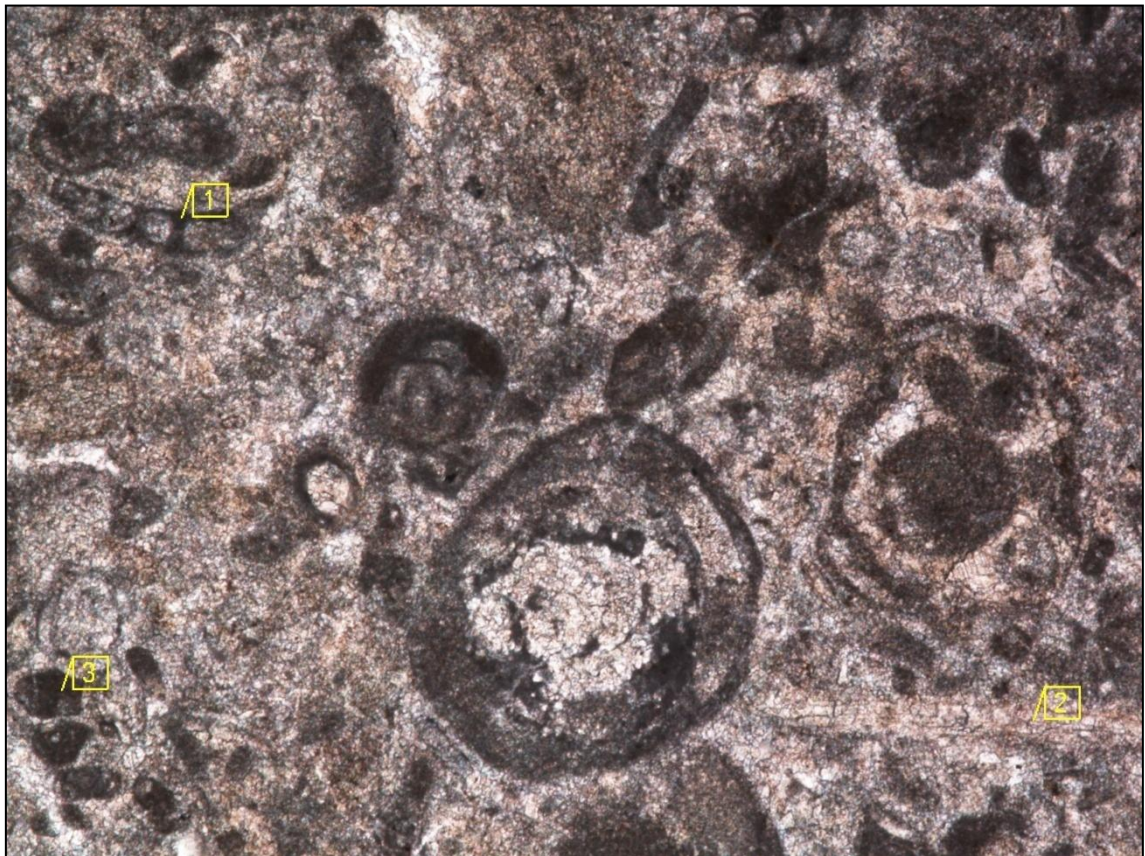


**Figura 57: Fotografía DS480007
Micarenita Fosilífera
Nicoles Paralelos con lente 5x/O.15**

En la fotografía se observa una familia de Briozoarios en corte transversal y Foraminífero (superior izquierda). Matriz de micrita.

- **Muestra MTI-054**

Sección delgada realizada a partir de la muestra ubicada en la cantera La Cemento, pertenece a la Formación Tiburón en el segmento XXIII. El nombre de la roca es Micrarudita Fosilífera, ver figura 58 y Anexo 4.



**Figura 58: Fotografía T1540005
Micrarudita Fosilífera
Nicoles Paralelos con lente Nikon 5x/0.15**

La materia orgánica está presente de manera dispersa y como relleno en cavidades de fósiles. El contenido fósil está compuesto por Braquiópodos, Briozoarios, oolitos, pelets, Crinoideos, fragmentos de conchillas y por Foraminíferos bentónicos. La muestra está compuesta por fragmentos de

diferente litología. La Esparita se presenta principalmente como venas de CaCO_3 y como la recristalización del CaCO_3 .



**Figura 59: Fotografía T1540018
Micrarudita Fosilífera
Nicoles Paralelos con lente 5x/O.15**

La fotografía muestra uno de los diferentes tipos litológicos presentes en la muestra, aquí se ve una matriz de micrita con un fósil de Braquiópodo (centro). Las otras litologías están compuestas por pre-dominio de oolitos, otras con alto contenido de fósiles (predominando los Briozoarios).

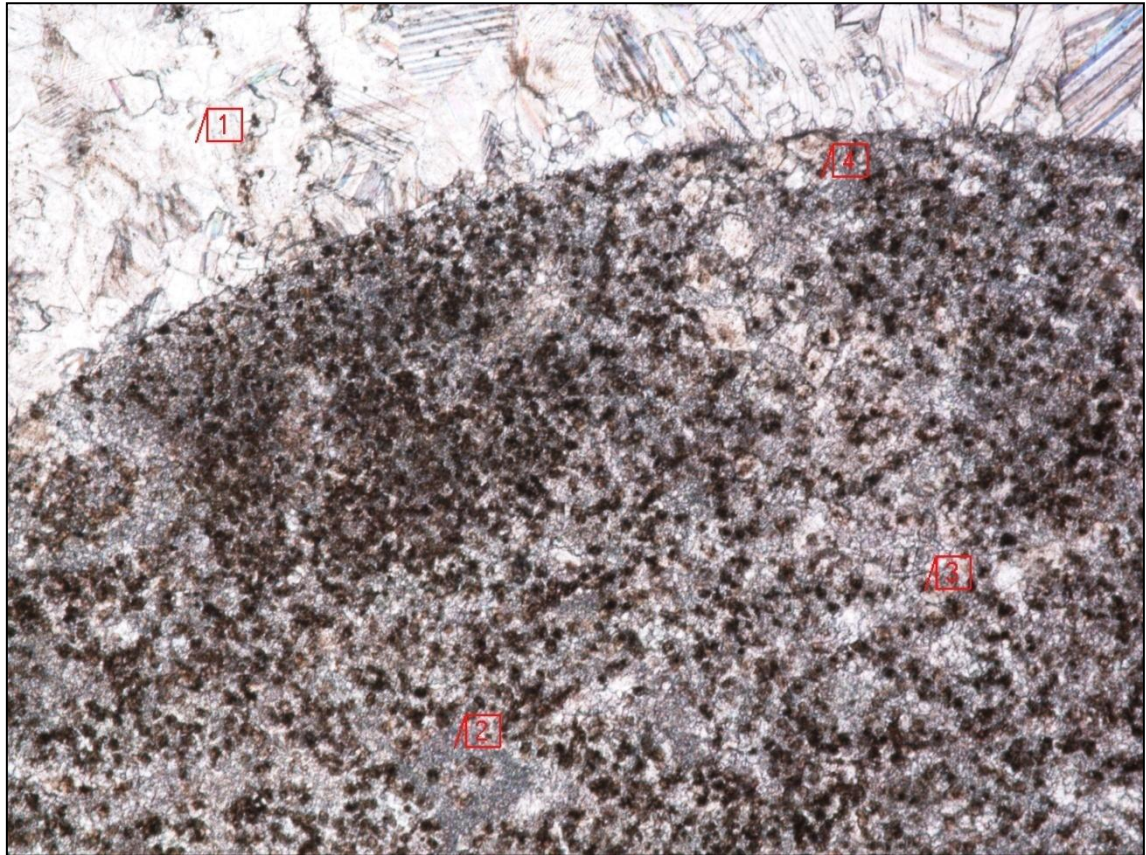


Figura 60: Fotografía TI54003
Micrarudita Fosilífera
Nicoles Paralelos con lente 5x/O.15

Fotografía TI540003 Se observa uno de los cambios litológicos antes mencionado. Hay predominio de oolitos en una matriz de micrita, y está siendo limitada con una vena de CaCO_3 de hasta un milímetro; igualmente en el resto de la muestra, se observan los cambios litológicos limitados por estas venas.

4.4 CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN GEOQUÍMICA

4.4.1 Resultados de T.O.C. La cantidad de materia orgánica fue evaluada mediante el parámetro de Carbono Orgánico Total (TOC). Los parámetros para su interpretación se encuentran en la tabla 1.

El TOC es determinado como la diferencia gravimétrica entre el carbono total (determinado por la quema) y el carbono inorgánico en la roca (determinado por el ataque con ácido clorhídrico).

TOC (%)	Interpretación
0.0 – 0.5	Pobre
0.5 – 1.0	Regular
1.0 – 2.0	Bueno
2.0 – 4.0	Muy Bueno
➤ 4.0	Excelente

Tabla 1: Parámetros de interpretación de Carbono Orgánico Total (Tomado de Peter y Cassa 1994)

Los resultados obtenidos del Carbono Orgánico Total de las 54 muestras de roca analizadas para el presente estudio, se encuentran contenidas en la tabla 2. Las muestras de cada uno de los miembros de la Formación Diamante y de la Formación Tiburón están distribuidas de la siguiente manera:

- Muestras Fm Diamante miembro inferior: MDI-01 a la MDI-05.
- Muestras Fm Diamante miembro medio: MDM-06 a la MDM-14
- Muestras Fm Diamante miembro superior: MDS-15 a la MDS-49
- Muestras Fm Tiburón: MTI-50 a la MTI-54

MUESTRA	PESO	T.O.C	0	1	2	3	4	5
MTI54	0,1295	2,9622						
MTI53	0,1294	0,14374						
MTI52	0,129	0,18533						
MTI51	0,1293	0,090027						
MTI50	0,1262	0,12633						
MDS49	0,138	0,08493						
MDS48	0,13	1,8631						
MDS47	0,1274	0,27414						
MDS46	0,1282	0,29071						
MDS45	0,1291	0,16356						
MDS44	0,1305	0,20417						
MDS43	0,1259	0,072827						
MDS42	0,1312	0,10974						
MDS41	0,128	0,046108						
MDS40	0,1293	0,070423						
MDS39	0,1279	0,05313						
MDS38	0,1312	0,039678						
MDS37	0,128	0,13838						
MDS36	0,1284	0,094689						
MDS35	0,1365	0,1476						
MDS34	0,1284	0,18256						
MDS33	0,1267	0,14496						
MDS32	0,1365	0,081692						
MDS31	0,1304	0,10102						
MDS30	0,1286	0,36247						
MDS29	0,128	0,15838						
MDS28	0,1281	0,67642						
MDS27	0,1292	4,3654						
MDS26	0,1309	0,23029						
MDS25	0,1285	0,094166						
MDS24	0,1309	0,1231						
MDS23	0,1261	0,14647						
MDS22	0,1295	0,14762						
MDS21	0,1278	0,25816						
MDS20	0,1391	0,44573						
MDS19	0,1341	0,10507						
MDS18	0,1461	0,19839						
MDS17	0,1287	0,20941						
MDS16	0,131	0,1587						
MDS15	0,1276	0,19469						
MDM14	0,1332	0,06837						
MDM13	0,1276	0,19807						
MDM12	0,1321	0,11447						
MDM11	0,1353	0,32968						
MDM09	0,1279	0,57732						
MDM08	0,1273	0,18598						
MDM07	0,1316	0,14553						
MDM06	0,1256	0,07069						
MDI05	0,1252	0,065292						
MDI04	0,1388	0,12869						
MDI03	0,128	0,17776						
MDI02	0,1347	0,0600068						
MDI01	0,1266	0,063331						

Tabla 2: Resultados de TOC obtenidos de las 54 muestras y Gráfico de dispersión lineal del TOC.

Claramente se observa que hay un predominio de cantidad total de carbono pobre. Aproximadamente más del 90% del total de las muestras analizadas para el presente estudio muestran esta tendencia. En el miembro inferior de la Formación Diamante, la totalidad de las muestras analizadas tiene una cantidad total de carbono pobre, al igual que el miembro medio de la Formación Diamante, a excepción de la muestra MDM-009, que presentó una cantidad total de carbono de aproximadamente 0.58%, encontrándose ésta en el rango regular en los parámetros de interpretación de cantidad total de carbono.

Por otro lado el miembro superior de la Formación Diamante que fue el miembro de la Formación Diamante más muestreado debido a sus colores oscuros, presentó tan solo tres muestra con contenido total de carbono por encima de los 0.5%, representando aproximadamente un 9% del total de las muestras tomadas para el miembro superior de la Formación Diamante. Estas tres muestra están en el rango de excelente, regular y bueno, respectivamente, según los parámetros de interpretación de cantidad total de carbono.

La tendencia mostrada en la Formación Tiburón, no es muy diferente a la observada para la Formación Diamante. Los porcentajes de cantidad total de carbono están muy por debajo del rango pobre de 0.5%. Solo una de las muestras analizadas para la Formación Tiburón tiene una cantidad total de carbono en el rango muy bueno, según los parámetros de interpretación del TOC. Esta es la muestra MTI-054, que se trata de una Calcirudita de clastos subangulares a subredondeados de calizas.

4.4.2 Resultados de pirolisis rock-eval. La información que genera el análisis de Pirolisis Rock-Eval consiste en cuatro parámetros básicos: S1, S2, S3 y Tmax:

- **S1:** es la medida de hidrocarburos libres o absorbidos en la roca, expresado en miligramos de hidrocarburos por gramos de roca (mg HC/g roca).
- **S2:** representa los hidrocarburos generados durante la pirolisis, expresado en miligramos de hidrocarburos por gramo de roca (mg HC/g roca).
- **S3:** es la medida del dióxido de Carbono resultante de la pirolisis, expresado en miligramos de CO₂ por gramo de roca (mgCO₂/g).
- **Tmax:** es la temperatura correspondiente al máximo de generación de hidrocarburos durante la pirolisis, es decir la temperatura a la cual se registra el máximo pico de S2.

El valor de S1 depende del potencial de hidrocarburífero de la roca, del grado de madurez y de fenómenos de migración.

El pico S2 representa el crudo que el kerógeno presente en la roca, puede llegar a generar en una subsecuente maduración termal, el cual indica el potencial petrolero residual.

El parámetro de Tmax obtenido a partir de la Pirolisis Rock-Eval, representa el grado de madurez termal de la materia orgánica presente en la roca. Los valores utilizados en su interpretación son mostrados en la tabla 3.

A partir de estos parámetros y los resultados de TOC, se logran obtener los resultados de índice de Hidrógeno (HI) y los índices de Oxígeno (OI), mediante las siguientes formulas:

$$\text{Hydrogen Index: } HI = \frac{S1}{TOC} * 100$$

Oxygen Index:
$$HO = \frac{S2}{TOC} * 100$$

La calidad de la materia orgánica es evaluada mediante el parámetro de Índice de Hidrogeno (HI). Los valores utilizados en su interpretación son mostrados en la tabla 4.

Tmax (°C)	Interpretación
< 435	Inmadura
435 – 445	Madurez Temprana
445 – 450	Pico de Generación
450 – 470	Madurez Tardía
>470	Sobremadura

Tabla 3: Parámetros de Interpretación de Tmax
(Tomado de Peter y Cassa, 1994)

HI (mgHC/g TOC)	Tipo de Kerógeno
0.0 – 0.5	Pobre
0.5 – 1.0	Regular
1.0 – 2.0	Bueno
2.0 – 4.0	Muy Bueno
➤ 4.0	Excelente

Tabla 4: Parámetros de Interpretación de HI para determinar el tipo de Kerógeno (Tomado de Peter y Cassa, 1994)

A continuación se evalúan las propiedades geoquímicas para cada una de las muestras, de acuerdo a los parámetros interpretativos formulados anteriormente. Los resultados arrojados por el análisis de la Pirolisis Rock-Eval al igual que los análisis de TOC se muestran en la tabla 5.

IV. RESULTADOS		POZO/AFLORAMIENTO: CANTERA LA CEMENTO GQ: 11044		
		ID CAMPO		
		MDS-027	MDS-048	MTI-054
ID INFOLOGIC		2011101587	2011101588	2011101589
Coordenadas	Norte	1105256	1105379	1105625
	Este	1284968	1285091	1284936
TOC (%wt)		4,3654	1,8631	2,9622
TMAX (°C)		481	470	475,5
S1 (mg Hc/g roca)		0,025	0,005	0,01
S2 (mg Hc/g roca)		0,05	0,01	0,015
S3 (mg CO ₂ /g roca)		0,895	0,21	0,275
HI (mg Hc/g TOC)		0,572	0,268	0,337
OI (mg CO ₂ /g TOC)		1,145	0,536	0,506
PI		N/A	N/A	N/A
(S1/TOC) * 100		0,572	0,268	0,337

Tabla 5: Resultados de Pirolisis Rock-Eval

Para el análisis de la distribución de Tmax identificado para las tres muestras, se observa el contenido de materia orgánica Sobremadura (> 470 °C).

El tipo de Kerógeno identificado para las tres muestras corresponde a Kerógeno tipo IV, siendo esta la clase principal de materia orgánica distribuida en todo el segmento de la Formación Diamante y de la Formación Tiburón. En general se presenta materia orgánica de tipo continental.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El contenido de materia orgánica a lo largo de los miembros de la Formación Diamante y de la Formación Tiburón muestran un predominio de TOC pobre (<0.5%).

Los valores de TOC excelentes y buenos observados en el segmento XVIII con un espesor de 86.81m y el segmento XXII con un espesor de 41.31m del miembro superior de la Formación Diamante y los valores de TOC muy buenos observados en el segmento XXVIII con un espesor de 30.11m de la Formación Tiburón, indican un aumento en la cantidad de aporte de materia orgánica en el momento de la depositación.

El tipo de kerógeno predominante para el miembro superior de la Formación Diamante y para la Formación Tiburón, corresponde a materia orgánica de tipo IV retrabajada, según los análisis de Pirolisis Rock-Eval. Según los análisis petrográficos se tiene una materia orgánica amorfa de origen marino tipo II y de Bitumen que están rellorando estilolitos.

No hay diferencias observables a lo largo de las formaciones, asociado principalmente a la mala preservación de la materia orgánica (bajo HI) y a el kerógeno tipo IV, determinado por el retrabajamiento u oxidación de la materia orgánica (bajo HI).

Según los resultados de Tmax muestran una madurez termal del kerógeno a lo largo de las formaciones objeto del presente estudio en estados generalizados de Sobremadurez, con rangos de temperatura que van desde 470 °C hasta los 481°C.

BIBLIOGRAFIA

ADAMS, A.E. Atlas of Sedimentary Rocks under the microscope. Longman. New York. U.S.A. 1989.

ARIAS DELGADO, A. & GOMEZ DIAZ, M. Contribución al conocimiento Geológico de la Formación Tiburón, en un sector al Norte de Bucaramanga. Bucaramanga, Colombia, 1993. Tesis (Geólogo). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias Físico-Químicas, Escuela de Geología.

CACERES, C. et al. Mapas de distribución de facies Sedimentarias y Armazón Tectónico de Colombia a través del Proterozoico y Fanerozoico. Bogotá, Ingeominas, 2003. 45 p.

DICKEY, P.A. Pre-Cretaceous Sediments in the Cordillera Oriental of Colombia. Tulsa, U.S.A. AAPG Bulletin, 1941. V 25. N° 9. P 603 – 623.

ETAYO, F. Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia. Bogotá, Colombia: Publicaciones Especiales del Ingeominas, 1986. N° 14

GOMEZ, J.A. Geología Histórica. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander, 1987.

GONZALEZ BERNAL, N. & LAZARO de la Rosa, M.B. Estudio de las Sedimentitas Paleozoicas al N de Bucaramanga (Sector Vuagual – Los Colorados – Finca Cementos Diamante). Bucaramanga, Colombia, 1994. Tesis (Geólogo). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias Físico-Químicas, Escuela de Geología.

JULIVERT, M. et al. Léxico Estratigráfico internacional. Amérique latine, volumen V, fascicule 4a, Colombie, 1968. p 22 – 27

NAVAS, J. Geología del Carbonífero al Norte de Bucaramanga. Bucaramanga, Colombia. Boletín de Geología. Universidad Industrial de Santander, 1962. N° 11, p 23 – 34.

PETTIJHON, J.F. Sedimentary Rocks. Harper and Row. New York. U.S.A., 1975.

TOUSSAINT, J.F. Evolución Geológica de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, 1993.

WALKER, R.G. Facies Models. Second. Ontario. Canada: Geol. Assoc. Canada. Geoscience Canada, 1984.

WARD, D.E. et al. Mapa Geológico de los Cuadrángulos H-12 (Bucaramanga) y H-13 (Pamplona), Colombia. Bogotá, Colombia: Boletín Geológico, Ingeominas, 1969. V XXI, N° 1 – 3.