

OCURRENCIA Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ROCAS CARBONATADAS  
EN EL SECTOR CENTRAL DEL MACIZO DE SANTANDER.

ANGÉLICA MARÍA CARO GÓMEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO- QUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA

2017

OCURRENCIA Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ROCAS CARBONATADAS  
EN EL SECTOR CENTRAL DEL MACIZO DE SANTANDER.

ANGÉLICA MARÍA CARO GÓMEZ

Tesis para optar al título de Geóloga

Director:

CARLOS ALBERTO GARCÍA RAMÍREZ

Geólogo, PhD

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO- QUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA

2017

## A MAMÁ

Por ser mi ejemplo de lucha constante, por valer por dos, tres y mil, pero sobre todo por enseñarme que, aunque esté sola, sola debo dar más de un paso hacia delante, siguiendo el rumbo de mis sueños.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por la dicha de la vida, la terminación de esta etapa y las oportunidades que junto a ella me permitió disfrutar.

A mi madre, Georgina Gómez Gómez por ser la persona quien me inspira a ser mejor y luchar cada día, la única persona que anhelo se sienta orgullosa de mí, pero sobre todo por mostrarse siempre fuerte cuando la vida no fue tan buena con nosotras y ver siempre la estrella en una nochecita oscura, sé que este título es su sueño hecho realidad.

A Valeria y Santiago, mis pedacitos de cielo, mis personas favoritas, porque fueron sus sonrisas, su amor puro y sus gritos de alegría al verme, la mejor terapia en los días malos. A mis hermanos porque aún distantes siempre han creído en mí. A mi nonita, tíos y primos. A Leonel, por motivarme a volar, por su ayuda, apoyo y cariño en todo el trayecto de esta etapa. A Karin por poder contar con su amistad y ser mi cómplice de sueños desde el 2007.

A Liley, Jessika y Karina por su compañía en el 504, por la combinación de mis dos pasiones Geología y Música, por los días de traspasado, las madrugadas, las celebraciones, las rabias, cada momento bueno y malo hicieron parte de esta etapa y no hubiese sido lo mismo sin ellas.

A el profesor Carlos Alberto García Ramírez por su grandiosa paciencia, su acompañamiento, consejos, enseñanzas y ser un gran guía durante el desarrollo de este proyecto.

A esas personas que conocí a lo largo de esta etapa, que a pesar de las diferencias, se convirtieron en más que compañeros de clases, en grandes

amigos con una misma pasión dispuestos a ayudar en los momentos más complicados y disfrutar contigo de los momentos de alegría, en especial a Andrea, Lizeth, Jahir, Anggy, María Camila, Dennis, María Paula y Felipe.

A la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, profesores y administrativos, por las enseñanzas y apoyos dados durante este camino.

Al Geólogo David Alfonso Serrano por su colaboración con el tratamiento estadístico de los datos y manejo del software.

Al grupo de Investigación de Geología Básica y Aplicada (GIGBA) de la Universidad Industrial de Santander – Parque Tecnológico Guatiguará por el préstamo de los microscopios, así como de las secciones delgadas incluidas dentro de su litoteca las cuales eran necesarias para el desarrollo de la petrografía de la presente investigación.

Al laboratorio de preparación de muestras geológicas de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, a Luis Fernando Anaya por su colaboración en la preparación y elaboración de las secciones delgadas y trituración de las muestras.

Al Laboratorio de Espectroscopía (LE) de la Universidad Industrial de Santander – Parque Tecnológico Guatiguará por el servicio prestado en el análisis de las muestras.

A los estudiantes de la asignatura de Campo II de la Escuela de Geología – Universidad Industrial de Santander por sus observaciones y recolección de muestras que hoy hacen parte de la litoteca de la Escuela.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	15
1. OBJETIVOS.....	16
1.1. OBJETIVO GENERAL .....	16
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2. LOCALIZACIÓN .....	17
3. METODOLOGÍA .....	19
3.1. ETAPA 1: RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.2. ETAPA 2: COMPILACIÓN DE DATOS Y MUESTRAS GEOLÓGICAS .	19
3.3. ETAPA3: CAMPO .....	19
3.4. ETAPA 4: LABORATORIO .....	20
3.4.1. Preparación de muestras, selección y elaboración de secciones delgadas: .....	20
3.4.2. Análisis Petrográfico: .....	20
3.4.3 Espectroscopía Infrarroja: .....	22
3.4.4. Análisis Textural:.....	22
3.4.5. Análisis Geoquímicos:.....	22
3.5. ETAPA 5: ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN DE DATOS E INFORME FINAL.....	23
4. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....	24
5. ESTADO DEL ARTE.....	27
6. PETROGRAFÍA .....	32

6.1. SECTOR MINA EL PORTILLO – CORREGIMIENTO DE BARAYA.....	34
6.2. SECTOR DE SANTO DOMINGO DE SILOS.....	36
6.2.1. Mármol Puro: .....	38
6.2.2. Mármol Impuro:.....	40
6.3. SECTOR VÍA BERLIN – VETAS.....	44
6.4. SECTOR MUTISCUA .....	47
6.5. ESPECTROSCOÍA INFRARROJA .....	50
7. METAMORFISMO .....	53
8. ANÁLISIS TEXTURAL .....	55
8.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	57
8.1.1. Pruebas Post – Hoc: .....	58
9. GEOQUÍMICA.....	62
10. DISCUSION .....	73
11. CONCLUSIONES .....	76
12. RECOMENDACIONES.....	78
BIBLIOGRAFÍA.....	79

## LISTADO DE FIGURAS

- Figura 1.** Ubicación del área de estudio comprendida entre los municipios de Santo Domingo de Silos (íconos amarillos), Mutiscua (íconos Rojos) y Baraya (íconos azules)..... 18
- Figura 2.** Clasificación de las muestras estudiadas según diagrama C-CS-S. (C: Carbonatos; Cs: Silicatos ricos en Calcio; S: Silicatos pobres en calcio).32
- Figura 3.** Microfotografía de la sección CGR – 1 a) textura granoblástica, nicoles cruzados, b) paralelo, c) venillas de calcita con variación en el tamaño de grano, d) Igual imagen a c en nicoles paralelos..... 36
- Figura 4.** Ocurrencia de mármol en Silos en Esquistos del Silgará. A: Mármol fracturado con presencia de venillas de calcita (flanco oriental de la Cuchilla Concáceres). B: Afloramiento escarpado con litología de Mármol (sector de Cáraba Grande). C: Niveles de mármol entre esquistos micáceo y cuarcita (flanco oriental de la Cuchilla Concáceres). D: Mármol gris con estructura bandeada y diaclasamiento y meteorización moderada a fuerte. (Sector Cáraba Grande)..... 37
- Figura 5.** Microfotografía del mármol puro (SB – 54). Se exhiben maclado tipo I y II, minerales concordantes y discordantes con la foliación principal, textura granoblástica. Nicoles cruzados. Imagen de la derecha en nicoles paralelos. .... 40
- Figura 6.** Microfotografía de mármoles impuros. (SB – 68) a) y b) muestra venilla de cristales de calcita discordantes a la foliación principal, c) venilla de cuarzo concordante con la foliación, cristales de Titanita asociados, d) marcas de oxidación alrededor de la venilla de cuarzo, SB – 150 e) Cristales de cuarzo fracturados en contacto con diópsido, tremolita y calcita f) oxidación en los bordes de los cristales de cuarzo fracturados y minerales asociados..... 42
- Figura 7.** Cantera de mármol. A: Afloramiento de aproximadamente 5 m de espesor. B: Detalle de mármol masivo en donde la dirección del martillo representa la dirección de la orientación de los cristales..... 45
- Figura 8.** Microfotografía de la sección AC01 – 01. Con ubicación entre Silos y Mutiscua en los alrededores de Berlín. Se evidencia un tamaño de grano grande para los cristales de calcita superior a 1 mm. Derecha) paralelo..... 46

<b>Figura 9.</b> Niveles de mármol ubicados en cercanías a la Quebrada Valegrá. A) mármol lenticular en cuarcitas y esquistos pelíticos B) Contacto entre granofelsas y mármol de coloración naranja. C) Detalle de los mármoles evidenciando su espesor considerable. ....	48
<b>Figura 10.</b> Microfotografía de la sección PCM – 679 correspondiente a mármol impuro del municipio de Mutiscua. A y b) muestran las maclas tipo I y II, extinción ondulante, deformación y textura granoblástica clara. C) extinción ondulante asociada macla tipo III D) Macla tipo III caracterizada por su sinuosidad.....	50
<b>Figura 11.</b> Espectros de infrarrojo de las muestras analizadas. Nótese la similitud entre ellos. ....	52
<b>Figura 12.</b> Valores medios de los tamaños de grano, en micras ( $\mu\text{m}$ ). Las barras representan los valores de los cuartiles Q1(25%), Q2(50%) y Q3(70%) y los símbolos * indican los valores atípicos. Nótese los valores bajos de CGR–1, los más altos de SB – 151 y AC01 – 01 y los intermedios de SB – 29 y SB – 54. La muestra AC01 -01 muestra solo 25, los cuales no son suficientes.....	57
<b>Figura 13.</b> Diagrama de Tierras Raras de los mármoles del presente estudio. Valores normalizados al condrito de Nakamura (1974) .....	68

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Localización de las muestras analizadas.....	17
<b>Tabla 2.</b> Abreviaturas minerales usadas.....	21
<b>Tabla 3.</b> Comparaciones mineralógicas (%) de las rocas metacarbonatadas estudiadas en las diferentes localidades.....	33
<b>Tabla 4.</b> Valores en $\text{Cm}^{-1}$ , para cada pico arrojado en Espectroscopia Infrarroja en cada muestra. ....	51
<b>Tabla 5.</b> Paragénesis mineral de las muestras de mármol analizadas. ....	54
<b>Tabla 6.</b> Clasificación según Vogt (1898) del tamaño de grano de las muestras metacarbonatadas analizadas .....	56
<b>Tabla 7.</b> Tabla de Descriptivos, se presenta los valores máximo y mínimo como rango de datos para cada muestra y la media la cual es usada para las comparaciones .....	58
<b>Tabla 8.</b> Subconjuntos homogéneos. obtenidos mediante el método HSD Tukey. Tomado del programa IBM SPSS Statistics. ....	59
<b>Tabla 9.</b> Concentraciones en %w de los Elementos Mayores, elementos traza y tierras raras en ppm para las muestras de mármoles de las localidades estudiadas. Resultados dados por laboratorios ALS en Vancouver, Canadá. Se incluyen el promedio de la corteza superior, Calizas Fanerozoicas, Condrito, PAAS .....	63
<b>Tabla 10.</b> Relación de elementos y anomalías para las muestras de mármol estudiadas. ....	67
<b>Tabla 11.</b> Relación de elementos en las muestras estudiadas. Comparación con los valores de sedimentos marinos de aguas someras y profundas. ....	71

## RESUMEN

**TITULO:** OCURRENCIA Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ROCAS CARBONATADAS EN LA REGIÓN CENTRAL DEL MACIZO DE SANTANDER \*

**AUTOR:** ANGÉLICA MARÍA CARO GÓMEZ.\*\*

**PALABRAS CLAVE:** ROCAS CARBONATADAS, MACIZO DE SANTANDER, TAMAÑO DE GRANO, OCURRENCIA, METAMORFISMO.

### DESCRIPCIÓN:

Las rocas carbonatadas puras de la región central del Macizo de Santander que afloran en los sectores de Silos, Mutiscua, Berlín y Baraya corresponden a mármol con diferente grado de metamorfismo. En el presente estudio las rocas fueron caracterizadas mediante análisis petrográficos, de espectroscopía infrarroja, texturales y geoquímicos. Se definieron litotipos de mármoles puros ( $\text{CaCO}_3 > 95\%$ ) y mármoles impuros (80 - 95%  $\text{CaCO}_3$ ) que ocurren en el sector de Baraya como cuerpos tabulares alargados, intercalados con filitas verdosas; en el sector de Silos y Mutiscua como cuerpos irregulares embebidos en intercalaciones de esquistos pelíticos y cuarcitas y en el sector Berlín vía a Vetas en contacto con un cuerpo ígneo de composición tonalítica – granodiorítica. Estas rocas fueron afectadas por un metamorfismo predominantemente regional alcanzando la facies anfibolita en la zona de la cianita – estaurolita. En el sector de Baraya el metamorfismo es de facies sub-esquistos verdes y el metamorfismo parece ser dinamo-térmico. El tamaño de grano varía entre “Extra fino – casi totalmente compacto” – “moderadamente fino” para el sector de Baraya a – “Moderadamente grueso” en los sectores de Silos, Mutiscua y norte de Berlín. Las relaciones de campo indican que los mármoles de Silos en el cerro Concáceres no corresponden a la Formación Floresta y los de Baraya no corresponden a Esquistos del Silgará, como se originalmente se habían cartografiado.

---

\* Trabajo de Investigación

\*\* Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Escuela de Geología UIS. Director PhD. Carlos Alberto García Ramírez.

## ABSTRACT

**TITLE:** OCURRENCE AND CHARACTERIZATION OF CARBONATE ROCKS IN THE CENTRAL REGION OF THE SANTANDER MASSIF\*

**AUTHOR:** ANGÉLICA MARÍA CARO GÓMEZ.\*\*

**KEYWORDS:** CARBONATE ROCKS, SANTANDER MASSIF, SIZE OF GRAIN, OCURRENCE, METAMORPHISM.

### DESCRIPTION:

The pure carbonate rocks in the central region of the Santander Massif in the localities of Silos, Mutiscua, Berlín and Baraya consist of marbles with different metamorphic grade. In the present study, the rocks were characterized by petrographic, infrared spectroscopy, textural and geochemical analysis. The lithotypes defined include pure marbles ( $\text{CaCO}_3 > 95\%$ ) and impure marbles (80 - 95%  $\text{CaCO}_3$ ) that occur as tabular elongated bodies interbedded with greenish phyllites in the sector of Baraya; as irregular bodies embedded within intercalations of pelitic schists and quartzites in the sector of Silos and Mutiscua; and in contact with an igneous body of tonalitic – granodioritic composition in the sector of Berlin on the way to Vetás. These rocks were affected by a predominantly regional metamorphism reaching the amphibolite facies in the kyanite – staurolite zone. In the Baraya sector the metamorphism reached the sub-greenschist facies and it seems to be dynamo-thermic. The measured grain sizes vary according to the location between "extra fine - almost completely compacted" and "moderately fine" in Baraya; and up to "moderately coarse" in Silos, Musticua and the North of Berlin. Field relationships indicate that the marbles of Silos in the Concáceres hill do not correspond to the Floresta Formation and the ones in Baraya do not correspond to the Silgará Schists, as they were originally mapped

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Escuela de Geología UIS. Director PhD. Carlos Alberto García Ramírez.

## INTRODUCCIÓN

Las rocas carbonatadas forman un grupo muy complejo dentro de la secuencia metamórfica del Macizo de Santander sobre las cuales hasta el momento han sido escasos los estudios que se han adelantado. En algunos sectores como Silos, Mutiscua, Berlín y Baraya es aún poco clara su pertenencia a las unidades formalmente definidas en el macizo, además constituyen un reto en cuanto a la determinación de su grado de metamorfismo debido a la ausencia o escasez de minerales indicadores.

El presente trabajo de investigación comprende el análisis de la ocurrencia de dichos cuerpos en campo y su asociación con las litologías adyacentes, la descripciones petrográficas, texturales, geoquímicas, espectroscopía infrarroja y de metamorfismo, con el fin de establecer características y parámetros de dichos cuerpos en cada sector que permitan contribuir al entendimiento de la evolución tectonometamórfica del Macizo de Santander. Este proyecto de grado, bajo la modalidad de “Trabajo de investigación” forma parte del proyecto de investigación 9435 “Estructura y evolución del basamento cristalino del Macizo de Santander, Cordillera Oriental (Colombia)” de la Universidad Industrial de Santander y COLCIENCIAS.

Se identificaron litotipos con composiciones carbonatadas puras e impuras (80 – 94 % de  $\text{CaCO}_3$ ) en las que el tamaño de grano diferencia mármoles afectados por metamorfismos en la facies sub – esquistos verdes, esquistos verdes y anfibolita, además de permitir generar una correlación entre las unidades anteriormente establecidas para dichos cuerpos en cada sector.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Estudiar las rocas carbonatadas en las localidades de Santo Domingo de Silos, Mutiscua y Baraya para identificar atributos que permitan aclarar su origen y correlación con las unidades del basamento cristalino del Macizo de Santander.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir la ocurrencia y distribución de las rocas carbonatadas mediante trabajo de campo.
- Determinar la relación de las rocas carbonatadas con las litologías asociadas.
- Realizar estudios texturales y microestructurales en las muestras de interés de la zona.

## 2. LOCALIZACIÓN

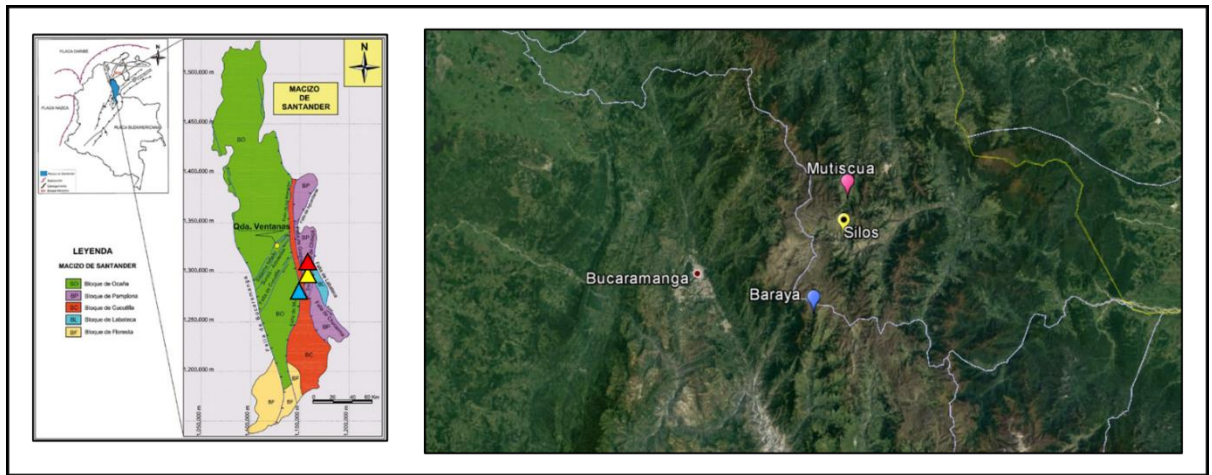
Las zonas de estudio están ubicadas en los municipios de: Santo Domingo de Silos comprendiendo la zona de la cuchilla Concáceres y el borde de la misma con la Cuchilla Socotá y pasando el Río Cáraba en la zona denominada como Cáraba Grande y Mutiscua en la vía que de éste comunica a Sucre cercano a la quebrada Valegrá, ambos ubicado al Suroeste del departamento Norte de Santander); al NE de Berlín en la Vía que de éste comunica a Vetas en el sector Cerro El Albedrío cercano a la Quebrada Los Verdes y los alrededores del corregimiento de Baraya (municipio de Guaca), pertenecientes al departamento de Santander, dichas localidades presentes en la región Central del Macizo de Santander (Ver figura 1 y tabla 1).

Geológicamente, las muestras recolectadas forman parte de las unidades Neis de Bucaramanga, Esquistos del Silgará y Metasedimentitas de bajo grado de edad por definir.

**Tabla 1.** Localización de las muestras analizadas

Muestra	N	E	H	Municipio
SB – 29	1.291.496	1.144.995	2.939	Silos
SB – 54	1.143.783	1.286.453	2.705	Silos
SB – 68	1.146.769	1.287.969	2.925	Silos
SB – 147	1.288.000	1.146.850	2.938	Silos
SB – 148	1.288.297	1.146.796	2.945	Silos
SB – 149	1.289.250	1.146.796	3.023	Silos
SB – 150	1.287.730	1.147.280	2.650	Silos
SB – 151	1.286.132	1.144.195	2.710	Silos
AC01 – 01	1.291.447	1.130.325	3.724	Berlín - Vetas
PCM – 679	1.130.194	1.145.252	2.670	Mutiscua - Sucre
CGR – 1	1.268.703	1.138.114	3.775	Baraya

**Figura 1.** Ubicación del área de estudio comprendida entre los municipios de Santo Domingo de Silos (íconos amarillos), Mutiscua (íconos Rojos) y Baraya (íconos azules).



Fuente: Clavijo et al. (1993) y Clavijo (1994) y galería de Google Earth 2016

### **3. METODOLOGÍA**

El desarrollo del presente trabajo de investigación requirió de cinco etapas consecutivas para lograr cumplir con los objetivos propuestos.

#### **3.1. ETAPA 1: RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

Esta etapa correspondió al Planteamiento del problema a tratar y la delimitación del área de estudio, así como la recopilación y revisión bibliográfica relacionada con el objetivo de la investigación, teniendo en cuenta estudios realizados anteriormente sobre la misma temática o contextos similares. Para la recopilación de información se utilizaron, artículos, mapas geológicos y sus memorias y trabajos de grado en la Biblioteca central de la Universidad Industrial de Santander (UIS) y el Servicio Geológico Nacional (Colombia).

#### **3.2. ETAPA 2: COMPILACIÓN DE DATOS Y MUESTRAS GEOLÓGICAS**

En esta etapa se realizó la documentación de información geológica y muestras recolectadas por profesores y estudiantes de la Universidad Industrial de Santander en campañas de proyectos de investigación y cursos de campo II.

#### **3.3. ETAPA3: CAMPO**

Durante esta fase se recolectaron las muestras de mármol en los sectores de Berlín y Mutiscua, Silos, Baraya. (ver ubicación en tabla 1)

### 3.4. ETAPA 4: LABORATORIO

#### 3.4.1. Preparación de muestras, selección y elaboración de secciones delgadas:

En esta fase se elaboraron cuatro (4) secciones delgadas y se realizó la preparación de seis (6) muestras para los análisis de espectroscopía infrarroja, consistente en triturado y molienda a tamaño < 50 µm. en el laboratorio de preparación de muestras de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander.

**3.4.2. Análisis Petrográfico:** Se describieron un total de 18 Secciones delgadas. Consistió en un análisis mineralógico modal y un estudio textural. Este se realizó en un microscopio triocular de luz transmitida marca LEICA, modelo DM750P en el laboratorio del Grupo de Investigación de Geología Básica y Aplicada – GIGBA en el Parque Tecnológico Guatigará de la Universidad Industrial de Santander. El registro fotográfico se desarrolló usando el sistema digital MC120HD acoplado al microscopio Leica.

La composición modal fue descrita según la metodología propuesta por el Servicio Geológico Británico (BGS por sus siglas en inglés), publicada por Robertson (1999)<sup>1</sup> y las variedades litológicas se determinaron de acuerdo a la clasificación de la Subcomisión en Sistemática de las Rocas Metamórficas (SCMR por sus siglas en inglés), de la Unión Internacional de Geociencias (IUGS por sus siglas en inglés) publicada por Schmid *et al.*, (2004)<sup>2</sup> y por Rosen *et al.*, (2007)<sup>3</sup>. Las microestructuras observadas se describieron según

---

<sup>1</sup> ROBERTSON, S. BGS Rock classification scheme, classification of metamorphic rocks. Nottingham: British Geological Survey, 1999. Vol. 2. Report number RR 99-02, 26 p.

<sup>2</sup> SHMID, R.; FETTES, W.; HARTE, B. A systematic nomenclature for metamorphic rocks: 1. How to name a metamorphic rock. Recommendations by the IUGS Subcommission on the systematics of metamorphic rocks. SCMR. 2004. Web versión of 01/04/04 ([www.bgs.ac.uk/SCMR](http://www.bgs.ac.uk/SCMR))

<sup>3</sup> ROSEN, Oleg; DESMONS, Jacqueline Y FETTES, Douglas. A systematic nomenclature for metamorphic rocks: 7. Metacarbonate and related rocks. Recommendations by the IUGS Subcommission on the systematics of metamorphic rocks. 2007 [Consultado: 4 de Diciembre de 2016]. Disponible en: [https://www.bgs.ac.uk/scmr/docs/papers/paper\\_7.pdf](https://www.bgs.ac.uk/scmr/docs/papers/paper_7.pdf)

Passchier & Trouw<sup>33</sup> (2005)<sup>4</sup>, y las abreviaturas minerales utilizadas son las propuestas por Whitney & Evan en 2010<sup>5</sup> (tabla 2).

Respecto al tipo de maclas en los cristales de calcita se tomó como referencia Burkhard (1990)<sup>6</sup> quien reconoce cuatro grupos de maclas relacionadas con la deformación tectónica; tipo I- finas y rectas, más de una serie; tipo II- gruesas, rectas algunas con forma lensoide; tipo III- curvas y acuñadas hacia el borde del grano, algunas presentan maclas dentro de maclas; tipo IV- bordes aserrados (saturados), en forma de parches, producido por migración del borde de grano. El aumento en el tipo de macla está caracterizado por un aumento en la temperatura.

**Tabla 2.** Abreviaturas minerales usadas.

Mineral	Abreviatura	Mineral	Abreviatura
<b>Calcita</b>	Cal	Cuarzo	Qz
<b>Plagioclasa</b>	Pl	Biotita	Bt
<b>Zoisita</b>	Zo	Diópsido	Di
<b>Tremolita - Actinolita</b>	Tr - Act	Periclasa	Per
<b>Talco</b>	Tlc	Rutilo	Rt
<b>Titanita</b>	Ttn	Opacos	Opq
<b>Pirita</b>	Py		

*Fuente: Whitney and Evans, (2010)*

<sup>4</sup> PASSCHIER, W. and TROUW, R. *Microtectonics*. Berlin: Editorial Springer-Verlag, 2005. 353 p.

<sup>55</sup> WHITNEY, Donna L.; EVANS, Bernard W. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American mineralogist*, 2010, vol. 95, no 1, p. 185-187

<sup>6</sup> BURKHARD, Martin. Ductile deformation mechanisms in micritic limestones naturally deformed at low temperatures (150–350 C). *Geological Society, London, Special Publications*, 1990, vol. 54, no 1, p. 241-257.

**3.4.3 Espectroscopía Infrarroja:** Estos análisis se realizaron en laboratorio de Espectroscopía (LE) – Edificio de Investigación – Laboratorio 203 – Sede UIS – Parque Tecnológico Guatimar, con el fin de establecer algunas variaciones en la composición química de los minerales presentes en la roca.

Los espectros infrarrojos (EIR) fueron medidos en el equipo Nicolet IS50 FT – IR de Thermo Scientific, bajo las condiciones de 32 scan a una velocidad óptica de 0.4747 cm<sup>-1</sup>. Posteriormente los datos obtenidos fueron graficados mediante el procesador de tablas Excel 2016.

**3.4.4. Análisis Textural:** Este análisis se realizó en el microscopio LEICA modelo DM750P. En cada sección delgada se midieron mínimo cien (100) cristales. Los resultados se procesaron usando el software de prueba libre IBM SPSS STATISTICS disponible en la página web: <https://ibm-spss-statistics.softonic.com/descargar?ex=DSK-309.1>

**3.4.5. Análisis Geoquímicos:** Los análisis geoquímicos se realizaron en el laboratorio ALS laboratories en Vancouver, Canadá. Las condiciones del análisis fueron las siguientes: 250g de roca fueron trituradas y pulverizadas y se tomó la fracción < a mallas 200. Los elementos mayores y menores fueron analizados por fluorescencia de rayos X (XRF). Elementos traza y Tierras Raras fueron analizados mediante ICP-MS. Los límites de detección de elementos mayores son de 0.01, elementos traza y Tierras Raras de 0.5 y 0.1ppm respectivamente. Los datos geoquímicos fueron procesados mediante el

programa de libre acceso *Geochemical Data Toolkit (GCDKit) versión 4.1* de Janousek *et al.*, (2013)<sup>7</sup>, disponible en la página web: <http://www.gcdkit.org/>.

### **3.5. ETAPA 5: ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN DE DATOS E INFORME FINAL**

En esta etapa se realizó el análisis e interpretación de los resultados obtenidos para posteriormente plasmarse en el presente documento.

---

<sup>7</sup> JANOUSEK, V.; FARROW, C. M & ERBAN, V. *Geochemical Data Toolkit (GCDkit)*. [software para el tratamiento de información geoquímica]. Versión 4.1. Fecha de lanzamiento: 2006. Disponible para la descarga en <http://www.gcdkit.org/>

#### 4. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El Macizo de Santander se encuentra en la parte Noroccidental de Suramérica, en la sección suroccidental del Bloque Maracaibo en el Bloque Norandino (Cediél *et al.*, 2003)<sup>8</sup> el cual se formó debido a la interacción de la placa tectónica suramericana con la Placa Nazca y la Placa Caribe; allí se genera un ambiente compresivo donde terrenos alóctonos colisionan contra el Cratón Suramericano.

El área de estudio está localizada sobre los bloques Ocaña, Pamplona y Cucutilla (ver figura 1), los cuales están separados entre sí por la Falla de Mutiscua hacia el Sur y la Falla de las Mercedes hacia el norte. El bloque Cucutilla se presenta como un bloque hundido, el bloque Ocaña con características principalmente tectónicas y por otra parte el Bloque Pamplona como un bloque levantado más pequeño (Royero & Clavijo, 2001)<sup>9</sup>.

Según Ward *et al.* (1973)<sup>10</sup>, el complejo metamórfico del basamento cristalino del Macizo de Santander está representado por las unidades metamórficas correspondientes al Neis de Bucaramanga, la “Formación Silgará” y el Ortoneis. El complejo Bucaramanga denominado de esta forma por Royero y Clavijo (2001)<sup>11</sup>, consta de una secuencia precámbrica de paraneises cuarzofeldespáticos hornbléndicos, micáceos y granatíferos y cantidades

---

<sup>8</sup> CEDIÉL, Fabio; SHAW, Robert P.; CCERES, Carlos. Tectonic assembly of the northern Andean block. 2003. AAPG Memoir 79: 815-848.

<sup>9</sup> ROYERO, J., Y CLAVIJO, J. Memoria explicativa del mapa geológico generalizado departamento de Santander. Escala 1: 400.000. Memoria explicativa. INGEOMINAS, Bogotá. 2001, 92 p.

<sup>10</sup> WARD, D, *et al.* Geología de los cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander. Boletín Geológico Ingeominas, 1973, p 132

<sup>11</sup> ROYERO, J Y CLAVIJO, J. Op. Cit., 92p

subordinadas de anfibolitas, migmatitas, cuarcitas, mármoles y, esporádicamente, granulitas (Royero y Clavijo, 2001)<sup>12</sup> que correspondían a depósitos epicontinentales que alcanzaron condiciones metamórficas de la facies anfibolita durante la Orogenia Grenvilliana (Restrepo *et al.* 1997)<sup>13</sup>. La Formación Silgará fue definida por Ward *et al.* (1973)<sup>14</sup> como una secuencia pre – devónica media de rocas clásticas metamorfoseadas, típicamente delgada y cíclicamente estratificadas, constituida por pizarra, filita, meta-limolita, meta-arenisca impura, meta-waca y meta-waca guijarrosa con menos cantidades de pizarra y filita calcárea, su grado metamórfico es de bajo a medio, con asociaciones minerales que corresponden a facies de esquistos verdes o anfibolita baja. Castellanos *et al.*, (2008)<sup>15</sup> propone que estas rocas fueron afectadas por un metamorfismo regional Caledoniano que produjo una zonación metamórfica desde la zona de la biotita pasando por la zona del granate y estauroлита-cianita hasta la zona de la sillimanita, del típico esquema zonal Barroviense, bajo condiciones de baja a alta temperatura y presión media. Actualmente según dataciones U-Pb y análisis isotópicos de Hf en circones detríticos y geoquímica de roca total, se ha propuesto dividir la Formación Silgará en Esquistos del Silgará, Esquistos del Chicamocha (nombre transitorio) y Filitas de San Pedro según Mantilla *et al.* (2016a<sup>16</sup> y 2016b<sup>17</sup>). Por último, Ward *et al.* (1973)<sup>18</sup>, describe el Ortoneis principalmente como un neis cuarzo-

---

<sup>12</sup> ROYERO, J Y CLAVIJO, J. Op. Cit, p.

<sup>13</sup> RESTREPO-PACE, Pedro; et al. Geochronology and Nd isotopic data of Grenville-age rocks in the Colombian Andes: new constraints for Late Proterozoic-Early Paleozoic paleocontinental reconstructions of the Americas. En: Earth and Planetary Science Letters. Vol. 150 (Mayo, 1997); p. 427-441.

<sup>14</sup> WARD, et al. Op. Cit, p 132

<sup>15</sup> CASTELLANOS, A., *et al.* A new approach on the tectonometamorphic mechanisms associated with PT paths of the Barrovian-type Silgará Formation at the Central Santander Massif, Colombian Andes. Earth Sciences Research Journal, 2008, vol. 12, no 2, p. 125-155.

<sup>16</sup> MANTILLA-FIGUEROA, Luis Carlos, GARCÍA-RAMÍREZ, Carlos Alberto, VALENCIA, Víctor A. Propuesta de Escisión de la denominada “Formación Silgará” (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en circones detríticos. Boletín de Geología. 2016a. 38 (1): p33-50

<sup>17</sup> MANTILLA-FIGUEROA, Luis Carlos; GARCÍA-RAMÍREZ, Carlos Alberto; VALENCIA, Víctor A. Nuevas evidencias que soportan la escisión de la formación Silgará y propuesta de un nuevo marco estratigráfico para el basamento metamórfico del Macizo de Santander (Cordillera Oriental de Colombia). Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 2016b, vol. 40, no 155, p. 320-336.

<sup>18</sup> WARD, et al. Op. Cit, p 132

feldespático, aunque hay presencia de rocas metasedimentarias foliadas, cortinas delgadas de neis hornblendico y anfibolita, y algunos diques metamorfoseados; el metamorfismo del Ortoneis se ubica en la facie esquistos verdes y posiblemente la parte inferior de anfibolita dada la presencia de hornblenda y biotita, también se encuentra epidota, plagioclasa y clorita. (Mantilla *et al.*, 1995)<sup>19</sup>.

El registro de rocas ígneas dentro del Macizo de Santander, documenta la historia de los principales eventos tectonomagmáticos evidenciado en 4 pulsos y su relación con el ambiente de formación de estas rocas. Se reporta una variedad de rocas graníticas calcoalcalinas de edad ordovícica (Restrepo-Pace, 1997<sup>20</sup> y Cediél, 2003)<sup>21</sup> en Mantilla *et al.* (2012)<sup>22</sup>. 2), batolitos y Plutones, cuarzomonzonitas, granitos y finalmente granodioritas (Ward *et al.*,1973)<sup>23</sup>

---

<sup>19</sup> MANTILLA FIGUEROA, Luis Carlos, and GARCIA RAMIREZ, Carlos Alberto. Metamorfismo y metalogenia asociada del Macizo de Santander, Cordillera Oriental (Colombia). 1995

<sup>20</sup> RESTREPO – PACE, Pedro, et al. Op. Cit, p- 427 -441

<sup>21</sup> CEDIÉL, Fabio; SHAW, Robert P.; CCERES, Carlos. Op cit. P 815-848

<sup>22</sup> MANTILLA FIGUEROA, Luis Carlos, *et al.* Remains of early Ordovician mantle-derived magmatism in the Santander Massif (Colombian Eastern Cordillera). Journal of South American Earth Sciences, 2012, vol. 38, p. 1-12

<sup>23</sup> WARD, et al. Op. Cit, p 132

## 5. ESTADO DEL ARTE

A continuación, se presenta brevemente el estado del arte relacionado con el estudio de las rocas carbonatadas en el Macizo de Santander. Se han encontrado niveles de mármoles y estratos calcáreos en el Neis de Bucaramanga y la Esquistos del Silgará (s.l.), y Metasedimentitas de bajo grado.

Ward *et al.* (1973)<sup>24</sup> indica que las rocas metacarbonatadas se presentan principalmente en la Formación Silgará. Recientemente, se ha propuesto dividir la Formación Silgará en Esquistos del Silgará, Esquistos del Chicamocha (nombre transitorio) y Filitas de San Pedro con base en dataciones U-Pb en circones detríticos e isótopos de Hf (Mantilla *et al.* (2016a<sup>25</sup> y 2016b<sup>26</sup>).

Ward *et al.* (1973)<sup>27</sup> describe el Neis de Bucaramanga como una secuencia de rocas meta-pelíticas, semi-pelíticas y meta-areniscas intercaladas con capas delgadas locales de rocas calcosilicatadas y mármol, de edad Precámbrica. En las tres fajas donde aflora el Neis de Bucaramanga los tipos de roca son semejantes, aunque en diferente proporción. Hacia el sur hasta donde esta unidad se corta con la Falla Bucaramanga, entre Bucaramanga y Piedecuesta se puede trazar una banda de roca con epidota-anfíbol en el neis y esta banda puede coincidir con una angosta zona de mármol y de rocas calcosilicatadas que llevan diópsido, expuestas en el risco entre los ríos Suratá y Tona. Se

---

<sup>24</sup> WARD, et al. Op. Cit.

<sup>25</sup> MANTILLA-FIGUEROA, Luis Carlos, GARCÍA-RAMÍREZ, Carlos Alberto, VALENCIA, Víctor A. Op. Cit, p 33-50

<sup>26</sup> MANTILLA-FIGUEROA, Luis Carlos; GARCÍA-RAMÍREZ, Carlos Alberto; VALENCIA, Víctor A. Op. Cit, 320-336

<sup>27</sup> WARD, et al. Op. Cit, p 132

observa el mármol en un sitio cercano a Jaboncillo, aproximadamente en la proyección norte de la roca, con epidota y anfíbol. En la carretera Chitagá – Cácuta aflora mármol cristalino de grano grueso 3 km al sureste de Cácuta, planchita 110-IV-A, G-11, NW. (Ward *et al.*, 1973)<sup>28</sup>

En el área de Berlín – Silos – Mutiscua la Formación Silgará presenta estratos carbonatados; pero parecen ser una parte diferente de la formación que se observa al este en la faja Pamplona, menciona Ward *et al.* (1973)<sup>29</sup>. En esta zona las rocas son cuarcitas y en menor cantidad conglomerados de cantos rodados de cuarzo, esquisto cuarzo muscovítico plateado a gris claro con granate, estauroлита o sillimanita, esquistos grises con granate – biotita – muscovita y cantidades menores de estratos calcosilicatados, mármol gris oscuro y mármol estratificado blanco a gris claro hasta rosado y verde. Hacia el oeste de Mutiscua se desciende (aparentemente en la sección sobre el flanco oeste de un sinclinal que se hunde hacia el norte) desde capas intercaladas de mármol blanco, gris y esquisto de cuarzo y mica, pasando por una sección gruesa de esquisto micáceo, a cuarcita bastante pura y metaconglomerado con guijos de cuarzo. Al este de Mutiscua, cuarcitas y esquistos posiblemente de la base del Silgará, parecen pasar al oeste hacia el paraneis altamente metamorfoseado del Neis de Bucaramanga, pero las rocas al este y encima de la cuarcita aparentan una secuencia diferente de las rocas al oeste de la misma, en donde las capas de mármol del este no se presentan en el oeste (Ward *et al.*, 1973)<sup>30</sup>.

Al sur de Berlín, en el cuadrángulo H – 13, la secuencia es similar a la de Mutiscua, encontrándose mármol fosilífero. Hacia el contacto con el ortoneis del

---

<sup>28</sup> WARD, et al. Op. Cit. P 132

<sup>29</sup> Ibid., p. 132

<sup>30</sup> Ibid., p. 132

alto El Purgatorio, hay filitas negras gráficas y granatíferas que contienen en la parte inferior mármol y cuarcita intercalados y de estratificación delgada, las cuales se presentan solamente en bloques sueltos (Ward *et al.*, 1973)<sup>31</sup>.

Campos (1999)<sup>32</sup> reportó que la ocurrencia de las venas compuestas de cuarzo con menor proporción de calcita en zonas metasomáticas de las rocas metacarbonatadas de la Formación Silgará indican una removilización de SiO<sub>2</sub> y CaO debido a la acción de los fluidos magmáticos tardíos asociados al emplazamiento del protolito del Ortoneis, el cual circula a lo largo de las discontinuidades tectónicas.

Silva *et al.*, 2004<sup>33</sup> menciona que la sucesión de mármoles de la Formación Silgará muestran rutas quimioestratigráficas de isótopos de C que sugieren edades que abarcan desde el Ediacárico Tardío hasta el Cámbrico Temprano y han sido afectadas al menos por tres eventos deformacionales distintivos. La sucesión metasedimentaria fue metamorfoseada desde la facies superior Epidota anfibolita hasta la facies inferior anfibolita e intruída por un ortoneis de edad Ordovícico.

García *et al.* (2005)<sup>34</sup> mencionan que las rocas carbonatadas de la Formación Silgará están representadas por mármoles los cuales muestran una estructura masiva y están principalmente compuestos por calcita, siendo éste el mineral de

---

<sup>31</sup> WARD, et al. Op. Cit, p 132

<sup>32</sup> CAMPOS, N. Estudio mineralógico y petrográfico de las metamorfitas al occidente del Municipio de Mutiscua (Norte de Santander). Tesis Doctoral. Tesis de Pregrado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga (Colombia). 1999

<sup>33</sup> SILVA, J., *et al.* C-Isotope stratigraphy of some Ediacaran-Cambrian carbonate successions in NW Gondwana. Reunión Nacional Ciencias de la Tierra (4), 2004. p327-330

<sup>34</sup> GARCÍA, C. A.; RÍOS, C. A.; CASTELLANOS, O. M. Medium-pressure metamorphism in the Central Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. Boletín de Geología, 2005, vol. 27, no 2

mayor abundancia, con subordinadas cantidades de cuarzo, epidota y zoisita que, en general, no alcanzan el contenido modal del 2% en estas rocas. A pesar de que la base de la formación no ha sido establecida con certeza, parece suprayacer al Neis de Bucaramanga y por relaciones de corte se asume una edad pre-Devónica.

Según estudios realizados en los Esquistos del Silgará por Ávila & Gómez (2006)<sup>35</sup> al norte de Mutiscua en cercanías a la quebrada Valegrá, los mármoles ocurren como capas de tamaños que varían entre centímetros y metros, de color blanco, gris, rosado, anaranjado o verde pálido y muestran una transición a rocas carbonato-silicatadas, y estas a su vez pasan a rocas calcosilicatadas y rocas silicatadas con presencia de carbonatos. Finalmente, cuando los carbonatos tienden a desaparecer en estos dos últimos tipos de rocas, éstas pasan a esquistos pelíticos y anfibolitas (metamáficas).

Según Ríos *et al.* (2008)<sup>36</sup> las rocas metacarbonatadas en la Formación Silgará ocurren como escasas intercalaciones delgadas y de morfología variable (con contactos afilados), que se desarrolla en bandas discontinuas y cuerpos lenticulares dentro de la secuencia en la región Central del Macizo de Santander.

Los estudios anteriormente mostrados demuestran que, a excepción de los

---

<sup>35</sup> ÁVILA CALAO, Guillermo Antonio y GÓMEZ VALDERRAMA, Sergio Iván. Petrogénesis de las rocas calcosilicatadas que ocurren como bandas de reacción entre mármoles y rocas metapelíticas de la Formación Silgará, región Central del Macizo de Santander. Tesis de Pregrado en Geología. Escuela de Geología. Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Universidad Industrial de Santander. 2006

<sup>36</sup> RÍOS, C. A., *et al.* Petrogenesis of the metacarbonate and related rocks of the silgará formation, central santander massif, colombian andes: an overview of a<sup>n</sup> reaction calcic exoscar. Earth Sciences Research Journal, 2008, vol. 12, no 1, p. 72-106.

trabajos de Ávila, Gómez (2006)<sup>37</sup>, Ríos *et al.* (2008)<sup>38</sup> y Silva *et al.* (2004)<sup>39</sup> existen pocas investigaciones enfocadas al estudio de las rocas carbonatadas del Macizo de Santander. Aún quedan muchos interrogantes respecto al origen, evolución o pertenencia de las rocas carbonatadas a las unidades geológicas del MS. Por lo tanto, el presente trabajo de grado pretende aportar conocimiento de las rocas metacarbonatas que contribuya al entendimiento de la evolución tectonometamórfica del Macizo de Santander.

---

<sup>37</sup> ÁVILA CALAO, Guillermo Antonio y GÓMEZ VALDERRAMA, Sergio Iván. Op. Cit.

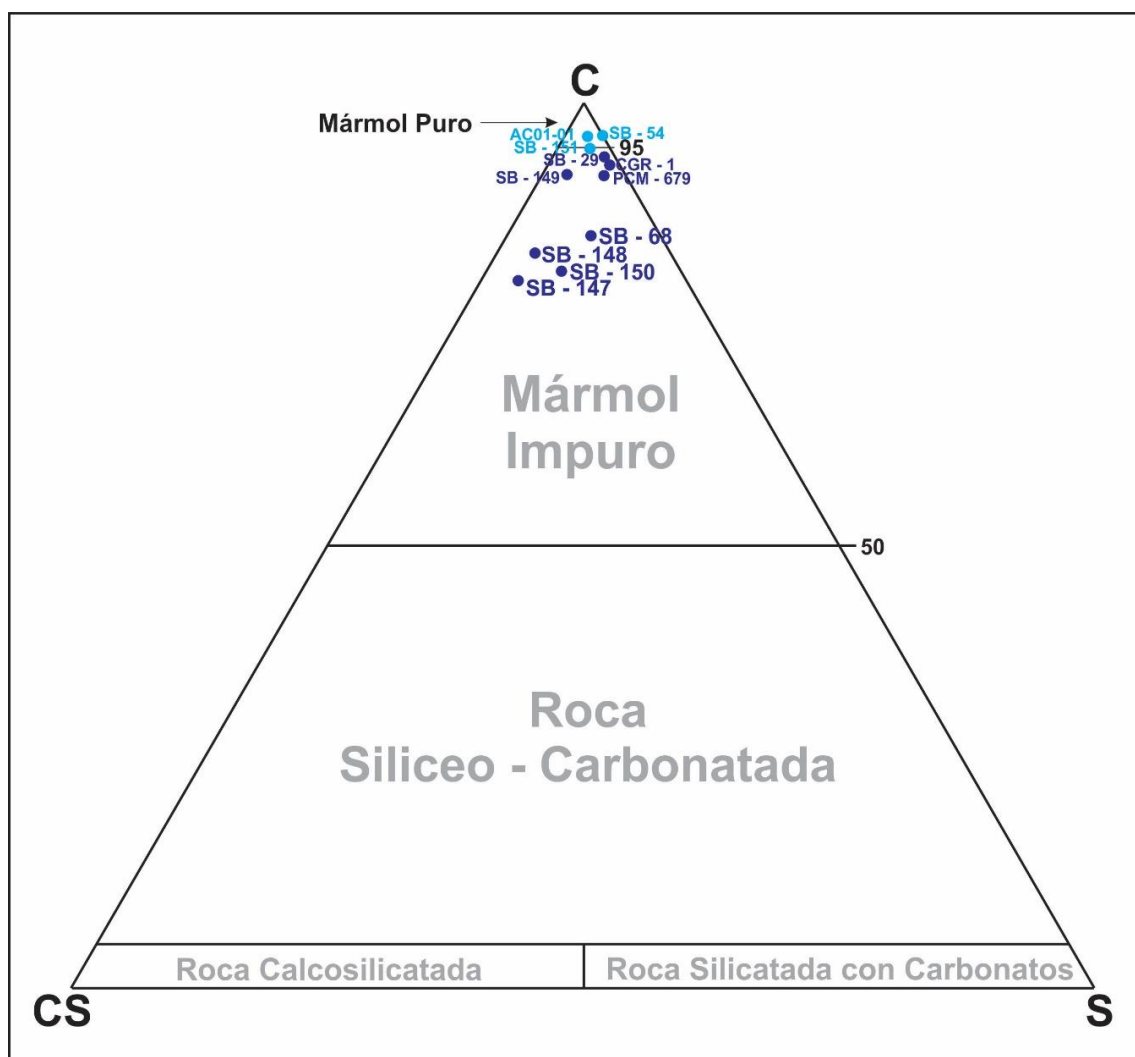
<sup>38</sup> RÍOS, C. A., *et al.* Op. Cit, 72 – 106.

<sup>39</sup> SILVA, J., *et al.* Op. Cit, p 327 – 330.

## 6. PETROGRAFÍA

A continuación, se presentan las descripciones detalladas de las muestras analizadas y un resumen se puede ver en la tabla 3. Las muestras estudiadas corresponden a mármoles puros e impuros (80 – 94 % de carbonatos) (ver figura 2).

**Figura 2.** Clasificación de las muestras estudiadas según diagrama C-CS-S. (C: Carbonatos; Cs: Silicatos ricos en Calcio; S: Silicatos pobres en calcio).



Fuente: Rosen et al. (2004)

**Tabla 3.** Comparaciones mineralógicas (%) de las rocas metacarbonatadas estudiadas en las diferentes localidades

Litotipo	N° Muestra	Cal	Qz	Pl	Bt	Zo	Di	Tr - Act	Per	Tlc	Rt	Ttn	Opq	Py	Total	Textura	Rango tamaño de Grano (µm)
<b>Mármol Puro</b>	<b>SB - 54</b>	96	3,7								0,1	0,2			100	Granoblástica	300 - 2250
	<b>SB - 151</b>	95	3,4				0,5					0,1	1		100	Granoblástica	550 - 3200
	<b>AC01 - 01</b>	96	2,4					0,3	0,8	0,5					100	Granoblástica	750 - 2600
<b>Mármol Impuro</b>	<b>SB - 29</b>	94	5		1										100	Granoblástica	600 - 2500
	<b>PCM - 679</b>	93	4	2		1									100	Granoblástica	200 - 790
	<b>CGR - 1</b>	93	5,8	0,4		0,8									100	Granoblástica	40 - 195
	<b>SB - 149</b>	92	2,5				1,5					2		2	100	Granoblástica	500 - 2300
	<b>SB - 68</b>	85	8				4,5					0,5		2	100	Granoblástica	200 - 1420
	<b>SB - 148</b>	83	4			8	2	2				1			100	Granoblástica	180 - 1000
	<b>SB - 150</b>	81	7				4	3				2	3		100	Granoblástica	100 - 2000
<b>SB - 147</b>	80	3,5			4	8	2				0,5	2		100	Granoblástica	200 - 2600	

### **6.1. SECTOR MINA EL PORTILLO – CORREGIMIENTO DE BARAYA.**

Mármol impuro (muestra CGR-1). La roca fue recolectada de una mina abandonada. En este sector el mármol forma cuerpos tabulares alargados, intercalados con filitas de color verdoso.

El mármol presenta coloración rosácea con tamaño de grano fino y estructura masiva. Es notoria la presencia de venas de calcita. Microscópicamente las características son las siguientes:

Calcita (93%): Se presentan 4 generaciones. Los cristales de la matriz principal ocurren como agregados minerales incoloros de relieve medio con birrefringencia de colores de interferencia que corresponde a escala de grises de primer orden e irisaciones de orden mayor típicas del mineral, individuos homeoblásticos, subidioblásticos a xenoblásticos, maclas de tipo I, sin orientación clara, asociado a cantidades pequeñas de cuarzo, la distribución en la sección es homogénea.

Se observan 3 venillas diferentes de un único mineral correspondiente a calcita, los tamaños de grano son en una de ellas de muy fino a moderadamente fino y en las otras dos los tamaños son considerablemente mayores clasificados de moderadamente grueso a muy grueso. Las venillas están asociadas a fracturas, y se cortan entre ellas debido a que no todas siguen la misma orientación; aquellas con tamaño de grano más grueso suelen estar concordantes.

Cuarzo (5,8%): Individuos minerales incoloros, de relieve bajo, colores de

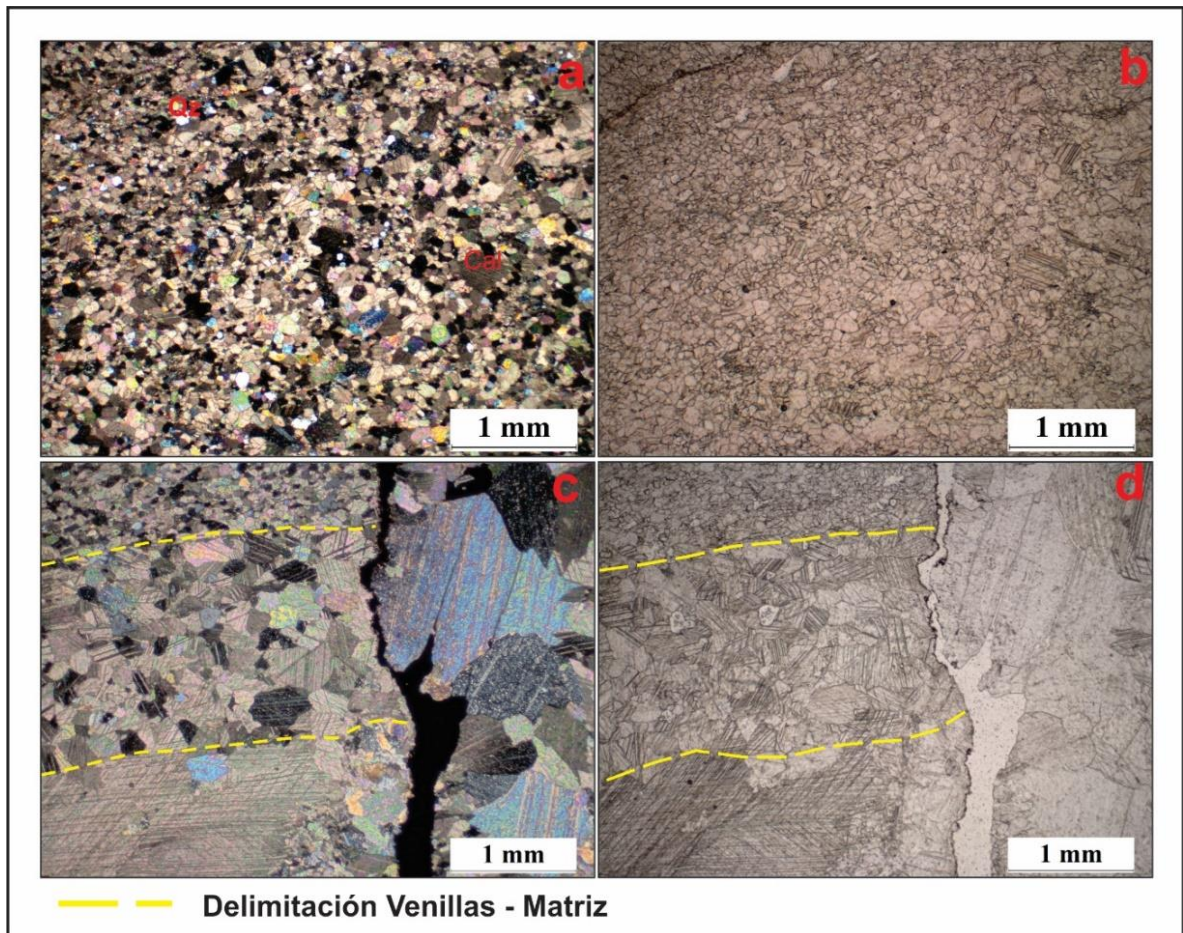
birrefringencia de primer orden a escala de grises, subidioblásticos, homeoblásticos, se encuentran esporádicamente, en contacto neto con los cristales de calcita.

Zoisita (0,8%): Cristales incoloros, de relieve alto, birrefringencia de grises a amarillos de primer orden, con exfoliación destacable en una dirección, homeoblásticos, xenoblásticos, distribuidos esporádicamente en la muestra sin orientación preferente. En contacto con cristales de calcita.

Plagioclasa (0,4%): Agregado incoloro, de bajo relieve, de forma xenoblástica, homeoblástica que ocurren asociados a fracturas pequeñas. Se encuentra alterada a Sericita. Sericita se observa como un agregado micáceo muy fino, que reemplaza de manera moderada a la plagioclasa de bordes a interior.

La textura de la roca es granoblástica.

**Figura 3.** Microfotografía de la sección CGR – 1 a) textura granoblástica, nicoles cruzados, b) paralelo, c) venillas de calcita con variación en el tamaño de grano, d) Igual imagen a c en nicoles paralelos.



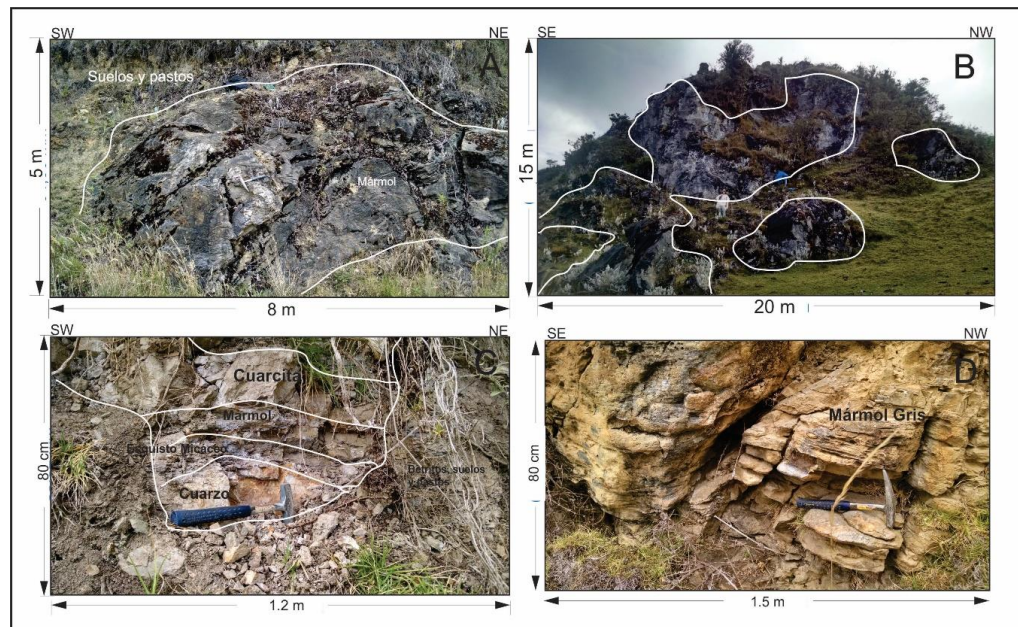
## 6.2. SECTOR SILOS

Las rocas metacarbonatadas están relacionadas con la unidad Esquistos del Silgará y corresponden a mármoles. Los mármoles ocurren como cuerpos irregulares de 1 – 2 m de espesor, embebidos en intercalaciones de esquistos pelíticos y cuarcitas micáceas. El mármol es de tamaño de grano medio con orientación distinguible a simple vista de sus minerales y coloración que varía entre grisácea y blanco. Venillas irregulares de calcita pura de aproximadamente 1mm de espesor cortan la roca en diferentes direcciones sin seguir algún patrón u orientación específicos. Estos niveles

potentes de mármol se encuentran en el lado oriental de la cuchilla Concáceres en los alrededores de la Quebrada Cherquetá, cerca de una zona de falla que pone en contacto la unidad Esquistos del Silgará con la Ortoneis de composición tonalítica y diorítica y en el sector de Caraba Grande donde el afloramiento corresponde a un gran escarpe de roca de aproximadamente 20 m de longitud y 15 m de altura (ver figura 4A – 4B)

Los niveles de mármol de menor espesor se encuentran entre esquistos micáceos, el tamaño de grano es medio y la coloración es blanca a gris, en ocasiones se observan cristales piramidales de pirita de coloración café negruzca en muy baja proporción sin orientación definida, y venillas de calcita cortando la foliación de la roca (Ver figura 4C – 4D). El grado de fracturamiento en la roca es moderado, notándose a simple vista fracturas entre bloques.

**Figura 4.** Ocurrencia de mármol en Silos en Esquistos del Silgará. **A:** Mármol fracturado con presencia de venillas de calcita (flanco oriental de la Cuchilla Concáceres). **B:** Afloramiento escarpado con litología de Mármol (sector de Cáraba Grande). **C:** Niveles de mármol entre esquisto micáceo y cuarcita (flanco oriental de la Cuchilla Concáceres). **D:** Mármol gris con estructura bandeada y diaclasamiento y meteorización moderada a fuerte. (Sector Cáraba Grande).



Las rocas metacarbonatadas corresponden a mármol puro (muestras SB – 54 y SB – 151) y mármol impuro (muestras SB – 29, SB – 149, SB – 68, SB – 148, SB – 150, SB – 147). El mármol puro aflora al sur del río Cáraba cercano al sector denominado como “El Altamisal”. El mármol impuro aflora en la Loma el Hato aledaña al cauce de la quebrada La Honda, cercana a la falla homónima, y tanto en la parte alta como baja de la cuchilla Concáceres, todo al norte del río Cáraba.

**6.2.1. Mármol Puro:** Roca de tonalidades grisáceas y brillo vítreo, el tamaño de grano varía de medio a grueso, estructura masiva y bandeada definida por la variación composicional y orientación preferencia de los cristales; bajo microscopio se observa una débil foliación, definida por la elongación de los cristales de calcita.

Calcita (95 – 96%): Se presenta como agregado mineral, incoloro, de relieve medio, birrefringencia con colores de interferencia correspondiente a grises de primer orden e irisaciones en su mayoría concordantes con la orientación preferente de los cristales, xenoblástica, predominantemente homeoblástica con tamaños de grano que varían entre ligeramente grueso a moderadamente grueso, contacto neto entre cristales, extinción ondulante, y bandas de deformación, maclado tipo I y tipo II. Los cristales se observan elongados definiendo la foliación en la roca. La calcita esta homogéneamente en la roca.

Cuarzo (3,4 – 3,7%): Individuos incoloros con bajo relieve, heteroblásticos, subidioblásticos, los colores de birrefringencia son grises de primer orden. Los individuos de cuarzo están orientados de manera concordante a la foliación de la roca y en contacto neto con los cristales de calcita. Su distribución en la roca es esporádica.

Opacos (1%): individuos homeoblásticos, subidioblásticos, de geometrías variadas, asociados a los cristales de calcita y ocasionalmente en el interior de ellos en forma de microestilolitos, se muestran orientados con la dirección de foliación principal. Su distribución en la roca es esporádica.

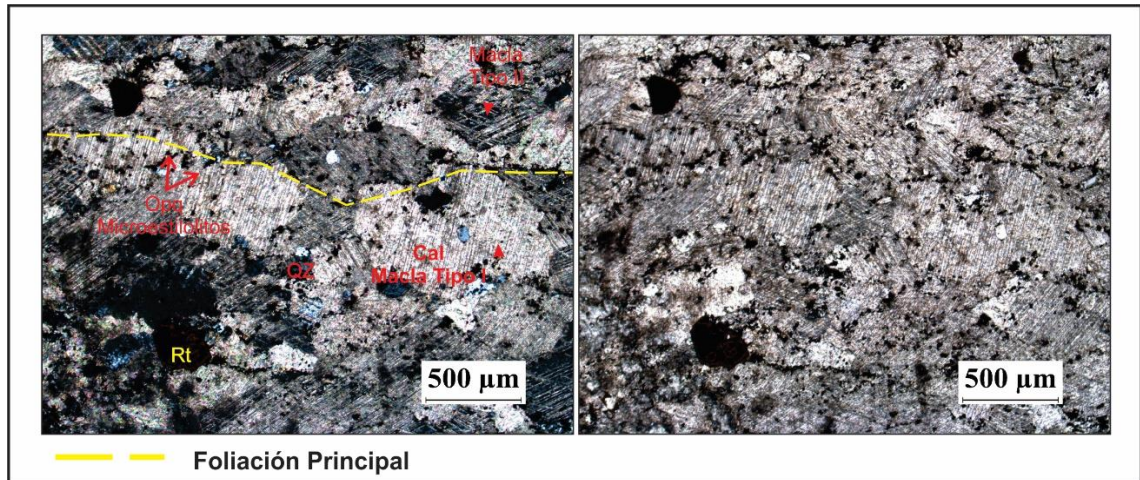
Diópsido (0,5%): Individuos incoloros de relieve moderado a alto, colores de birrefringencia superior al segundo orden que varían entre fucsia y amarillos, subidioblásticos con bordes no tan marcados, generalmente homeoblásticos. Se presentan ligeramente orientados en contacto neto con la calcita. Su distribución en la roca es esporádica.

Titanita (0.1 – 0.2%): individuos minerales de color pardo rojizo, xenoblásticos ocasionalmente subidioblásticos, heteroblásticos, no presentan una orientación preferencial y se observan incluidos dentro de los cristales de calcita. Distribución esporádica.

Rutilo (0,1%): individuo mineral de color café rojizo, relieve alto, birrefringencia del mismo color, subidioblásticos, heteroblástico, no se observa una orientación clara similar a la de toda la sección, en contacto con calcita. Su distribución en la muestra es esporádica.

La textura general de estas rocas es granoblástica.

**Figura 5.** Microfotografía del mármol puro (SB – 54). Se exhiben maclado tipo I y II, minerales concordantes y discordantes con la foliación principal, textura granoblástica. Nicoles cruzados. Imagen de la derecha en nicoles paralelos.



**6.2.2. Mármol Impuro:** Roca de tonalidades grisáceas y blancas, tamaños de grano que varían de moderadamente fino a moderadamente grueso, estructura masiva, bandeamiento con orientación preferencial de los cristales de calcita. Los rasgos microestructurales se representan en la gráfica 20.

Calcita (80 – 94%): Se presentan dos generaciones del mineral. La primera ocurre como agregado mineral, incoloro, relieve bajo, birrefringencia correspondiente a grises de primer orden, subidioblásticos a xenoblásticos, presentan maclas de tipo II y III, exfoliación romboédrica. Las secciones evidencian deformación, foliación marcada en las encontradas en la cuchilla Concáceres y foliación incipiente hacia el sector de Cáraba grande

La segunda generación se presenta en venillas, dispuestas de manera concordante y perpendicular a la orientación predominante, con tamaño de grano moderadamente

fino a ligeramente grueso, producto de un evento hidrotermal su cristalinidad y poca deformación resalta sobre la matriz de la muestra.

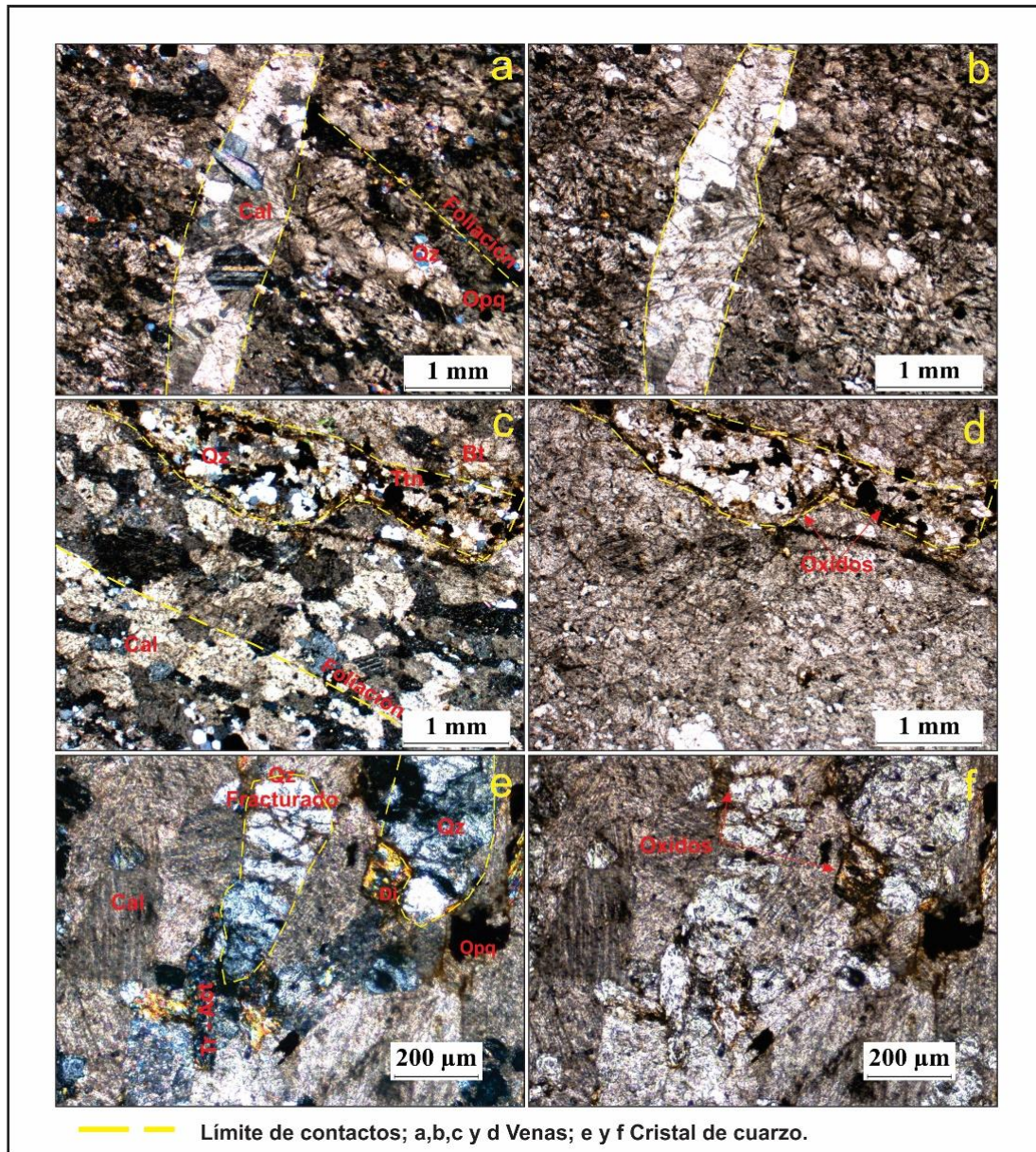
Diópsido (1,5 – 8%): individuos incoloros, relieve medio y colores de birrefringencia que varían entre azules, fucsias, morados y amarillos de alto orden., subidioblásticos a xenoblásticos, homeoblásticos, no muestran una orientación preferente, pero se encuentran asociados a la calcita y cuarzo en contacto neto. Distribución esporádica heterogénea.

Biotita (1 – 8%): individuos de color marrón con pleocroísmo típico de coloraciones marrones pardas a amarillo claro, relieve medio, de hábito hojoso, heteroblásticos, subidioblásticos, cristales alargados con bordes irregulares orientados concordante a la foliación principal de la roca. Se encuentra asociada y contacto neto con la primera generación de cuarzo y calcita. Su distribución es esporádica en la roca.

Cuarzo (2,5 – 7%): se presentan dos generaciones, la primera corresponde a individuos incoloros con bajo relieve, colores de interferencia correspondiente a escalas de grises de primer orden, subidioblásticos, heteroblásticos. Se presentan de forma concordante a la orientación de las calcitas que sigue la foliación principal. Se pueden observar fracturados y asociado a calcita y Diópsido. Distribución esporádica.

La segunda generación se presenta en venillas de tamaño de grano fino, cuyo límite con la matriz muestra una ligera oxidación, se encuentra asociado a titanita. Distribución concentrada en venillas.

**Figura 6.** Microfotografía de mármoles impuros. (SB – 68) a) y b) muestra venilla de cristales de calcita discordantes a la foliación principal, c) venilla de cuarzo concordante con la foliación, cristales de Titanita asociados, d) marcas de oxidación alrededor de la venilla de cuarzo, SB – 150 e) Cristales de cuarzo fracturados en contacto con diópsido, tremolita y calcita f) oxidación en los bordes de los cristales de cuarzo fracturados y minerales asociados.



Tremolita – Actinolita (2 – 3%): Ocurren como individuos minerales incoloros, de relieve alto y birrefringencia alta con colores de interferencia que varían entre azul,

verde y naranja de segundo orden, presenta un hábito prismático y fibroso radial, idioblásticos a subidioblásticos, heteroblásticos, asociado en contacto neto a la calcita. Su distribución es homogénea.

Opacos (2 – 3%): individuos de color negro, heteroblásticos, xenoblásticos, orientados la gran mayoría con la orientación preferencias de los cristales principales.

Pirita (2%): Individuo mineral negro, birrefringencia de color oscuro, homeoblásticos, idioblásticos de formas cuadradas, asociados principalmente a las venas de cuarzo y en menor proporción a la matriz principal de calcita. Su distribución en la roca es heterogénea y en ocasiones concentrada en cuanto a las venas de cuarzo se trata, se observan oxidaciones.

Titanita (0,5 – 2%): Se presentan como individuos de color café rojizo, relieve alto, birrefringencia con colores de orden superior con irisaciones, subidioblásticos a xenoblásticos, heteroblásticos, se encuentra asociado a cuarzo en venas hidrotermales de este mineral y con calcita. Su distribución es concentrada en sectores de venas y en algunas otras esporádica.

Zoisita (0,8 – 1%): Cristales incoloros, de relieve alto, con colores de birrefringencia que varían de grises a amarillos es la escala de primer orden, se observa exfoliación en una dirección, heteroblásticos, xenoblásticos, no presentan una orientación definida y se observan inclusiones de cuarzo.

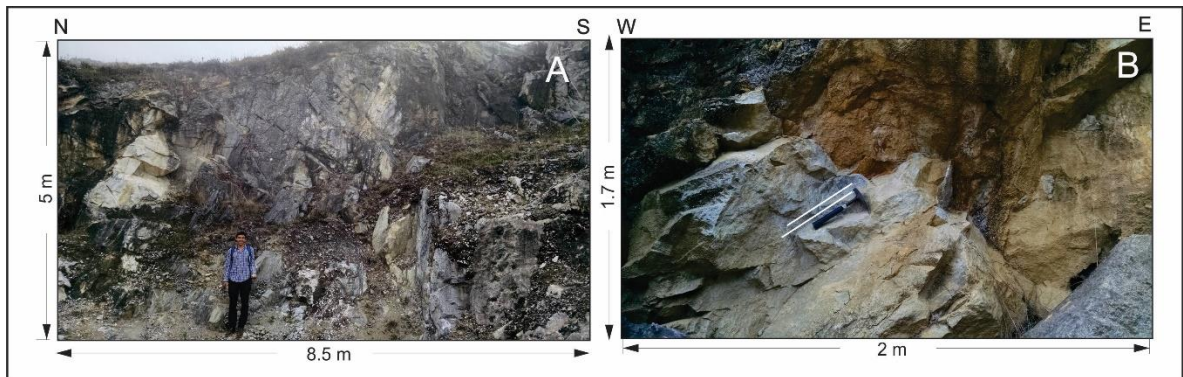
Plagioclasa (0,4%): Individuos incoloros, de bajo relieve, con birrefringencia de primer orden, subidioblásticos, heteroblásticos, típicamente maclados, orientados de manera concordante con la foliación principal, asociado en contacto neto con calcita y cuarzo. Distribución en la muestra esporádica.

La textura predominante es granoblástica.

### **6.3. SECTOR VÍA BERLIN – VETAS**

El cuerpo de mármol hace parte de una cantera actualmente explotable ubicada en el cerro Albedrío sobre la Vía que de Berlín comunica a Vetas cerca de las terminaciones de la Quebrada El Peñón, en donde se encuentra en contacto con un cuerpo ígneo de composición tonalítica - granodiorítica y cercana a la zona de Falla del Río Charta que pone en contacto los Esquistos del Silgará con el Neis de Bucaramanga. La presencia de mármol en niveles potentes ocurre como un cuerpo masivo con un área aproximada de 1 km<sup>2</sup> irregular en donde el espesor alcanza los 5 m (Figura 7). El tamaño de grano es medio a grueso y una coloración blanca a grisácea, bandeamientos de color parduzco cuya orientación principal es observable a simple vista, presencia de minerales secundarios y accesorios tales como epidota, pirita, grupo de micas y turmalina, y estructura masiva.

**Figura 7.** Cantera de mármol. **A:** Afloramiento de aproximadamente 5 m de espesor. **B:** Detalle de mármol masivo en donde la dirección del martillo representa la dirección de la orientación de los cristales.



Microscópicamente la litología se representa en la sección AC01 – 01 y corresponde a mármol puro. Bajo microscopio la muestra presenta alta deformación y hacia los bordes recristalización y tamaño de grano moderadamente grueso.

Calcita (96%): Agregado mineral con individuos incoloros, de relieve bajo a medio, y colores de birrefringencia bajos en escala de grises y pasteles de primer orden, xenoblásticos, bastante deformados y sin bordes claros, homeoblásticos predominantemente, con maclado tipo I característico, se observan fracturas casi perpendiculares a las maclas, no evidencian una orientación marcada. Distribución homogénea en la muestra.

Cuarzo (2,4%): Individuos incoloros de relieve bajo y colores de interferencia de grises de primer orden, son subidioblásticos, homeoblásticos con tamaños inferiores a los de la calcita. Se presentan en contacto con los cristales de calcita y su distribución es esporádica y mínima.

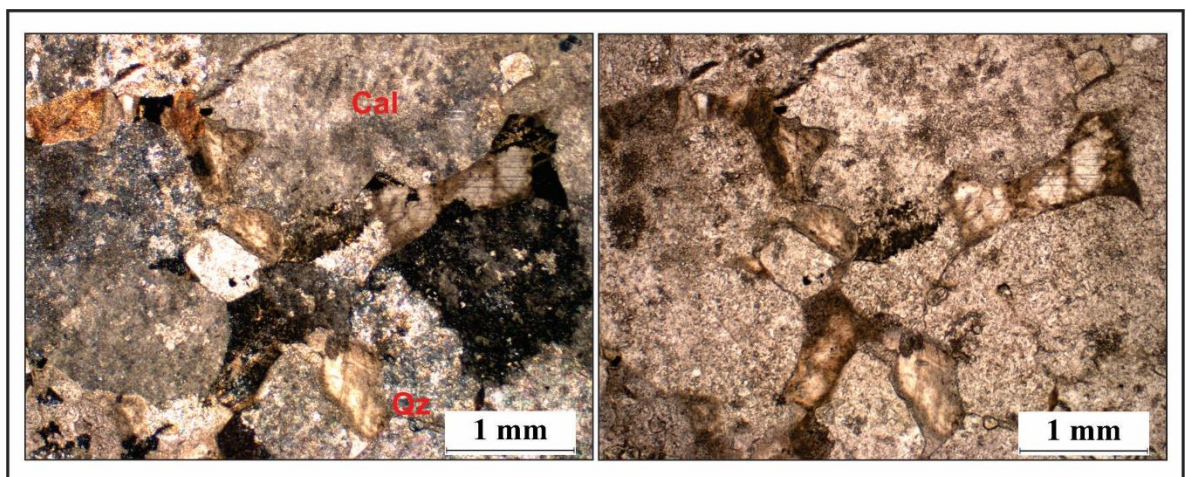
Periclasa (0,8%): individuos incoloros, de relieve medio a bajo, colores de birrefringencia de blancos a negros de primer orden, subidioblásticos a xenoblásticos, homeoblásticos, asociado a los cristales de calcita. Su distribución es esporádica.

Talco (0,5%): individuos incoloros, de relieve medio a bajo, colores de birrefringencia que varían entre azul, fucsia y amarillo, subidioblásticos, heteroblásticos, asociado a periclasa, Su distribución es esporádica

Tremolita – Actinolita (0,3%): Individuos incoloros de relieve alto y birrefringencia alta con colores de interferencia de azul, verde y naranja de segundo orden, pleocroísmo verdoso claro, xenoblásticos sin bordes marcados, homeoblásticos, en contacto con la calcita. Distribución esporádica

La textura de la roca es Granoblástica.

**Figura 8.** Microfotografía de la sección AC01 – 01. Con ubicación entre Silos y Mutiscua en los alrededores de Berlín. Se evidencia un tamaño de grano grande para los cristales de calcita superior a 1 mm. Derecha) paralelo.



#### **6.4. SECTOR MUTISCUA**

Los niveles de mármol presentan una coloración blanca, rosácea y gris ocurren de forma variable en cuanto a morfología y espesores, siendo el máximo espesor de aproximadamente 1m, se desarrollan en cuerpos discontinuos, lenticulares y masivos, en ellos se puede identificar algunos óxidos y micas como minerales accesorios. Hacen parte de una secuencia de esquistos pelíticos, cuarcitas, granofelsas con contenido de diópsido y granate tipo almandino, niveles anfibolíticos y neises calcosilicatados.

Los mármoles muestran una transición a rocas calcosilicatadas y silicatadas con carbonatos pasando por rocas carbonatosilicatadas. Los niveles pelíticos constan de esquistos micáceos, cuarzo - micáceos y cuarzosos con presencia de porfidoblastos de granates de tamaño visible, además muestran procesos de brechificación asociados a la falla de la Quebrada Valegrá y procesos de disolución.

Esta litología está localizada en la vía que del municipio de Mutiscua comunica a Sucre, cercana a la quebrada Valegrá, corresponde a mármol impuro (PCM-678). La roca presenta alta cristalinidad y tamaño de grano moderadamente fino.

**Figura 9.** Niveles de mármol ubicados en cercanías a la Quebrada Valegrá. A) mármol lenticular en cuarcitas y esquistos pelíticos B) Contacto entre granofelsas y mármol de coloración naranja. C) Detalle de los mármoles evidenciando su espesor considerable.



Calcita (93%): Agregado mineral con individuos incoloros, de relieve bajo a medio, y colores de birrefringencia que varían entre escala de grises de primero orden y amarillos, fucsia, azul, verdes de segundo orden, subidioblásticos, homeoblásticos, se observan maclas tipo I, II y III sin orientación preferente entre cada tipo, extinción ondulante, cristales con alta cristalinidad y recristalización en contacto neto, su distribución es homogénea en toda la muestra.

Cuarzo (4%): Individuos incoloros de relieve bajo y colores de interferencia de grises de primer orden, xenoblásticos, heteroblásticos con tamaños inferiores a los de la calcita. Se presentan en contacto con los cristales de calcita y su distribución es homogénea en la muestra y sectores concentrado.

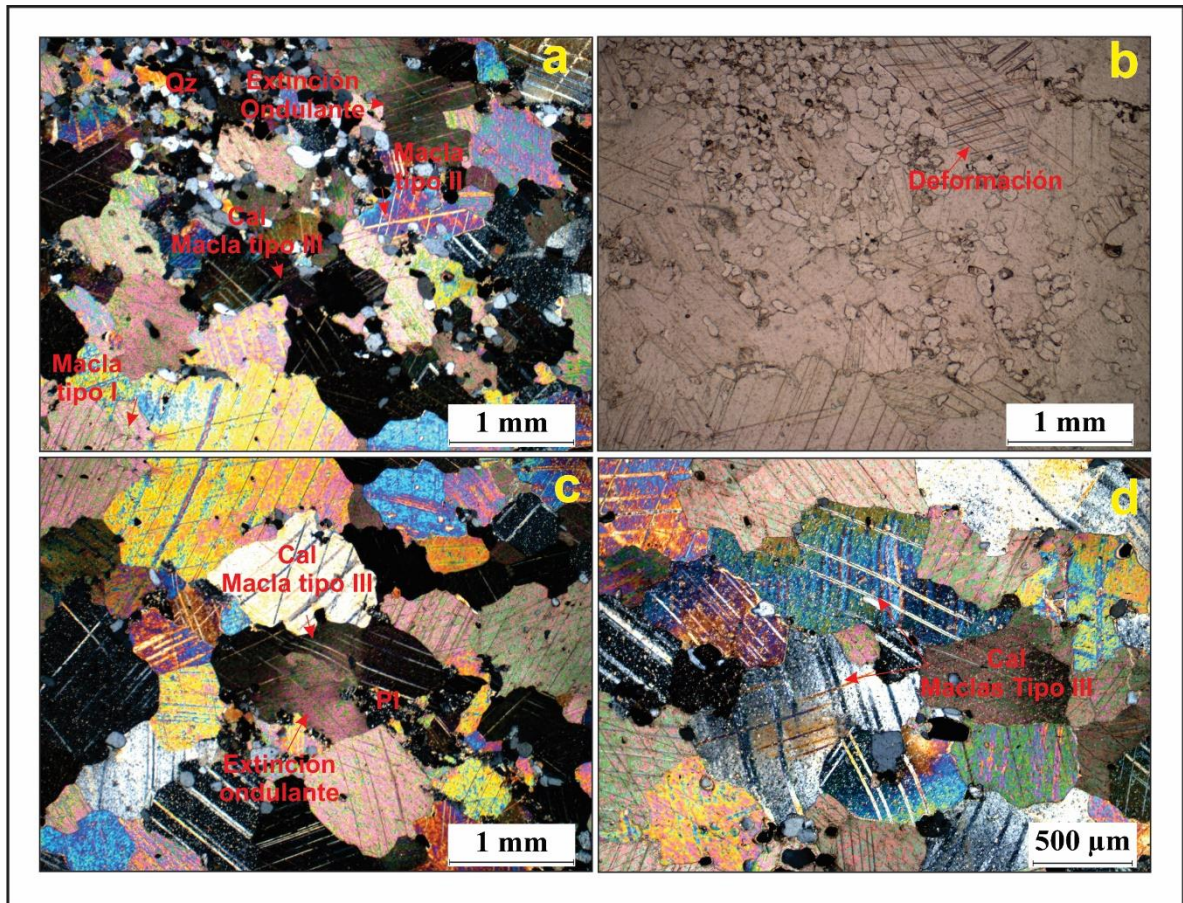
Plagioclasa (2%): Agregado incoloro, de bajo relieve, de forma xenoblástica, heteroblástica que ocurren en baja proporción asociada a fracturas pequeñas. Se encuentra alterada a Sericita.

Sericita se observa como un agregado micáceo muy fino, que reemplaza de manera moderada a la plagioclasa de bordes a interior.

Zoisita (1%): Cristales incoloros, de relieve alto, con colores de birrefringencia que varían de grises a amarillos es la escala de primer orden, heteroblásticos, xenoblásticos, no presentan una orientación definida y su distribución es esporádica.

La textura de la roca es Granoblástica.

**Figura 10.** Microfotografía de la sección PCM – 679 correspondiente a mármol impuro del municipio de Mutiscua. A y b) muestran las maclas tipo I y II, extinción ondulante, deformación y textura granoblástica clara. C) extinción ondulante asociada macla tipo III D) Macla tipo III caracterizada por su sinuosidad.



## 6.5. ESPECTROSCOÍA INFRARROJA

Los espectros infrarrojos (EIR) muestran predominio de tres bandas de transmitancia ubicadas en las regiones 658-720; 792-878 y 1.389-1.415  $\text{cm}^{-1}$ . Estas bandas de transmitancia corresponden a la vibración del enlace C – O (Ver figura 11).

El enlace C – O en la región 1.389-1.415  $\text{cm}^{-1}$  es un enlace valente (movimiento del

enlace si modificación de su ángulo), mientras que los enlaces en las regiones 658-720; 792-878  $\text{cm}^{-1}$  son enlaces de defecto (vibración o movimiento con cambio de ángulo entre enlaces).

La posición e intensidad de las bandas de transmitancia indican que el carbonato dominante es calcita (ver tabla 4).

**Tabla 4.** Valores en  $\text{Cm}^{-1}$ , para cada pico arrojado en Espectroscopia Infrarroja en cada muestra.

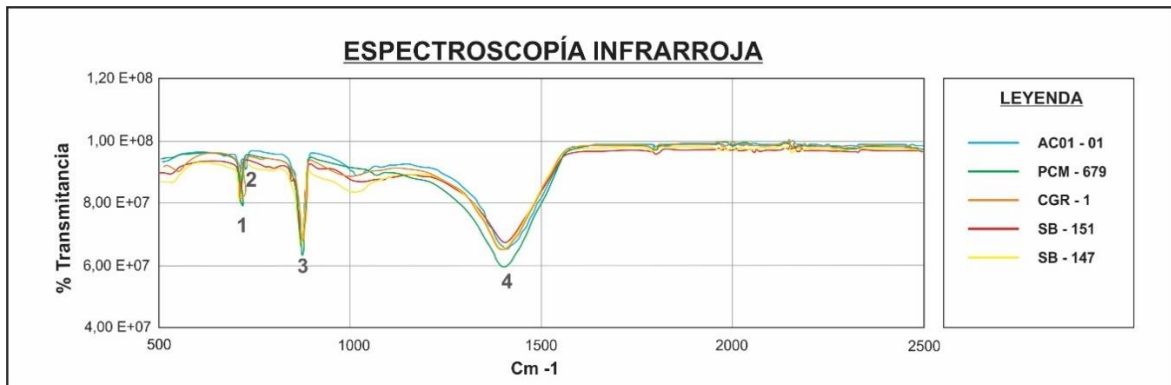
Muestra/pico	1	2	3	4	% Calcita
<sup>a</sup> Calcita	712		872	1.435	
<sup>b</sup> Calcita	720		874	1.420	
<sup>b</sup> Dolomita	728		880	1.431	
AC-01-01	707	732	866	1.402	96
PCM-679	708		792	1.389	93
SB-147	658		878	1.402	80
SB-151	720		878	1.415	95
CGR-1	714		861	1.389	93

Fuente: <sup>a</sup> BARABANOV (1990), <sup>b</sup> CHUKANOV (2013). Los picos 1 y 3 corresponden a enlaces C – O de defecto, el pico 4 a enlace valente y el pico 2 a un enlace débil.

En general, las leves diferencias en localización e intensidad de las bandas de transmitancia no se pueden asociar a cambios relacionados con el grado de metamorfismo, composición mineralógica del mármol o cualquier otro evento sobreimpuesto.

A continuación, se muestran los espectros de infrarrojo generados según datos obtenidos.

**Figura 11.** Espectros de infrarrojo de las muestras analizadas. Nótese la similitud entre ellos.



## 7. METAMORFISMO

Las rocas estudiadas en el presente trabajo de investigación fueron afectadas principalmente por un metamorfismo de tipo regional, excepto la roca de la mina El Portillo que por su ocurrencia y asociaciones litológicas parecería estar asociada a un evento dinamo-termal, cuya temporalidad está por determinarse. En algunas zonas dichas rocas evidencian un metamorfismo de tipo dinámico sobre impuesto, asociado a la actividad tectónica de la zona.

El tipo y las condiciones del metamorfismo que afectó las rocas carbonatadas en la región central del Macizo de Santander se describen con base en las paragénesis minerales encontradas en las muestras de mármoles más puro, las cuales se ilustran en la tabla 5, como referencia para el sector de Silos se cita el estudio realizado por Casadiegos (2017)<sup>40</sup>

El metamorfismo regional se presenta de bajo a medio grado, alcanzando la facies de la anfibolita en la zona estaurolita – cianita, la cual corresponde al pico metamórfico. Otras paragénesis definidas indican la facies sub – esquistos verdes y zona del granate en la facie esquistos verdes. La etapa retrógrada del metamorfismo se evidencia por la sericitación de la plagioclasa.

---

<sup>40</sup> CASADIEGOS AGUDELO, Luisa. Metamorfismo de la unidad Esquistos del Silgará del Macizo de Santander, en el sector de Silos – Norte de Santander. Tesis de Pregrado en Geología. Escuela de Geología. Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Universidad Industrial de Santander. 2017, p – 153.

**Tabla 5.** Paragénesis mineral de las muestras de mármol analizadas.

Litotipo	Muestra	Facies	Zona	paragénesis
<b>Mármol puro</b>	SB - 54	Anfibolita	Cianita – Almandino	Cal + Qz
	SB - 151	Anfibolita	Cianita - Almandino	Cal + Qz + Di
	AC01 -01	Esquistos Verdes	Granate	Cal + Qz + Tr-Act +Tlc
<b>Mármol Impuro</b>	SB -29	Anfibolita	Estauroлита - Almandino	Cal + Qz + Tr
	PCM - 679	Esquistos Verdes	Granate	Cal + Qz + Ep
	CGR - 1	Sub – esquistos verdes	-	Cal + Qz + Pl + Ep
	SB - 149	Anfibolita	Cianita - Almandino	Cal + Qz + Di
	SB - 68	Anfibolita	Cianita - Almandino	Cal + Qz + Di
	SB - 148	Anfibolita	Cianita - Almandino	Cal + Qz + Di + Tr - Act
	SB - 150	Anfibolita	Cianita - Almandino	Cal + Qz + Di + Tr - Act
	SB - 147	Anfibolita	Cianita - Almandino	Cal + Qz + Di + Tr - Act

Las condiciones en la zona cianita – estauroлита fueron alcanzadas por los mármoles localizados en el municipio de Silos al W de la falla de Angosturas, y la cuchilla Concáceres y el sector denominado Cáraba Grande. La asociación típica es  $Cal \pm Qz \pm Di \pm Tr - Act$ . La zona del Granate se desarrolla en el municipio de Mutiscua con paragénesis  $Cal \pm Qz \pm Ep$ , y en los alrededores de Berlín con paragénesis  $Cal \pm Qz \pm Tr - Act \pm Tlc$  y la facies sub-esquistos verdes en el corregimiento de Baraya con paragénesis  $Cal \pm Qz \pm Pl \pm Ep$ .

El metamorfismo dinámico se evidencia en las rocas cercanas a las zonas de falla, tales como la falla Mutiscua y su continuidad antes y después del Río Cáraba hacia la zona sur del municipio de Silos y el sistema de fallas de Angosturas. A nivel microscópico se tiene extinción ondulante, recristalización y maclado tipo III de los cristales de calcita (ver figuras 5 y 10) y fracturación de los cristales de cuarzo (ver figura 6e)

## 8. ANÁLISIS TEXTURAL

El análisis textural se realizó en 10 muestras de rocas carbonatadas puras. La muestra AC01 – 01 no fue incluida debido a que se encontraba bastante deteriorada y no permitía tomar los 100 puntos necesarios para realizar las comparaciones

Se midieron 100 cristales de calcita por cada sección delgada registrando el diámetro máximo en cada una de ellas, posteriormente se ubicaron en la tabla 6 según la clasificación de Vogt (1897)<sup>41</sup> quien categoriza los mármoles en 6 grupos texturales de acuerdo al tamaño de grano de los cristales de calcita, con esto se definió el tamaño promedio principal en cada muestra. Los valores de estas mediciones (mínimo, máximo y promedio en micras) (ver tabla 7) para una gran parte de las muestras investigadas muestran coincidencias entre los diferentes tipos de registros.

---

<sup>41</sup> VOGT, J. H. L. Norsk Marmor: Norges geol. undersogelse, No. 22, Christiania. summary in German, 1897, p. 334 – 364.

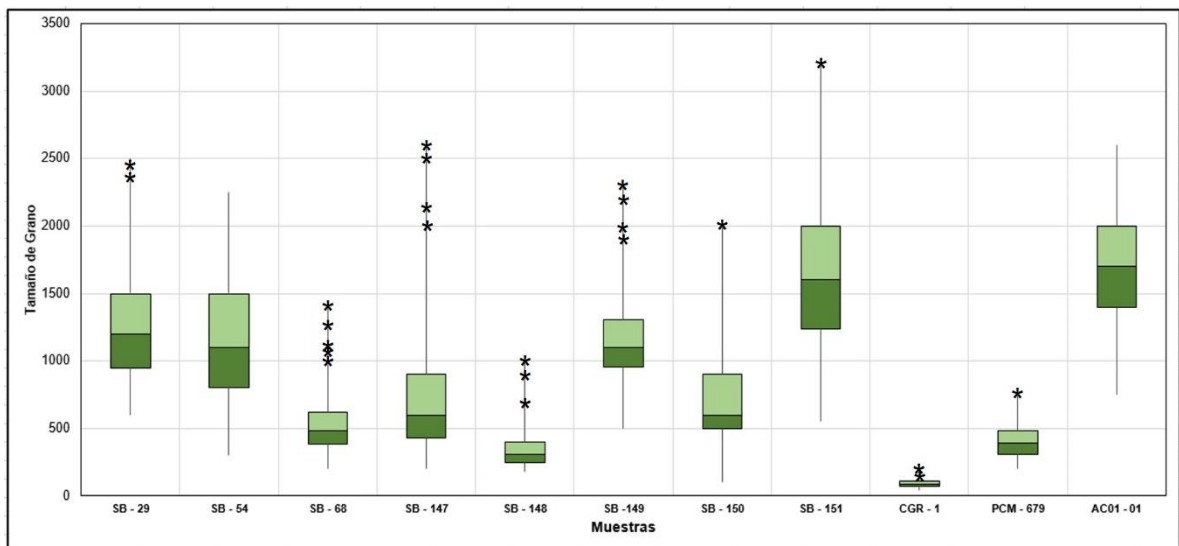
**Tabla 6.** Clasificación según Vogt (1898) del tamaño de grano de las muestras metacarbonatadas analizadas

Muestras	Extra Fino	Muy Fino	Moderadamente	Ligeramente	Moderadamente	Muy Grueso	Datos tomados
	casi totalmente compacto		Fino	Grueso	Grueso		
	0,03 - 0,06 mm	0,1 - 0,3 mm	0,3 - 1 mm	0,75 - 1 mm	1 - 3 mm	2 - 5 mm	
SB - 54	-	-	17	24	59	-	100
SB - 151	-	-	2	5	91	2	100
AC01 - 01	-	-	-	3	22	-	25
SB - 29	-	-	3	27	70	-	100
SB - 68	-	13	72	7	8	-	100
SB - 147	-	2	62	19	17	-	100
SB - 148	-	34	64	1	1	-	100
SB - 149	-	-	9	20	71	-	100
SB - 150	-	4	60	18	18	-	100
CGR - 1	61	39	0	-	-	-	100
PCM - 679	-	20	79	1	-	-	100

## 8.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Mediante el procesamiento de datos en el programa IBM SPSS Statistics versión 24, se realizaron comparaciones usando el método de análisis de varianzas (ANOVA) el cual se encarga de encontrar la relación entre las medias de cada grupo de datos (en nuestro caso, entre las medias entre los 100 datos de tamaños de granos tomados en cada una de las secciones) y a posteriori la prueba HSD de Tukey con el mismo software. La tabla 7 muestra la media para cada una de las muestras, junto con otros valores estadísticos importantes en el tratamiento de los datos.

**Figura 12.** Valores medios de los tamaños de grano, en micras ( $\mu\text{m}$ ). Las barras representan los valores de los cuartiles Q1(25%), Q2(50%) y Q3(70%) y los símbolos \* indican los valores atípicos. Nótese los valores bajos de CGR-1, los más altos de SB - 151 y AC01 - 01 y los intermedios de SB - 29 y SB - 54. La muestra AC01 -01 muestra solo 25, los cuales no son suficientes.



**Tabla 7.** Tabla de Descriptivos, se presenta los valores máximo y mínimo como rango de datos para cada muestra y la media la cual es usada para las comparaciones

<b>DESCRIPTIVOS</b>				
<b>Muestra</b>	No. Datos	Media ( $\mu$ m)	Mínimo ( $\mu$ m)	Máximo ( $\mu$ m)
<b>SB – 54</b>	104	1222,79	300	2700
<b>SB – 151</b>	100	1653,80	550	3200
<b>SB – 29</b>	100	1272,50	600	2500
<b>SB – 68</b>	100	525,50	200	1420
<b>SB – 147</b>	100	722,40	200	2600
<b>SB – 148</b>	100	358,75	180	1000
<b>SB – 149</b>	100	1173,50	500	2300
<b>SB – 150</b>	100	704,10	100	2000
<b>PCM 679</b>	100	399,65	200	790
<b>CGR – 1</b>	100	92,30	40	195
<b>TOTAL</b>	1004	814,16	40	3200

*Fuente: Tomado y modificado del programa IBM SPSS Statistics versión 24*

Se obtuvo como resultado que las varianzas de los datos tomados en cada una de las muestras son diferentes y no muestran coincidencias en sus medias, por lo que se prosigue con la prueba Post – Hoc.

**8.1.1. Pruebas Post – Hoc:** la prueba Post – Hoc mediante el método de HSD de Tukey muestra entre qué grupos existen diferencias importantes usando el método de comparaciones de medias por pares de grupos. Como resultado final se obtienen los subconjuntos de dichas muestras basadas en la similitud de sus medias (ver tabla 8)

**Tabla 8.** Subconjuntos homogéneos. obtenidos mediante el método HSD Tukey. Tomado del programa IBM SPSS Statistics.

		DATOS							
		Subconjunto para alfa = 0.05							
	Muestra	N	1	2	3	4	5	6	
HSD Tukey <sup>a,b</sup>	CGR – 1	100	92,30						
	SB – 148	100		358,75					
	PCM – 679	100		399,65	399,65				
	SB – 68	100			525,50				
	SB – 150	100				704,10			
	SB – 147	100				722,40			
	SB – 149	100					1173,50		
	SB – 54	104					1222,79		
	SB – 29	100					1272,50		
	SB – 151	100							1653,80
	<b>Sig.</b>		1,000	,999	,302	1,000	,654	1,000	

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 100,386.

b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

Fuente: Tomado de IBM SPSS Statistics versión 24

El programa SPSS Statistics asocia muestras que presenten similitudes en la media de sus datos que en este caso representaría la similitud entre los tamaños de grano y

los agrupa según rangos relevantes. Dichas asociaciones de datos pueden indicar aspectos importantes que revelen la relación del tamaño de grano con otros aspectos en las rocas según ubicación e historia geológica.

El subconjunto 1 toma como referencia la muestra CGR – 1 la cual se encuentra ubicada en el corregimiento de Baraya según análisis petrogénico corresponde a la facies sub-esquistos verdes, y su tamaño de grano es el más pequeño dentro de las muestras carbonatadas puras analizadas, presentando un rango entre 0,03 – 0,3 mm definido como “Extra fino – Casi totalmente compacto” y media de 92,30.

El subconjunto 2 presenta un rango de tamaños de grano entre 0.1 – 1 mm definidos principalmente como “moderadamente finos” cuya media varía entre 358,75 – 399, 65  $\mu\text{m}$  de éste hace parte la muestra SB – 148 perteneciente al municipio de Silos en la parte alta de la cuchilla Concáceres y a la zona metamórfica de Cianita – Estaurolita, y la muestra PCM – 679 correspondiente en cercanías al municipio de Mutiscua y a la zona del granate, cabe resaltar aquí que la muestra PCM – 679 evidenció petrográficamente varios eventos de deformación que se reflejan en el maclado y la recristalización de los cristales de calcita, por lo que el tamaño de grano podría no es el original alcanzado en su pico metamórfico.

Los subconjuntos 3 y 4 agrupan tamaños de granos entre 0,1 – 1 mm definidos principalmente como “moderadamente finos” con medias entre 525 y 722,40 $\mu\text{m}$  se ubican en las zonas aledañas al municipio de Silos en la cuchilla Concáceres y alcanzaron la facies anfíbolita en la zona de cianita – estaurolita; la muestra SB – 68 se ubica en la parte alta de la cuchilla, mientras que SB – 147 y SB – 150 están relacionadas con el sistema de la falla angosturas y presentan un tamaño de grano un poco mayor pero dentro del mismo rango.

Los subgrupos 5 y 6 agrupa un tamaño de grano entre 0.75 – 3 mm definidos principalmente como “moderadamente gruesos” y un rango de medias entre 1173,50 – 1653,80  $\mu\text{m}$ , se relacionan en metamorfismo con los subgrupos 3 y 4; en ubicación la muestra SB – 149 corresponde también a la cuchilla Concáceres pero sobre la parte alta, algo cercana a una de las ramificaciones de la falla que pasa por la quebrada la Honda la cual según diversos autores puede ser una extensión de la Falla Mutiscua que a su vez atraviesa el río Cáraba hasta el sector de Cáraba Grande en dónde se ubica la muestra SB – 54 y SB – 151; sobre la misma falla pero en el sector denominado como Loma el Hato se localiza SB – 29.

Es necesario destacar que el tamaño de grano más pequeño “extra fino – casi totalmente compacto” se presente en la muestra con grado de metamorfismo más bajo correspondiente a la facies sub-esquistos verdes y las muestras que corresponden a un grado de metamorfismo medio a alto en la facies anfibolita en la zona de cianita – estaurolita presentan tamaños de grano en el rango de “moderadamente fino – moderadamente gruesos”

## 9. GEOQUÍMICA

La composición química fue determinada en los laboratorios ALS en Vancouver – Canadá. Los resultados obtenidos se ilustran en la tabla 9 en la cual las concentraciones de elementos mayores se presentan en % en peso y de elementos traza en partes por millón (ppm). El tratamiento de los datos se realizó usando el software libre *Geochemical Data Toolkit (GCDKit)* Versión 4.1 de Janousek *et al.*, (2013)<sup>42</sup> disponible online en <http://www.gcdkit.org/>.

El contenido de elementos mayores en las rocas carbonatadas dentro del análisis no evidencia cambios bruscos (ver tabla 9), aunque si algunas pequeñas diferencias composicionales. La composición de las muestras está fuertemente sujeta por CaO, con contenidos entre 51,89% y 54,06%. El SiO<sub>2</sub> se encuentra en bajas proporciones, pero con presencia relativamente más alta en comparación con los demás elementos, con cantidades que varían entre 2,22% y 4,44%. Finalmente, la composición de las rocas se encuentra disminuidas en TiO<sub>2</sub> (0.03 -0.04), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.65 – 0.85), Fe (0.09 – 0.29), MgO (0.27 – 0.65), Na<sub>2</sub>O (0.02 – 0.2), K<sub>2</sub>O (0.03 – 0.08), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (<0.01 – 0.05) y Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (<0.002 – 0.004). Se observa que el contenido de CaO es muy similar en las 4 muestras y que el contenido de SiO<sub>2</sub> muestra el porcentaje más bajo y más alto en la misma zona correspondiente al municipio de Mutiscua, aunque no son valores representativos. El contenido de MgO es significativamente muy bajo lo que indica que las muestras no sufrieron procesos de dolomitización en donde el Ca sería reemplazado por Mg.

---

<sup>42</sup> JANOUSEK, V.; FARROW, C. M & ERBAN, V. Op. Cit,

**Tabla 9.** Concentraciones en %w de los Elementos Mayores, elementos traza y tierras raras en ppm para las muestras de mármoles de las localidades estudiadas. Resultados dados por laboratorios ALS en Vancouver, Canadá. Se incluyen el promedio de la corteza superior, Calizas Fanerozoicas, Condrito, PAAS

Muestra	PCM – 680 (Mutiscua)	PCM – 684 (Mutiscua)	SB – 55 (Silos)	PS - 10 -3 (Baraya)	Promedio corteza superior <sup>a</sup>	Promedio Calizas Fanerozoicas <sup>b</sup>	Condrito <sup>c</sup>	PAAS <sup>d</sup>
SiO <sub>2</sub>	2,22	4,44	3,09	3,37				
TiO <sub>2</sub>	0,04	0,04	0,03	0,04				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,64	0,68	0,65	0,85		5294		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,16	0,29	0,09	0,1	35000	3777		
MnO	0,04	0,22	<0.01	0,08				
MgO	0,27	0,43	0,65	0,48				
CaO	54,06	52,1	51,89	52,50				
Na <sub>2</sub> O	0,08	0,2	0,02	0,13				
K <sub>2</sub> O	0,08	0,08	0,03	0,07				
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0.01	0,02	<0.01	0,05				
LOI	42,3	41,4	43,2	41,9				
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,004	0,004	0,003	<0.002				
<b>Total</b>	<b>100,084</b>	<b>100,084</b>	<b>99,793</b>	<b>99.886</b>				
Mo	<0.1	<0.1	4,8	<0.1				
Ni	<20	<20	<20	<20	20	15		
Ni	2,1	0,7	1,4	0,2				
Zn	10	10	36	6				
Cu	1,9	12,5	0,9	1,6				
As	1,6	<0.5	2,8	<0.5				
Cd	0,3	0,3	0,2	0,3				
Sb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1				
Bi	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1				
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1				
Au	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5				
Hg	<0.01	<0.01	0,01	<0,01				
Tl	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		1199		
Se	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5				
Ga	1	1,3	<0.5	<0.5				
Sc	<1	<1	<1	<1				
V	20	16	16	15	60			

**Tabla 9.** Continuación

Muestra	PCM – 680 (Mutiscua)	PCM – 684 (Mutiscua)	SB -55 (Silos)	PS - 10 -3 (Baraya)	Promedio corteza superior <sup>a</sup>	Promedio Calizas Fanerozoicas <sup>b</sup>	Condrito <sup>c</sup>	PAAS <sup>d</sup>
W	<0.5	<0.5	1,1	<0.5				
Co	0,3	0,8	<0.2	0,6	10			
Cs	0,3	0,2	1,3	0,2	3,7			
Ba	14	37	7	10	700	85		
Be	<1	<1	<1	<1				
Rb	3,7	4,5	2,9	3,3	110	20		
Sn	<1	<1	<1	<1				
Th	0,7	0,7	0,4	1,5	10,5			
Nb	0,7	0,7	0,9	1,1	25	1,5		
Ta	<0.1	0,1	<0.1	<0.1				
Sr	456,7	362,8	1805,0	431,6	350	400		
Zr	8,8	7,9	8,4	9,9	240	20		
Hf	0,1	0,1	0,2	0,3	5,8			
Y	1,7	4,2	1,7	16,7	22	5		
Pb	3,8	10,9	1,3	12,3		7		
U	2,7	0,7	0,6	0,4	2,5			
La	2,2	4,5	1,5	11,8	30	5	0,329	38,2
Ce	3,2	7,7	2,6	22,2	64		0,865	79,6
Pr	0,36	0,78	0,32	2,50	7,1			8,83
La	2,2	4,5	1,5	11,8	26		0,63	33,9
Ce	3,2	7,7	2,6	22,2	4,5	10	0,203	5,55
Nd	1,6	3,3	1,5	10,1	0,88		0,077	1,08
Sm	0,21	0,57	0,28	2,26	3,8		0,276	4,66
Eu	0,04	0,16	0,06	0,62	0,64	0,20		0,774
Gd	0,28	0,69	0,31	2,55	3,5		0,343	4,68
Tb	0,04	0,09	0,04	0,44	0,8			0,991
Dy	0,31	0,67	0,27	2,56	2,3		0,225	2,85
Ho	0,03	0,11	0,05	0,49	0,33			0,405
Er	0,13	0,28	0,17	1,31	2,2		0,22	2,82
Tm	0,02	0,04	0,03	0,19	0,32		0,0339	0,433
Yb	0,13	0,22	0,15	1,02	132,48		2,104	167,16
Lu	0,03	0,03	0,02	0,14	13,89		1,0979	17,613

**Tabla 9.** Continuación

Muestra	PCM - 680	PCM - 684	SB -55	PS - 10 -3	Promedio corteza superior <sup>a</sup>	Promedio Calizas Fanerozoicas <sup>b</sup>	Condrito <sup>c</sup>	PAAS <sup>d</sup>
LREE	7,61	17,01	6,26	49,48	146,37	15,2	3,2019	184,773
HREE	0,97	2,13	1,04	8,7				
REE	8,58	19,14	7,3	58,18				

Fuente: <sup>a</sup> Promedio de la corteza superior (Taylor and McLennan, 1981), <sup>b</sup> Promedio de las calizas Fanerozoicas (Condie et al. 1991), <sup>c</sup> Condrito según Nakamura (1974) y <sup>d</sup> Promedio de Rocas sedimentarias australianas post – Arqueanas <sup>a</sup>PAAS (McLennan, 1989)

Hay que señalar los contenidos relativamente altos en Sr (362.8 – 1805.0 ppm) y bajos en Fe (0.09 – 0.29 %), si bien este comportamiento es propio de las rocas calcáreas debido a la facilidad del Sr para sustituir al Ca en la estructura de la calcita. El contenido de Sr en las muestras es similar al promedio en la corteza superior (Taylor and McLennan, 1981<sup>43</sup> - Sr = 350 ppm) y al promedio de las calizas Fanerozoicas (Condie et al. 1991<sup>44</sup> – Sr = 400 ppm) a excepción de la muestra SB – 55 cuyo contenido sobrepasa el estándar siendo Sr = 1805 ppm; el contenido de Mn es muy bajo (0.01 – 0.22 %) en todas las muestras. De acuerdo con Veizer (1983)<sup>45</sup> la alteración diagenética de la calcita baja en Mg reduce el contenido de Sr y aumenta el contenido de Mn, sin embargo, esta tendencia no es la que se evidencia, lo que sugiere que el protolito de estas muestras no fue sometido a alteración diagenética.

Las concentraciones de los elementos de las tierras raras (REE) fueron normalizadas

<sup>43</sup> TAYLOR, S. R. and McLennan S. M., The composition and evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, 1981, p. 381-399.

<sup>44</sup> CONDIE, K. C., et al. Geochemistry of metasediments from the Precambrian Hapschan series, eastern Anabar Shield, Siberia. Precambrian Research, 1991, vol. 50, no 1-2, p. 37-47.

<sup>45</sup> VEIZER, Jan. Chemical diagenesis of carbonates: theory and application of trace element technique. 1983.

al condrito de Nakamura (1974)<sup>46</sup> (ver figura 13) y a los Shales Australianos Post – Arqueanos de acuerdo a McLennan (1989)<sup>47</sup> (PAAS por sus siglas en inglés). Las concentraciones totales de REE se presentan significativamente bajas (7,3 – 58,18 ppm) respecto al promedio de la corteza superior según Taylor and McLennan (1981)<sup>48</sup> y respecto a PAAS<sup>49</sup>, que corresponde a  $\Sigma\text{REE} = 168.73$  ppm y  $\Sigma\text{REE} = 146.37$  ppm respectivamente, y relativamente similar respecto al condrito de acuerdo a Nakamura (1974)<sup>50</sup>.

La muestra PS – 10 – 3 presenta un contenido relativamente más alto de REE (58,18 ppm) comparada con las otras muestras (7,3 – 19,14), lo que indica otras posibles fuentes de aportación de estos elementos. El bajo contenido de  $\Sigma\text{REE}$  en las muestras PCM - 680, PCM – 684 y SB – 55 se debe a las fases de carbonatos marinos, que generalmente contienen un contenido de REE significativamente menor que las arcillas detríticas y los minerales pesados (Piper, 1974b<sup>51</sup>; Palmer, 1985<sup>52</sup>). Teniendo en cuenta el protolito sedimentario de dichas muestras en Nothdurft *et al.*, (2004)<sup>53</sup> se establece que en general en una muestra de sedimentos, entre más fina sea la micrita, más alto será el contenido de REE, que es posiblemente la explicación al aumento en el contenido de REE en PS – 10 – 3, aunque éste también

---

<sup>46</sup> NAKAMURA, Noboru. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1974, vol. 38, pp. 757-775.

<sup>47</sup> MCLENNAN, Scott M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance sedimentary processes. *Geochemistry and Minerology of Rare Earth Elements*, 1989, p. 169-200.

<sup>48</sup> TAYLOR, S. R. and McLennan S. M. Op. Cit, p 381-399

<sup>49</sup> MCLENNAN, Scott M. Op. Cit, p 169 -20

<sup>50</sup> NAKAMURA, Noboru. Op. Cit, p 757 - 775

<sup>51</sup> PIPER D, Z. Rare earths in the sedimentary cycle: A summary chem. Geol. 14. 1974, p 285 -304.

<sup>52</sup> PALMER MR (1985) Rare earth elements in foraminifera tests. *Earth Planet Sci Lett* 73:285–298

<sup>53</sup> NOTHDURFT, Luke D.; WEBB, Gregory E.; KAMBER, Balz S. Rare earth element geochemistry of Late Devonian reefal carbonates, Canning Basin, Western Australia: confirmation of a seawater REE proxy in ancient limestones. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2004, vol. 68, no 2, p. 263-283

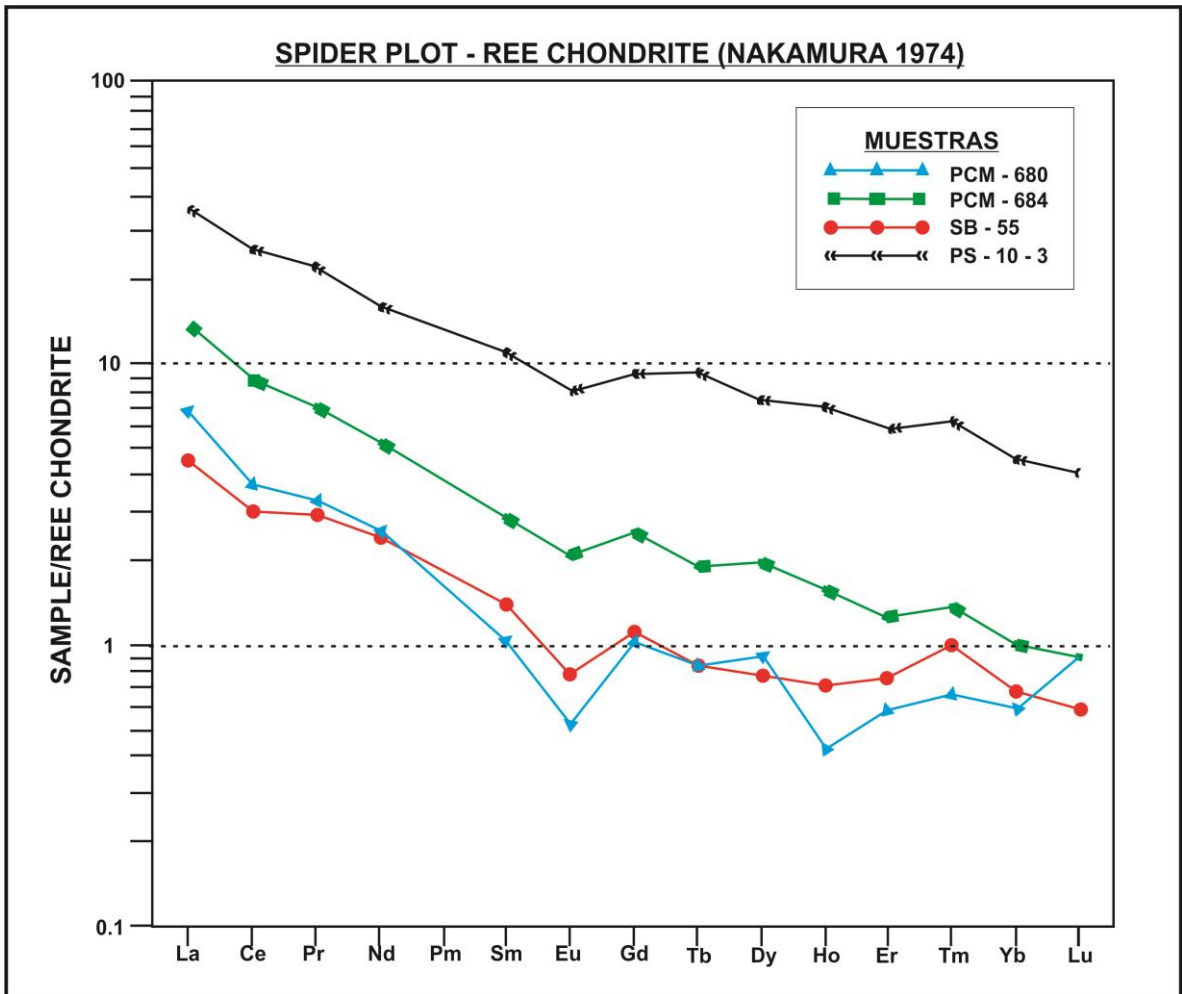
puede ser diluido hasta cierto punto por material esquelético, el cual, aparte de los estromatoporoides, parece tener concentraciones de REE bajas.

**Tabla 10.** Relación de elementos y anomalías para las muestras de mármol estudiadas.

Muestras	PCM – 680	PCM – 684	SB – 55	PS – 10 – 3
<b>Ce/Ce*</b>	0.829	0.948	0.865	0.943
<b>Eu/Eu*</b>	0.776	1.201	0.958	1.216
<b>Pr/Pr*</b>	0.932	0.910	0.942	0.981
<b>Gd/Gd*</b>	1.275	1.324	1.297	1.062
<b>(La/Yb)<sub>n</sub></b>	1.249	1.509	0.738	0.854
<b>(Nd/Yb)<sub>n</sub></b>	1.023	1.247	0.831	0.823
<b>(Dy/Yb)<sub>n</sub></b>	1.436	1.835	1.084	1.512
<b>Er/Nd</b>	0.081	0.084	0.113	0.129
<b>Y/Ho</b>	56.666	38.181	34	34.081
<b>La/Co</b>	7.333	5.625	7.5	19.666
<b>Th/Co</b>	2.333	0.875	2	2.5

$Ce/Ce^* = Ce_n / (La_n * Pr_n)^{0.5}$ ;  $Eu/Eu^* = Eu_n / (Sm_n * Gd_n)^{0.5}$ ,  $Pr/Pr^* = [Pr / (0.5Ce + 0.5Nd)]_n$ ;  $Gd/Gd^* = [Gd / (0.33Sm + 0.67Tb)]_n$ . Formulas tomadas de: Tobia & Aqrawi (2016)

**Figura 13.** Diagrama de Tierras Raras de los mármoles del presente estudio. Valores normalizados al condrito de Nakamura (1974)



Fuente: Diagrama Generado por el software libre Geochemical Data Toolkit (GCDKit) Versión 4.1 de Janousek et al., (2013) disponible online en <http://www.gcdkit.org/>.

Los patrones obtenidos de REE muestran tendencias similares entre ellos, con un enriquecimiento de tierras raras ligeras (LREE por sus siglas en inglés) y un decrecimiento en tierras raras pesadas (HREE por sus siglas en inglés) a excepción de la muestra PCM – 680 que presenta un leve incremento en el contenido de Lu. Se observa además en todas las rocas una anomalía negativa en Eu, siendo más marcado en SB – 55 y PCM – 680, en esta última además se presenta un cambio

negativo en Ho. Según estudios realizados por Bellanca *et al.*, (1997)<sup>54</sup> en calizas, lutitas calcáreas y shales negros, el promedio de LREE en las calizas se encuentra entre 14,77 y 44,75 ppm y de las HREE entre 3,07 y 8,74 ppm; en las muestras analizadas el rango de LREE está entre 6,26 – 49,48 ppm y de HREE entre 0,97 – 8,7 lo cual no corresponde con Bellanca *et al.*, (1997)<sup>55</sup> así como tampoco con el promedio de las calizas Fanerozoicas reportadas por Condie *et al.*, (1991)<sup>56</sup>. Típicamente los miembros del grupo de las Tierras raras con bajo número atómico son denominados como Tierras Raras Ligeras (LREE por sus siglas en inglés), aquellas con números atómicos altos son las Tierras Raras Pesadas (HREE por sus siglas en inglés).

Con respecto al promedio de las calizas Fanerozoicas reportadas por Condie *et al.* (1984)<sup>57</sup>, las rocas analizadas presentan: una fuerte empobrecimiento de Fe, Ni, Rb, Zr, Ba, Y con excepción de PCM – 684 (donde los valores son similares), Pb en PCM – 680 y SB – 55 y Eu excluyendo a PCM – 684 (la cual muestra cantidades semejantes); leve reducción de Nb, Sr en la muestra PCM – 684, La en PCM – 680 y SB – 55 y Ce con excepción de PS – 10 – 3 (quien tiene un enriquecimiento pronunciado). Las reducciones de elementos traza podrían ser explicados por una pérdida preferencial durante la fase de metamorfismo. PCM – 684 presenta valores análogos de Y y La; Leve enriquecimiento de Sr en PCM – 680 y PS – 10 – 3 y también de La y Pb para este último y Pb en PCM – 684; y finalmente un aumento pronunciado en las concentraciones de Sr en la muestra SB – 55.

---

<sup>54</sup> BELLANCA A, MASETTI D, Neri R. Rare earth elements in limestone/ marlstone couplets from the Albian-Cenomanian Cison section (Venetian region, northern Italy): assessing REE sensitivity to environmental changes. 1997. *Chem Geol* 141:141–152

<sup>55</sup> *Íbid.*, p 141 - 152

<sup>56</sup> Condie *et al.* Op. Cit, p 37 - 47

<sup>57</sup> *Íbid.*, p 141 - 152

Los efectos del fraccionamiento de LREE/HREE en sistemas marinos modernos y antiguos pueden ser documentados por la relación Er/Nd (German and Elderfield, 1989<sup>58</sup>; Nagarajan *et al.* 2011<sup>59</sup>). La relación Er/Nd en agua marina normal es alrededor de 0.27 (De Baar *et al.* 1988)<sup>60</sup>. La alta relación Er/Nd en calizas efectivamente revela las características del agua de mar retenida por los carbonatos marinos. La adición de material detrítico o procesos de diagénesis pueden reducir el valor de Er/Nd a <0.1 debido a la concentración preferencial de Nd en relación a Er (De Baar *et al.* 1988<sup>61</sup>; German and Elderfield 1989<sup>62</sup>; Bellanca *et al.* 1997<sup>63</sup>). La relación Er/ND de las rocas carbonatadas analizadas varía entre 0.08 – 0.12 y son comparables con los carbonatos marinos someros (Madhavaraju and Ramasamy 1999)<sup>64</sup> (ver tabla 11) indicando la influencia de materia detrítico. La mineralogía observada corrobora lo anterior, en donde además de un gran porcentaje de carbonatos existen bajas proporciones de diferentes minerales. Los carbonatos precipitados del agua marina pueden tener grados de contaminación variables que podría haber suprimido la identificación del agua de mar, el cual efectivamente oculta las características de esta.

---

<sup>58</sup> GERMAN, Christopher R.; ELDERFIELD, Henry. Rare earth elements in Saanich Inlet, British Columbia, a seasonally anoxic basin. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1989, vol. 53, no 10, p. 2561-2571.

<sup>59</sup> NAGARAJAN, Ramasamy, *et al.* Geochemistry of Neoproterozoic limestones of the Shahabad Formation, Bhima Basin, Karnataka, southern India. *Geosciences Journal*, 2011, vol. 15, no 1, p. 9-25

<sup>60</sup> DE BAAR, Hein JW, *et al.* Rare earth element distributions in anoxic waters of the Cariaco Trench. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1988, vol. 52, no 5, p. 1203-1219.

<sup>61</sup> *Íbid.*, p 1203 - 1219

<sup>62</sup> GERMAN, Christopher R.; ELDERFIELD, Henry. *Op. Cit.*, p 2561 – 2571

<sup>63</sup> BELLANCA A, MASETTI D, Neri R. *Op. Cit.*, p 141 – 152

<sup>64</sup> MADHAVARAJU, J.; RAMASAMY, S. Rare earth elements in limestones of Kallankurichchi Formation of Ariyalur Group, Tiruchirapalli Cretaceous, Tamil Nadu. *Geological Society of India*, 1999, vol. 54, no 3, p. 291-301

**Tabla 11.** Relación de elementos en las muestras estudiadas. Comparación con los valores de sedimentos marinos de aguas someras y profundas.

Relación de elementos					Carbonatos
	PCM 680	PCM 684	SB - 55	PS -10 - 3	marinos someros <sup>a</sup>
<b>Ce/Ce*</b>	0.829	0.948	0.865	0.943	0.76 ± 0.16
<b>(La/Yb)<sub>n</sub></b>	1.249	1.509	0.738	0.854	1.82 ± 0.46
<b>Gd/Gd*</b>	1.275	1.324	1.297	1.062	
<b>(Nd/Yb)<sub>n</sub></b>	1.023	1.247	0.831	0.823	1.51 ± 0.30
<b>(Dy/Yb)<sub>n</sub></b>	1.436	1.835	1.084	1.512	1.25 ± 0.17
<b>Y/Ho</b>	56.666	38.181	34	34.081	
<b>Er/Nd</b>	0.081	0.084	0.113	0.129	0.07 ± 0.02
<b>Eu/Eu*</b>	0.776	1.201	0.958	1.216	0.58 ± 0.11
<b>REE (ppm)</b>	8.58	19.14	7.3	58.18	73 ± 40

Fuentes: <sup>a</sup> Carbonatos Marinos Someros (Madhavaraju and Ramasamy, 1999; Cretácico Tardío);

Las anomalías Ce en rocas carbonatadas marinas son usadas como un indicador de condiciones paleo – redox. Se han realizado muchos estudios sobre el comportamiento de Ce en ambientes marinos para estimar las condiciones paleo – oceanográficas (Liu *et al.* 1988<sup>65</sup>; German and Elderfield 1990<sup>66</sup>; Nath *et al.* 1997<sup>67</sup>). Los carbonatos de las muestras analizadas muestran bajos valores de elementos sensibles al redox (e.g., U, V, Co, y Cr). Se presentan anomalías ligeramente positivas de Ce (aprox. 0.94) las cuales se deben a la influencia de la entrada de detritos (Madhavaraju and Ramasamy 1999<sup>68</sup>; Madhavaraju and Lee 2009<sup>69</sup>; Nath *et al.*

<sup>65</sup> LIU, Y.-G.; MIAH, M. R. U.; SCHMITT, R. A. Cerium: a chemical tracer for paleo-oceanic redox conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1988, vol. 52, no 6, p. 1361-1371

<sup>66</sup> GERMAN, Christopher R.; ELDERFIELD, Henry. *Op. Cit.*, p 2561 – 2571

<sup>67</sup> NATH, B. Nagender, *et al.* Trace and rare earth elemental variation in Arabian Sea sediments through a transect across the oxygen minimum zone. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1997, vol. 61, no 12, p. 2375-2388.

<sup>68</sup> MADHAVARAJU, J.; RAMASAMY, S. *Op. Cit.*, p 291 – 301

<sup>69</sup> MADHAVARAJU, Jayagopal; IL LEE, Yong. Geochemistry of the Dalmiapuram Formation of the Uttatur Group (Early Cretaceous), Cauvery basin, southeastern India: Implications on provenance and paleo-redox conditions. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 2009, vol. 26, no 2

1997<sup>70</sup>), proceso de barrido (Masuzawa and Koyama 1989)<sup>71</sup>, y condiciones paleo-redox (Liu *et al.* 1988)<sup>72</sup>. La extensión de la reducción de Ce refleja el estado de oxidación del agua (Komiya *et al.*, 2008<sup>73</sup>; Zhao *et al.*, 2009<sup>74</sup>). En el presente estudio, las muestras presentan además anomalías negativas (valores de Ce/Ce\* entre 0.82 – 0.89), que sugieren que éstas fueron depositadas bajo ambientes oxigenados. Adicionalmente, no hay una variación notable en las anomalías de Ce, lo que indica que no hubo mucha fluctuación del nivel de oxígeno en el agua profunda. La concentración y anomalía de Ce puede probablemente explicar la variación de sedimentos terrígenos en las muestras (pero no su diagénesis).

---

<sup>70</sup> NATH, B. Nagender, *et al.* Op. cit, p, 2375 – 2388.

<sup>71</sup> MASUZAWA, Toshiyuki; KOYAMA, Mutsuo. Settling particles with positive Ce anomalies from the Japan Sea. *Geophysical Research Letters*, 1989, vol. 16, no 6, p. 503-506

<sup>72</sup> LIU, Y.-G.; MIAH, M. R. U.; SCHMITT, R. A. Op. Cit, p 1361 – 1371.

<sup>73</sup> KOMIYA, Tsuyoshi, *et al.* Evolution of the composition of seawater through geologic time, and its influence on the evolution of life. *Gondwana Research*, 2008, vol. 14, no 1, p. 159-174.

<sup>74</sup> ZHAO, Yan-Yan; ZHENG, Yong-Fei; CHEN, Fukun. Trace element and strontium isotope constraints on sedimentary environment of Ediacaran carbonates in southern Anhui, South China. *Chemical Geology*, 2009, vol. 265, no 3, p. 345-362.

## 10. DISCUSION

Las relaciones de campo indican diferentes formas de ocurrencia de los mármoles para cada sector, en donde: para el sector de Baraya se presentan como cuerpos tabulares alargados, intercalados con filitas verdosas; en el sector de Silos y Mutiscua como cuerpos irregulares, discontinuos y masivos dentro de intercalaciones de esquistos pelíticos y cuarcitas y en el sector de Berlín vía Vetas en contacto con un cuerpo ígneo de composición tonalítica - granodiorítica.

Ward *et al.*, (1973)<sup>75</sup> plantea una franja de Floresta Metamorfoseado en el cerro Concáceres del sector Silos, pero según estudios realizados por diversos autores tales como Arenas (2015)<sup>76</sup>, Casadiegos (2017)<sup>77</sup>, Castellanos (2017)<sup>78</sup> y el presente trabajo, las características texturales y su relación con esquistos pelíticos y cuarcitas de grado medio de metamorfismo indican que no corresponden a dicha formación, sino que parecen ser parte de la secuencia de los Esquistos del Silgará. Ward *et al.*, (1973)<sup>79</sup> también relaciona los mármoles encontrados en el corregimiento de Baraya con los Esquistos del Silgará sin embargo estos no presentan las mismas características que los encontrados en el sector de Silos, por lo que dicha correspondencia se descarta.

---

<sup>75</sup> WARD, et al. Op. Cit, p – 132

<sup>76</sup> ARENAS, Camilo Arturo. Geología del sector de Silos – Bábega. Macizo de Santander. Tesis de Pregrado en Geología. Escuela de Geología. Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Universidad Industrial de Santander. 2015, p – 104

<sup>77</sup> CASADIEGOS, Luisa. Op. Cit, p – 153

<sup>78</sup> CASTELLANOS MELÉNDEZ, María Paula. Metasedimentitas de Silos: Ocurrencia, caracterización y metamorfismo. Tesis de Pregrado en Geología. Escuela de Geología. Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Universidad Industrial de Santander. 2017

<sup>79</sup> WARD, et al. Op. Cit, p – 132

Las rocas metacarbonatadas puras e impuras constituyen un reto para determinar el grado de metamorfismo, debido a la ausencia o escasez de minerales indicadores de metamorfismo. Las condiciones de metamorfismo de los mármoles, fueron definidas a partir de paragénesis minerales obteniéndose: para el sector de Baraya la facies sub – esquistos verdes para el sector de Silos facies anfibolita en la zona de cianita – estaurólita, para el sector de Mutiscua y alrededores de Berlín facies esquistos verdes en la zona del granate.

Casadiegos (2017)<sup>80</sup> determinó en las rocas carbonatadas puras en el sector de Silos un tamaño de grano que varía entre fino y medio (0.25 – 2.5 mm) y para aquellas con un contenido de calcita alto pero que no alcanza el 95% (mármol impuro) un tamaño de grano que varía entre medio – grueso – muy grueso, mientras que Ávila y Gómez (2006)<sup>81</sup> en los mármoles del sector de Mutiscua definieron tamaño de grano que varía entre 1 mm y 3 mm.

En el presente trabajo se determinaron para el sector de Silos un tamaño de grano que varía entre 0.1 - 1 mm que según la clasificación de Vogt (1898)<sup>82</sup> correspondería a “moderadamente finos” y 0.75 - 3 mm que correspondería a “moderadamente gruesos”, los tamaños mayores suelen estar en cercanías a la variedad de fallas que afecta el sector. En esta zona los datos obtenidos son similares a los de Casadiegos (2017)<sup>83</sup> concluyendo para dicha región un rango de tamaños entre moderadamente finos – moderadamente gruesos. Para el sector de Mutiscua el rango de tamaño de grano se presenta dentro de “moderadamente finos” pero dicha zona presenta rasgos petrográficos que indican deformación, tales como calcitas como extinción ondulante y

---

<sup>80</sup> CASADIEGOS, Luisa. Op. Cit, p – 153

<sup>81</sup> ÁVILA CALAO, Guillermo Antonio y GÓMEZ VALDERRAMA, Sergio Iván. Op. Cit, p - 117

<sup>82</sup> VOGT, J. H. L. Op. Cit, p 334 – 364.

<sup>83</sup> CASADIEGOS, Luisa. Op. Cit, p – 153

maclado tipo II y III, por lo que el tamaño de grano que se observa podría no ser el alcanzado en su pico metamórfico, en el estudio de Ávila y Gómez (2006)<sup>84</sup> se reportan unos tamaños algo mayores los cuales deben concordar bajo la misma condición. Para el sector de Baraya el rango de tamaño de grano está entre 0.03 – 0.3mm correspondiendo a “Extra fino – casi totalmente compacto”. De acuerdo con lo anterior, en las rocas carbonatadas puras de las regiones estudiadas se observa que el tamaño de grano diferencia mármoles de facies anfibolita y sub – esquistos verdes teniendo: a) para un grado bajo en la facies sub – esquistos verdes un tamaño de grano dentro del rango “extra fino – casi totalmente compacto” b) para un grado medio en la facies anfibolita en la zona de cianita – estaurolita un tamaño de grano dentro del rango “moderadamente fino – moderadamente grueso”. El tamaño de grano en la zona del granate no permite esclarecer si está relacionado a su grado de metamorfismo, pero, con los datos obtenidos de las demás zonas parece haber una relación directa tamaño de grano – grado de metamorfismo en las rocas carbonatadas puras por lo que la zona del granate debería tener un rango intermedio entre extra fino y moderadamente grueso.

---

<sup>84</sup> ÁVILA CALAO, Guillermo Antonio y GÓMEZ VALDERRAMA, Sergio Iván. Op. Cit, p - 117

## 11. CONCLUSIONES

El modo de ocurrencia, las relaciones de campo y las características petrográficas y texturales indican diferencias entre el sector de Silos y Mutiscua con los de Baraya y Berlín. En el sector de Silos y Mutiscua se encuentran haciendo parte de una secuencia de esquistos pelíticos y cuarcitas. En el sector de Berlín vía Vetas en contacto con cuerpos ígneos de composición tonalítica – granodiorítica. En el sector de Baraya intercalados en filitas verdosas.

Las rocas carbonatadas estudiadas consisten en: mármoles puros con asociación mineral de  $Cal \pm Qz$  con diópsido, rutilo, titanita, periclasa, talco y minerales opacos como accesorios y mármoles impuros con contenido de calcita entre 80 y 94% con asociación mineral de  $Cal \pm Qz \pm Pl \pm Bt \pm Zo \pm Di \pm Tr - Act$  con titanita, pirita y minerales opacos como accesorios. Es claro el bajo porcentaje de minerales indicadores y/o asociación con litologías como metapelitas. Presentan en general una textura granoblástica con granos predominantemente homeoblásticos y subidioblásticos. Se observan procesos de deformación evidenciados en el maclado, bandeamiento y recristalización de los cristales de calcita, ciertas muestras evidencian procesos hidrotermales posteriores que se pueden ver en las diferentes venillas tanto de cuarzo como de calcita pura.

El tipo de metamorfismo que afectó estas rocas es principalmente de tipo regional y posiblemente dinamo – térmico. El pico metamórfico fue alcanzado en la facies anfíbolita en la zona de la cianita – estauroлита, representada por la paragénesis  $Cal \pm Qz \pm Di \pm Tr - Act$ .

La composición química de las rocas normalizadas al condrito, muestran en general una tendencia al enriquecimiento de LREE y un empobrecimiento en HREE. Dichas concentraciones no parecen tener relación con el grado de metamorfismo, sin embargo, en el corregimiento de Baraya que corresponde a facies sub – esquistos verdes se registra altas concentraciones de REE.

Los estudios de Espectroscopía infrarroja demostraron que las leves diferencias en localización de las bandas de transmitancia no se pueden asociar a cambios relacionados con el grado de metamorfismo, composición mineralógica o cualquier otro evento sobreimpuesto

El análisis textural de dichas rocas evidencia un tamaño de grano “extra fino – casi totalmente compacto” según Vogt (1896) con un rango entre 0,03 – 0,06 mm para las rocas del sector Mina El portillo – corregimiento de Baraya con metamorfismo bajo en la facies sub-esquistos verdes, y un tamaño que varía entre “moderadamente fino” y “moderadamente grueso” con un rango entre 0,3 – 1 y 1 – 3 respectivamente para un metamorfismo medio en la facies anfibolita zona cianita – estaurolita para las rocas del sector de Silos, en donde las rocas con tamaños “moderadamente grueso” se encuentran más cercanas a las zonas de falla que afecta el área. En la facies esquistos verdes zona del granate se encuentran las rocas del sector vía Berlín – Vetas y Mutiscua las cuales no pudieron ser tomadas en cuenta debido a que evidencian deformaciones posteriores a las alcanzadas en su pico metamórfico. Con lo anterior es probable que el grado de metamorfismo en las rocas carbonatadas puras de la región central de Macizo de Santander esté relacionado con el aumento en el tamaño de grano de las mismas.

## 12. RECOMENDACIONES

Aumentar la densidad de muestreo de las rocas carbonatadas puras dentro de la región central del Macizo de Santander con el fin de establecer con claridad la relación grado de metamorfismo – tamaño de grano.

Realizar estudios geotermobarométricos y de isotopos estables que permitan esclarecer las condiciones Presión-Temperatura y origen de los fluidos en litologías metacarbonatadas puras.

## BIBLIOGRAFÍA

ARENAS, Camilo Arturo. Geología del sector de Silos – Bábega. Macizo de Santander. Tesis de Pregrado en Geología. Escuela de Geología. Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Universidad Industrial de Santander. 2015, p - 104

ARMSTRONG-ALTRIN, John S. Provenance of sands from Cazonos, Acapulco, and Bahía Kino beaches, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 2009, vol. 26, no 3.

ARMSTRONG-ALTRIN, J.S., *et al.* Geochemistry of sandstones from the upper Miocene Kudankulam Formation, southern India: Implications for provenance, weathering, and tectonic setting. *Journal of sedimentary Research*, 2004, vol. 74, no 2, p. 285-297.

ARMSTRONG-ALTRIN, J, *et al.* Geochemistry of upper Miocene Kudankulam limestones, southern India. *International Geology Review*, 2003, vol. 45, no 1, p. 16-26

ÁVILA CALAO, Guillermo Antonio y GÓMEZ VALDERRAMA, Sergio Iván. Petrogénesis de las rocas calcosilicatadas que ocurren como bandas de reacción entre mármoles y rocas metapelíticas de la Formación Silgará, región Central del Macizo de Santander. Tesis de Pregrado en Geología. Escuela de Geología. Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Universidad Industrial de Santander. 2006, p – 117.

BARABANOV, V. *Sovremennie fisicheskie metodi v gueojimii*. Leningrad. Izdatel'svo Leningradskogo Univercitieta. 1990. 390p.

BAU, Michael, *et al.* Comparison of the partitioning behaviours of yttrium, rare earth elements, and titanium between hydrogenetic marine ferromanganese crusts and seawater. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1996, vol. 60, no 10, p. 1709-1725.

BAU, Michael. Rare-earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction and the significance of the oxidation state of europium. *Chemical Geology*, 1991, vol. 93, no 3-4, p. 219-230.

BELLANCA A, MASETTI D, NERI R. Rare earth elements in limestone/ marlstone couplets from the Albian-Cenomanian Cismon section (Venetian region, northern Italy): assessing REE sensitivity to environmental changes. 1997. *Chem Geol* 141:141–152

BOLHAR, Robert y VAN KRANENDONK, Martin J. A non-marine depositional setting for the northern Fortescue Group, Pilbara Craton, inferred from trace element geochemistry of stromatolitic carbonates. *Precambrian Research*, 2007, vol. 155, no 3, p. 229-250

BOTERO RESTREPO, G. Reconocimiento geológico del área comprendida por los municipios de Belén. Cerinza, Corrales, Floresta, Nobsa y Santa Rosa de Viterbo, Departamento de Boyacá: Servicio Geológico Nacional, Ministerio de Minas y Petroleos, 1950, vol. 8, p. 245-311.

BRADY, John B. Metasomatic zones in metamorphic rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1977, vol. 41, no 1, p. 113-125.

BURKHARD, Martin. Calcite twins, their geometry, appearance and significance as stress-strain markers and indicators of tectonic regime: a review. *Journal of structural geology*, 1993, vol. 15, no 3-5, p. 351-368.

BURKHARD, Martin. Ductile deformation mechanisms in micritic limestones naturally deformed at low temperatures (150–350 C). Geological Society, London, Special Publications, 1990, vol. 54, no 1, p. 241-257.

CAICEDO, Laura Marcela, *et al.* Seminario de Investigación análisis de la Geología Regional del Macizo de Santander. Trabajo de Grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Escuela de Geología. 2013

CAMPOS, N. Estudio mineralógico y petrográfico de las metamorfitas al occidente del Municipio de Mutiscua (Norte de Santander). Tesis Doctoral. Tesis de Pregrado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga (Colombia). 1999.

CASADIEGOS AGUDELO, Luisa. Metamorfismo de la unidad Esquistos del Silgará del Macizo de Santander, en el sector de Silos – Norte de Santander. Tesis de Pregrado en Geología. Escuela de Geología. Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Universidad Industrial de Santander. 2017, p – 153.

CASTAÑEDA, María Belén. Procesamiento de datos y análisis estadísticos utilizando SPSS: Un libro práctico para investigadores y administradores educativos. Edipucrs, 2010.

CASTELLANOS, A., *et al.* A new approach on the tectonometamorphic mechanisms associated with PT paths of the Barrovian-type Silgará Formation at the Central Santander Massif, Colombian Andes. *Earth Sciences Research Journal*, 2008, vol. 12, no 2, p. 125-155.

CASTELLANOS MELÉNDEZ, María Paula. Metasedimentitas de Silos: Ocurrencia, caracterización y metamorfismo. Tesis de Pregrado en Geología. Escuela de Geología. Facultad de Ingenierías Físico – Químicas. Universidad Industrial de Santander. 2017

CASTER, Kenneth E. The age and relations of Colombian Devonian strata. *Proc. Eighth Am. Sci. Congr*, 1942, vol. 4, p. 27-67.

CEDIEL, Fabio; SHAW, Robert P.; CCERES, Carlos. Tectonic assembly of the northern Andean block. 2003. *AAPG Memoir* 79: 815-848.

CHUKANOV, Nikita V. *Infrared spectra of mineral species: extended library*. Springer Science & Business Media, 2013.

CLAVIJO, Jairo., *et al.* Contribución al conocimiento de la geología de los

Santanderes. En Cuarto Simposio de Geología Regional. Bucaramanga. INGEOMINAS. Documento interno, 99p. 1993.

CONDIE, K. C., *et al.* Geochemistry of metasediments from the Precambrian Hapschan series, eastern Anabar Shield, Siberia. *Precambrian Research*, 1991, vol. 50, no 1-2, p. 37-47.

COX, Rónald; LOWE, Donald R.; CULLERS, R. L. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, vol. 59, no 14, p. 2919-2940

CRAMER, Thomas; MOLANO, Juan Carlos; ÖCAL, Ali Duran. La determinación de la procedencia de mármoles arqueológicos como ejemplo para la aplicación de métodos geocientíficos en arqueometría Provenance determination of archaeological marbles as an example for the use of geoscientific methods in archaeometry. *Geología Colombiana*, 2010, vol. 35, p. 143.

CULLERS, Robert L. The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian–Permian age, Colorado, USA: implications for provenance and metamorphic studies. *Lithos*, 2000, vol. 51, no 3, p. 181-203

CULLERS, Robert L.; PODKOVYROV, Victor N. Geochemistry of the Mesoproterozoic Lakhanda shales in southeastern Yakutia, Russia: implications for mineralogical and provenance control, and recycling. *Precambrian Research*, 2000, vol. 104, no 1, p. 77-93.

CULLERS, Robert L.; BERENDSEN, Pieter. The provenance and chemical variation of sandstones associated with the Mid-continent Rift System, USA. *European Journal of Mineralogy*, 1998, p. 987-1002.

CULLERS, Robert L. The controls on the major-and trace-element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to Tertiary age in the Wet Mountains region, Colorado, USA. *Chemical Geology*, 1995, vol. 123, no 1-4, p. 107-131

CULLERS, Robert L. The controls on the major and trace element variation of shales, siltstones, and sandstones of Pennsylvanian-Permian age from uplifted continental blocks in Colorado to platform sediment in Kansas, USA. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1994, vol. 58, no 22, p. 4955-4972.

DANIELSON, A.; MÖLLER, P.; DULSKI, P. The europium anomalies in banded iron formations and the thermal history of the oceanic crust. *Chemical Geology*, 1992, vol. 97, no 1-2, p. 89-100.

DE BAAR, Hein JW, *et al.* Rare earth element distributions in anoxic waters of the Cariaco Trench. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1988, vol. 52, no 5, p. 1203-1219.

DERRY, Louis A.; JACOBSEN, Stein B. The chemical evolution of Precambrian seawater: evidence from REEs in banded iron formations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1990, vol. 54, no 11, p. 2965-2977.

DESPAIGNE DÍAZ, Ana Ibis; CÁCERES GOVEA, Dámaso. Las maclas de calcita en

los metacarbonatos. Significado tectónico y su empleo para la determinación de temperaturas de deformación. *Minería y Geología*, 2009, vol. 25, no 2.

DYMEK, Robert F.; KLEIN, Cornelis. Chemistry, petrology and origin of banded iron-formation lithologies from the 3800 Ma Isua supracrustal belt, West Greenland. *Precambrian Research*, 1988, vol. 39, no 4, p. 247-302.

ETAYO-SERNA, F., *et al.* Mapas de Terrenos Geológicos de Colombia. 1983. Ingeominas, 14-1.

FERRILL, David A. Calcite twin widths and intensities as metamorphic indicators in natural low-temperature deformation of limestone. *Journal of Structural Geology*, 1991, vol. 13, no 6, p. 667-675.

GARCÍA, C. A.; RÍOS, C. A.; CASTELLANOS, O. M. Medium-pressure metamorphism in the Central Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. *Boletín de Geología*, 2005, vol. 27, no 2.

GERMAN, Christopher R.; ELDERFIELD, Henry. Application of the Ce anomaly as a paleoredox indicator: the ground rules. *Paleoceanography*, 1990, vol. 5, no 5, p. 823-833

GERMAN, Christopher R.; ELDERFIELD, Henry. Rare earth elements in Saanich Inlet, British Columbia, a seasonally anoxic basin. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1989, vol. 53, no 10, p. 2561-2571.

GOLDSMITH, Richard; MARVINA, R. F.; MEHNERT, HARALD H. Radiometric ages in the Santander massif, eastern Cordillera, Colombian Andes. US Geological Survey Professional Paper, 1971, vol. 750, p. D44-D49.

GROSHONG, Richard H.; PFIFFNER, O. Adrian; PRINGLE, Laurel R. Strain partitioning in the Helvetic thrust belt of eastern Switzerland from the leading edge to the internal zone. Journal of Structural Geology, 1984, vol. 6, no 1-2, p. 5-18

IRVING, Earl Montgomery. La evolución estructural de los Andes más septentrionales de Colombia. Republica de Colombia, Instituto Nacional de Investigaciones Geologico-Mineras, 1971. IRVING, E.M., 1971. La evolución estructural de los Andes más septentrionales de Colombia. Ingeominas. Boletín Geológico, 19 (2): 1-89. Bogotá.

JANOUSEK, V.; FARROW, C. M & ERBAN, V. Geochemical Data Toolkit (GCDkit). [software para el tratamiento de información geoquímica]. Versión 4.1. Fecha de lanzamiento: 2006. Disponible para la descarga en <http://www.gcdkit.org/>

JOHANNESSON, Karen H.; HAWKINS, Doyle L.; CORTÉS, Alejandra. Do Archean chemical sediments record ancient seawater rare earth element patterns?. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2006, vol. 70, no 4, p. 871-890.

KERRICK, D. M. The genesis of zoned skarns in the Sierra Nevada, California. Journal of petrology, 1977, vol. 18, no 1, p. 144-181.

KLINKHAMMER, G. P., *et al.* Geochemical implications of rare earth element patterns

in hydrothermal fluids from mid-ocean ridges. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1994, vol. 58, no 23, p. 5105-5113.

KLINKHAMMER, G.; ELDERFIELD, H.; HUDSON, A. Rare earth elements in seawater near hydrothermal vents. *Nature*, 1983, vol. 305, no 5931, p. 185-188

KOMIYA, Tsuyoshi, *et al.* Evolution of the composition of seawater through geologic time, and its influence on the evolution of life. *Gondwana Research*, 2008, vol. 14, no 1, p. 159-174.

LÓPEZ SÁNCHEZ-VIZCAINO, V.; SOTO, J. I. Metamorphism of calc-silicate rocks from the Alboran basement. En *Proceedings of the Ocean Drilling Program. Scientific results. Ocean Drilling Program*, 1999. p. 251-261.

LEIVA, Omar, TREJOS, Gustavo y MOYA, Harold. Documento metodológico para la elaboración del mapa geomorfológico, insumo para el mapa nacional de amenazas por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá: s.n. Versión 1. 2010.p 9-10

LIU, Y.-G.; MIAH, M. R. U.; SCHMITT, R. A. Cerium: a chemical tracer for paleo-oceanic redox conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1988, vol. 52, no 6, p. 1361-1371.

MADHAVARAJU, Jayagopal; IL LEE, Yong. Geochemistry of the Dalmiapuram Formation of the Uttatur Group (Early Cretaceous), Cauvery basin, southeastern India:

Implications on provenance and paleo-redox conditions. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 2009, vol. 26, no 2

MADHAVARAJU, J.; RAMASAMY, S. Rare earth elements in limestones of Kallankurichchi Formation of Ariyalur Group, Tiruchirapalli Cretaceous, Tamil Nadu. *Geological Society of India*, 1999, vol. 54, no 3, p. 291-301

MANTILLA FIGUEROA, Luis Carlos, *et al.* Remains of early Ordovician mantle-derived magmatism in the Santander Massif (Colombian Eastern Cordillera). *Journal of South American Earth Sciences*, 2012, vol. 38, p. 1-12

MANTILLA FIGUEROA, Luis Carlos, and GARCIA RAMIREZ, Carlos Alberto. *Metamorfismo y metalogenia asociada del Macizo de Santander, Cordillera Oriental (Colombia)*. 1995

MANTILLA-FIGUEROA, Luis Carlos, GARCÍA-RAMÍREZ, Carlos Alberto, VALENCIA, Víctor A. Propuesta de Escisión de la denominada “Formación Silgará” (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en circones detríticos. *Boletín de Geología*. 2016a. 38 (1): p33-50

MANTILLA-FIGUEROA, Luis Carlos; GARCÍA-RAMÍREZ, Carlos Alberto; VALENCIA, Víctor A. Nuevas evidencias que soportan la escisión de la formación Silgará y propuesta de un nuevo marco estratigráfico para el basamento metamórfico del Macizo de Santander (Cordillera Oriental de Colombia). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 2016b, vol. 40, no 155, p. 320-336.

MASUZAWA, Toshiyuki; KOYAMA, Mutsuo. Settling particles with positive Ce anomalies from the Japan Sea. *Geophysical Research Letters*, 1989, vol. 16, no 6, p. 503-506.

MAZUMDAR, Aninda, TANAKA K; TAKAHASHI, T; KAWABE, I. Characteristics of rare earth element abundances in shallow marine continental platform carbonates of Late Neoproterozoic successions from India. *Geochemical Journal*, 2003, vol. 37, no 2, p. 277-289.

MCLENNAN, Scott M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance sedimentary processes. *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements*, 1989, p. 169-200.

MCNAIR, A.H. Devonian Bryozoa from Colombia: *Am. Paleontology Bull*, 1940. 25(13), 34.

MEINERT, L. D. (1992). Skarns and skarn deposits. *Geoscience Canada*, 19(4), 145-162.

NAGARAJAN, Ramasamy, *et al.* Geochemistry of Neoproterozoic limestones of the Shahabad Formation, Bhima Basin, Karnataka, southern India. *Geosciences Journal*, 2011, vol. 15, no 1, p. 9-25.

NAKAMURA, Noboru. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1974, vol. 38, pp. 757-775.

NATH, B. Nagender, *et al.* Trace and rare earth elemental variation in Arabian Sea sediments through a transect across the oxygen minimum zone. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1997, vol. 61, no 12, p. 2375-2388.

NATH, Bejugam Nagender, *et al.* Rare earth element patterns of the Central Indian Basin sediments related to their lithology. *Geophysical Research Letters*, 1992, vol. 19, no 12, p. 1197-1200

NESBITT, H. W.; MACRAE, N. D.; KRONBERG, B. I. Amazon deep-sea fan muds: light REE enriched products of extreme chemical weathering. *Earth and Planetary Science Letters*, 1990, vol. 100, no 1-3, p. 118-123

NOTHDURFT, Luke D.; WEBB, Gregory E.; KAMBER, Balz S. Rare earth element geochemistry of Late Devonian reefal carbonates, Canning Basin, Western Australia: confirmation of a seawater REE proxy in ancient limestones. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2004, vol. 68, no 2, p. 263-283.

NOZAKI, Yoshiyuki; ZHANG, Jing; AMAKAWA, Hiroshi. The fractionation between Y and Ho in the marine environment. *Earth and Planetary Science Letters*, 1997, vol. 148, no 1-2, p. 329-340.

PALMER MR (1985) Rare earth elements in foraminifera tests. *Earth Planet Sci Lett* 73:285–298

PIPER D, Z. Rare earths in the sedimentary cycle: A summary *chem. Geol.* 14. 1974, p 285 -304.

RESTREPO-PACE, Pedro A., *et al.* Geochronology and Nd isotopic data of Grenville-age rocks in the Colombian Andes: new constraints for Late Proterozoic-Early Paleozoic paleocontinental reconstructions of the Americas. *Earth and Planetary Science Letters*, 1997, vol. 150, no 3-4, p. 427-441.

RÍOS, C. A., *et al.* Petrogenesis of the metacarbonate and related rocks of the silgará formation, central santander massif, colombian andes: an overview of a" reaction calcic exoscarn. *Earth Sciences Research Journal*, 2008, vol. 12, no 1, p. 72-106.

ROBERTSON, S. BGS Rock Classification Scheme, Volume 2, Classification of metamorphic rocks. Research Report number RR 99-02. Nottingham: British Geological Survey, 1999. 26 p.

ROLLINSON, Hugh R. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation.* London: Pearson, 1993. 378 p.

ROSEN, Oleg; DESMONS, Jacqueline Y FETTES, Douglas. A systematic nomenclature for metamorphic rocks: 7. Metacarbonate and related rocks. Recommendations by the IUGS Subcommittee on the systematics of metamorphic

rocks. 2007 [Consultado: 4 de Diciembre de 2016]. Disponible en: [https://www.bgs.ac.uk/scmr/docs/papers/paper\\_7.pdf](https://www.bgs.ac.uk/scmr/docs/papers/paper_7.pdf)

ROYERO, J., Y CLAVIJO, J. Memoria explicativa del mapa geológico generalizado departamento de Santander. Escala 1: 400.000. Memoria explicativa. INGEOMINAS, Bogotá. 2001, 92 p.

ROYO & GÓMEZ, J. Fósiles Devónicos en Floresta (Departamento de Boyacá): Servicio Geológico Nacional (Colombia), Compilación de los estudios oficiales en Colombia, 1942. Tomo V, 389-395.

SHOLKOVITZ, Edward R. Rare-earth elements in marine sediments and geochemical standards. *Chemical Geology*, 1990, vol. 88, no 3-4, p. 333-347

SILVA, J., *et al.* C-Isotope stratigraphy of some Ediacaran-Cambrian carbonate successions in NW Gondwana. *Reunión Nacional Ciencias de la Tierra* (4), 2004. p327-330

SHMID, R.; FETTES, W.; HARTE, B. A systematic nomenclature for metamorphic rocks: 1. How to name a metamorphic rock. Recommendations by the IUG Subcommission on the systematics of metamorphic rocks. SCMR. 2004. Web versión of 01/04/04 ([www.bgs.ac.uk/SCMR](http://www.bgs.ac.uk/SCMR))

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Propuesta metodológica sistemática para la

generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Versión II. 2014

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Anexo A: Glorario de términos geomorfológicos. Bogotá. Octubre de 2015.

SOLARTE CRUZ, María Eleba y BRAVO, German Narváez. Proyecto estado del arte de la información biofísica y socioeconómica de los páramos de Nariño. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño. Corporación autónoma regional de Nariño – Corponariño, 2007.p 41.

TAYLOR, Stuart Ross & McLENNAN, Scott M. The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics*. 1995, vol. 33, nro. 2, p. 246.

TAYLOR, S. R. and McLennan S. M., The composition and evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 1981, p. 381-399.

THOMPSON, ALAN BRUCE. Calc—Silicate Diffusion Zones between Marble and Pelitic Schist. *Journal of Petrology*, 1975, vol. 16, no 2, p. 314-346.

TOBIA, Faraj H.; AQRAWI, Ahmid M. Geochemistry of rare earth elements in

carbonate rocks of the Mirga Mir Formation (Lower Triassic), Kurdistan Region, Iraq. *Arabian Journal of Geosciences*, 2016, vol. 9, no 4, p. 259.

TURNER, Francis J.; OROZCO, Miguel. Crystal bending in metamorphic calcite, and its relations to associated twinning. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1976, vol. 57, no 1, p. 83-97.

TURNER, Francis J.; WEISS, Lionel Edward. *Structural analysis of metamorphic tectonites*. McGraw-Hill, 1963.

UJUETA-LOZANO, Guillermo. Tectónica de bloques, delimitados por lineamientos de dirección NO-SE y NNE-SSO a NE-SO en el norte y nordeste de Colombia y en el noroccidente de Venezuela. *Geología Colombiana*, 2007, 32: 3-20

VEIZER, Jan. *Chemical diagenesis of carbonates: theory and application of trace element technique*. 1983.

VOGT, J. H. L. *Norsk Marmor: Norges geol. undersogelse*, No. 22, Christiania. summary in German, 1897, p. 334 – 364.

WALKER, James CG, *et al.* Environmental evolution of the Archean-early Proterozoic Earth. IN: *Earth's earliest biosphere: Its origin and evolution* (A84-43051 21-51). Princeton, NJ, Princeton University Press, 1983, p. 260-290., 1983, p. 260-290.

WARD, D, *et al.* Geología de los cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander. Boletín Geológico Ingeominas, 1973. P - 132

WHITNEY, Donna L.; EVANS, Bernard W. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American mineralogist*, 2010, vol. 95, no 1, p. 185-187.

WRONKIEWICZ, David J.; CONDIE, Kent C. Geochemistry and mineralogy of sediments from the Ventersdorp and Transvaal Supergroups, South Africa: cratonic evolution during the early Proterozoic. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1990, vol. 54, no 2, p. 343-354.

ZHAO, Yan-Yan; ZHENG, Yong-Fei; CHEN, Fukun. Trace element and strontium isotope constraints on sedimentary environment of Ediacaran carbonates in southern Anhui, South China. *Chemical Geology*, 2009, vol. 265, no 3, p. 345-362.