

**CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, PETROGRÁFICA DE LAS PIZARRAS
DE LA FORMACIÓN FLORESTA METAMORFOSEADA (FFM), AFLORANTE
ENTRE LOS MUNICIPIOS MOGOTES Y SAN JOAQUÍN (CORDILLERA
ORIENTAL, COLOMBIA)**

WILMER JULIAN PINEDA AYALA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2017

**CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, PETROGRÁFICA DE LAS PIZARRAS
DE LA FORMACIÓN FLORESTA METAMORFOSEADA (FFM), AFLORANTE
ENTRE LOS MUNICIPIOS MOGOTES Y SAN JOAQUÍN (CORDILLERA
ORIENTAL, COLOMBIA)**

WILMER JULIAN PINEDA AYALA

**Trabajo de grado para optar al título de
Geólogo**

Director

**LUIS CARLOS MANTILLA FIGUEROA
Geólogo PhD**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2017

DEDICADO A

A DIOS por el amor infinito que me permitió mantenerme firme en este sueño de la Geología.

A mi hermosa madre Luz Ayala, apoyo fundamental en mi vida y quien nunca dejo de creer en el logro hoy cumplido.

A mis hermanas, Tata y Marcela, por su compañía, amor y gran apoyo en los momentos más difíciles.

A mi nonita Anastasia por la fuerza para nunca desistir y por enseñarme que con dedicación se pueden lograr grandes cosas.

A mis amigos de la universidad en especial, a mis compañeros de voleibol Uis por su compañía y sincera amistad.

A mis amigos Leonardo y Ángela por su infinito amor, acompañamiento en los momentos de debilidad y por siempre tener una palabra que reconforta el alma; a sus hijos por el amor con el que me apoyaron en esta etapa de mi vida y por luchar a mi lado durante el tiempo necesario.

A toda mi familia por haber sido parte de este proceso.

AGRADECIMIENTOS

Al Director del proyecto el profesor Luis Carlos Mantilla por su acompañamiento y asesoría durante la realización de este proyecto.

Al profesor Carlos Alberto Ríos por su gran colaboración en el Laboratorio de Microscopia de la Universidad Industrial de Santander.

Al Laboratorio de microscopia electrónica de barrido de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, Sede Guatiguará por la financiación de los análisis realizados en este proyecto.

Al Laboratorio de Difracción de Rayos X de la Escuela de Química de la universidad Industrial de Santander, sede Guatiguará por la financiación de los análisis realizados para este proyecto.

A todos los profesores de la Escuela de Geología que hicieron parte de mi formación profesional.

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS.....	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS	16
2. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO	18
2.1 LOCALIZACIÓN.....	18
3. METODOLOGÍA	20
3.1 FASE DE REVISIÓN DE INFORMACIÓN	20
3.2 FASE DE CAMPO	20
3.3 FASE DE LABORATORIO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	21
3.3.1 Análisis Mineralógicos-Petrográfico.....	21
3.3.2 Análisis de microscopia electrónica de barrido (SEM).....	22
3.3.3 Difracción de Rayos X.	23
3.3.4 Geocronología Ar-Ar	24
3.4 FASE DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	24
4. ANTECEDENTES Y MARCO GEOLÓGICO	25
4.1 MARCO TECTÓNICO DEL ÁREA DE ESTUDIO	30
4.1.1 Falla Bucaramanga.....	31
4.1.2 Falla Boyacá	31
4.1.3 Falla Soapaga.....	32
4.1.4 Falla de Chaguaca.....	32

5. RESULTADOS.....	33
5.1. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	33
5.1.1 Formación Silgara.....	33
5.1.1.1 Faja San Joaquín -Onzaga - Paramo de Canutos	35
5.1.2 Granito de Pescadero	35
5.1.3 Formación Floresta Metamorfoseada.	36
5.1.3.1 Faja Mogotes – San Joaquín	36
5.1.3.2 Faja Floresblancas – Covarachía- Santa Rosita.....	37
5.2. MINERALOGÍA Y PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS CON PIZARROSIDAD .	42
6. MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO.....	64
6.1 ANATASA	65
6.2 CLINOCOLORO.	66
6.3 CUARZO.....	69
7. IDENTIFICACIÓN DE FASES MINERALES MEDIANTE DIFRACCION DE RAYOS X.....	71
8. GEOCRONOLOGÍA AR-AR	74
9. CONCLUSIONES.	75
10.RECOMENDACIONES.....	76
BIBLIOGRAFÍA.....	77

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Localización geográfica del área de estudio	19
Figura 2. <i>Aspecto del Microscopio electrónico de barrido FEI Quanta 650 FEG ambiental (ESEM)</i>	22
Figura 3. <i>Aspecto del Metalizador/Evaporador de carbón QUORUM Q150R ES</i>	23
Figura 4. Esquema tectónico del Macizo de Santander.	28
Figura 5. Estructuras tectónicas presente en la zona.....	30
Figura 6. Geología presente en el área de estudio.....	34
Figura 7. <i>Aspecto Filítico de las rocas de la Formación Floresta en el área de estudio.</i>	39
Figura 8. <i>Desarrollo de Pizarrosidad de las rocas de la Formación Floresta en el área de estudio.</i>	40
Figura 9. <i>Aspecto de las lodolitas y rocas Lutíticas de la Formación Floresta en el área de estudio.</i>	41
Figura 10. <i>Clasificación de rocas metamórficas compuestas principalmente de cuarzo, feldespatos y micas.</i>	43
Figura 11. <i>Microfotografía de pizarras con foliación tectónica Slaty Cleavage o clivaje de pizarrosidad; A-B-C-D: foliación tectónica Slaty Cleavage (S2) y mineralogía predominante. (A-C-D) nicoles cruzados (B)nicoles paralelos.</i>	46
Figura 12. <i>Microfotografía de pizarras con Slaty Cleavage o clivaje de pizarrosidad más moscovíticas; A: Zircones detríticos. B-D: mineralogía predominante. C: Plagioclasa con macla polisintética. (A-B-C-D) nicoles cruzados.</i>	49
Figura 13. <i>Microfotografía de pizarras con Cloritización; A.-B: Mineralogía predominante donde se evidencia una alta Cloritización y minerales de</i>	

	<i>plagioclasa con maclado polisintético. C-D: mineralogía predominante y Cloritización. (B-C) nicoles cruzados. (A-D)Nicoles paralelos.....</i>	52
Figura 14.	Microfotografía de pizarras con Porfidoblóstos de Clorita. A-B: Textura Porfidoblástica con Porfidoblóstos de Clorita mineralogía predominante y venas de cuarzo. (A)Nicoles paralelos. (B)Nicoles cruzados.	55
Figura 15.	Microfotografía de pizarras con Slaty Cleavage o clivaje de pizarrosidad de grano muy fino. A-B: mineralogía predominante y foliación tectónica Slaty Cleavage o clivaje de pizarrosidad. (A-B) Nicoles cruzados.	57
Figura 16.	Microfotografía de pizarra con Cloritización; A.-B: Mineralogía predominante donde se evidencia una alta Cloritización y venas de cuarzo. C-D: mineralogía predominante y Cloritización. (A-B) nicoles cruzados.	60
Figura 17.	Microfotografía de pizarras Slaty Cleavage o clivaje de pizarrosidad de grano muy fino. A-B: mineralogía predominante y foliación tectónica Slaty Cleavage. (A-B) Nicoles cruzados	63
Figura 18.	<i>Microfotografía de la muestra JP-1 bajo el Microscopio electrónico de Barrido.</i>	64
Figura 19.	<i>Microfotografía y picos composicionales de Anatasa.</i>	65
Figura 20.	<i>Microfotografía y picos composicionales de la Anatasa.....</i>	66
Figura 21.	<i>Microfotografía y picos composicionales del clinocloro.....</i>	67
Figura 22.	<i>Microfotografía y picos composicionales del clinocloro.....</i>	67
Figura 23.	<i>Microfotografía y picos composicionales del clinocloro</i>	68
Figura 24.	Microfotografía y picos composicionales de los cuarzos.	69
Figura 25.	<i>Difractograma para la muestra JP-5.</i>	72
Figura 26.	<i>Difractograma para la muestra JP-6.....</i>	73
Figura 27.	<i>Geocronología Ar-Ar en sericitas neoformadas.</i>	74

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Listado de muestra y análisis realizados.	22
Tabla 2. Parámetros de Medición de los agregados en polvo analizados mediante DRX.....	23
Tabla 3. Clasificación de rocas compuestas principalmente por cuarzo, mica y feldespatos.....	42
Tabla 4. Composición mineralógica de las pizarras de la formación Floresta Metamorfoseada. Rocas Pelíticas.....	43
Tabla 5. Composición química de la Anatasa.	65
Tabla 6. Composición química de la Anatasa.....	66
Tabla 7. Composición química del clinocloro.	67
Tabla 8. Composición química del clinocloro.	68
Tabla 9. Composición química de los cuarzos.	70
Tabla 10. Fases minerales presentes en la muestra JP-5	71
Tabla 11. Fases minerales presentes en la muestra JP-6.....	73

RESUMEN

TITULO: CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, PETROGRÁFICA DE LAS PIZARRAS DE LA FORMACIÓN FLORESTA METAMORFOSEADA (FFM), AFLORANTE ENTRE LOS MUNICIPIOS MOGOTES Y SAN JOAQUÍN (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA).¹

AUTOR: WILMER JULIAN PINEDA AYALA²

PALABRAS CLAVE: Macizo de Santander, Mogotes, San Joaquín, Formación Floresta, Clivaje de Pizarrosidad

DESCRIPCIÓN:

La unidad Floresta aflorante en el sector Mogotes-San Joaquín, presenta al menos tres miembros composicionales: (a) uno inferior o basal, compuesto mayoritariamente de ruditas, areniscas rudfíticas y areniscas; (b) uno medio, mayoritariamente de areniscas y lutitas y; (c) uno superior, predominantemente lutítico. Las litologías del miembro basal presentan un aspecto filítico, el miembro medio presenta en mayor o menor medida desarrollo de pizarrosidad, mientras que el miembro superior no presenta desarrollo de planos de foliación tectónica, como los referidos para los miembros basal y medio.

Los minerales neoformados durante el evento de pizarrosidad, son fundamentalmente el clinocloro, anatasa, sericita y cuarzo. Minerales detríticos y diagenéticos previos, principalmente filosilicatos (illitas, cloritas, otros), sufrieron una re-orientación preferente en respuesta a la deformación generadora de la pizarrosidad, la cual se infiere se asocia en causa-efecto a fallas de dirección N40°E (reactivadas en épocas recientes).

Las dataciones Ar-Ar de las sericitas neoformadas y presentes en los dominios del clivaje de pizarrosidad, apuntan a una edad de 341.86 ± 9.72 Ma, lo cual indica que durante el Missisipiano (Carbonífero), el área debió ser afectada por un evento tectono-termal de carácter local, debido a deformaciones asociadas a fallas. Se desconoce aún la relación temporal entre la pizarrosidad y el desarrollo de las superficies filíticas observadas en el miembro basal de la formación Floresta, aunque se infiere que éste último debió tener lugar con posterioridad a la depositación de la unidad (Devónico Temprano-Medio) y anterior al Missisipiano (Carbonífero).

¹ Trabajo de grado.

² Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Geología. Director: PhD. Luis Carlos Mantilla.

ABSTRACT

TITLE: MINERALOGICAL, PETROGRAPHIC CHARACTERIZATION OF THE SHALES OF THE METAMORFOSEADA FLORESTA FORMATION (MFF), OUTCROPPING BETWEEN THE MUNICIPALITIES OF MOGOTES AND SAN JOAQUIN (EASTERN MOUNTAIN RANGE, COLOMBIA)¹

AUTHOR: WILMER JULIAN PINEDA AYALA²

KEYWORDS: Santander's massif, Mogotes, San Joaquin, Floresta Formation, Slate Cleavage

DESCRIPTION: The Outcropping Floresta unit in the Mogotes-San Joaquin sector presents at least three compositional members: (a) a lower or basal one, composed mainly of ruditas, Rudy sandstones and sandstones; (b) one half, mostly sandstones and shales; (c) a superior, predominantly lutítico. The lithologies of the basal limb present a phyllite aspect, the middle limb presents to a greater or lesser extent slate development, while the upper limb does not present development of tectonic foliation planes, as those referred to the basal and middle limbs.

The minerals newly formed during the slate event are mainly clinochlor, anatase, sericite and quartz. detrital minerals and previous, mainly phyllosilicates (illite, chlorite, etc.), diagenetic suffered a preferred re-orientation in response to the generating deformation of the shale, which is inferred is associated in cause-effect fault management N40°E (Reactivated in recent times).

The Ar-Ar dating of the newly formed and present in the domains of cleaving shale sericites, point to an age of 341.86 ± 9.72 Ma, indicating that during the Mississippian (Carboniferous), the area should be affected by an event tectono- Thermal behavior of local character, due to deformations associated with failures. It is not yet known the temporal relationship between the slate and the development of the filitic surfaces observed in the basal member of the Floresta Formation, although it is inferred that the latter had to take place after the deposition of the unit (Early Middle Devonian) and Previous to the Mississippian (Carboniferous).

¹ Degree Work.

² Faculty of Physics-Chemistry Engineering. School of Geology. Director: PhD. Luis Carlos Mantilla.

INTRODUCCIÓN

La denominada Formación Floresta, aflorante en el Macizo de Santander (Cordillera Oriental de Colombia), ha sido considerada en la bibliografía especializada como una unidad sedimentaria de edad Devónico, aunque existen propuestas en el sentido que ésta unidad es de edad Permo-Carbonífera, y por consiguiente debería ser renombrada como Formación Mogotes.

La Formación Floresta aflorante en el Macizo de Santander, presenta localmente evidencias de metamorfismo de bajo grado, aunque en otros sectores del Macizo esta unidad es claramente sedimentaria (sin metamorfismo).

En el área objeto del presente estudio (localizada en los municipios de Mogotes y San Joaquín), en donde afloran rocas de la denominada formación Floresta (FF), se ha observado que esta unidad presenta al menos tres miembros (en términos de su protolito): (a) uno basal, mayoritariamente de ruditas (hacia la base), areniscas rudíticas y areniscas; (b) uno medio, mayoritariamente de areniscas y lutitas y; (c) uno superior, predominantemente lutítico.

Las litologías del miembro basal de la formación Floresta en el área de estudio, presentan un aspecto filítico, el miembro medio presenta en mayor o menor medida desarrollo de pizarrosidad, mientras que el miembro superior, contrario a lo referido en los miembros basal y medio, no presenta evidencias asociadas a procesos tectono-termales de bajo grado de metamorfismo. Estas observaciones preliminares aquí citadas, permite suponer que la formación Floresta registra una historia sedimentológica y tectono-termal compleja, la cual no ha sido estudiada, ni documentada en sus detalles, en el Macizo de Santander.

Con el propósito de contribuir al conocimiento de la historia geológica registrada en las litologías de la formación Floresta, aflorante en el área de estudio, éste estudio se desarrolló principalmente en el miembro medio de ésta unidad, para fines de caracterizar principalmente desde el punto de vista mineralógico-petrográfico, aquellas litologías con pizarrosidad. Asimismo, en el marco de éste estudio, se realizaron análisis geocronológicos, para fines de establecer la edad de formación de la pizarrosidad ya referida.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterización mineralógico-petrográfica de las Pizarras de la Formación Floresta Metamorfoseada (FFM), aflorantes entre los Municipios Mogotes y San Joaquín (Cordillera Oriental, Colombia).

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Realizar una compilación y análisis de la información geológica disponible sobre el área de estudio, para fines de generar un esquema geológico local y contextualizar desde el punto de vista geológico (regional y local) el área objeto del presente trabajo de tesis de pregrado.
- Reconocer a escala macroscópica las relaciones existentes entre las diferentes variedades litológicas de la formación Floresta Metamorfoseada aflorantes entre los Municipios Mogotes y San Joaquín, y la presencia de planos de anisotropía de tipo *Slaty Cleavage* o Clivaje de Pizarrosidad). Esto, para fines de reconocer la distribución espacial de las litologías con y sin pizarrosidad.
- Estudiar las características mineralógico-petrográficas de las rocas con y sin pizarrosidad de la formación Floresta Metamorfoseada, mediante análisis de microscopía óptica y electrónica (SEM) y DRX, para fines de su clasificación e identificación de minerales neoformados durante el evento tectono-termal responsable de la pizarrosidad (posibles indicadores de las condiciones físicas del evento tectono-termal).

- Proponer a la luz de los nuevos datos un modelo de formación (y condiciones físicas) de las Pizarras de la formación Floresta Metamorfoseada en área de estudio y su relación con la evolución geológica del Macizo de Santander.

2. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 LOCALIZACIÓN

La zona de estudio se encuentra ubicada entre los Municipios de Mogotes y San Joaquín, en el Departamento de Santander, hacia el SW del Macizo de Santander (*Figura 1*). Se encuentra limitada por las coordenadas topográficas:

X1: 1.200.000 (6°24"12,62873 N) N)	X3: 1.205.000(6°24"12,62873 N)
Y1: 1.126.000 (72°56 "19,12109 W) W)	Y3: 1.126.000(72°56"19,12109 W)
X2: 1.205.000(6°26 "54,91597 N) N)	X4: 1.200.000(6°24"12,62873 N)
Y2: 1.132.000(72°53" 3,53590 W) W)	Y5: 1.132.000(72°53" 3,53590 W)

Dentro de las planchas 136-III-C Málaga y 136 Málaga del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, según la proyección Gauss con origen X: 1.000.000; Y:1.000.000 de Santafé de Bogotá.

El acceso a la zona de estudio se realiza por La vía primaria denominada "Transversal" que comunica los municipios de San Gil, Mogotes, San Joaquín, Onzaga (Departamento de Santander) con el Departamentos de Boyacá.

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio

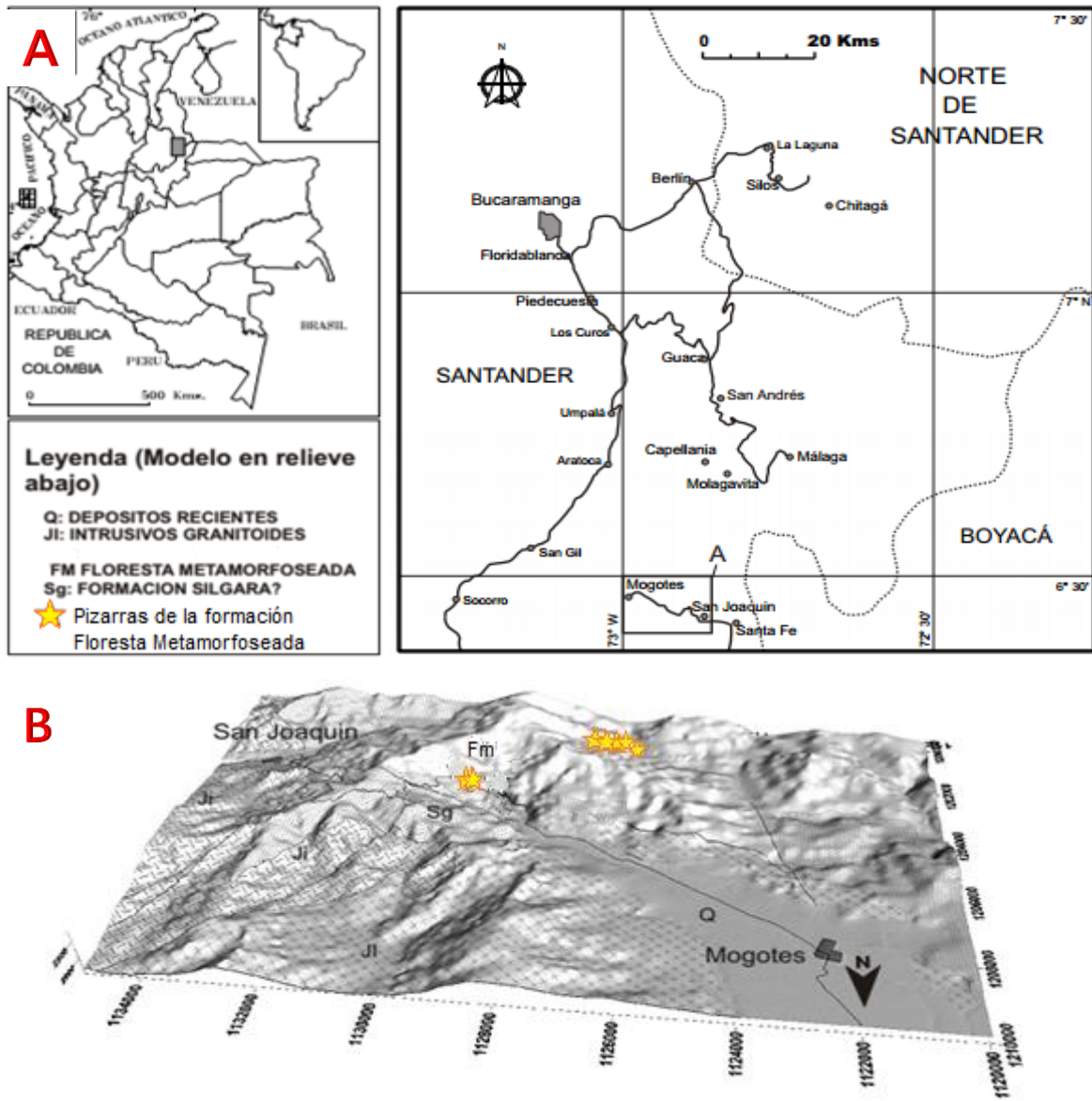


Figura 1. A: Localización geográfica del área de estudio donde se muestran las localidades cercanas a la zona. **B:** Modelo en relieve del área de estudio caracterización mineralógica, petrográfica de las pizarras de la formación floresta metamorfoseada (FFM), aflorantes entre los municipios Mogotes y San Joaquín (cordillera oriental, Colombia). *Modificado de Moreno y Gómez (2005).*

3. METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación se desarrolla bajo las siguientes etapas descritas a continuación.

3.1 FASE DE REVISIÓN DE INFORMACIÓN

En esta fase se realizó la investigación y selección de material bibliográfico, tesis de grado y mapas, así como la consulta con profesionales de experiencia en el tema de estudio con el fin de contextualizar el proyecto dentro de la geología local y regional. La bibliografía obtenida de la web se recopiló utilizando las bases de datos disponibles en la biblioteca de la universidad industrial de Santander. Para esta fase se adquirieron 6 Aerofotografías de la zona del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

3.2 FASE DE CAMPO

En esta fase se realizó el reconocimiento de la zona de estudio, con base en el material geológico recolectado por estudiantes de la materia campo 2 de la Escuela de Geología. De esta manera se define la zona de mayor interés para desarrollar el presente estudio. Se realizó también la identificación de vías de acceso, el reconocimiento de posibles afloramientos y puntos de trabajo, así como la realización de los levantamientos geológicos de los puntos identificados previamente (toma de muestras, toma de datos estructurales, análisis de panorámicas entre otros).

3.3 FASE DE LABORATORIO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

En esta fase se realizó el análisis y la clasificación de la información adquirida para su análisis y correspondiente interpretación, también esencialmente la caracterización mineralógica y petrográfica de las muestras recolectadas en campo, mediante diversos análisis (microscopía óptica, electrónica y difracción de rayos x, principalmente). Se seleccionaron las muestras y el tipo de análisis a realizar en cada una (*Tabla 1*).

3.3.1 Análisis Mineralógicos-Petrográfico. En esta etapa se realizó la descripción microscópica de 7 muestras con pizarrosidad, las cuales fueron colectadas durante la fase de campo. Para el análisis de éstas muestras, se utilizó un microscopio triocular de luz transmitida marca *LEICA*, modelo *DM750P*, localizado en el laboratorio de microscopía óptica del Grupo de Investigación en Geología Básica y Aplicada – GIGBA de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander (Sede Guatiguará). Las microfotografías fueron tomadas utilizando en sistema de fotografía digital *MC120HD*, acoplado al microscopio *LEICA DM750P*.

El análisis petrográfico inicio con la clasificación de las rocas utilizando la propuesta del Servicio Geológico Británico (BGS) del año 1999. Se especificaron composiciones mineralógicas, paragénesis minerales, asociaciones (utilizando las abreviaturas propuestas por la SCMR en el 2007) texturas y características sobresalientes de la roca.

Tabla 1. Listado de muestra y análisis realizados.

Muestra	Microscopia óptica de luz transmitida	Microscopia electrónica de barrido	Difracción de rayos X
JP-1	x	x	
JP-2	x		
JP-3	x		
JP-4	x		
JP-5	x		X
JP-6	x		X
JP-7	x		

3.3.2 Análisis de microscopia electrónica de barrido (SEM). Para éste estudio se seleccionó la muestra JP-1 como la más representativa textural y mineralógicamente para realizar un análisis de Microscopia Electrónica de Barrido utilizando el Microscopio electrónico de barrido *FEI Quanta 650 FEG* ambiental (ESEM) (*Figura 2*). Para el cubrimiento de la muestra, se utilizó un Metalizador/Evaporador de carbón *QUORUM Q150R ES* con bomba rotatoria (*Figura 3*) de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander (Sede Guatiguará).

Figura 2. *Aspecto del Microscopio electrónico de barrido FEI Quanta 650 FEG ambiental (ESEM)*



Figura 3. Aspecto del Metalizador/Evaporador de carbón QUORUM Q150R ES



3.3.3 Difracción de Rayos X. Dos muestras fueron seleccionadas para su estudio mediante ésta técnica (JP-4, JP-5). Los análisis fueron realizados por el laboratorio de Difracción de Rayos X de la Escuela de Química de la Universidad Industrial de Santander (Sede Guatiguará), utilizando el Difractómetro de Rayos X de muestras Policristalinas marca *Bruker* modelo D8 *Advance* con geometría *DaVinci*, el cual operó bajo los parámetros resumidos en la Tabla 2.

Tabla 2. *Parámetros de Medición de los agregados en polvo analizados mediante DRX*

METODOLOGIA DE TRABAJO																									
Preparación de las muestras	<ul style="list-style-type: none"> Los especímenes seleccionados de las muestras fueron montados en un portamuestra de polimetilmetacrilato (PMMA) mediante la técnica de llenado frontal. 																								
Condiciones de medición	<ul style="list-style-type: none"> Se realizó en un difractómetro de polvo marca BRUKER modelo D8 ADVANCE con Geometría DaVinci bajo las siguientes condiciones: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 60%;">Voltaje</td> <td>40 (kV)</td> </tr> <tr> <td>Corriente</td> <td>40 (mA)</td> </tr> <tr> <td>Rendija de Divergencia</td> <td>0,6 mm</td> </tr> <tr> <td>Rendijas Soller Primario</td> <td>2,5°</td> </tr> <tr> <td>Muestreo</td> <td>0,02035° 2Theta</td> </tr> <tr> <td>Rango de Medición</td> <td>3,5-70,0° 2Theta</td> </tr> <tr> <td>Radiación</td> <td>CuKα I</td> </tr> <tr> <td>Filtro</td> <td>Níquel</td> </tr> <tr> <td>Uso de Anti-dispersor de Aire</td> <td>Si</td> </tr> <tr> <td>Detector</td> <td>Lineal LynxEye</td> </tr> <tr> <td>Tipo de barrido</td> <td>A pasos</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de muestreo</td> <td>0,6 segundos</td> </tr> </table> 	Voltaje	40 (kV)	Corriente	40 (mA)	Rendija de Divergencia	0,6 mm	Rendijas Soller Primario	2,5°	Muestreo	0,02035° 2Theta	Rango de Medición	3,5-70,0° 2Theta	Radiación	CuK α I	Filtro	Níquel	Uso de Anti-dispersor de Aire	Si	Detector	Lineal LynxEye	Tipo de barrido	A pasos	Tiempo de muestreo	0,6 segundos
Voltaje	40 (kV)																								
Corriente	40 (mA)																								
Rendija de Divergencia	0,6 mm																								
Rendijas Soller Primario	2,5°																								
Muestreo	0,02035° 2Theta																								
Rango de Medición	3,5-70,0° 2Theta																								
Radiación	CuK α I																								
Filtro	Níquel																								
Uso de Anti-dispersor de Aire	Si																								
Detector	Lineal LynxEye																								
Tipo de barrido	A pasos																								
Tiempo de muestreo	0,6 segundos																								
Ensayo	<ul style="list-style-type: none"> Medición de 2 muestras minerales. 																								
Tratamiento de las muestras	Químico <input type="checkbox"/> Térmico <input type="checkbox"/> Ninguno <input checked="" type="checkbox"/>																								

3.3.4 Geocronología Ar-Ar Los análisis se realizaron en la universidad de Ginebra (Suiza), en el laboratorio de geocronología Ar-Ar, utilizando un equipo *Multi-collector (2 discrete-dynode secondary electron multipliers and 1 high gain, $10^{12}\Omega$ Faraday collector) NOBLESSE (NuInstruments) gas source mass spectrometer with zoom optics, dedicated to high precision $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ analyses. The facility is fully automated, and is equipped with a furnace, CO_2 -IR laser and 193nm excimer laser*, las especificaciones del procedimiento analítico utilizado se resume en la página web de éste laboratorio.

<http://cms.unige.ch/sciences/terre/en/facilities/listFacilities.php#&panel1-6>

3.4 FASE DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En esta fase se analizaron e interpretaron los resultados y posteriormente se elaboró un informe, previamente rectificado, integrando los resultados, los análisis y las conclusiones obtenidas teniendo en cuenta las normas Icontec para la presentación de trabajos de grado recomendada por la Universidad Industrial de Santander.

4. ANTECEDENTES Y MARCO GEOLÓGICO

Con el propósito de contextualizar geológicamente el área de estudio, a continuación, se presentan algunos rasgos generales del Macizo de Santander y particularmente de la geología del sector comprendido entre Mogotes y San Joaquín.

El basamento metamórfico del Macizo de Santander (*Figura 4*), ha sido dividido en las siguientes tres unidades principales (de las más antigua a la más joven): Gneis de Bucaramanga, Esquistos de Silgará y Ortoneis (Ward *et al.*, 1973). Estas rocas son cortadas por cuerpos magmáticos de diferentes edades, entre éstos siendo el más antiguo los eventos magmáticos de edad Silúrico temprano (por ejemplo: Granito de Durania, con edades entorno a 450 Ma, según Botero, 2015 y Mantilla *et al.*, 2016).

El primer registro sedimentario que se registra en el Macizo de Santander, con posterioridad a los eventos metamórficos y magmáticos antes señalados, se presenta en la formación Floresta, a la cual le fue asignada una edad Devónica (Boinet *et al.*, 1985). Por su relación con el presente trabajo, a continuación, se presentará un resumen (apoyado en la bibliografía existente) sobre las variedades litológicas presentes en la formación Floresta, aflorante en diferentes sectores del Macizo de Santander y particularmente en el área de estudio. Información adicional sobre las restantes unidades de rocas aflorantes en el Macizo de Santander, se resume en Ward *et al.*, (1973); Van der Lilej *et al.*, (2015); Mantilla *et al.*, (2016), entre otros.

El termino Formación Floresta fue introducido, según Hubach (1957:68) por A.A. Olsson & T. Ramírez (Inéd.). La primera publicación al respecto se encuentra en Olsson & Carter (1939: 10), quienes establecen que: "*The name Floresta Series is*

introduced for the Devonian sequence between the Giron and the igneous complex". La Formación Floresta, en el sentido actual, fue definida por Botero (1950:258-267). La Formación Floresta representa el elemento intermedio del Conjunto Sedimentario Paleozoico, y se compone de una sucesión esencialmente Pelítica, muy fosilífera, monótona y espesa (no menos de 700 m. según Morales (1965); unos 500 m). La litología está denominada en un 90% por arcillolitas y limolitas laminadas y sedosas, micáceas, de tonos ocre a beige, aunque en ciertos lugares puede presentar color oscuro, gris plomizo. El resto está constituido por esporádicas intercalaciones arenosas finogranulares, en general amarillo-grisáceas, que hacia la parte terminal se toman más frecuentes y contienen a veces abundantes bio y litoclastos de los estratos directamente infrayacentes (Mojica, j. y Villarroel, c. 1984).

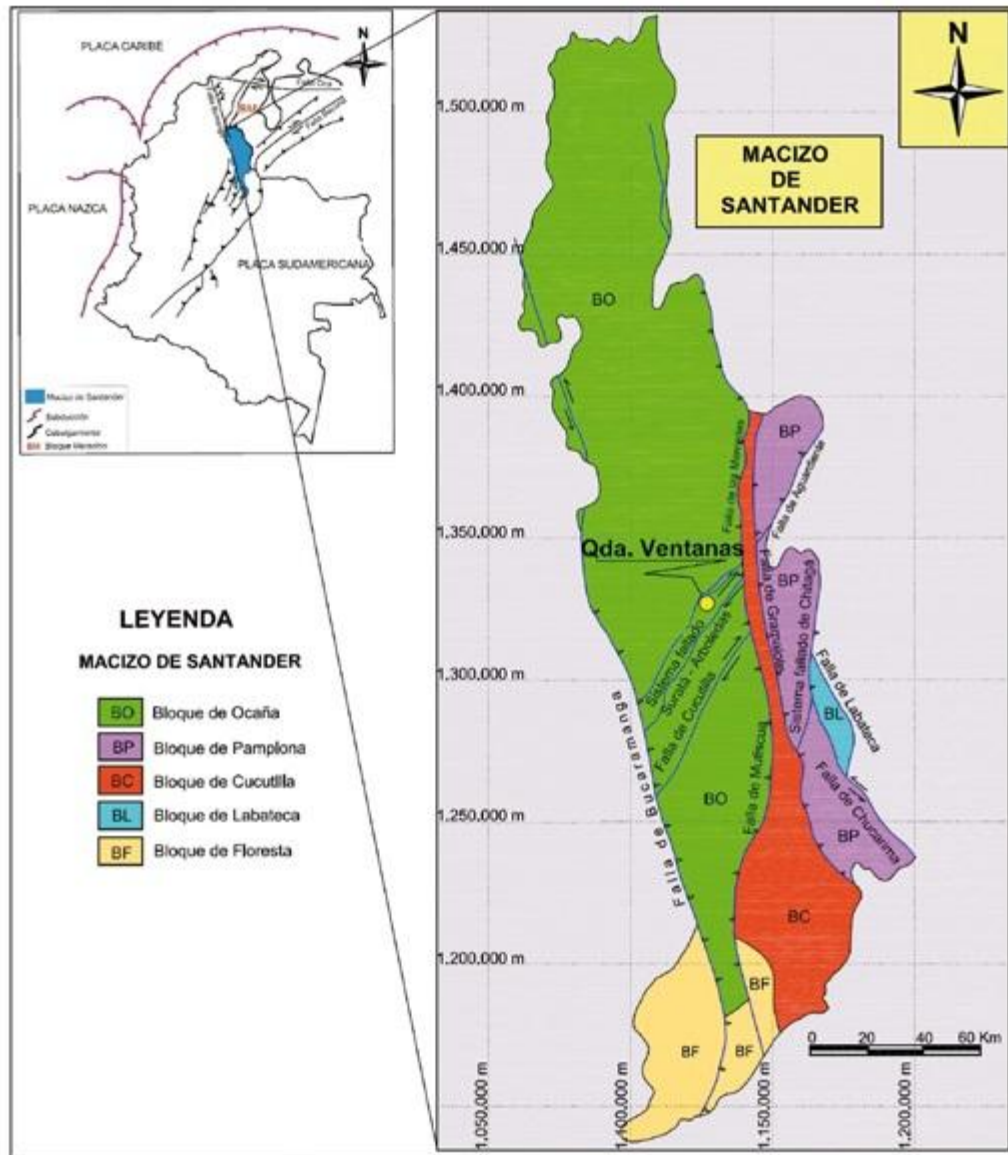
La Formación Floresta contiene, a lo largo de toda la sucesión, fósiles diversos, que localmente se convierten en verdaderos yacimientos. El contenido paleontológico ha sido objeto de estudios por parte de Caster (1939), Royo y Gómez (1942) y Morales (1965), principalmente. La fauna identificada constituye una larga lista de formas que incluyen, en orden de abundancia, braquiópodos, briozoos, gastrópodos, trilobites, corales y pelecípodos. Se encuentran además ostrácodos y restos de plantas, hasta ahora no estudiados en detalle. De acuerdo con las opiniones de los autores mencionados, la asociación fosilífera indica con certeza que se está ante el Devoniano Medio.

El ambiente sedimentario, deducido de la lito y biofacies, es el de una plataforma marina, bastante tranquila, resguardada de agentes de alta energía. La regularidad y monotonía de la secuencia indica condiciones tectónicas muy estables, tanto en el área de sedimentación como en la zona de aportes. No obstante, el incremento de los estratos arenosos en la parte terminal y su contenido en lito y bioclastos sin sedimentarios señalan el comienzo de una etapa

de colmatación de la cuenca, asociada a cambios eustáticos del nivel del mar y/o a un levantamiento de origen tectónico.

La Formación Floresta Metamorfoseada (Ward *et al.*, 1973) se halla compuesta de conglomerados, argilitas grises, metalimolitas calcáreas y mármol gris claro. Una de las características litológicas más importantes de esta Formación es la presencia de potentes bancos de mármoles grises donde ocasionalmente se reconocen restos de crinoideos. Como parte de esta Formación también fueron incluidas las fajas de filitas pizarrosas y mármoles que afloran en el flanco este del batolito de Santa Bárbara al norte de la Falla de Bucaramanga (Ward *et al.*, 1973) R. Calpa, (comunicación escrita, 1969) indica que aproximadamente 750 a 1000 m de la formación Floresta están presentes en el área de Mogotes. Los horizontes fosilíferos se encuentran en mármol gris oscuro, a una distancia estimada entre 250 a 300m encima de la arenisca y conglomerado basal y de argilitas filíticas grises y metalimolitas calcáreas. Al sureste de san Joaquín las areniscas y el conglomerado basal desaparecen y las argilitas filíticas grises descansan directamente sobre las filitas grises de Silgará dificultando la determinación de un límite preciso entre las dos unidades. En esta zona, los horizontes marmóreos fosilíferos no fueron localizados y algunos fósiles Devónicos fueron encontrados dentro de las argilitas grises.

Figura 4. Esquema tectónico del Macizo de Santander.



Basado en Clavijo *et al.* (1993) y Clavijo (1994)

La edad de la “formación Floresta Metamorfoseada”, y por consiguiente su relación con la Formación Floresta en el área de Duitama, fue establecida con base en briozoarios que según Diana Gutiérrez son identificables “como tipos comunes del Devónico” (Ward *et al.*, 1973), pero según Moreno *et al* 2008 Con base en comparaciones litológicas, no existe posibilidad de correlación entre la

“Formación Floresta Metamorfoseada” y la Formación Floresta. Esta última está constituida en su área tipo por lodolitas grises y amarillentas intercaladas con ocasionales arcillolitas arenosas. Aunque se han reportado niveles calcáreos en la Formación Floresta, estos están limitados a intercalaciones muy raras y delgadas (centimétricas) que aparecen al tope de las secuencias lodolíticas inferiores. La Formación El Tíbet de edad Emsiana, antiguamente incluida como miembro de la Formación Floresta (Cediel, 1969), está constituida por una secuencia de areniscas y conglomerados de cuarzo. La parte superior de la Formación Floresta es de carácter arenoso y da paso de manera transicional a la Formación Cucho (Botero, 1946) conformada por capas rojas de edad Devoniano Tardío. Las Formaciones Tíbet, Floresta y Cucho son correlacionables con las Formaciones del Grupo Cachirí en la Sierra de Perijá, que son fundamentalmente depósitos siliciclasticos de edad Devónica. Similarmente las rocas Devónicas del Valle del Magdalena (Imán y Amoyá) y Macizo de Quetame se caracterizan por una casi total ausencia de depósitos calcáreos, que sin embargo son comunes en la “Formación Floresta Metamorfoseada”.

Por el contrario, el lapso Carbonífero Tardío a Pérmico de la región andina Colombiana se caracteriza predominantemente por depósitos de carácter silícico-calcáreo.

Entre las unidades calcáreas que pueden correlacionarse con la “Formación Floresta Metamorfoseada” puede citarse el Paleozoico de Confines (Carrillo, 1982), el Afloramiento del Río Nevado (Stibane; Forero, 1969), la Formación Diamante (Dickey, 1941), y las Formaciones Río Palmar, Tinacoa y Palmarito en la Sierra de Perijá. Adicionalmente a estas consideraciones, Ward *et al.* (1973) señalan que niveles de la formación Floresta Metamorfoseada, “parecen interdigitarse con la formación Diamante, del Pérmico”. Así, litológicamente la “Formación Floresta Metamorfoseada” es solo estrictamente correlacionable con unidades del Carbonífero Superior y el Pérmico de la Cordillera Oriental y la Sierra

de Perijá. Por lo cual propone el abandono del nombre Formación Floresta Metamorfoseada y denominarla Formación Mogotes de edad Permo-Carbonífero (Moreno *et al* 2008).

4.1 MARCO TECTÓNICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

Regionalmente existen 3 estructuras principales que afectan la zona de estudio: La falla Bucaramanga, La falla de Boyacá y la falla de Soapaga (Figura 5). Localmente se presentan grandes deformaciones sobre las rocas que evidencian la presencia de fallas derivadas de las estructuras principales (Velandia 2005).

Figura 5. Estructuras tectónicas presente en la zona.



Tomado de Velandia (2005)

4.1.1 Falla Bucaramanga . Muchas opiniones sobre los movimientos de esta falla han sido emitidas. Para Raasveldt (1959) esta falla es de desplazamiento de rumbo, (*Wrench Fault*) lo mismo para Rod (1956), Young (1956) Alberding (1960), Moody y HM (1956) Campbell (1965). Este último calcula en 110 Km el desplazamiento a lo largo de la dirección de la falla. Sin embargo, para Julivert (1961) la falla es inversa con un ángulo muy grande que hunde el labio W, levantando el E; Ward *et al* (1973) cree que esta interpretación es correcta. Sin embargo, no se descartan movimientos direccionales suponiéndose que esta falla pudo moverse en forma diferente durante su evolución (Ward *et al* 1973).

Hacia el sur, aproximadamente al W de Soatá la falla cambia su dirección, por una dirección NNW- SSE, apareciendo al mismo tiempo dos fracturas que hacia el S se unen a otra más perdiéndose así la identidad de la falla de Bucaramanga como una fractura única. Unas de estas fracturas se unen con la falla del Servitá y conjuntamente con ella va a terminar sobre la falla inversa de Soapaga. El otro tuerce hacia el SW, y se une a la falla de Chaguaca. Es de advertir que la falla de Chaguaca, hacia el norte, se une a la de Onzaga o Boyacá y ésta a su vez es satélite de la de Bucaramanga, que arranca del sitio en donde el Río Chicamocha describe un fuerte codo y se separa de la falla de Bucaramanga (Vargas *et al* 1976).

4.1.2 Falla Boyacá. Esta falla aparece como satélite de la de Bucaramanga. En su parte más N es apenas un alineamiento en el ígneo del Batolito de Mogotes, pero hacia el S adquiere importancia sirviendo de límite W a una franja Cretácica de forma sinclinal que se conserva como retazo interno dentro del Macizo. Ya se dijo con anterioridad que la fracturación en el Macizo es generalmente NS y esta falla tiene claramente tal dirección. Su movimiento parece ser muy vertical pues su traza es muy rectilínea (Velandia 2015).

Hay necesidad de destacar aquí la ausencia total por debajo del Cretácico de Onzaga, de sedimentos tanto del Girón como anteriores a él. Si se considera que el Batolito de Mogotes es de edad Jura-Triásica y anterior a la depositación de la Formación Girón, debió esta área constituir una zona positiva durante el Jurásico no permitiendo la sedimentación. Con posterioridad y durante el período Cretácico posiblemente el fallamiento permitió el hundimiento de esta zona, facilitando la depositación del Cretácico (Velandia 2015).

La falla de Onzaga o Boyacá separa el Batolito de Mogotes de la cuarzomonzonita de Santa Rosita.

4.1.3 Falla Soapaga. La Falla de Soapaga se encuentra ubicada en la cordillera oriental, entre los departamentos de Boyacá y Santander. Pone en contacto rocas con una gran diferencia de edades; al lado oeste se encuentra el Macizo de Floresta, compuesto por rocas que van desde el Precámbrico hasta el Triásico-Jurásico, son de origen ígneo y metamórfico, mientras que al lado este de la Falla se encuentran rocas que van desde el Cretácico inferior, hasta el paleógeno, en su mayoría de origen sedimentario (Rodríguez *et al.* 2009). La falla de Soapaga es una falla inversa que buza hacia el este. Para el plano de la Falla se midieron buzamientos de 60° a subverticales, mientras los datos estructurales de lado y lado de la falla definen un rumbo uniforme de N40E (Rammer 1996).

4.1.4 Falla de Chaguaca. Tiene una dirección en su parte más septentrional NW-SE cambiando hacia el S por una dirección NE - SW. Se indicó anteriormente que esta falla podría representar una de las expresiones más meridionales de la falla de Bucaramanga. Hacia el N se conjuga con la falla de Onzaga ó Boyacá y hacia el S su identificación dentro del Macizo de Floresta es difícil (Ward *et al* 1973).

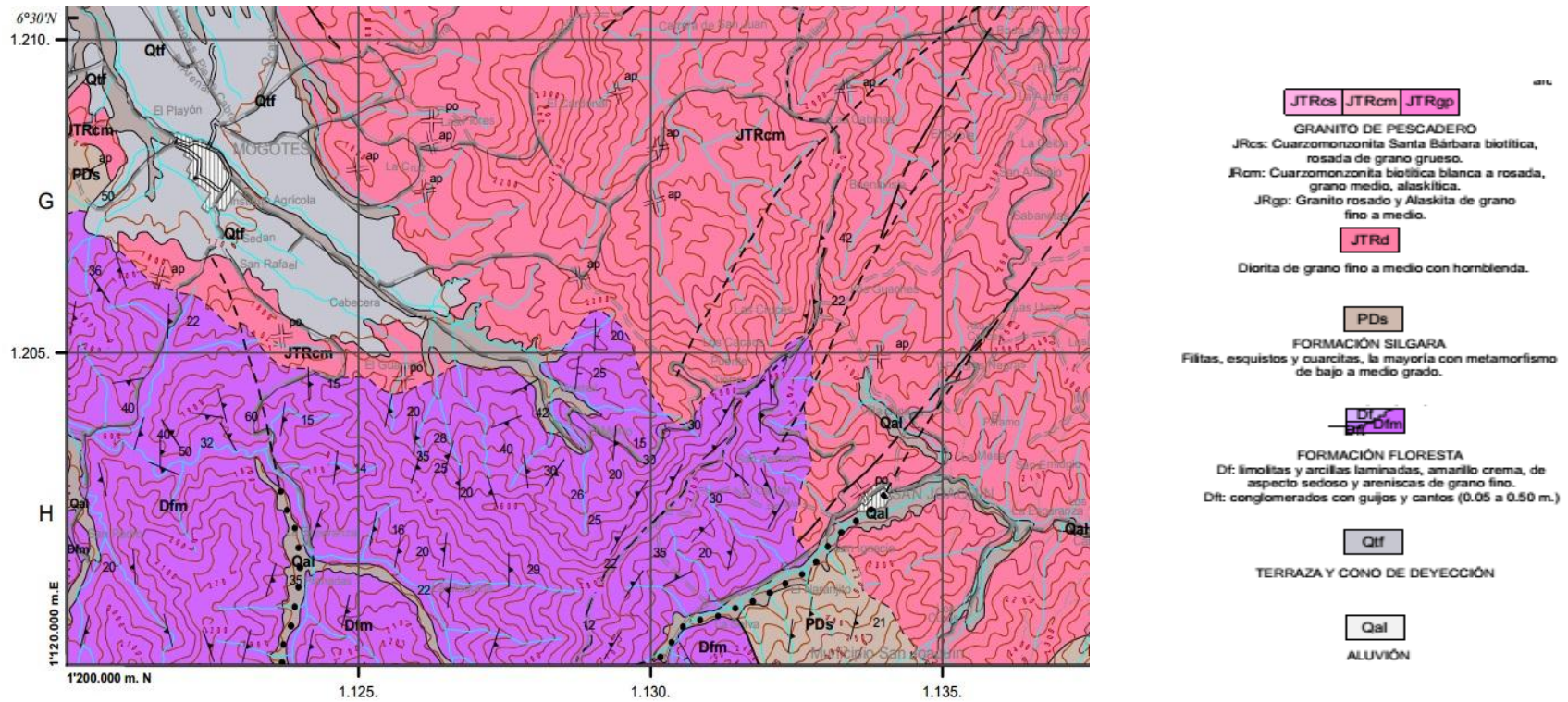
5. RESULTADOS

5.1. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

La geología del área de estudio cuenta con formaciones geológicas correspondientes a rocas ígneas, rocas metamórficas de alto y bajo grado, las cuales constituyen la Formación Silgará, Formación Floresta Metamorfoseada y el Granito de Pescadero. De igual manera ocurren rocas sedimentarias, que conforman los depósitos cuaternarios de Aluvión y de Terrazas y Conos de Deyección. La zona es afectada por eventos tectónicos evidenciados por sistemas de fallas (*Figura 6*).

5.1.1 Formación Silgara. La Formación Silgará, según Ward, *et al.* (1973) es una secuencia de rocas clásticas metamorfizadas de estratificación delgada, compuestas por filitas, cuarcitas, esquistos, metareniscas y menores cantidades de pizarra y filita calcárea, cuya sección tipo se localiza en la Quebrada Silgará, afluente del Río Salamanca, al occidente de Cáchira. El grado de metamorfismo de estas litologías varía desde facies esquistos verdes a facies anfíbolita y es de edad Ordovícico temprano (García *et al.*, 2005; Ríos *et al.*, 2003).

Figura 6. Geología presente en el área de estudio.



Modificado de la Plancha 136 Málaga Ingeominas (2009)

5.1.1.1 Faja San Joaquín -Onzaga - Paramo de Canutos. Esta faja se extiende de San Joaquín al sur hacia Onzaga y el Páramo de Canutos y está limitada al este por el Batolito de Mogotes y las Ríolitas de Onzaga y al oeste por rocas del Miembro Floresta Metamorfoseado.

En los alrededores de San Joaquín y Onzaga, la secuencia metamórfica consta principalmente de esquistos de cuarzo, moscovita, biotita y clorita. Como accesorios aparecen magnetita, zircón, apatito y turmalina. Hacia el sur estos esquistos se encuentran alternando con arcosas y subgrauvacas metamorfoseadas compuestas de cuarzo, plagioclasa, ortoclasa y menor proporción de moscovita y clorita. El contenido de anortita en la plagioclasa varía entre 10 y 30%. También se presentan algunos estratos de metaareniscas - compuestas de cuarzo y menor proporción de plagioclasa y moscovita.

Hacia el tope de la secuencia presenta filitas lustrosas, grises y gris - verdosas compuestas esencialmente de cuarzo, moscovita (sericita) y magnetita las cuales son difíciles de distinguir de las filitas suprayacentes del Miembro Floresta Metamorfoseado por lo que el contacto en algunos casos ha sido trazado arbitrariamente. En zonas de intensa meteorización la magnetita se oxida dando a las filitas aspecto de arcillas ferruginosas rojizas y amarillentas.

5.1.2 Granito de Pescadero. Es un granito rosado de grano fino con variaciones a facies porfiríticas. La roca es típicamente leucocrática. La albita u oligoclasa sódica, la ortoclasa, la micropertita y el cuarzo están presentes desde cantidades casi iguales a una relación de 40 a 25 del feldespató potásico a la albita - oligoclasa. Los accesorios son escasos generalmente con menos del. 1% de óxidos de hierro, moscovita, biotita, zircón y apatito.

En el área de Cepitá el Granito de Pescadero intruye claramente los metasedimentos de la Formación Silgará. Una determinación radiactiva K/Ar en

biotita del Granito de Pescadero dió una edad de 194 ± 7 m. a. muy similares a las obtenidas para la cuarzomonzonita de Santa Bárbara y el Batolito de Mogotes. Ellos por lo menos son contemporáneos si no de edad idéntica. Aún podría pensarse en el Granito de Pescadero como una facies de borde del Batolito de Mogotes (Ward *et al.*, 1973).

5.1.3 Formación Floresta Metamorfoseada. El término “Formación Floresta Metamorfoseada” fue establecido por Ward *et al.* (1973) para referirse a una secuencia de cerca de 1000 m de espesor constituida por rocas sedimentarias ligeramente metamorfoseadas que aflora cerca de Mogotes y San Joaquín, en el Departamento de Santander. En este sector la unidad se halla compuesta de conglomerados, argilitas grises, metalimolitas calcáreas y mármol gris claro. Una de las características litológicas más importantes de esta Formación es la presencia de potentes bancos de mármoles grises donde ocasionalmente se reconocen restos de crinoideos. Como parte de esta Formación también fueron incluidas las fajas de filitas pizarrosas y mármoles que afloran en el flanco este del batolito de Santa Bárbara al norte de la Falla de Bucaramanga (Ward *et al.*, 1973). En el área de Berlín y Silos esta unidad parece alcanzar grados más altos de metamorfismo, que sin embargo se mantiene dentro de la facies esquisto verde (Ward *et al.*, 1973). En el sector de Mogotes la base de esta unidad no se conoce ya que se halla intruida por cuarzomonzonitas del “Batolito de Mogotes” de edad Mesozoica, sin embargo, en otros sitios (suroeste de Molagavita y de San Andrés) la unidad parece sobreyacer la Formación Silgará. La edad de la “formación Floresta Metamorfoseada”, y por consiguiente su relación con la Formación Floresta en el área de Duitama, fue establecida con base en briozoarios que según Diana Gutiérrez son identificables “como tipos comunes del Devónico” (Ward *et al.*, 1973).

5.1.3.1 Faja Mogotes – San Joaquín. La formación Floresta se halla ligeramente metamorfoseada en la zona de Mogotes y San Joaquín en la parte centro

occidental del cuadrángulo I -13. La faja de Floresta se extiende hacia el sur y penetra en el cuadrángulo I-12. Su límite oriental lo constituyen el Batolito de Mogotes y la formación Silgará. Al occidente la formación Floresta infrayace discordantemente estratos jurásicos y cretácicos.

El contacto Floresta- Silgará ha sido dibujado aproximadamente debido a la similitud tanto en litología como en el grado de metamorfismo que muestran los estratos del tope de la formación Silgará con los de la base de la formación Floresta. En general donde se detectó la presencia de fósiles Devónicos los estratos se incluyeron dentro de Floresta.

R. Calpa, (comunicación escrita, 1969) indica que aproximadamente 750 a 1000 m de la formación Floresta están presentes en el área de Mogotes. Los horizontes fosilíferos se encuentran en mármol gris oscuro, a una distancia estimada entre 250 a 300m encima de la arenisca y conglomerado basal y de argilitas filíticas grises y metalimolitas calcáreas. Al sureste de san Joaquín las areniscas y el conglomerado basal desaparecen y las argilitas filíticas grises descansan directamente sobre las filitas grises de Silgará dificultando la determinación de un límite preciso entre las dos unidades. En esta zona, los horizontes marmóreos fosilíferos no fueron localizados y algunos fósiles devónicos fueron encontrados dentro de las argilitas grises (Ingeominas 1976).

5.1.3.2 Faja Floresblancas – Covarachía- Santa Rosita Al oeste de la faja se halla limitada por rocas ígneas y metamórficas del Macizo y por la falla de Bucaramanga y al oriente infrayace estratos Jurásicos y Cretácicos.

En la parte norte del cuadrángulo I – 13 en la zona de Molagavita, el miembro Floresta está, compuesto por filitas, argilitas verdes y grises, y filitas pizarrosas grafiticas, asociadas con mármol y estratos fosilíferos.

El mármol gris oscuro a gris claro es semejante al del área de Mogotes. En la parte central en el área de Covarachía, el Floresta muestra una secuencia monótona, débilmente metamorfoseada, de filitas grises con algunas intercalaciones limolíticas pardas. Estratos fosilíferos Devónicos se presentan al sureste de Covarachía y más al sur cerca de Onzaga, en donde se colectaron fósiles de la familia stropheodontidae con dispersión desde el Ordoviciano inferior hasta el Devoniano superior y de la familia crytiidae con dispersión desde el Siluriano inferior hasta el Devoniano medio.

En la parte sur, área de santa rosita, el Floresta consta de argilitas y filitas grises con intercalaciones menores de limolitas pardas y areniscas, mostrando un metamorfismo incipiente. Estratos fosilíferos del Devónico se presentan al sureste del sitio de santa rosita. En esta zona el Floresta Metamorfoseado infrayace estratos del miembro Tíbet, los cuales muestran localmente algunos indicios de metamorfismo, que por estar presente cerca de fracturas puede deberse a efectos dinámicos (Ingeominas 1976).

En el área objeto del presente estudio (localizada en los municipios de Mogotes y San Joaquín), en donde afloran rocas de la denominada formación Floresta (FF), se ha observado que esta unidad presenta al menos tres miembros (en términos de su protolito):

(a) uno basal, mayoritariamente de ruditas (hacia la base), areniscas rudíticas y areniscas;(b) uno medio, mayoritariamente de areniscas y lutitas; y(c) uno superior, predominantemente lutítico.

Las litologías del miembro basal de la formación Floresta en el área de estudio, presentan un aspecto filítico (*figura 7*), el miembro medio presenta en mayor o menor medida desarrollo de pizarrosidad (*figura 8*), mientras que el miembro superior, contrario a lo referido en los miembros basal y medio, no presenta evidencias asociadas a procesos tectono-termales de bajo grado de metamorfismo (*figura 9*).

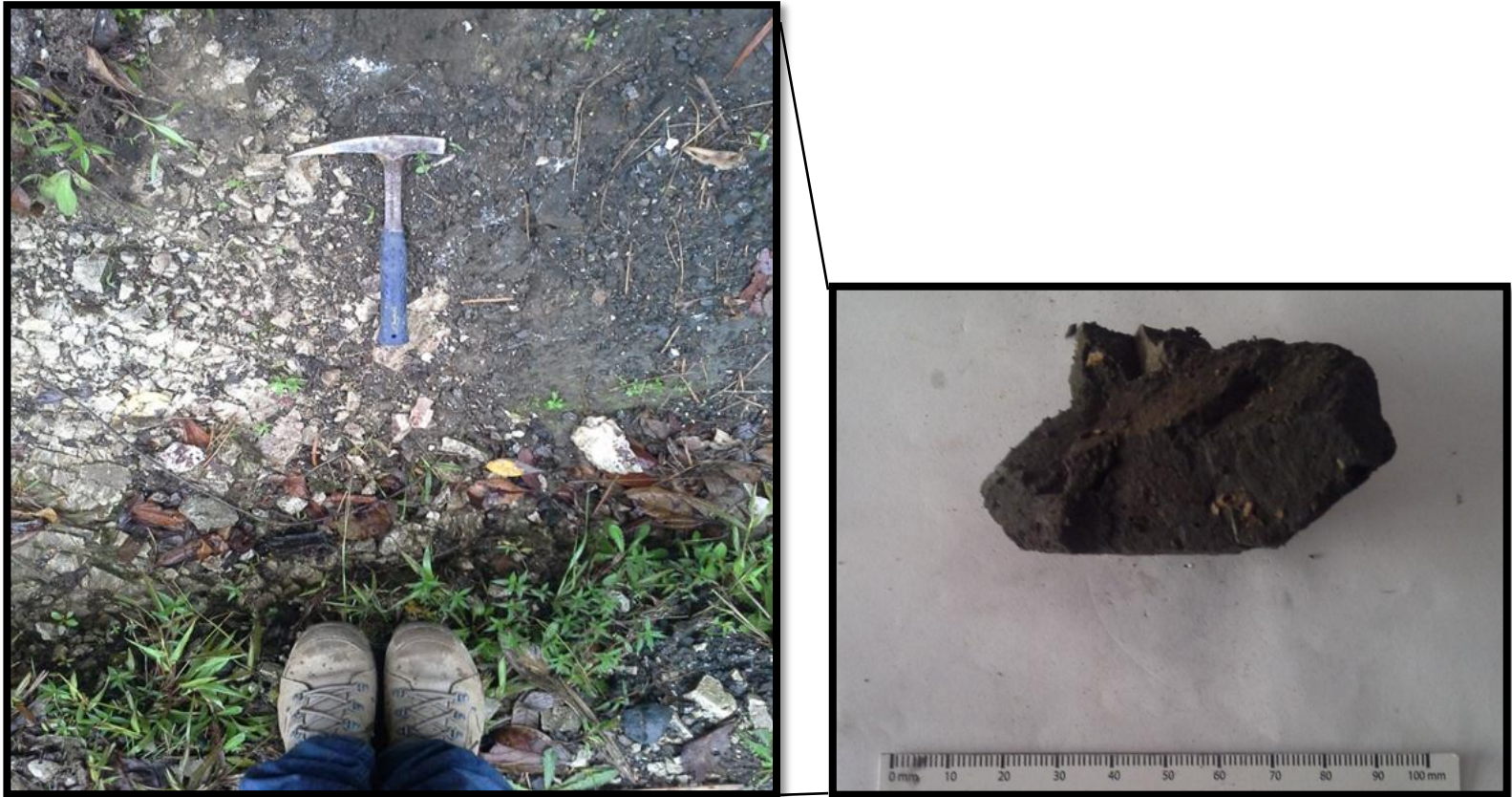
Figura 7. *Aspecto Filítico de las rocas de la Formación Floresta en el área de estudio.*



Figura 8. *Desarrollo de Pizarrosidad de las rocas de la Formación Floresta en el área de estudio.*



Figura 9. *Aspecto de las lodolitas y rocas Lutíticas de la Formación Floresta en el área de estudio.*



5.2. MINERALOGÍA Y PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS CON PIZARROSIDAD

De acuerdo a la composición mineralógica de las rocas encontradas en la zona de estudio se clasificaron como rocas semipelíticas utilizando la clasificación del Servicio Geológico Británico(BGS) publicada por Robertson (1999) donde se proponen los nombres de psamita, semipelíta y pelíta de acuerdo a la composición mineralógica de las rocas (*Tabla 3*).

Tabla 3. *Clasificación de rocas compuestas principalmente por cuarzo, mica y feldespatos.*

Nombre	% " Micas "	%cuarzo+feldespatos
Psamita	0-20	80-100
Semipelíta	20-40	100-60
Pelíta	>40	<60

Tomado de Robertson (1999)

Para la clasificación de los tamaños de granos presentes en la roca se tuvo en cuenta la clasificación propuesta por la Subcomisión en Sistemática de Rocas Metamórficas (SCMR: siglas en inglés), que no coincide con la granulometría para las rocas sedimentarias propuesta por Cruz Guevara, L. E. Caballero, V. M (2007), que establece: grano muy grueso (>16mm) grano grueso (16-4mm) grano medio(4-1mm) grano fino (1-0,1mm) grano muy fino (0,1-0,01mm) y grano ultrafino (<0,001mm).

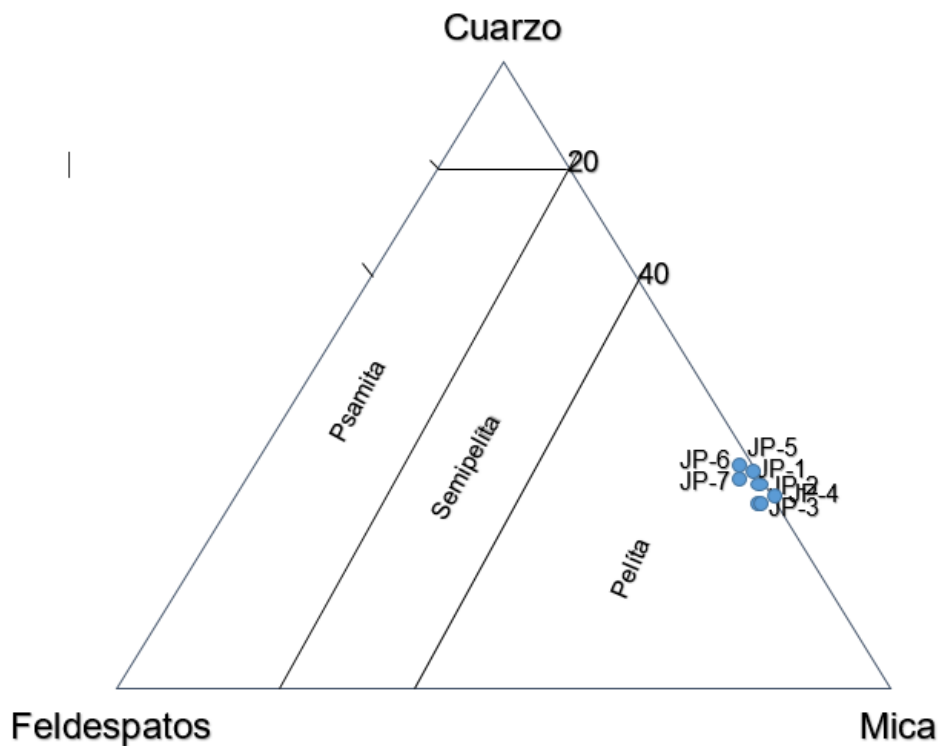
Los resultados de la descripción composicional de la mineralogía presente en las pizarras de la formación floresta metamorfoseada se plasmaron en la tabla. Con estos valores y utilizando el diagrama cuarzo-feldespato-mica³(figura 10.) propuesto por Robertson (1999) se obtuvo que para las pizarras de la formación floresta metamorfoseada la clasificación principal es Pelítica.

* Mica: incluye todos los minerales a excepción del cuarzo, feldespatos (potásico y plagioclasa) y minerales carbonatados y calcosilicatados.

Tabla 4. Composición mineralógica de las pizarras de la formación Floresta Metamorfoseada. Rocas Pelíticas.

TIPO DE ROCA	LITOTIPO	N° DE MUESTRA	COMPOSICIÓN MINERAL (%)									
			Qtz Dtr	Ms Dtr	Chl Neo	Pl Dtr	Ser Neo	gr	Op Neo	Kfs	Zr Dtr	TOTAL
PELITICA	Pizarras	JP-1	35	25	15	-	4	7	14	-	-	100
		JP-2	30	30	10	4	8	6	10	-	2	100
		JP-3	34	31	15	3	3	5	9	-	-	100
		JP-4	36	24	20	-	5	7	8	-	-	100
		JP-5	38	25	17	-	4	6	10	-	-	100
		JP-6	35	24	16	3	5	8	9	-	-	100
		JP-7	33	25	18	4	4	8	8	-	-	100

Figura 10. Clasificación de rocas metamórficas compuestas principalmente de cuarzo, feldespato y micas.



A continuación, se presenta una descripción detallada de cada muestra de las pizarras encontradas.

Pizarras con *Slaty Cleavage* o clivaje de pizarrosidad (Muestra JP-1): Son rocas que presentan planos de foliación tectónica *Slaty Cleavage* o clivaje de pizarrosidad (S2) diferentes de los desarrollados por la estratificación (S0=S1), su tamaño de grano es muy fino, presentan minerales neoformados de clorita, cuarzo y anatasa. Tienen textura pizarrosa. Como minerales principales presenta cuarzo, muscovita, clorita, y minerales opacos.

Cuarzo(35%): individuos incoloros de bajo relieve, heteroblásticos, xenoblásticos de apariencia subredondeada a redondeada concordantes con la dirección de foliación principal, su tamaño de grano varía entre fino a muy fino, se asocia en contacto neto con clorita, sericita y minerales opacos.

Muscovita(25%): se presenta como agregados laminares hojosos, heteroblásticos, subidioblásticos concordantes con la dirección de foliación principal, presenta tamaño de grano muy fino y se asocia en contacto neto a cuarzo y sericita, algunas veces a grafito y clorita.

Clorita (15%): se presenta como individuos fibrosos concordantes con la dirección de foliación, relieve bajo a medio, con pleocroísmo variable en tonos verdes.

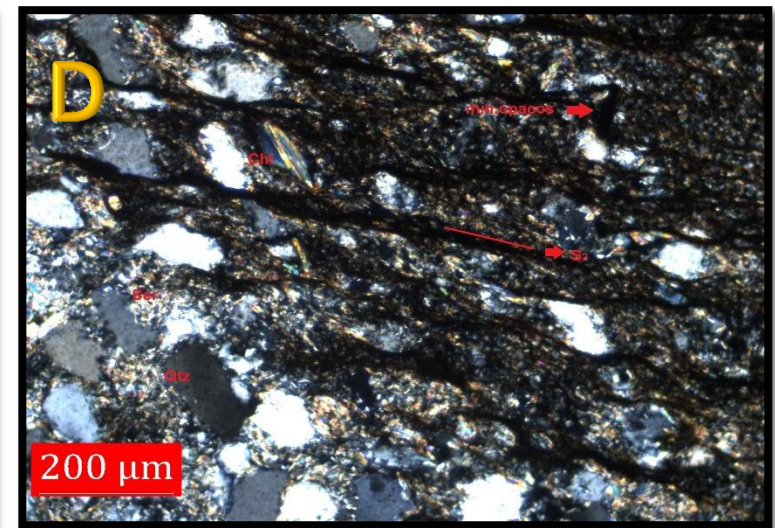
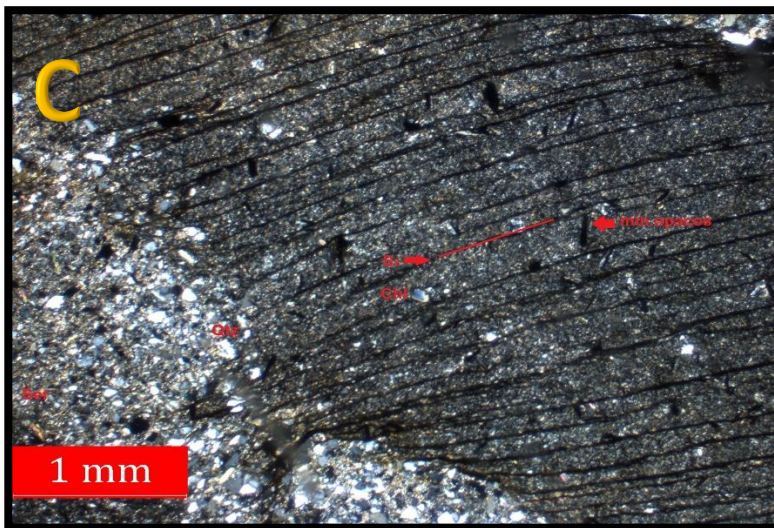
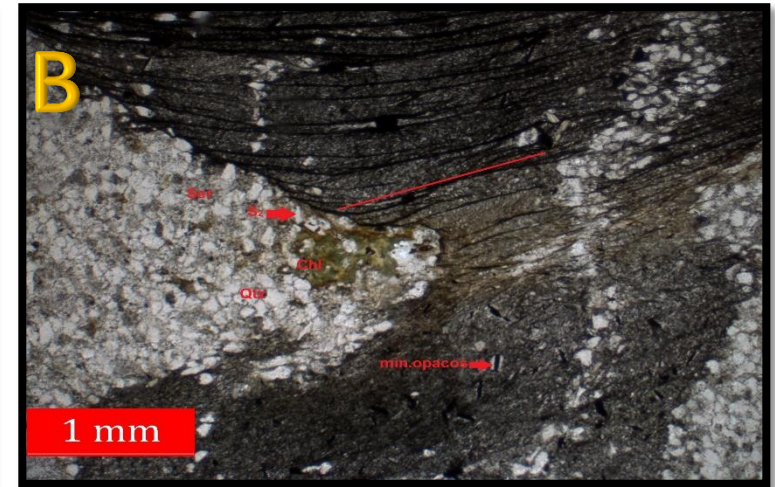
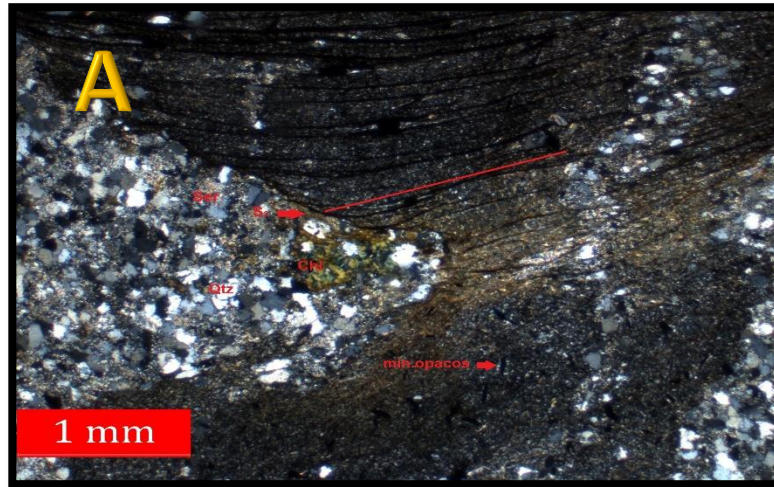
Minerales opacos (14%): individuos idioblásticos de geometría rectangular, alargados distribuidos homogéneamente en la roca, asociados a cuarzo y clorita.

Grafito: (7%): individuos xenoblásticos de hábito escamoso asociado en contacto neto a cuarzo, sericita.

Sericita (4%): agregados escamosos muy finos, desarrollado a manera de parches distribuidos por toda la roca, presenta un aspecto policristalino, microgranular con colores de birrefringencia elevados. Se asocia en contacto neto con cuarzo.

Textura: Lepidogranoblástica

Figura 11. Microfotografía de pizarras con foliación tectónica Slaty Cleavage o clivaje de pizarrosidad; A-B-C-D: foliación tectónica Slaty Cleavage (S2) y mineralogía predominante. (A-C-D) nicoles cruzados (B) nicoles paralelos.



Pizarras con *Slaty Cleavage* o clivaje de pizarrosidad más muscovíticas.

(Muestra JP-2): Son rocas que presentan planos de foliación tectónica *Slaty Cleavage* o clivaje de pizarrosidad (S2) diferentes de los desarrollados por la estratificación (S0=S1), tiene mayor contenido muscovítico, su tamaño de grano es muy fino, presentan minerales neoformados de clorita, cuarzo y anatasa. Tienen textura pizarrosa. Como minerales principales presenta cuarzo, muscovita, clorita y minerales opacos.

Cuarzo(30%): individuos incoloros de bajo relieve, heteroblásticos, xenoblásticos de apariencia subredondeada a redondeada, algunos alargados concordantes con la dirección de foliación principal, su tamaño de grano varía entre fino a muy fino, se asocia en contacto neto con muscovita, plagioclasas y minerales opacos, su distribución es homogénea en la roca.

Muscovita (30%): se presenta como agregados hojosos de hábito laminar, concordantes con la dirección de foliación principal, presenta tamaño de grano que varía de fino a muy fino, también como individuos alargados, heteroblásticos hojosos de hábito laminar y colores de birrefringencia elevados, asociado en contacto neto a cuarzo, algunas veces a clorita y plagioclasa.

Clorita (10%): se presenta como individuos fibrosos concordantes con la dirección de foliación, relieve bajo a medio, con pleocroísmo variable en tonos verdes.

Sericita (10%): agregados escamosos muy finos, desarrollado a manera de parches distribuidos por toda la roca, presenta un aspecto policristalino, microgranular con colores de birrefringencia elevados. Se asocia en contacto neto con cuarzo.

Minerales opacos (8%): individuos idioblásticos de geometría rectangular, alargados distribuidos homogeneamente en la roca, asociados a cuarzo, muscovita y clorita.

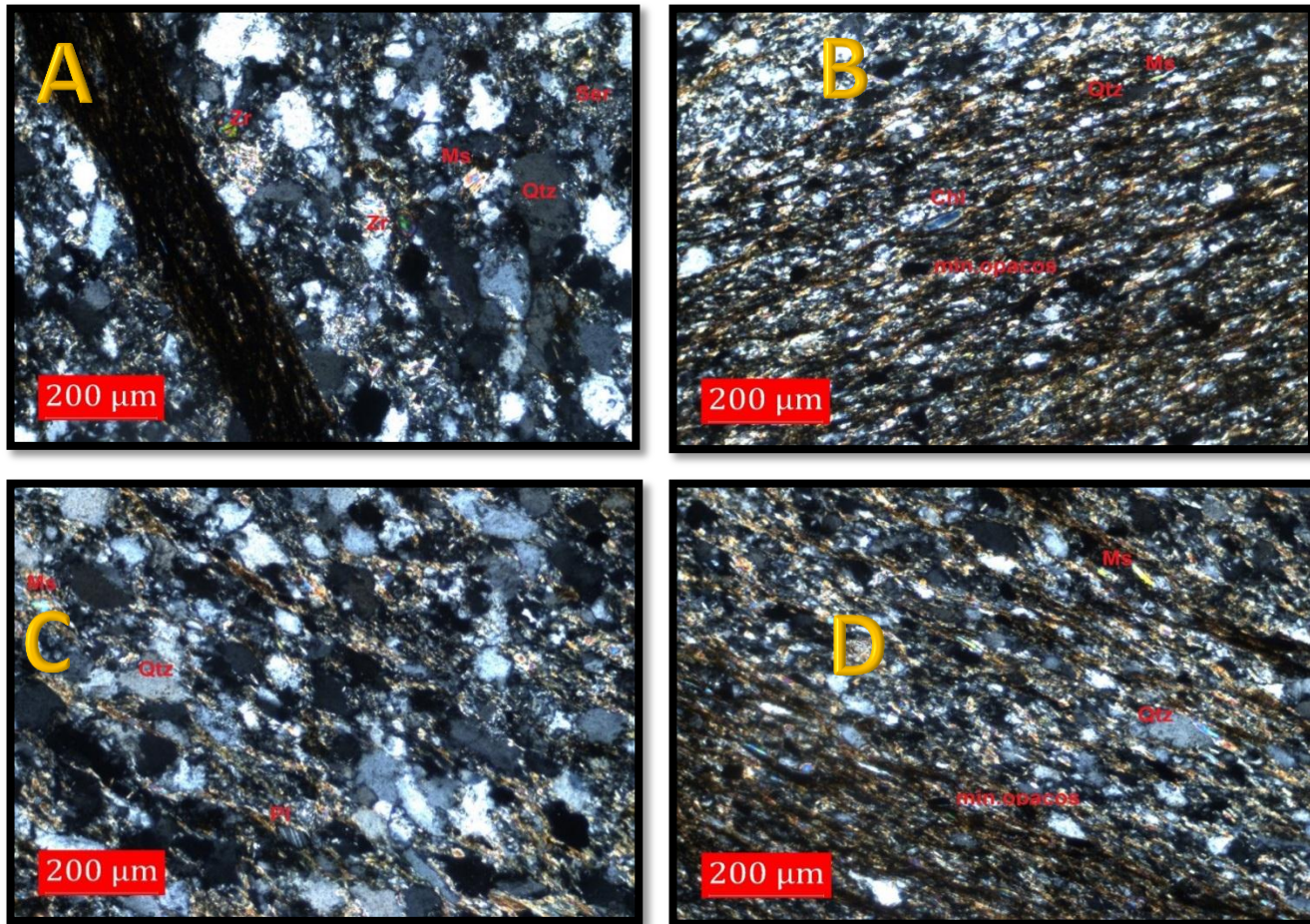
Grafito (6%): individuos xenoblásticos de hábito escamoso asociado en contacto neto a cuarzo y muscovita.

Plagioclasa(4%): se presenta como individuos incoloros, idioblásticos con bordes rectos, de bajo relieve y maclado polisintético, esta asociado en contacto neto a muscovita y cuarzo.

Zircón(2%): se presenta como individuos redondeados , xenoblásticos de tamaño de grano muy fino, sin una orientación específica, geométricamente ovalados y se asocia en contacto neto a cuarzo y muscovita.

Textura: Lepidogranoblástica principalmente pero localmente presenta texturas mas granolepidoblásticas.

Figura 12. **Microfotografía de pizarras con Slaty Cleavage** o clivaje de pizarrosidad más **moscovíticas**; **A**: Zircones detríticos. **B-D**: mineralogía predominante. **C**: Plagioclasa con macla polisintética. (A-B-C-D) nicoles cruzados.



Pizarras con Cloritización. (Muestra JP-3): Son rocas que presentan planos de foliación tectónica *Slaty Cleavage* o clivaje de pizarrosidad (S2) diferentes de los desarrollados por la estratificación (S0=S1), tiene mayor Cloritización, su tamaño de grano es muy fino, presentan minerales neoformados de clorita. Tienen textura pizarrosa. Como minerales principales presenta cuarzo, muscovita, clorita y minerales opacos.

Cuarzo(34%): individuos incoloros de bajo relieve, heteroblásticos, xenoblásticos de apariencia subredondeada a redondeada, algunos alargados concordantes con la dirección de foliación principal, su tamaño de grano varía entre fino a muy fino, se asocia en contacto neto con muscovita, plagioclasas y minerales opacos, su distribución es homogénea en la roca.

Muscovita (31%): se presenta como agregados hojosos de hábito laminar, concordantes con la dirección de foliación principal, presenta tamaño de grano que varía de fino a muy fino, también como individuos alargados, heteroblásticos hojosos de hábito laminar y colores de birrefringencia elevados, asociado en contacto neto a cuarzo, algunas veces a clorita y plagioclasa.

Clorita (15%): se presenta como individuos fibrosos concordantes con la dirección de foliación, y como posible alteración de muscovita, relieve bajo a medio, con pleocroísmo variable en tonos verdes.

Minerales opacos (9%): individuos idioblásticos de geometría rectangular, alargados distribuidos homogéneamente en la roca, asociados a cuarzo, muscovita y clorita.

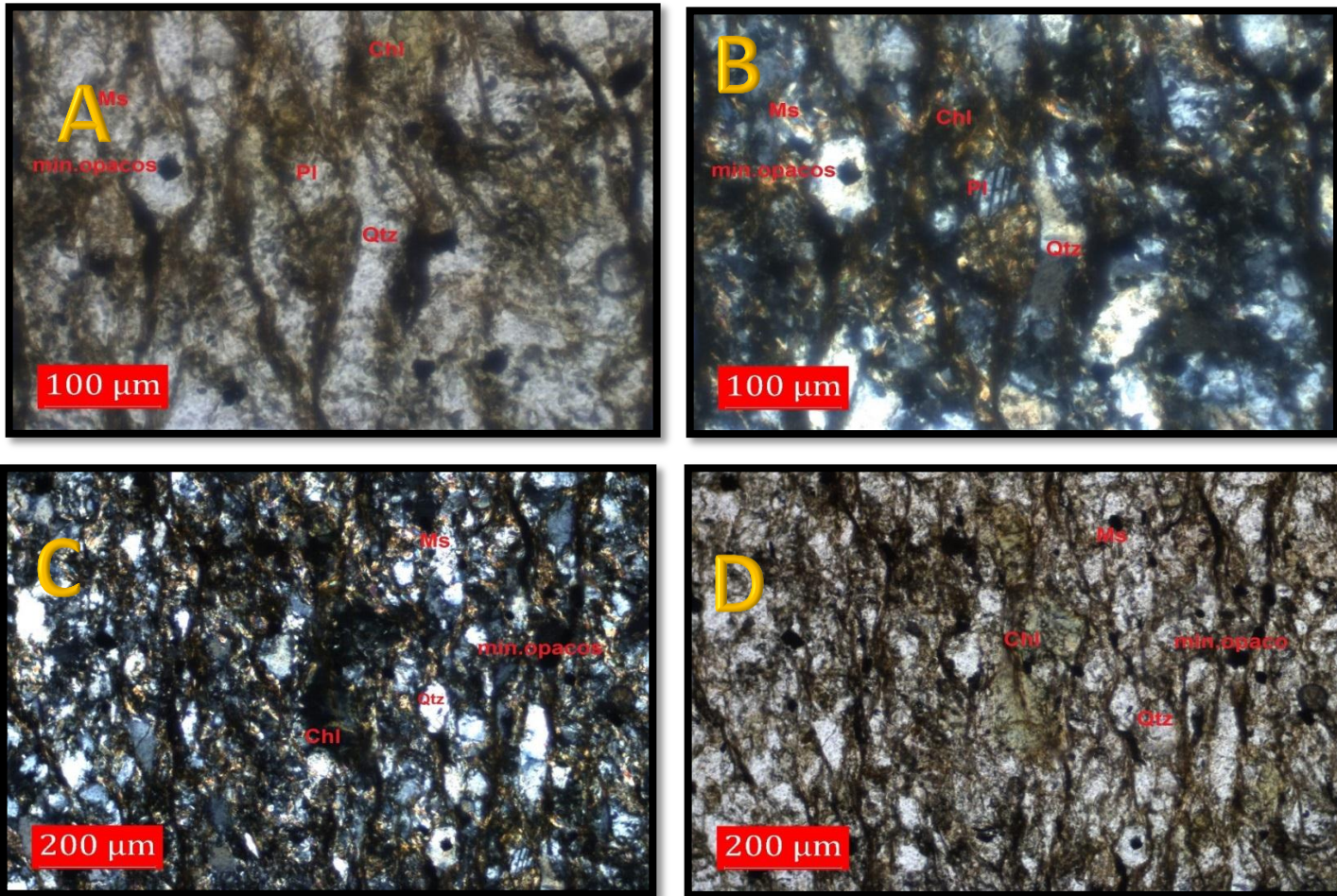
Sericita (3%): agregados escamosos muy finos, desarrollado a manera de parches distribuidos por toda la roca, presenta un aspecto policristalino, microgranular con colores de birrefringencia elevados. Se asocia en contacto neto con cuarzo.

Grafito (5%): individuos xenoblásticos de hábito escamoso asociado en contacto neto a cuarzo y muscovita.

Plagioclasa(3%): Individuos incoloros, de bajo relieve, se caracterizan por presentar su típico maclado, idioblásticos con bordes rectos, esta asociado en contacto neto a muscovita, clorita y cuarzo.

Textura: Lepidogranoblástica principalmente.

Figura 13. Microfotografía de pizarras con Cloritización; A.-B: Mineralogía predominante donde se evidencia una alta Cloritización y minerales de plagioclasa con maclado polisintético. C-D: mineralogía predominante y Cloritización. (B-C) nicoles cruzados. (A-D)Nicoles paralelos.



Pizarra con Porfidobláastos de clorita. (Muestra JP-4):Son rocas que no presentan planos de foliación tectónica *Slaty Cleavage* o clivaje de pizarrosidad (S2) diferentes de los desarrollados por la estratificación (S0=S1), tiene porfidobláastos de clorita, su tamaño de grano es muy fino predominantemente. Tienen textura pizarrosa.Como minerales principales presenta cuarzo, muscovita, clorita y minerales opacos.

Cuarzo(36%):se presentan 2 generaciones, como individuos incloros de bajo relieve, heteroblásticos,xenoblásticos de apariencia subredondeada a redondeada, algunos alargados concordantes con la dirección de foliación principal, su tamaño de grano varia entre fino a muy fino, se asocia en contacto neto con muscovita, y minerales opacos,su distribución es homogenea en la roca, y como agregados monominerales relleno venas que siguen la dirección de foliación principal.

Muscovita (24%): se presenta como agregados hojosos de habito laminar, concordantes con la dirección de foliación principal, presenta tamaño de grano que varia de fino a muy fino, tambien como individuos alargados,heteroblásticos hojosos de habito laminar y colores de birrefringencia elevados, asociado en contacto neto a cuarzo, clorita.

Clorita (20%): se presenta como individuos porfidoblásticos, Idioblásticos con geometría redondeada a subredondeada fibrosos concordantes con la dirección de foliación, relieve bajo a medio,con pleocroísmo variable en tonos verdes.

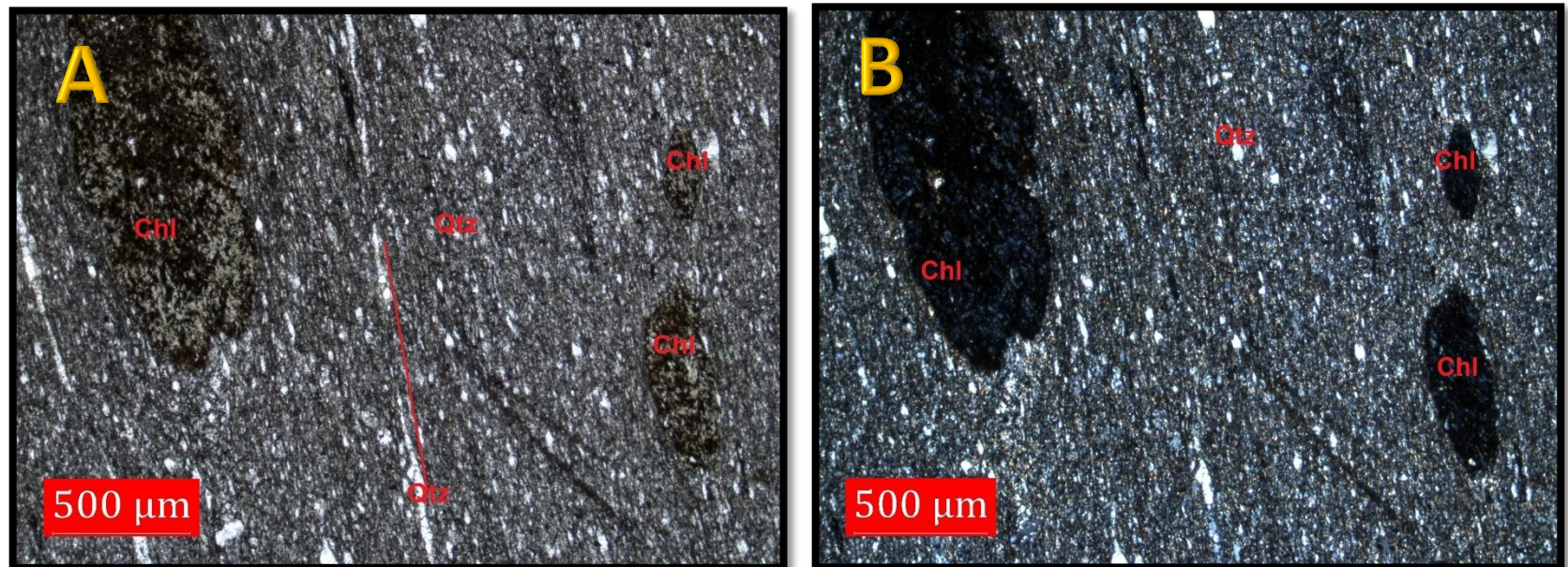
Minerales opacos (8%): individuos idioblásticos de geometría rectangular, alargados distribuidos homegeneamente en la roca, asociados a cuarzo,muscovita y clorita.

Grafito (7%): individuos xenoblásticos de habito escamoso asociado en contacto neto a cuarzo y muscovita.

Sericita (5%): agregados escamosos muy finos, desarrollados a manera de parches distribuidos por toda la roca, presenta un aspecto policristalino, microgranular con colores de birrefringencia elevados. Se asocia en contacto neto con cuarzo.

Textura: La Textura principal es Lepidogranoblástica pero localmente presenta texturas Porfidoblásticas presentando porfidoblóstos de Clorita.

Figura 14. **Microfotografía de pizarras con Porfidoblóstos de Clorita. A-B: Textura Porfidoblástica con Porfidoblóstos de Clorita mineralogía predominante y venas de cuarzo. (A)Nicoles paralelos. (B)Nicoles cruzados.**



Pizarra con *Slaty Cleavage* o clivaje de pizarrosidad de grano muy fino. (Muestra JP-5): Son rocas que presentan planos de foliación tectónica *Slaty Cleavage* o clivaje de pizarrosidad (S2) diferentes de los desarrollados por la estratificación (S0=S1), su tamaño de grano es muy fino, presentan minerales neoformados de clorita, cuarzo y anatasa. Tienen textura pizarrosa. Como minerales principales presenta cuarzo, muscovita, clorita, y minerales opacos.

Cuarzo(38%):individuos incoloros de bajo relieve, heteroblásticos,xenoblásticos de apariencia subredondeada a redondeada concordantes con la dirección de foliación principal, su tamaño de grano varia entre fino a muy fino, se asocia en contacto neto con clorita, moscovita y minerales opacos.

Muscovita(25%): se presenta como agregados laminares hojosos, heteroblásticos, subidioblásticos concordantes con la dirección de foliación principal, presenta tamaño de grano muy fino y se asocia en contacto neto a cuarzo y clorita, algunas veces a grafito.

Clorita (17%): se presenta como individuos fibrosos concordantes con la dirección de foliación, por alteracion de la moscovita, relieve bajo a medio,con pleocroísmo variable en tonos verdes.

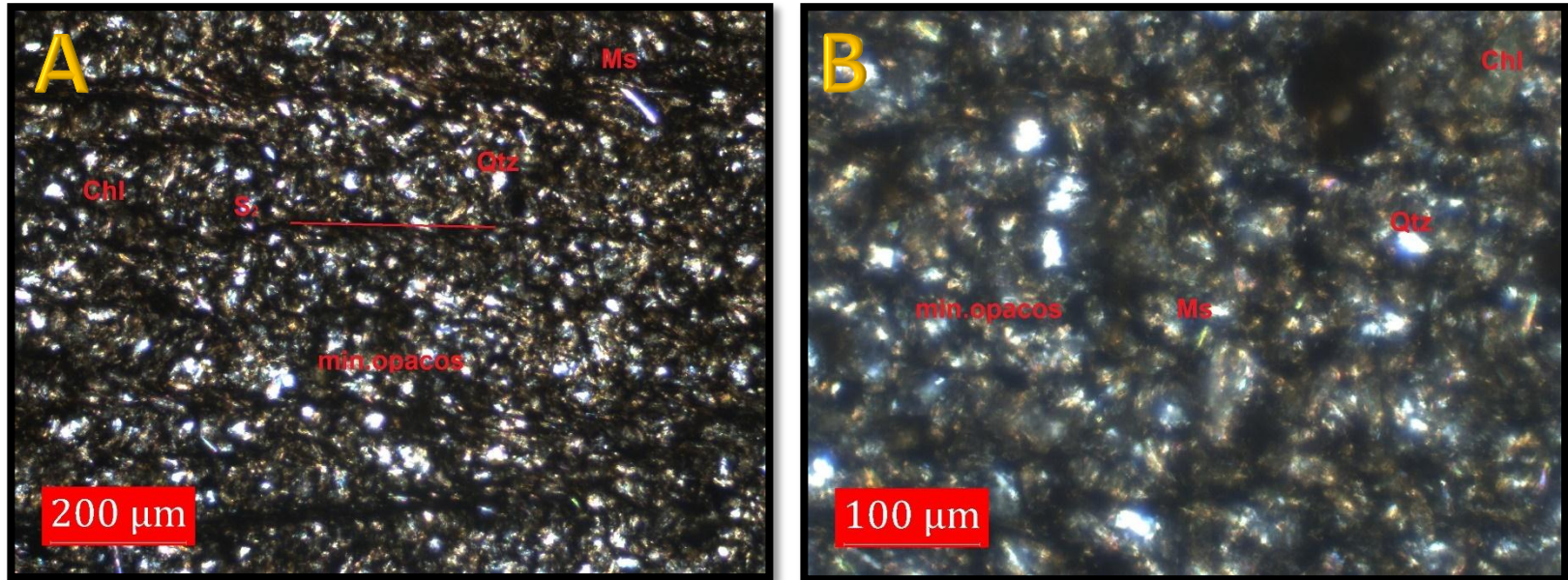
Minerales opacos (10%): individuos idioblásticos de geometría rectangular, alargados distribuidos homegeneamente en la roca, asociados a cuarzo y clorita.

Grafito: (6%): individuos xenoblásticos de habito escamoso asociado en contacto neto a cuarzo, sericita.

Sericita (4%): agregados escamosos muy finos, desarrollados a manera de parches distribuidos por toda la roca, presenta un aspecto policristalino, microgranular con colores de birrefringencia elevados. Se asocia en contacto neto con cuarzo.

Textura: Lepidogranoblástica

Figura 15. Microfotografía de pizarras con Slaty Cleavage o clivaje de pizarrosidad de grano muy fino. A-B: mineralogía predominante y foliación tectónica Slaty Cleavage o clivaje de pizarrosidad. (A-B) Nícoles cruzados.



Pizarras con Cloritización. (Muestra JP-3): Son rocas que presentan planos de foliación tectónica *Slaty Cleavage* (S2) diferentes de los desarrollados por la estratificación (S0=S1), tiene mayor Cloritización, su tamaño de grano es muy fino, presentan minerales neoformados de clorita. Tienen textura pizarrosa. Como minerales principales presenta cuarzo, muscovita, clorita y minerales opacos.

Cuarzo(35%): se presentan 2 generaciones, como individuos incoloros de bajo relieve, heteroblásticos, xenoblásticos de apariencia subredondeada a redondeada, algunos alargados concordantes con la dirección de foliación principal, su tamaño de grano varia entre fino a muy fino, se asocia en contacto neto con muscovita, y minerales opacos, su distribución es homogénea en la roca, y como agregados monominerles relleno venas que siguen la dirección de foliación principal.

Muscovita (24%): se presenta como agregados hojosos de hábito laminar, concordantes con la dirección de foliación principal, presenta tamaño de grano que varia de fino a muy fino, también como individuos alargados, heteroblásticos hojosos de hábito laminar y colores de birrefringencia elevados, asociado en contacto neto a cuarzo, clorita.

Clorita (16%): se presenta como individuos fibrosos concordantes con la dirección de foliación, por alteración de la moscovita, relieve bajo a medio, con pleocroísmo variable en tonos verdes.

Minerales opacos (9%): individuos idioblásticos de geometría rectangular, alargados distribuidos homogéneamente en la roca, asociados a cuarzo, muscovita y clorita.

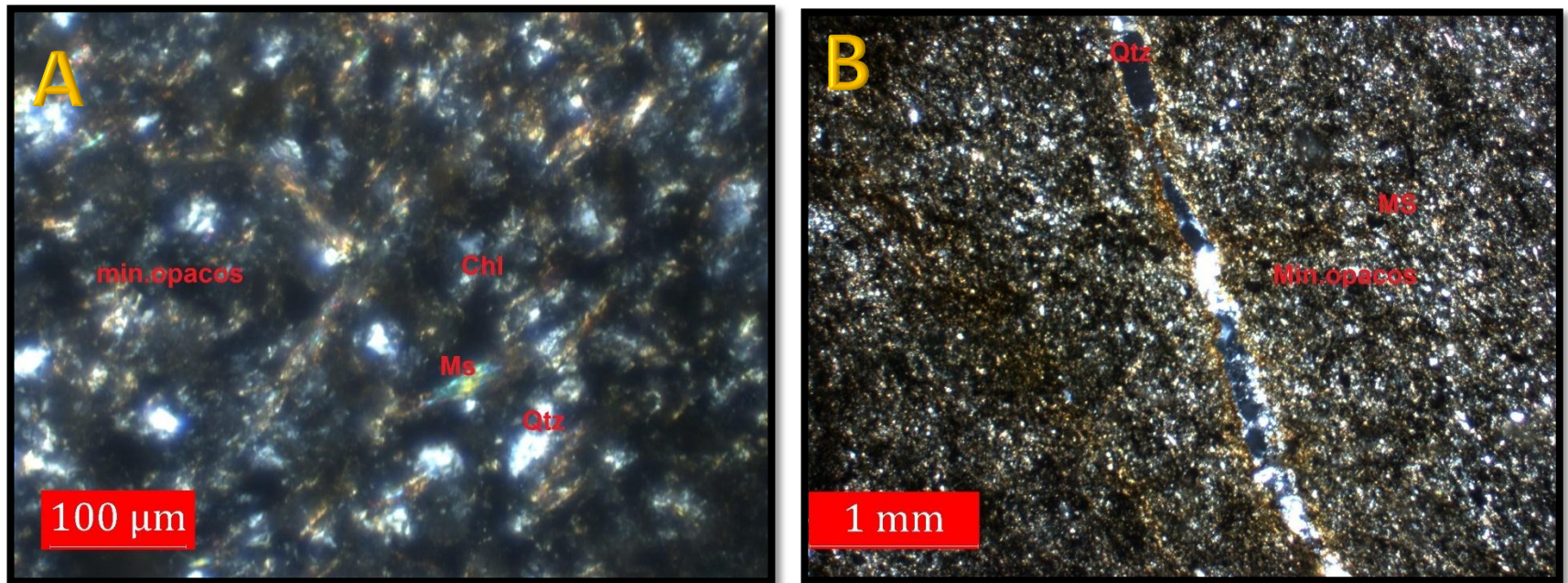
Grafito (8%): individuos xenoblásticos de hábito escamoso asociado en contacto neto a cuarzo y muscovita.

Sericita (5%): agregados escamosos muy finos , desarrollados a manera de parches distribuidos por toda la roca, presenta un aspecto policristalino, microgranular con colores de birrefringencia elevados. Se asocia en contacto neto con cuarzo.

Plagioclasa(3%): Individuos incoloros, de bajo relieve, se caracterizan por presentar su típico maclado, idioblásticos con bordes rectos, esta asociado en contacto neto a muscovita, clorita y cuarzo.

Textura: La Textura principal es Lepidogranoblástica

Figura 16. Microfotografía de pizarra con Cloritización; A.-B: Mineralogía predominante donde se evidencia una alta Cloritización y venas de cuarzo. C-D: mineralogía predominante y Cloritización. (A-B) nicoles cruzados.



Pizarra con *Slaty Cleavage* o clivaje de pizarrosidad de grano muy fino.
(Muestra JP-7): Son rocas que presentan planos de foliación tectónica *Slaty Cleavage* o clivaje de pizarrosidad (S2) diferentes de los desarrollados por la estratificación (S0=S1), tiene mayor Cloritización, su tamaño de grano es muy fino, presentan minerales neoformados de clorita y anatasa. Tienen textura pizarrosa. Como minerales principales presenta cuarzo, muscovita, clorita y minerales opacos.

Cuarzo(33%):se presentan 2 generaciones, como individuos incloros de bajo relieve, heteroblásticos,xenoblásticos de apariencia subredondeada a redondeada, algunos alargados concordantes con la dirección de foliación principal, su tamaño de grano varia entre fino a muy fino, se asocia en contacto neto con muscovita, y minerales opacos,su distribución es homogenea en la roca,.

Muscovita (25%): se presenta como agregados hojosos de habito laminar, concordantes con la dirección de foliación principal, presenta tamaño de grano que varia de fino a muy fino, tambien como individuos alargados,heteroblásticos hojosos de habito laminar y colores de birrefringencia elevados, asociado en contacto neto a cuarzo, clorita.

Clorita (18%): se presenta como individuos fibrosos concordantes con la dirección de foliación, por alteracion de la moscovita, relieve bajo a medio,con pleocroísmo variable en tonos verdes.

Minerales opacos (8%): individuos idioblásticos de geometría rectangular, alargados distribuidos homegeneamente en la roca, asociados a cuarzo ,muscovita y clorita.

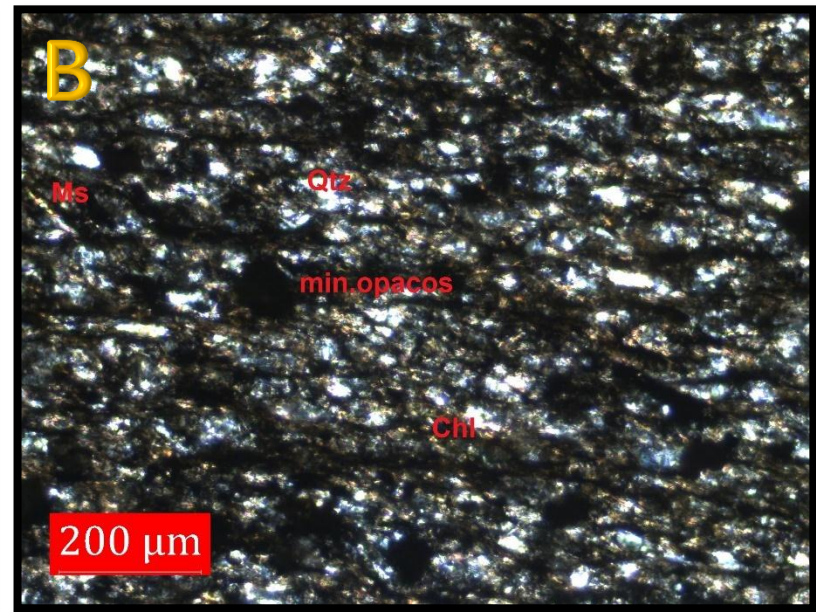
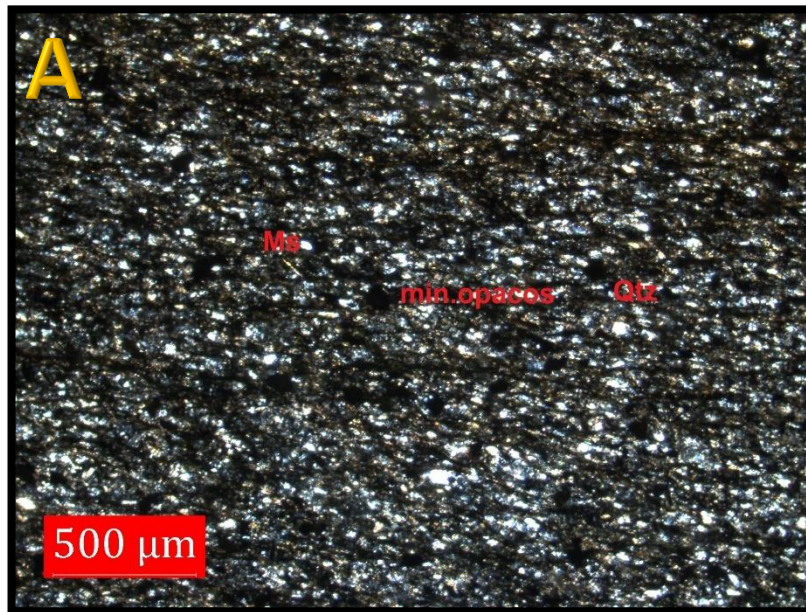
Grafito (8%): individuos xenoblásticos de habito escamoso asociado en contacto neto a cuarzo y muscovita.

Sericita (4%): agregados escamosos muy finos, desarrollados a manera de parches distribuidos por toda la roca, presenta un aspecto policristalino, microgranular con colores de birrefringencia elevados. Se asocia en contacto neto con cuarzo.

Plagioclasa(4%): Individuos incoloros, de bajo relieve, se caracterizan por presentar su típico maclado, idioblásticos con bordes rectos, esta asociado en contacto neto a muscovita, clorita y cuarzo.

Textura: La Textura principal es Lepidogranoblástica , tambien presenta texturas mas granolepidoblástica.

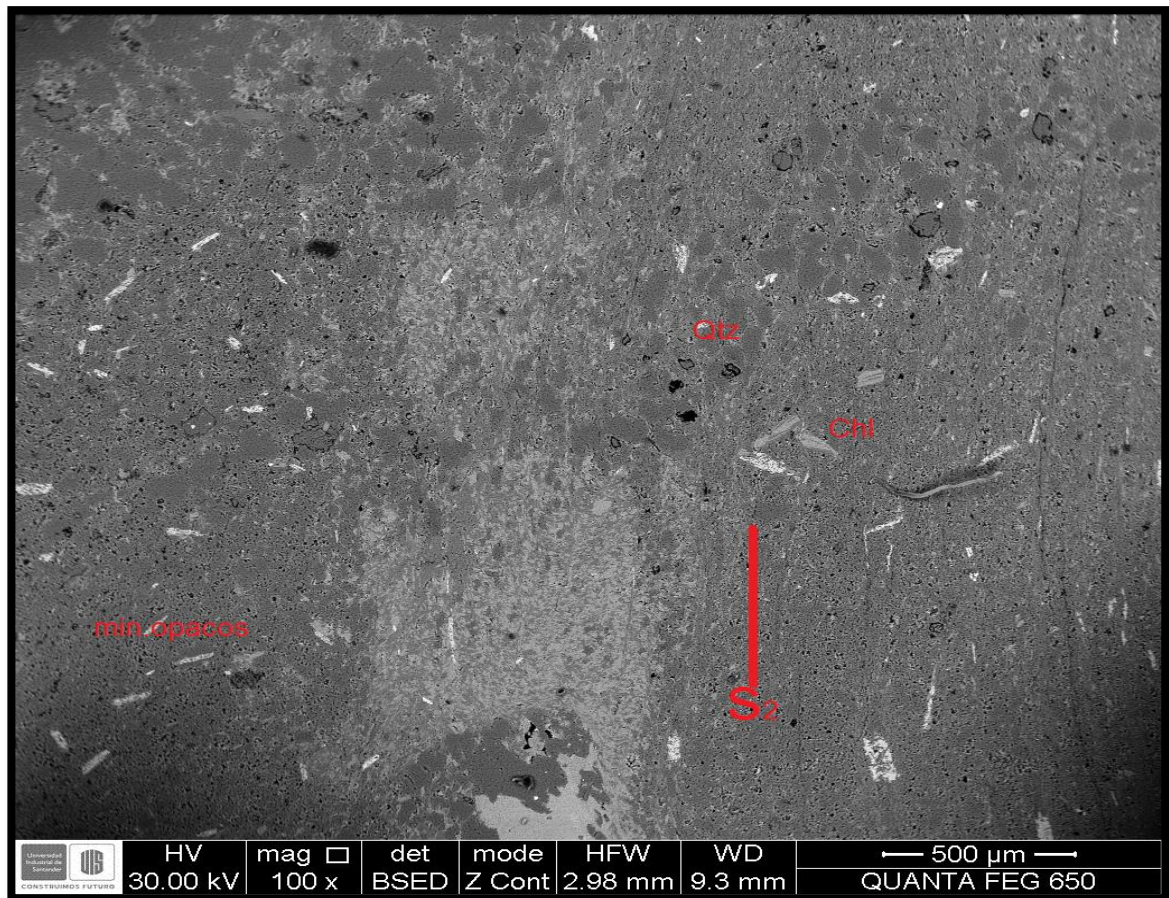
Figura 17. Microfotografía de pizarras Slaty Cleavage o clivaje de pizarrosidad de grano muy fino. A-B: mineralogía predominante y foliación tectónica Slaty Cleavage. (A-B) Nicoles cruzados



6. MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO

Los análisis de Microscopía Electrónica de Barrido se realizaron sobre la muestra JP-1 Con el objetivo de explorar la mineralogía y la textura al interior de los dominios del Cleavage y con mayor detalle y exactitud la mineralogía presente en las pizarras de la Formación Floresta Metamorfoseada. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Figura 18. Microfotografía de la muestra JP-1 bajo el Microscopio electrónico de Barrido.



6.1 ANATASA

Se presentan como individuos idioblásticos de geometría rectangular, alargados distribuidos homegeneamente en la roca, asociados a cuarzo ,muscovita y clorita

Figura 19. Microfotografía y picos composicionales de Anatasa.

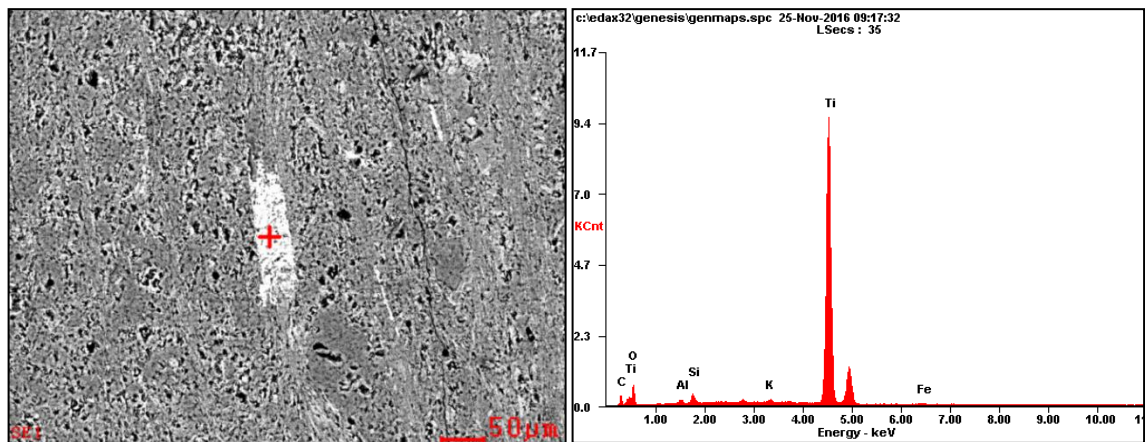


Tabla 5. Composición química de la Anatasa.

Element	Wt%	At%
CK	07.31	16.36
OK	27.05	45.46
AlK	01.18	01.17
SiK	02.02	01.94
KK	00.52	00.35
TiK	61.44	34.49
FeK	00.48	00.23
Matrix	Correction	ZAF

El contenido de Al y Si, aquí registrado, muy seguramente deriva del material pelético de fondo (en el cual se hospeda la anatasa) el alto contenido de Carbono, se debe al cubrimiento de la muestra.

Se presentan como individuos Xenoblásticos, sin desarrollar caras o geometría, distribuidos homogéneamente en la roca, asociados a cuarzo, muscovita y clorita.

Figura 20. *Microfotografía y picos composicionales de la Anatasa.*

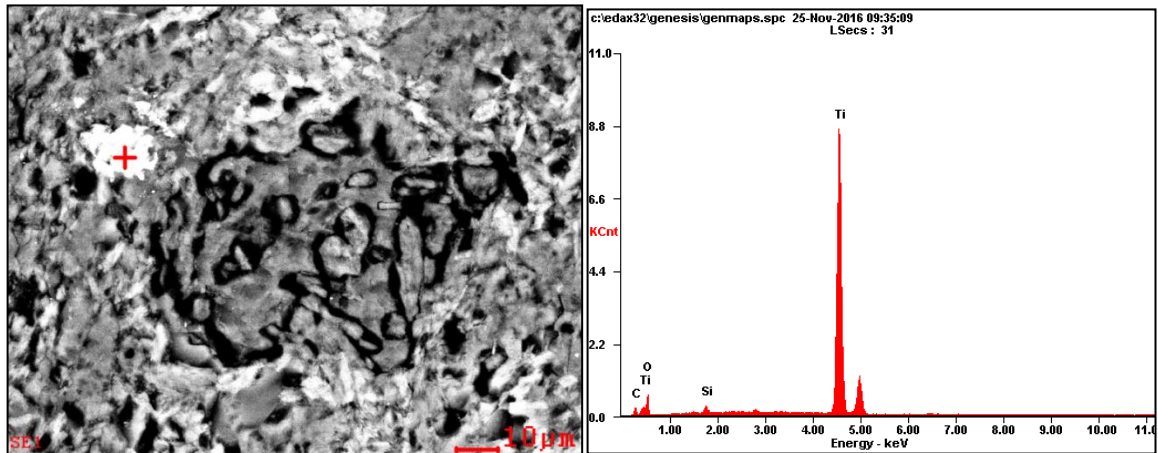


Tabla 6. *Composición química de la Anatasa.*

Element	Wt%	At%
CK	06.08	13.71
OK	28.91	48.91
SiK	01.61	01.55
TiK	63.39	35.82
Matrix	Correction	ZAF

6.2 CLINOCLORO.

se presenta como individuos fibrosos, de hábito laminar, hojosos, desarrollan algunas caras, concordantes con la dirección de foliación.

Figura 21. Microfotografía y picos composicionales del clinocloro.

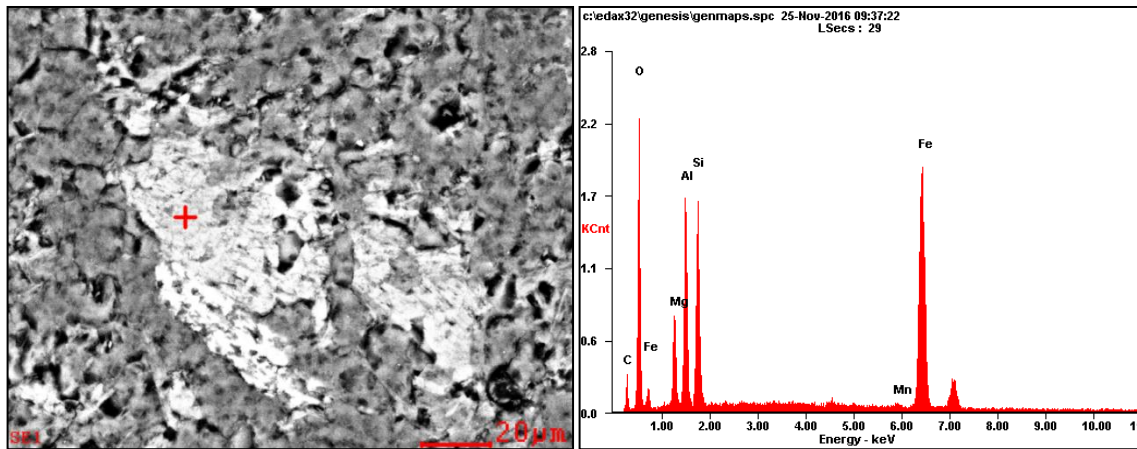


Tabla 7. Composición química del clinocloro.

Element	Wt%	At%
CK	12.11	21.56
OK	32.85	43.90
MgK	06.74	05.93
AlK	12.75	10.10
SiK	12.92	09.84
MnK	00.38	00.15
FeK	22.25	08.52
Matrix	Correction	ZAF

Figura 22. Microfotografía y picos composicionales del clinocloro.

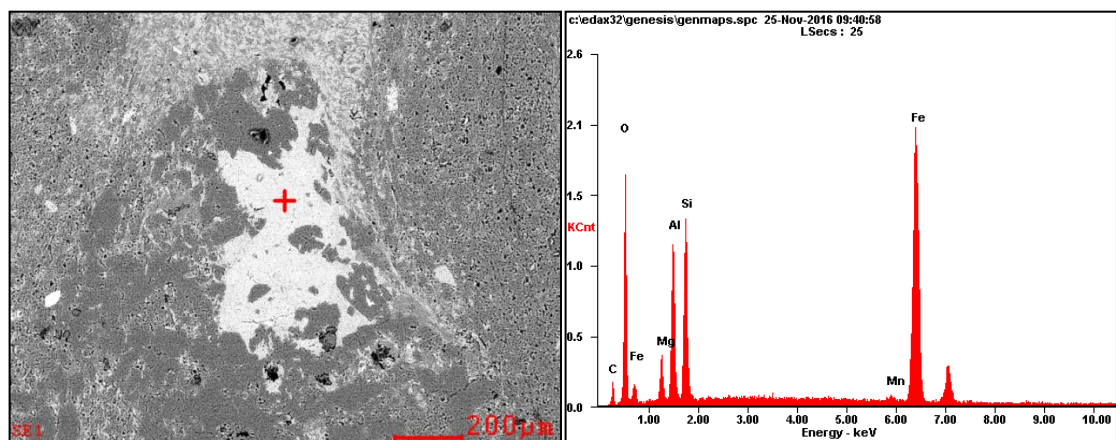


Tabla 8. Composición química del clinocloro.

Element	Wt%	At%
CK	09.38	18.00
OK	30.48	43.93
MgK	04.45	04.22
AlK	11.96	10.22
SiK	13.68	11.23
MnK	00.54	00.23
FeK	29.51	12.18
Matrix	Correction	ZAF

se presenta como individuos fibrosos, de habito laminar, hojosos, desarrollan algunas caras, concordantes con la dirección de foliación.

Figura 23. Microfotografía y picos composicionales del clinocloro

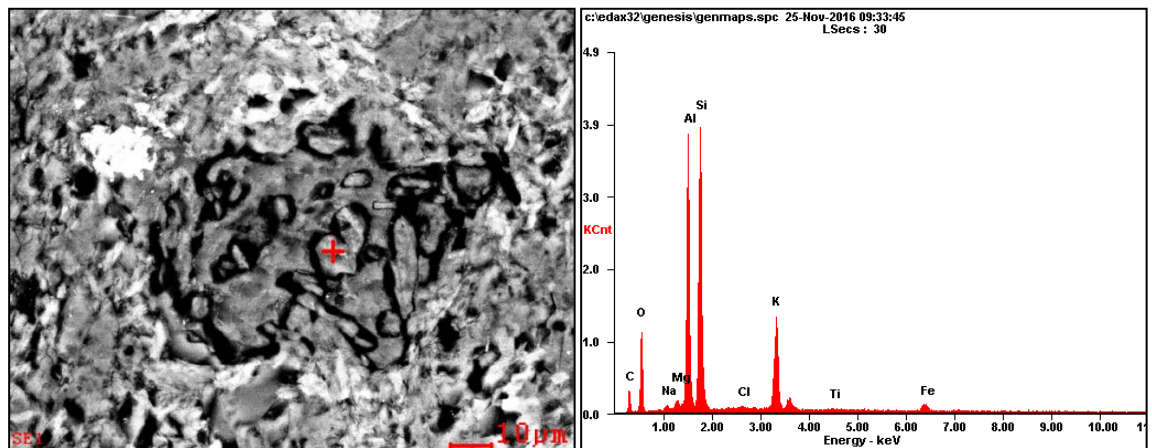


Tabla 1. Composición química del clinocloro.

Element	Wt%	At%
CK	17.74	29.33
OK	26.35	32.69
NaK	00.45	00.39
MgK	00.74	00.60
AlK	18.47	13.59
SiK	26.23	18.54
ClK	00.28	00.16
KK	08.07	04.10
TiK	00.25	00.10
FeK	01.44	00.51
Matrix	Correction	ZAF

6.3 CUARZO

Individuos heteroblásticos, xenoblásticos de apariencia subredondeada a redondeada .

Figura 24. Microfotografía y picos composicionales de los cuarzos.

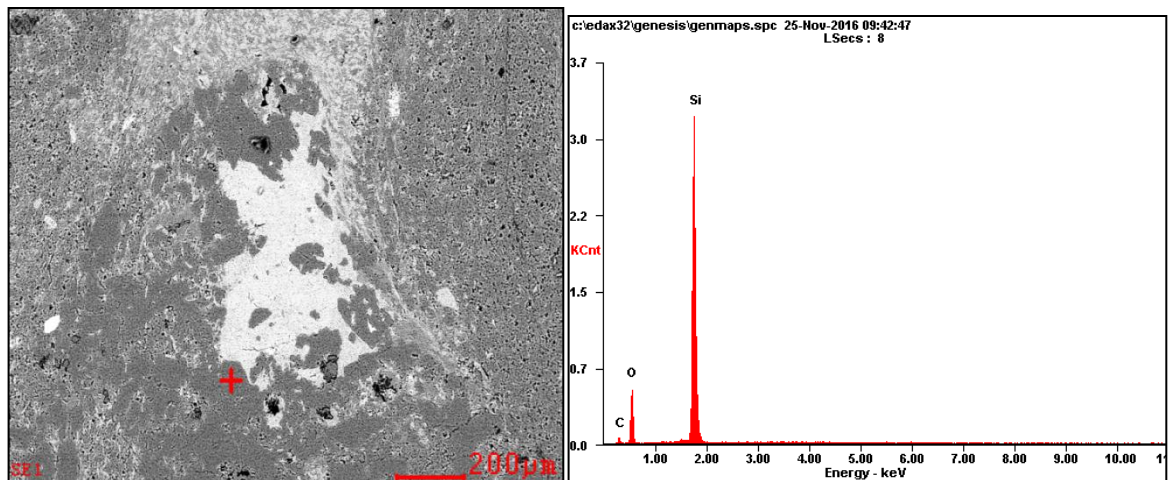


Tabla 9. *Composición química de los cuarzos.*

Element	Wt%	At%
CK	14.28	22.74
OK	36.64	43.82
SiK	49.08	33.44
Matrix	Correction	ZAF

7. IDENTIFICACIÓN DE FASES MINERALES MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Ahora se presentan los resultados obtenidos del análisis de las 2 muestras seleccionadas que se obtuvieron en la salida de campo por medio de difracción de rayos X (DRX).

Estos análisis se llevaron a cabo con el fin de identificar las fases minerales presentes en cada muestra, los cuales se encuentran referenciados en las Tablas 11 y 12. A continuación se presentan los resultados de las pizarras analizadas. Se observa que los minerales de mayor a menor concentración son Cuarzo, moscovita y Clorita.

Tabla 10. *Fases minerales presentes en la muestra JP-5*







Show	Icon	Color	Compound Name	Formula	Y-Scale	I/IcDB
Yes			Quartz low	SiO ₂	98,48 %	2,880
Yes			Muscovite-3T	(K, Na)(Al, Mg, Fe) ₂ (Si _{3.1} Al _{0.9})O ₁₀ (OH) ₂	14,05 %	(1)
Yes			Clinocllore-1M##b, ferroan	(Mg, Fe) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	9,39 %	(1)

Figura 25. Difractograma para la muestra JP-5.

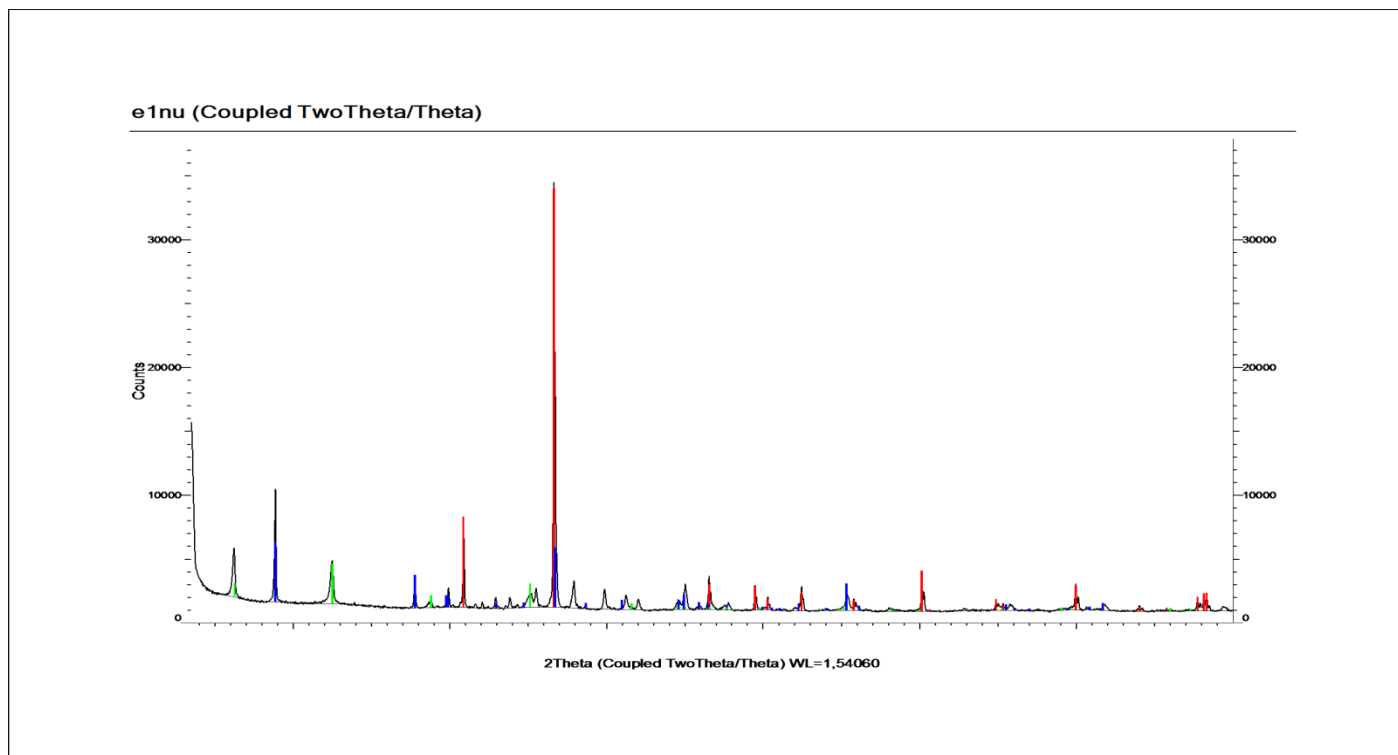


Tabla 11. Fases minerales presentes en la muestra JP-6.







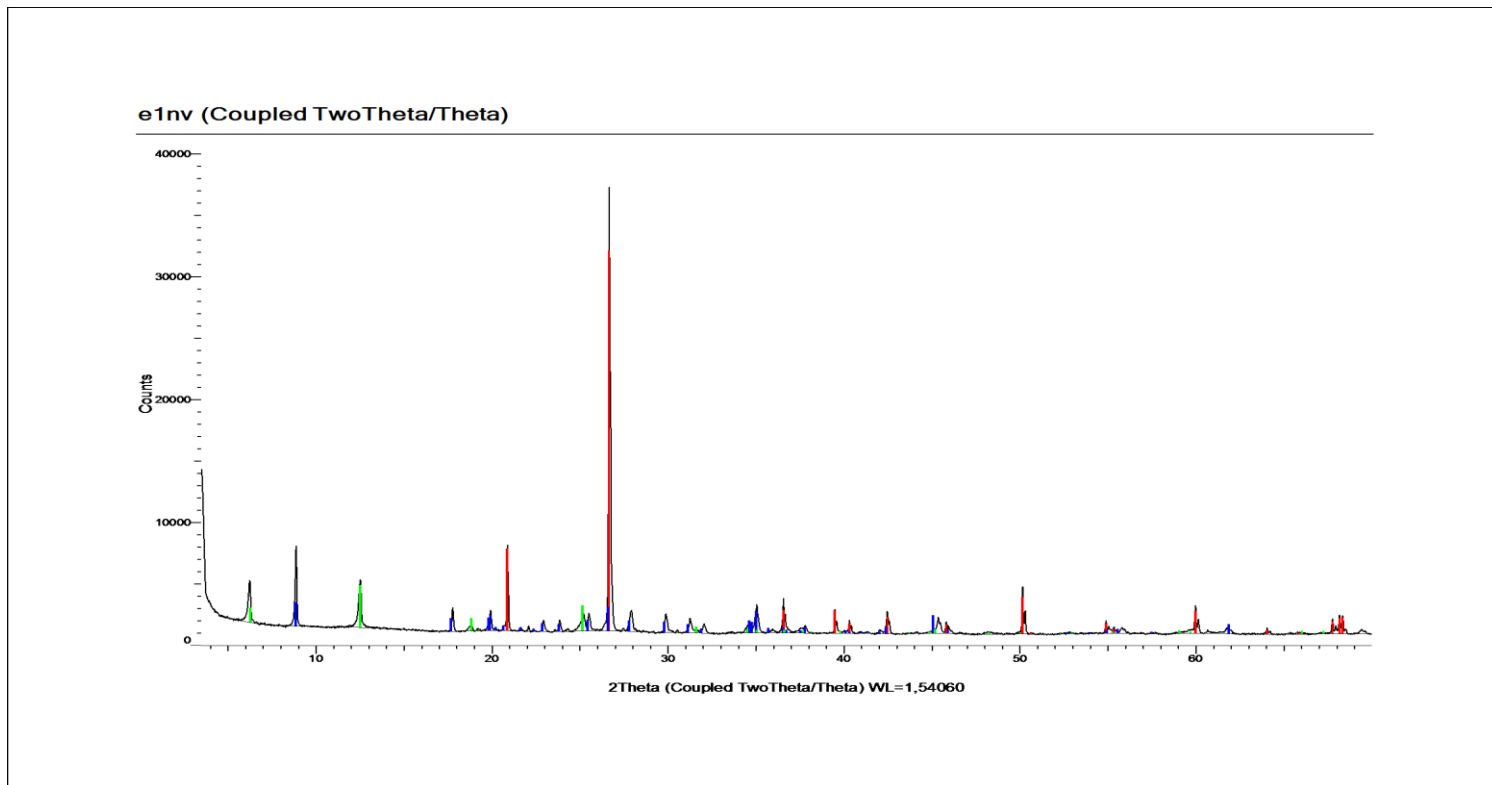
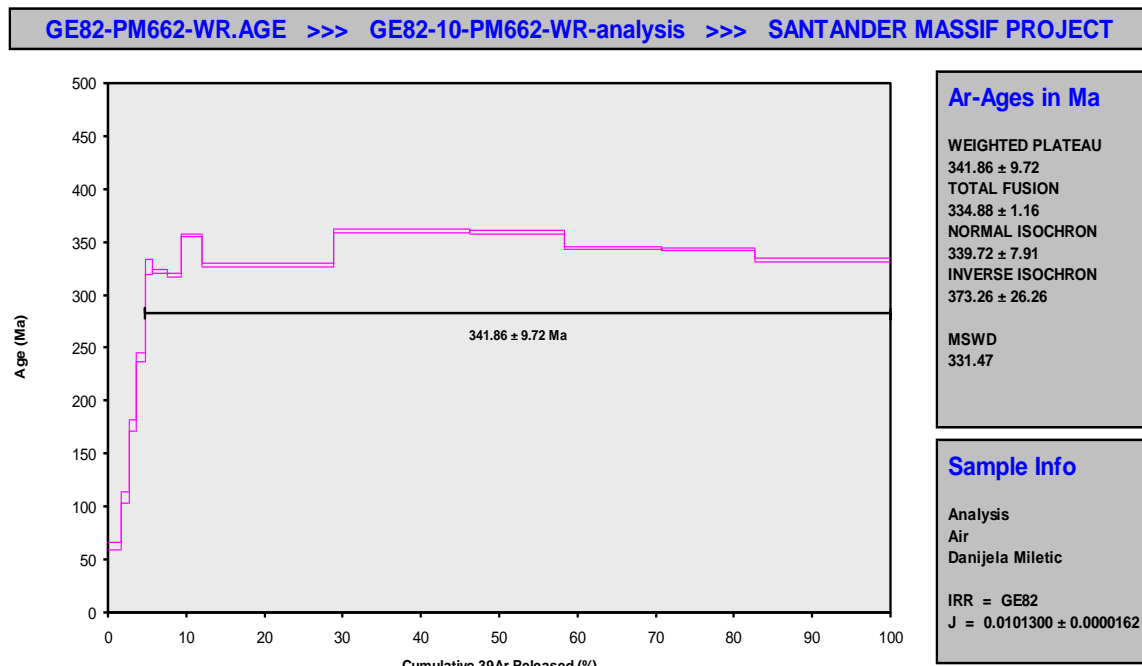
Show	Icon	Color	Compound Name	Formula	Y-Scale	I/Ic DB
Yes			Quartz low	Si O ₂	85,71 %	2,880
Yes			Muscovite 2M1, syn	K Al ₂ Si ₃ Al O ₁₀ (O H) ₂	5,38 %	(1)
Yes			Clinochlore-1M#1#1#b, ferroan	(Mg, Fe) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (O H) ₈	9,56 %	(1)

Figura 26. Difractograma para la muestra JP-6



8. GEOCROLOGÍA AR-AR

Figura 27. Geocronología Ar-Ar en sericitas neoformadas.



Los resultados obtenidos de las dataciones Ar-Ar realizadas en sericitas neoformadas apuntan a una edad de 341.86 ± 9.72 Ma, lo cual indica que durante el Missisipiano (Carbonífero), el área debió ser afectada por un evento tectono-termal de carácter local (asociado a fallas).

9. CONCLUSIONES

La unidad Floresta aflorante en el sector Mogotes-San Joaquín, con base en sus variedades litológicas, ha sido dividida en tres miembros: (a) uno inferior o basal, compuesto mayoritariamente de rudititas, areniscas rudfíticas y areniscas; (b) uno medio, mayoritariamente de areniscas y lutitas y; (c) uno superior, predominantemente lutítico.

Las litologías del miembro medio presentan en mayor o menor medida el desarrollo de una pizarrosidad (*Slaty Cleavage*), cuyos planos de anisotropía presentan una dirección aproximada de $220^{\circ}/85^{\circ}$, los cuales parecen coincidir con fallas de direcciones similares observadas en ese sector.

Los minerales neoformados durante el evento de pizarrosidad, son fundamentalmente el clinocloro, anatasa, sericita, cuarzo. Minerales detríticos y diagenéticos previos, principalmente filosilicatos, sufrieron una re-orientación preferente, en respuesta a la deformación generadora de la pizarrosidad.

Las dataciones Ar-Ar de las sericitas neoformadas y presentes en los dominios del clivaje de pizarrosidad, apuntan a una edad de 341.86 ± 9.72 Ma, lo cual indica que durante el Missisipiano (Carbonífero), el área debió ser afectada por un evento tectono-termal de carácter local (asociado a fallas).

Considerando que las fallas con la dirección de la pizarrosidad se observan afectado los cuerpos plutónicos de finales del Triásico-comienzos del Jurásico (pero allí la pizarrosidad no se presenta), se infiere que las fallas de ésta dirección ($N40^{\circ}E$ o 220°), debieron haber sido activas durante el Carbonífero y haber sido reactivas con posterioridad al emplazamiento de los cuerpos ígneos del Triásico-Jurásico.

10. RECOMENDACIONES

Realizar estudios mineralógicos-petrográficos de mayor detalle, para fines de establecer la historia geológica relacionada a los procesos de diagénesis y de metamorfismo de bajo grado (asociado a la pizarrosidad).

Establecer mediante estudio geocronológicos, la relación temporal entre la foliación tectónica que afectó la base de la formación Floresta (miembro inferior) y la foliación tectónica que afectó el miembro medio de la formación (afectado por pizarrosidad).

Realizar microscopia de luz reflejada para una mejor identificación de los minerales opacos.

Realizar estudios tectónicos de las estructuras regionales y locales que afectan la zona de estudio, para fines de establecer mejor la geometría de las zonas con pizarrosidad

BIBLIOGRAFÍA

BOTERO, G., 1946, Reconocimiento geológico del área comprendida por los municipios de Belén, Corrales, Floresta, Nobsa y Santa Rosa de Viterbo, Boy., Servicio Geológico Nacional, Bogotá.

CEDIEL, F., 1969, Geología del Macizo de Floresta: Primer Congreso Colombiano de Geología, p. 17-29.

CLAVIJO, J. ROYERO. J. Mapa Geológico Generalizado Departamento de Santander, Memoria Explicativa, Escala 1:100.000. Institute de Investigation e Information Geocientifica, Minero-Ambiental y Nuclear, Ingeominas, Republica de Colombia. 2001.

FREY, Martin, DOUG, Robinson. Low-Grade metamorphism. Editorial Blackwell Science Ltd, 1999, ISBN 0-632-04756-9.

FORERO, A., 1991, Distribución de las rocas del Devónico en los Andes Colombianos: Revista Técnica de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos, v. 12, p. 101-111.

GARCÍA RAMÍREZ, C. A. 2007. Manual de Practicas de Petrología Metamórfica. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Geología. Pp. 7-37, 49-54.

HERNANDEZ, Carlos Andres. Estudio mineralógico, petrográfico y geoquímico de las rocas ígneas aflorantes en el Cerro El Mirador (Vía Mogotes-San Joaquin Departamento de Santander). Trabajo de Grado Geólogo. Bucaramanga:

Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Geología, 2011. 120p.

KERR. P. Mineralogía Óptica. Traducido por Jose Huidobro. 3 ed. New York: McGraw-Hill. 1965.

MELGAREJO, J. C. 1997. Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada. Pp. 680-1200.

MANTILLA-FIGUEROA, L.C., GARCÍA-RAMÍREZ, C.A., y VALENCIA, V.A. 2016. Propuesta de escisión de la denominada 'Formación Silgará' (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en circones detríticos. Boletín de Geología, 38 (1): 33-50.

MOJICA, J. y VILLARROEL, C. 1984: Contribución al conocimiento de las unidades Paleozoicas del área de Floresta (Cordillera Oriental colombiana; Departamento de Boyacá) y en especial de la Formación Cuche. -Geol. Colombiana 13, pp. 55-78,4 Figs .. 1 tabla, Bogotá.

MORENO-SÁNCHEZ, M., & A. PARDO-TRUJILLO, 2002, Historia geológica del Occidente Colombiano: Geo-Eco-Trop, v. 26, p. 91-113.

MORENO-SÁNCHEZ, M., GÓMEZ-CRUZ, A. d. J., y CASTILLO-GONZÁLEZ, H. 2005. La Formación Floresta Metamorfoseada (sensu Ward *et al.*, 1973) no es la Formación Floresta sin metamorfosear. En X Congreso Colombiano de Geología. (J. M. M. Moreno, Ed.), pp. 1-7. Universidad Nacional-Ingeominas, Bogotá.

Plan de Ordenamiento Territorial de los municipios Mogotes y San Joaquin. 2002 (Gobernación del Departamento de Santander)

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

ROYERO, J. M. y CLAVIJO, J. Mapa geológico generalizado, departamento de Santander, Memoria explicativa. INGEOMINAS, 2001.92p.

VELANDIA, F. 2005. Interpretación de transcurrencia de las fallas Soapaga y Boyacá a partir de imágenes Landsat TM. Instituto Colombiano de Geología y Minería, Ingeominas. Bogotá D.C., Colombia. 20 pp.

VILLAFANEZ CARDONA, Yohana. Análisis de procedencia en Areniscas Cuarzosas del Devónico-Carbonífero de la Formación Floresta (Norte de Santander): consideraciones Paleogeográficas Regionales. Trabajo de Grado Geólogo. Medellín: Universidad EAFIT, Escuela de Ingeniería Geologica,2012.93p.

WARD, D., *et al* Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y 1-13 Mogotes departamento de Santander. En: Boletín Geológico. 1973 Vol. XXI N° 1-3.