

**Estudio mineralógico-petrográfico de las litologías basales de la formación floresta  
aflorantes en áreas del municipio de San Joaquín (departamento de Santander)**

**Andrés Buitrago Burgos**

**Carlos Andrés Moreno Jiménez**

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

**Director**

**Luis Carlos Mantilla Figueroa**

**Ph.D. en Geología Económica**

**Universidad Industrial de Santander**

**Facultad de Ingeniería Físicoquímica**

**Escuela de Geología**

**Bucaramanga**

**2017**

### Dedicatoria

*A Dios todo el honor y grandeza.*

*A la mujer más especial en mi vida, mi madre que ha luchado incansablemente por sacarme  
adelante.*

*A mi padre que con su sabiduría me ha guiado por el camino de la rectitud y la justicia.*

*Al mejor maestro que he tenido en el tiempo académico, Luis Carlos Mantilla Figueroa, por enseñarme que un geólogo más que conocimientos se debe regir por sentimientos de pasión y  
amor hacia las rocas.*

*A mi compañero de tesis, Carlos Andrés Moreno por sus enseñanzas y aportes que  
contribuyeron a la realización de este proyecto.*

***Andrés Buitrago Burgos***

### Dedicatoria

*Quiero dar gracias principalmente a mi familia, mi madre Martha Cecilia Jiménez Arguello y mi padre Luis Carlos Moreno Forero, por brindarme amor y ser mi ejemplo de vida.*

*A mi pareja Camila Alejandra Pacheco Manzano a quien amo con todo mi corazón, por apoyarme incondicionalmente durante prácticamente toda mi carrera.*

*A mi hermana María Alejandra Moreno Jiménez, por ser mi modelo a seguir.*

*A nuestro director de tesis Luis Carlos Mantilla Figueroa por sus enseñanzas, consejos y paciencia durante esta etapa de nuestra vida, quien demostró ser un gran docente y una excelente persona.*

*A mi compañero de tesis, Andrés Buitrago Burgos, por compartir esta experiencia conmigo y agradecerle por su amistad y conocimiento.*

*A mis familiares y amigos, quienes fueron de gran apoyo durante este proceso.*

*Finalmente, a Dios, por darnos esta gran oportunidad de vida.*

***Carlos Andrés Moreno Jiménez***

### Agradecimientos

Brindamos nuestro fraterno agradecimiento a la Escuela de Geología y al grupo de investigación en geología básica y aplicada (GIGBA) de la Universidad Industrial de Santander, a sus funcionarios y empleados por su colaboración en este proyecto, entre estos a Luis Eduardo Garrido Palencia (“Lucho”), Luis Fernando Anaya Molina (“El pollo”) y Cesar Enrique Llerena Betancour. Especial agradecimiento al director de este proyecto, Luis Carlos Mantilla Figueroa por su continuo seguimiento durante el desarrollo de esta tesis y por sus enormes contribuciones científicas y personales.

A los docentes que aportaron ideas y conocimiento que fueron indispensables para la realización de este proyecto, entre estos Jairo Clavijo Torres, Julián Andrés López Izasa, Giovanni Jiménez Diaz, Sergio Amaya Ferreira, Víctor Valencia, Guillermo Vargas Pieschacón, Francisco Velandia, Carlos Alberto García Ramírez y Carlos Alberto Ríos Reyes.

A los compañeros estudiantes de geología, quienes apoyaron y ayudaron durante el transcurso de este trabajo, entre estos a Juan Pablo Oviedo Diaz, Cristian Fabian Mariño Miranda, Camila Alejandra Pacheco Manzano, Luis Felipe Cruz Ceballos, Ángel Fabian Salazar, Carlos Eduardo Guerrero Ardila, Nicolás Rojas Rodríguez, Omar Felipe Latorre, Daniel Felipe Ayala Plata, Juan Nicolás Gómez González, José Luis Pita García, Manuel Fernando Ortiz, Natalia Fajardo, Néstor Raúl Zipamoncha, Carlos Andrés Castro, Álvaro Sergio Osma, Carlos Vargas, Juan Francisco Villacreces, Carlos Caicedo, Nicolás Jaimes, Santiago Schmalbach, Jaime Andrés Cortes, Diego Andrés Jerez, Camilo Guzmán, Diego Ardila, Danilo Alfonso Gonzáles Pacheco, Julián Stiven

Dueñas Rueda, Luis Páez, Sergio Andrés Díaz, Jorge Gélvez, Daniela Carolina Bohórquez Tarazona, Dilan Sánchez y Carlos Mario Alarcón.

A las autoridades civiles, militares y eclesiásticas del municipio de San Joaquín y Mogotes. Un agradecimiento especialmente para Doña Marina, por su hospitalidad y servicio.

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	22
1. Objetivos .....	22
1.1 Objetivo General .....	22
1.2 Objetivos Específicos.....	23
2. Descripción general del proyecto.....	23
2.1 Localización .....	23
3. Marco Geológico .....	26
3.1 Fisiografía .....	26
3.1.1 Municipio de San Joaquín.....	26
3.3.2 Vías de acceso al Municipio de San Joaquín .....	27
4. Antecedentes y Marco Geológico .....	28
5. Metodología .....	33
6. Resultados y Discusión .....	35
6.1 Relaciones de campo y descripción macroscópica .....	35
6.2 Análisis petrográfico y contextos paragénéticos.....	50
6.3 Difracción de rayos X (DRX) .....	54
6.4 Microscopia electrónica de barrido (SEM).....	58
6.5 Geocronología U-Pb en circones detríticos .....	71

---

6.6 Modelo Geológico .....	74
6.6.1 Evolución geológica.....	78
7. Discusión.....	84
8. Conclusiones.....	94
9. Recomendaciones .....	97
Referencias Bibliográficas .....	99
Apéndices.....	102

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Mapas de localización geográfica y geológica de San Joaquín y sus áreas aledañas. a) Tomado y modificado de Moreno-Sánchez et al., 2005 y b).....	25
Figura 2. Mapa de alturas de la plancha 136-III-C elaborada a partir del modelo de elevación digital (DEM). Se observan claramente características topográficas de la zona. ....	27
Figura 3. Modelo de elevación digital en perspectiva correspondiente a la zona de estudio. ....	28
Figura 4. Representación de los Andes del Norte de Colombia y Venezuela. Se muestra el margen de subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana y se observan claramente las tres cordilleras de Colombia. El macizo de Santander se proyecta en un recuadro de color rojo con las letras SM, objeto estudio del presente trabajo. Imagen tomada y modificada de Van der Lelij, et al. (2016). ....	29
Figura 5. Afloramiento donde se reportan hacia el sur Filitas y al oeste Filitas con Magnetita, además en el contacto de estas dos litologías se reporta rocas hidrotermales de relleno, brazo izquierdo indicando la posición del norte (N). Estación: JAD – 16. Coordenadas: X = 1' 204.436, Y = 1' 132.106, Z= 2504 [m], ± 3 [m]. ....	37
Figura 6. Filita típica a escala mesoscópica perteneciente al sector del Alto de los Cacaos con brillo sedoso, fracturas rellenas de material arcilloso, presenta claramente foliación metamórfica. ....	38

- Figura 7. Filita con porfidoblastos de magnetita producidos por un evento hidrotermal sobreimpuesto a la foliación metamórfica regional. En la imagen derecha se ve la típica forma piramidal de la magnetita. .... 38
- Figura 8. Muestra MB-01-06-02 que corresponde a una metarenisca con estructura bandeada en donde alternan bandas rojizas con bandas blancas y grises. Unidad de las metasedimentitas de los Cacaos de edad Ediacarian. Coordenadas: N 1.204.134; E 1.132..... 39
- Figura 9. Afloramiento en un drenaje de la Quebrada de Panamá en el que se reportan rocas psefíticas con metamorfismo de cizallamiento, este afloramiento corresponde a la parte basal de la Formación Floresta Metamorfoseada (sensu Ward, 1973) (Brazo derecho indicando el Norte). Estación: JAD – 34. Coordenadas: X= 1'200.914 Y= 1'132.297 Z= 2167 [m] ± 14 [m]..... 40
- Figura 10. Afloramiento con mayor detalle de la figura anterior (parte puntiaguda del martillo indicando el N). Se observa con mayor claridad los planos de anisotropía desarrollados durante el metamorfismo de cizallamiento..... 40
- Figura 11. Detalle a escala mesoscópica de los planos de foliación milonítica del metaconglomerado correspondiente a la muestra JAD-34-1 de la anterior fotografía. .... 41
- Figura 12. Afloramiento del sector de la Virgen del Alto de los Cacaos en donde se presentan dos litologías, una de ellas corresponde a un cuerpo ígneo con textura porfirítica de color gris blancuzco y otro cuerpo de forma triangular metamórfico cuya composición y estructura corresponde a la de una filita clorítica de color negro y pardo. Coordenadas: N 1.204.867; E 1.131.967; Z=2.564. Margen derecho de la carretera, vía Mogotes-San Joaquín. .... 42
- Figura 13. Tabla de Paragénesis minerales, mostrando los diferentes eventos que afectaron dichos minerales desde el momento de su depositación. .... 53

Figura 14: En la imagen de la izquierda, la zona de irradiación de la muestra se encuentra en el círculo demarcado con color rojo. La imagen de la derecha corresponde a la ampliación de la zona irradiada.....	54
Figura 15. En la imagen de la izquierda, la zona de irradiación de la muestra se encuentra en el círculo demarcado con color rojo. La imagen de la derecha corresponde a la ampliación de la zona irradiada.....	55
Figura 16. En la imagen de la izquierda, la zona de irradiación de la muestra se encuentra en el círculo demarcado con color rojo. La imagen de la derecha corresponde a la ampliación de la zona irradiada.....	56
Figura 17. En la imagen de la izquierda, la zona de irradiación de la muestra se encuentra en el círculo demarcado con color rojo. La imagen de la derecha corresponde a la ampliación de la zona irradiada.....	57
Figura 18. Diagrama de elementos, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS....	60
Figura 19. Morfología mineral de la sección estudiada, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS.....	61
Figura 20. Diagrama de elementos, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS....	61
Figura 21. Morfología mineral de la sección estudiada, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS.....	62
Figura 22. Diagrama de elementos, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS....	63
Figura 23. Morfología mineral de la sección estudiada, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS.....	64
Figura 24. Diagrama de elementos, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS....	64

Figura 25. Morfología mineral de la sección estudiada, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS.....	66
Figura 26. Diagrama de elementos, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS....	66
Figura 27. Morfología mineral de la sección estudiada, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS.....	67
Figura 28. Diagrama de elementos, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS....	68
Figura 29. Morfología mineral de la sección estudiada, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS.....	69
Figura 30. Morfología mineral de la sección estudiada, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS.....	69
Figura 31. Grafica que relaciona la edad en Ma vs análisis realizados, a partir de geocronología U-Pb en circones detriticos presentes en la muestra MB-01-06-02.....	73
Figura 32. Diagrama concordia U-Pb, el cual se evidencia las diferentes edades de los circones detriticos analizados.....	73
Figura 33. Esquema Geológico del Municipio de San Joaquín, Santander (Autores).....	75
Figura 34. Columna estratigráfica generalizada de los eventos evolutivos y geológicos en la franja Cacaos-San Joaquín (tomado y modificado de Mantilla et al, 2016b).....	91
Figura 35. Modelo que explica la generación de venas hidrotermales con estructura "Sheet veins" mediante el mecanismo de deformación "crack-seal". El clivaje preexistente es perpendicular al $\sigma_1$ y paralelo a $\sigma_3$ . (1) Posteriormente ocurre un esfuerzo de tensión que provoca la apertura de la grieta. (2) Luego esta es rellenada por un material hidrotermal, que en este caso corresponde a la sericita 1, la cual tiene una orientación discordante con la dirección de esta grieta. (3,4 y 5). Este proceso se puede repetir conforme la apertura se sigue abriendo y continúa rellenándose,	

dando lugar a venas con mayor espesor a medida que avanza el proceso. Imagen Tomada de Cox et al, (1986) en Pirajno, (2009). ..... 93

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data (ICDD) en el espécimen seleccionado de la muestra con código interno E3GN_Zona blanca. ....	55
Tabla 2. Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data (ICDD) en el espécimen seleccionado de la muestra con código interno E3GN_Zona rosada. ....	56
Tabla 3. Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data (ICDD) en el espécimen seleccionado de la muestra con código interno E3GO_Zona clara. ....	56
Tabla 4. Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data (ICDD) en el espécimen seleccionado de la muestra con código interno E3GO_Zona oscura. ....	57
Tabla 5. Tabla asociaciones minerales posibles identificadas mediante la microscopia electrónica de barrido.....	59
Tabla 6. Tabla de Wt% y At% para el Diagrama elemental, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS.....	60
Tabla 7. Tabla de Wt% y At% para el Diagrama elemental, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS.....	62

Tabla 8. Tabla de Wt% y At% para el Diagrama elemental, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS.....	63
Tabla 9. Tabla de Wt% y At% para el Diagrama elemental, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS.....	65
Tabla 10. Tabla de Wt% y At% para el Diagrama elemental, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS.....	67
Tabla 11. Tabla de Wt% y At% para el Diagrama elemental, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS.....	68
Tabla 12. Tabla de Wt% y At% para el Diagrama elemental, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS.....	70
Tabla 13. Localización geográfica de la muestra MB-01-06-02, utilizada para datación U-Pb en circones detríticos. ....	72
Tabla 14 Tabla comparativa de los picos prominentes de las edades (Ma) U-Pb en circones detríticos para los paleosedimentos de las unidades metamórficas: Esquistos del Silgará (s.s), Esquistos de Chicamocha y Metasedimentitas de los Cacaos. ....	89

**Lista de Apéndices**

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Petrografía.....	102
Apéndice B. Difracción de rayos X (DRX) .....	146
Apéndice C. Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) .....	150
Apéndice D. Cronoestratigrafía .....	174

## Resumen

**Título:** Estudio mineralógico-petrográfico de las litologías basales de la formación floresta aflorantes en áreas del municipio de San Joaquín (departamento de Santander)\*

**Autores:** Andrés Buitrago Burgos  
Carlos Andrés Moreno Jiménez\*\*

**Palabras Clave:** Mineralogico, Petrografico, Litologias, San Joaquin. Floresta

La sucesión de metasedimentitas aflorante en el Macizo de Santander (Cordillera Oriental de Colombia) en la franja denominada Cacaos-San Joaquín está conformada por litologías fundamentalmente metapsamíticas y metapelíticas, localmente metasemipelíticas, las cuales alcanzaron el pico de metamorfismo en la facies Esquistos Verdes (zona de la Biotita). Geocronología U-Pb en circones detríticos de una metarenisca (litología predominante) arrojó edades entre  $547,7 \pm 96,5$  Ma y  $1697,1 \pm 18,3$  Ma, lo que permite determinar que la máxima edad estratigráfica de los paleosedimentos del protolito de esta unidad es Ediacarian (finales del Neoproterozoico). Por otra parte, hacia el sector SW de la zona de estudio, ocurre una intercalación de rocas siliciclásticas principalmente conglomeráticas y arenosas, localmente limolíticas y arcillosas que evidencian una afectación por deformación de cizalla dando lugar a la formación de protomilonitas y filonitas. Esta alternancia de rocas se correlaciona litológicamente con la Formación Tibet reportada para el Macizo de Floresta o con el miembro D1 del Devónico Temprano que ocurre en la Franja Mogotes-Cerro de los Cacaos.

Las denominaciones Formación Floresta Metamorfoseada, Formación Floresta y Formación Mogotes deben ser remplazadas por el nombre informal Unidad de Metasedimentitas de los Cacaos (transitorio).

El análisis paragenético llevado a cabo mediante las siguientes técnicas: Petrografía, Mineralogía, Difracción de Rayos X (DRX) y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) permitió identificar dos eventos hidrotermales (EH1 y EH2). El primero de ellos precipitó Magnetita, Biotita 2, Clorita 2, Sericita 1 y Cuarzo durante la apertura de las grietas (crack-seal) (EH1). Posteriormente, sucedió un evento de cizalla (slip) relacionado con el movimiento dextral de la Falla Panamá conforme se precipitaba Sericita 2 y Cuarzo (EH2). Posiblemente la fuente de dichos fluidos hidrotermales (o magmático-hidrotermales) sean los cuerpos porfiríticos tardíos que cortan el Batolito de Mogotes, los cuales se sospecha que son del Jurásico Temprano.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímica. Escuela de Geología. Director: Luis Carlos Mantilla Figueroa

## Abstract

**Title:** Mineralogical-petrographic study of the basal lithologies of the forest formation outcropping in areas of the municipality of San Joaquín (Department of Santander)\*

**Authors:** Andrés Buitrago Burgos  
Carlos Andrés Moreno Jiménez\*\*

**Keywords:** Mineralogical, Petrographic, Lithologies, San Joaquín. Floresta

The succession of metasediments outcropping in the Santander Massif (Eastern Cordillera of Colombia) in the area known as Cacaos-San Joaquín is made up of metapsamitic and metapelitic lithologies, locally metasedimentary, which reached the peak of metamorphism in the Esquistos Verdes facies ( of Biotite). U-Pb geochronology in detrital zircons from a metarenisca (predominant lithology) showed ages between  $547.7 \pm 96.5$  Ma and  $1697.1 \pm 18.3$  Ma, which allows determining that the maximum stratigraphic age of the paleo-sediments of the protolito of this unit is Ediacarian (late Neoproterozoic). On the other hand, towards the SW sector of the study area, there is an intercalation of siliciclastic rocks mainly conglomeratic and sandy, locally limolytic and argillaceous which show an affectation due to shear deformation, giving rise to the formation of protomylonites and phylonites. This alternation of rocks is correlated lithologically with the Tibet Formation reported for the Macizo de Floresta or with the D1 member of the Early Devonian that occurs in the Mogotes-Cerro de los Cacaos Strip.

The denominations Formata Floresta Metamorfoseada, Floresta Formation and Mogotes Formation must be replaced by the informal name Unit of Metasedimentitas de los Cacaos (transitory).

The paragenetic analysis carried out by the following techniques: Petrography, Mineralogy, X-ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM) allowed the identification of two hydrothermal events (EH1 and EH2). The first of them precipitated Magnetite, Biotite 2, Chlorite 2, Sericite 1 and Quartz during the opening of the cracks (crack-seal) (EH1). Subsequently, a shear event (slip) related to the hatch movement of the Panama Falla occurred as Sericite 2 and Cuarzo (EH2) precipitated. Possibly the source of said hydrothermal (or magmatic-hydrothermal) fluids are the late porphyritic bodies that cut the Batolito de Mogotes, which are suspected to be from the Early Jurassic.

---

\* Project of grade

\*\* Faculty of Physico-chemical Engineering. School of Geology. Director: Luis Carlos Mantilla Figueroa

## **Introducción**

Este proyecto tiene como finalidad caracterizar desde un punto de vista mineralógico y petrográfico las litologías basales pertenecientes a la Formación Floresta, específicamente las que afloran en las zonas circundantes al Municipio de San Joaquín, esto es, con el propósito de diferenciar los contextos paragenéticos. Igualmente se busca establecer la distribución espacial de las diferentes variaciones litológicas con fines de agruparlas en miembros. Todo lo anterior se realiza con el objeto de proponer un modelo de evolución geológica de las rocas de interés.

Para llevar a cabo este proyecto es necesario realizar técnicas y métodos para el estudio de la evolución geológica del área, tales análisis son los siguientes: (1) microscopía de luz transmitida y (2) microscopía electrónica de barrido (MEB).

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Realizar un estudio mineralógico-petrográfico de las litologías basales de la Formación Floresta aflorantes en áreas del Municipio de San Joaquín (Departamento de Santander), para fines de establecer su evolución tectono-termal.

## 1.2 Objetivos Específicos

- Realizar una búsqueda y análisis de la información geológica existente, con el propósito de contextualizar el área de estudio desde el punto de vista de su geología regional y local.
- Desarrollar trabajos geológicos de campo, con fines de muestreo de rocas y para establecer la distribución espacial de las litologías basales de la Formación Floresta.
- Realizar análisis de microscopía óptica y electrónica en las muestras de interés de la sección basal de la Formación Floresta, con el objeto de establecer sus diferentes contextos paragenéticos (relacionados con eventos tectono-termales y/o hidrotermales).
- Proponer un modelo geológico de las litologías de interés en el marco de los nuevos datos aportados.

## 2. Descripción general del proyecto

### 2.1 Localización

La zona de trabajo está situada en los alrededores del Municipio de San Joaquín (Departamento de Santander), específicamente delimitada por las siguientes coordenadas planas:

X= 1'199.500      X=1'206.000

Y= 1'131.000      Y=1'135.000

Estas coordenadas abarcan una extensión superficial de 28 Km<sup>2</sup> de la plancha 136-III-C, y 2 Km<sup>2</sup> de la plancha 152-I-A del Instituto geográfico Agustín Codazzi, para un total de 30 Km<sup>2</sup>, comprendiendo las siguientes unidades geológicas: Formación Silgará (Pzs), Metasedimentitas de Guaca (Pzmg), Cuarzomonzonita rosada y granito gris de los Batolitos de Ríonegro y Mogotes (Jc) y un depósito cuaternario (Qal) del mapa geológico de Santander (Royero y Vargas, 1999)

El área de estudio se encuentra localizada en el flanco occidental de la Cordillera Oriental (CO), en el Macizo de Santander (MS), cerca al límite entre los departamentos de Santander y Boyacá. La zona se extiende desde el Alto de los Cacaos a aproximadamente 6 km al norte del Municipio de San Joaquín hasta proximidades de la Quebrada Panamá, dándole mayor importancia a los afloramientos correspondientes a la Formación Floresta en su parte basal, en el carretable que comunica el Alto de los Cacaos con el Municipio de San Joaquín, junto con los afloramientos de la quebrada Panamá y algunos de sus tributarios (*Fig. 1*).

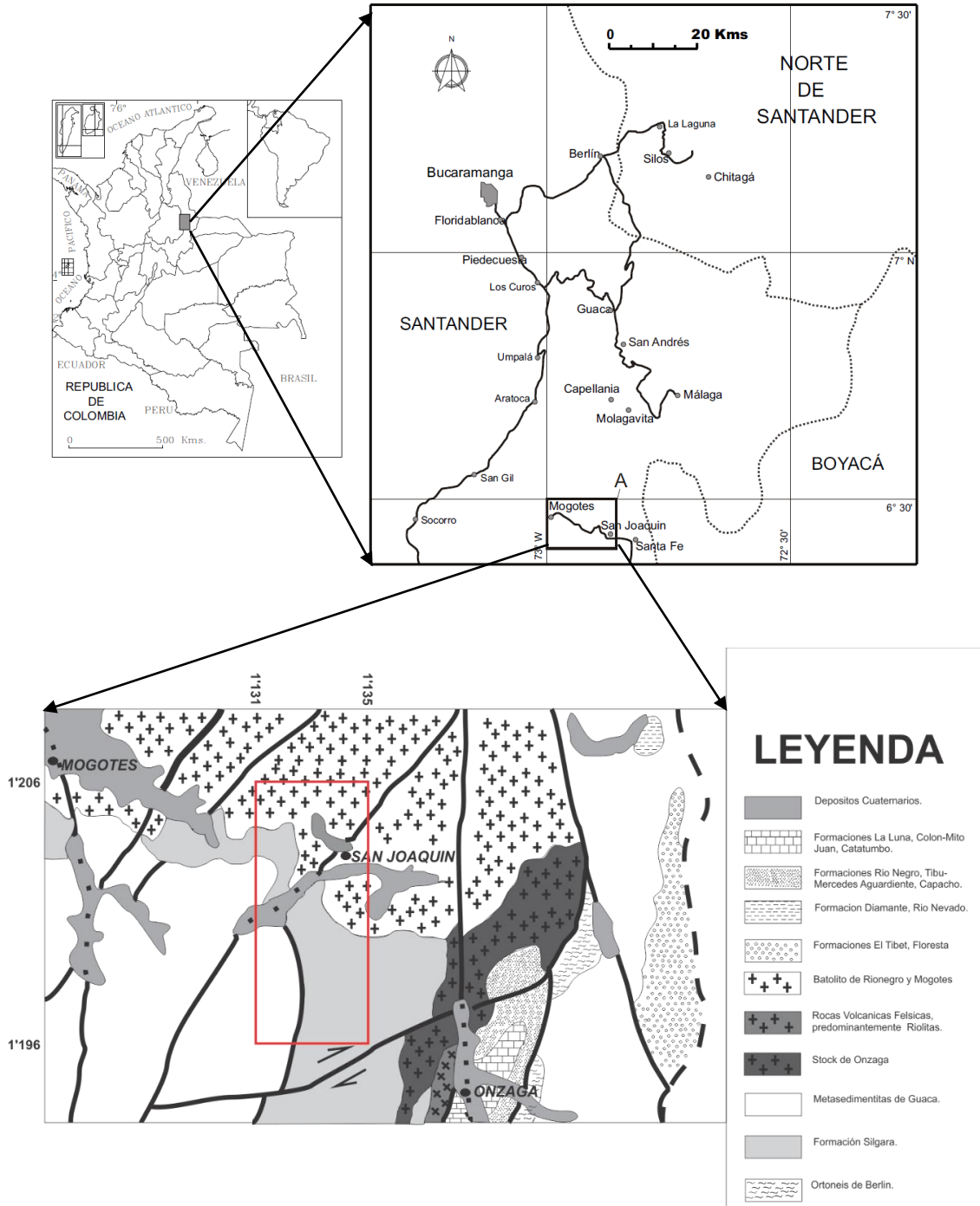


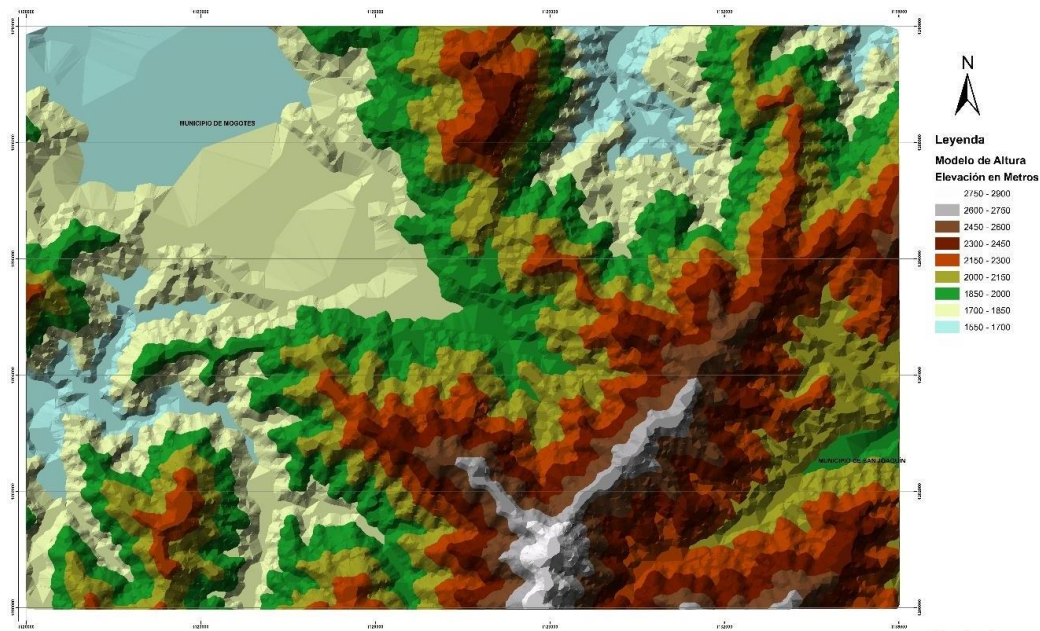
Figura 1. Mapas de localización geográfica y geológica de San Joaquín y sus áreas aledañas. a) Tomado y modificado de Moreno-Sánchez et al., 2005 y b) Nota: modificado de Royero y Vargas, 1999 (INGEOMINAS).

### 3. Marco Geológico

#### 3.1 Fisiografía

**3.1.1 Municipio de San Joaquín** El municipio limita con los municipios vecinos de la siguiente manera: al oriente con Onzaga, al occidente con Mogotes, al norte con Molagavita y al sur con el municipio de Onzaga nuevamente. El territorio es montañoso y su relieve corresponde a la Cordillera Oriental de los Andes, destacándose entre los accidentes orográficos, las cuchillas de Bandarillas y San Antonio y los cerros Morro Pardo y Negro. Sus tierras se distribuyen en los pisos térmicos medios en 85 km. cuadrados y frío 107 km<sup>2</sup>. Su vegetación es escasa y muy erosionada. La hidrografía del municipio de San Joaquín pertenece a la hoya hidrográfica de la cuenca del río Chicamocha, y se encuentra enmarcado en la subcuenca del río Onzaga donde lo cubre en su totalidad, en el extremo norte del municipio en límites con el río Chicamocha, una pequeña parte del territorio pertenece a la subcuenca del Chicamocha medio, ecosistema árido. La microcuenca Panamá y río San Joaquín están representados por un valle angosto y estrecho que va a unirse con el río Onzaga, conforman la parte alta y media del municipio y se consideran altamente susceptibles.

### 3.3.2 Vías de acceso al Municipio de San Joaquín



*Figura 2.* Mapa de alturas de la plancha 136-III-C elaborada a partir del modelo de elevación digital (DEM). Se observan claramente características topográficas de la zona.

Esta localidad pertenece a la provincia Guantánamo se halla ubicada a 156 kms de Bucaramanga capital Santandereana, a 62 kms de San Gil capital de la provincia, a 28 kms de Mogotes y a 18 de Onzaga, su vía de acceso se encuentra destapada.

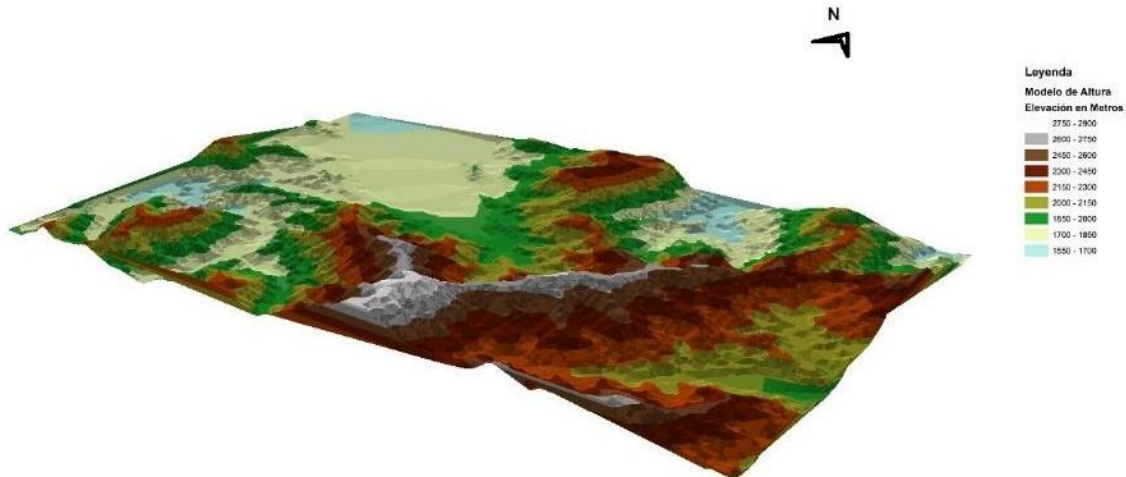


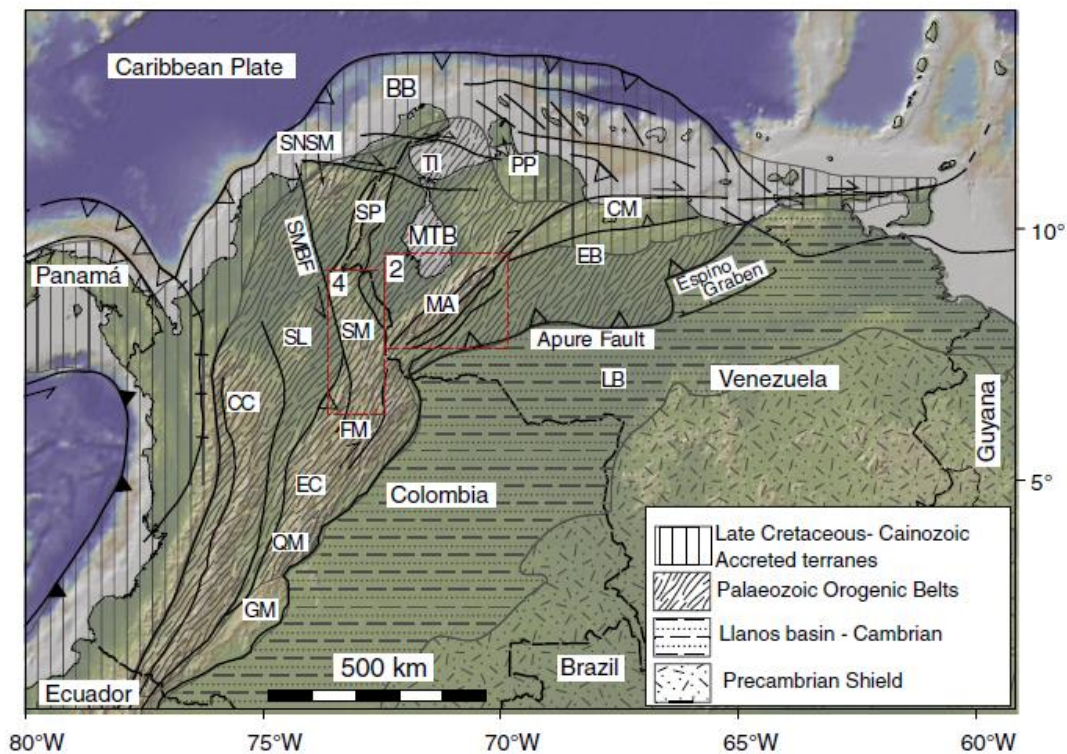
Figura 3. Modelo de elevación digital en perspectiva correspondiente a la zona de estudio.

#### 4. Antecedentes y Marco Geológico

Las rocas metamórficas del Macizo de Santander (MS), están representadas por las siguientes unidades geológicas: Complejo de Bucaramanga, Esquistos del Silgará (*s.s.*), Esquistos del Chicamocha, Ortogneis de Berlín, Filitas de San Pedro, Metasedimentitas de Guaca, Metasedimentitas de la Quebrada La Virgen, Formación Floresta Metamorfoseada y Formación Mogotes (Ward *et al.*, 1973; Clavijo, 1994; Restrepo-Pace, 1995; Royero & Clavijo, 2001; Moreno-Sánchez *et al.*, 2005; Mantilla *et al.*, 2016a y b; entre otros), que constituyen el basamento cristalino del MS.

El área de estudio se encuentra ubicada en el Sistema Andino de Colombia (SAC) que al igual que los Andes de Mérida y Ecuador conforman el denominado Bloque Andino (Pennington, 1981) o Andes del Norte (Gansser, *et al.*, 1973 y; Alemán y Ramos, 2000), dentro de la Cordillera

Oriental (CO), específicamente en el Macizo de Santander (MS), que se sitúa en el Terreno Chibcha (Toussaint y Restrepo, 1976), o también llamada Provincia Grenvilliana (Ingeominas, 2007) (Fig. 2)



*Figura 4.* Representación de los Andes del Norte de Colombia y Venezuela. Se muestra el margen de subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana y se observan claramente las tres cordilleras de Colombia. El macizo de Santander se proyecta en un recuadro de color rojo con las letras SM, objeto estudio del presente trabajo. Imagen tomada y modificada de Van der Lelij, et al. (2016).

A continuación, se da una breve reseña de las unidades relacionadas con la unidad objeto de estudio del presente trabajo en el área referenciada previamente.

En cuanto a las litologías ígneas de la zona, ocurren las rocas pertenecientes al Batolito de Mogotes, que hacen parte del denominado Grupo Plutónico de Santander. Este grupo, se puede

dividir composicionalmente en dos sub-grupos: 1) Granito rosado y cuarzomonzonita y 2) cuarzomonzonita gris y granodiorita, comprendiendo edades del Jurásico y Jura-Triásico. Composicionalmente el Batolito de Mogotes, está compuesto principalmente de cuarzomonzonita biotítica, y granito, predominantemente equigranular de grano medio, la cuarzomonzonita de Mogotes hace parte de los granitos rosados. Una parte de este batolito se halla cerca del municipio de San Joaquín; en dirección a Onzaga, la roca es una granodiorita porfirítica y granodiorita. Cerca de Mogotes, afloran diques de riolita, riolita porfirítica, aplita, cuarzolatita y lamprófiro. Según sus semejanzas litológicas, con el Granito de Pescadero, la edad de la cuarzomonzonita del Batolito de Mogotes se correlaciona con la edad radiométrica K/Ar, que dio en el límite Triásico Tardío-Jurásico Temprano para el Granito de Pescadero. Asimismo, la granodiorita es de la misma edad porque es una facies ígnea del batolito. Por último, en la franja Mogotes-San Joaquín, el batolito intruye la Formación Silgará (*s.l*) (Ward *et al.*, 1973).

El término Formación Floresta Metamorfoseada inicialmente fue dado por Ward, *et al.* (1973) a una secuencia de cerca de 750 a 1000 m. de espesor (R. Carpa comunicación escrita 1968; en Ward *et al.*, 1973), constituida por rocas metamórficas de bajo grado, correspondientes a pizarras argilitas a filitas principalmente. Esta formación se encuentra localizada hacia el sector suroccidental del MS, en la franja de metasedimentitas Mogotes-San Joaquín, en la parte centro occidental del Cuadrángulo I-13 y se extiende hacia el sur entrando en el Cuadrángulo I-12. Su límite oriental lo constituye el Batolito de Mogotes y la Formación Silgará (*s.l.*), hacia el occidente la Formación Floresta subyace discordantemente unidades del Jurásico y Cretácico (Vargas *et al.*, 1981); y es la unidad que comprende la zona de interés del presente estudio. Además, aflora en ciertos sectores como en el Municipio de Floresta en Boyacá, al sur de Berlín, sectores orientales del batolito de Santa Barbará, sureste de Silos, norte de Mutiscua, entre otros (fuera del alcance

del presente estudio). En la faja Covarachía-Silos la Formación Floresta se encuentra bien expuesta, sin embargo, la sección completa no se ha observado en ninguna parte (Ward *et al.*, 1973)

Para la edad del protolito de la Formación Floresta Metamorfoseada, algunos autores reportan edades del Devónico (Ward *et al.*, 1973) en base a Briozoarios registrados por Diana Gutiérrez en el Municipio de Duitama, a edades del Devónico-Pérmico (Moreno-Sánchez *et al.*, 2005) en braquiópodos. Según Moreno-Sánchez (2005) la Formación Floresta Metamorfoseada no corresponde composicionalmente a la Formación Floresta sin metamorfosear, porque aunque se registren niveles calcáreos en la Formación Floresta, estos están muy restringidos a capas centimétricas hacia el tope de las secuencias lodolíticas inferiores de la misma, teniendo en cuenta que la Formación Floresta Metamorfoseada se caracteriza por poseer una importante fuente sedimentaria sílico-calcárea, evidenciada por la presencia de mármol y metacaliza con fósiles de tipo Braquiópodos, del género *Productus sp.*, característicos del lapso Devónico-Pérmico. Así este autor por un lado descarta que la máxima edad de depositación del protolito sea Pre-Devónica, y, por otra parte, señala el cambio de denominación de Formación Floresta Metamorfoseada a Formación Mogotes en base a lo anteriormente referido.

En el oeste de San Andrés, Ward *et al.* (1973) reporta conglomerado y cuarcita, y sugiere que podrían ser basales, subiendo estratigráficamente encuentra metaarenisca gris verdosa a ante, metalimolitas y filitas limosas, localmente reporta argilita gris púrpura. Por otra parte, presenta ocurrencias de mármol gris claro a gris oscuro cerca de Molagavita, semejante al de Mogotes, unos pocos kilómetros al norte de Guaca, al norte del Portillo, en Silos y cerca de Mutiscua.

El contacto con la unidad infrayacente, la Formación Silgará (*s.l.*), ha sido documentado en algunos sitios. No obstante, en la mayor parte donde aflora la unidad es confuso, específicamente

en el área desde el norte de Guaca a Silos. En áreas circundantes del Portillo, rocas metasedimentarias parecen interdigitarse con la formación Diamante, del Pérmico (Ward *et al.*, 1973).

Según Ward *et al.*, (1973) la Formación Floresta Metamorfoseada parece alcanzar condiciones de P-T correspondientes a la facies Esquistos Verdes, por la presencia de porfidoblastos de Granate, Cloritoide y Biotita, específicamente en el área al sur de Berlín. Sin embargo, este autor reconoce que posiblemente estas litologías metamórficas pertenezcan a la Formación Silgara (*s.l.*). Por otra parte, Vargas *et al.*, (1981) añade indicando que las asociaciones minerales corresponden a la parte baja de la facies Esquistos Verdes, sub-facies muscovita-clorita en el marco de una serie de facies metamórfica de tipo Abukuma. El tipo de metamorfismo relacionado con la generación de estas rocas metamórficas es considerado Dinamo-Térmico, de extensión regional, y a diferencia del Neis de Bucaramanga y ciertas áreas de la Formación Silgará (*s.l.*) no presenta una fase retrógrada de metamorfismo (Ward, *et al.*, 1973).

Finalmente, algunos autores han sugerido que la Formación Floresta Metamorfoseada podría correlacionarse con las Metasedimentitas de Guaca del Silúrico, sustentado por la presunción de que las rocas metamórficas identificadas en la Cordillera Oriental y la Serranía de Períja infrayacían secuencias sedimentarias de edad Emsiana (Forero 1990 y 1991 en Moreno-Sánchez *et al.*, 2005). Por otra parte, la Formación Floresta Metamorfoseada (en términos de Ward *et al.* 1973) o Formación Mogotes (en términos de Moreno-Sánchez *et al.*, 2005) evidencia que una fase metamórfica del Paleozoico tardío también afectó al Macizo de Santander (Moreno-Sánchez *et al.*, 2005).

## 5. Metodología

Para el desarrollo de este proyecto, se tuvieron en cuenta parámetros bastante específicos, sobre los factores clave de su resultado, como son su análisis macro y microscópico, además de acompañarlos de análisis posteriores, desarrollados por diferentes laboratoristas experimentados, con el propósito de identificar las litologías aflorantes en la franja Mogotes-San Joaquín, específicamente de los miembros que se observan desde el Alto de los Cacaos, hasta el municipio de San Joaquín.

Primeramente, se buscó la información pertinente, acerca de la Formación Floresta Metamorfoseada, de diferentes autores, para conocer su marco geológico regional y local, anexando información de las unidades relacionadas directamente, tanto en nuestra zona de estudio, como en los diferentes sectores donde se ha reportado con anterioridad tanto la Formación Floresta Metamorfoseada, como la Formación Floresta.

Posterior a la contextualización de nuestro primer objetivo, se realizó una salida de campo, con el fin de recolectar datos y muestras de la zona, para determinar las litologías aflorantes mediante descripciones macroscópicas tanto en el terreno, como en laboratorio.

El análisis petrográfico se desarrolló durante varios meses, utilizando un microscopio de luz transmitida marca NIKON ECLIPSE E200 50/POL, con pantalla y cámara integrada, ubicado en el laboratorio de microscopia óptica de la Escuela de Geología en la Universidad Industrial de Santander, teniendo en cuenta la complejidad y detalle que se requerían para definir este tipo de litologías y su historia paragenética.

La difracción de rayos X realizada en un difractómetro de polvo marca BRUJER modelo D8 DISCOVER con Geometría DaVinci y la Microscopia Electrónica de Barrido, fueron desarrolladas en el Parque Tecnológico de Guatiguara de la Universidad Industrial de Santander, por sus respectivos laboratoristas, que ayudó para diferenciar los minerales difíciles de reconocer mediante los métodos de análisis desarrollados anteriormente. Los análisis cualitativos de las fases presentes en los especímenes seleccionados de las muestras se realizaron mediante la comparación de los perfiles observados con los perfiles de difracción reportados en la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data (ICDD).

La edad geológica de depositación de las litologías objeto de estudio, ha sido una arista de discusión de varios artículos, y se ha desarrollado anteriormente, mediante bioestratigrafía; por tanto, para este trabajo, decidimos elaborar un método diferente de correlación cronoestratigráfica, mediante análisis de isótopos inestables de K-Ar en circones detríticos, extraídos en el laboratorio ZirChron LLC (Tucson, AZ) y con su posterior procesamiento.

Para la realización del esquema geológico, se utilizó el programa ArcGis 10.2, con el fin de georreferenciar con exactitud las unidades y sus límites. Mediante este software e imágenes satelitales, se reconocieron las estructuras y fallas más importantes que afectan la zona de estudio, y se delimitaron las unidades.

## 6. Resultados y Discusión

### 6.1 Relaciones de campo y descripción macroscópica

El trabajo de campo es importante para establecer la distribución espacial de las masas rocosas y conocer las relaciones entre ellas. Básicamente se realizaron dos recorridos en los que se hizo un muestreo sistemático de los litotipos y se tomaron fotos de los afloramientos. El primer recorrido comprende la transecta que va por la carretera sin pavimentar desde el sector del Alto de los Cacaos hasta el Municipio de San Joaquín y el segundo recorrido comprende las áreas aledañas al Municipio de San Joaquín, principalmente la Quebrada Panamá.

En el primer recorrido se observaron rocas metamórficas e ígneas. Las rocas metamórficas comprenden principalmente una secuencia de metareniscas intercaladas con filitas, localmente metalodolitas y metalimolitas. El dato estructural predominante es de  $147^{\circ}/35^{\circ}$  (dato en azimut de rumbo) correspondiente a la esquistosidad principal de las filitas y un dato de  $325^{\circ}/86^{\circ}$  correspondiente al bandeamiento de las metareniscas. Las rocas ígneas que se observaron comprenden tanto rocas plutónicas como rocas hipoabisales, entre las plutónicas tenemos granitoides (granodiorita/cuarzomonzonita), entre las hipoabisales tenemos riolitoides porfíricos y alaskitas.

Las rocas intrusivas cortan la secuencia de rocas metasedimentarias en el sector donde se encuentra una Virgen en el Alto de los Cacaos, y en otros lugares a medio camino entre San Joaquín y el Alto de los Cacaos a manera de diques.

En el segundo recorrido que se realizó por la Quebrada Panamá y sus tributarios, se observaron rocas tales como metareniscas, metaconglomerados y metalimolitas principalmente y filitas localmente. El dato estructural predominante para las metareniscas corresponde a  $351^{\circ}/70^{\circ}$  y para las metalimolitas es de  $161^{\circ}/71^{\circ}$ .

Una de las características que más llama la atención en campo entre los litotipos reportados para los dos recorridos, es que a medida que descendemos desde el Alto de los Cacaos hasta el Municipio de San Joaquín el espesor de las bandas de las metareniscas y metalimolitas disminuye, para las metareniscas del Alto de los Cacaos el espesor medio es de 5-6 mm y para las metareniscas y metalimolitas de la Quebrada Panamá es de 1-2 mm. Por lo tanto, esta disminución en el espesor de las bandas es una evidencia de que las rocas aflorantes en cercanías del Municipio de San Joaquín y específicamente las de la Quebrada Panamá estuvieron sometidas a la deformación por un metamorfismo de cizallamiento, en donde las rocas más deformadas comprenden metaconglomerados con una clara orientación preferencial mineral de los porfidoclastos de cuarzo y feldespatos potásicos.



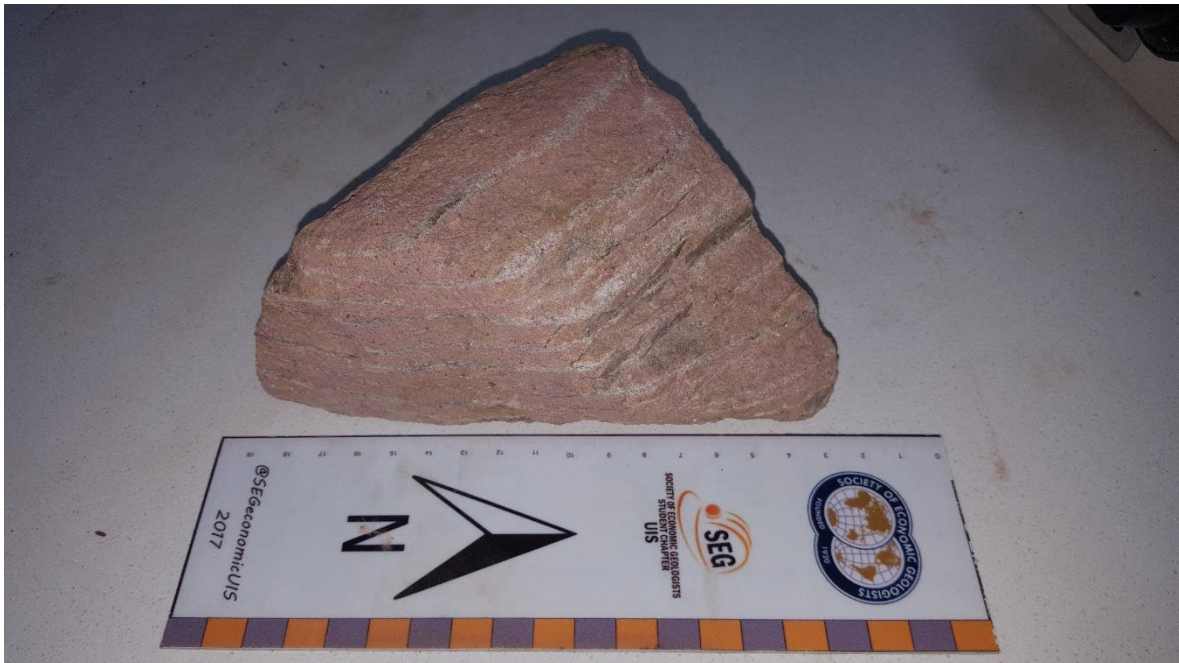
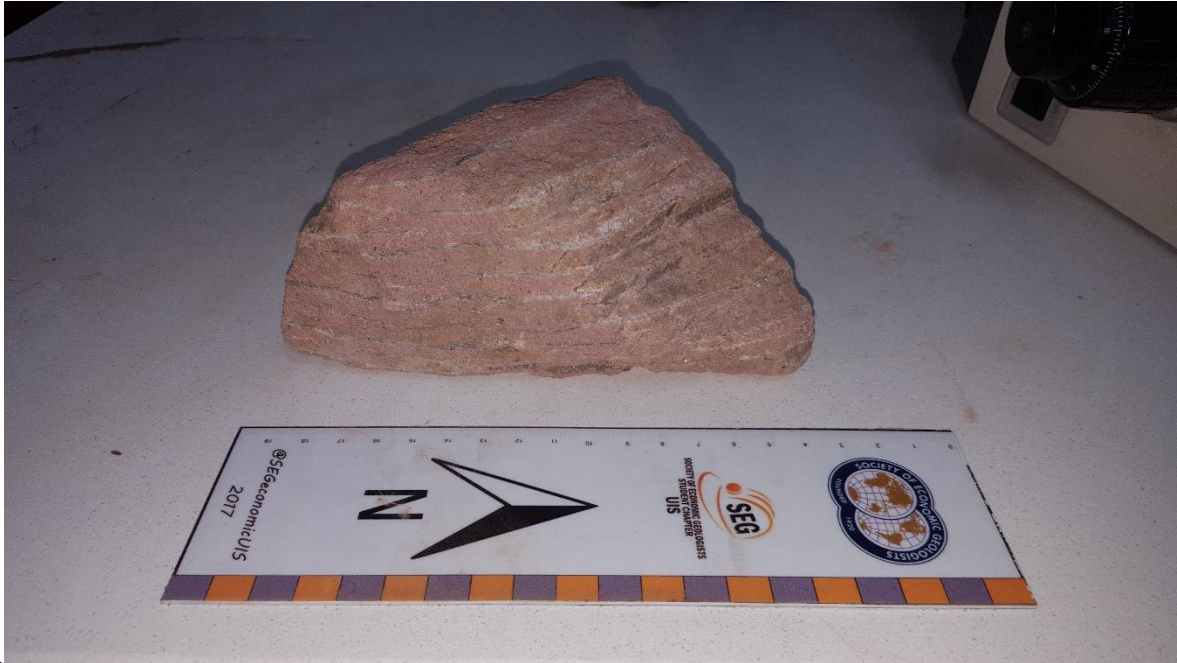
*Figura 5.* Afloramiento donde se reportan hacia el sur Filitas y al oeste Filitas con Magnetita, además en el contacto de estas dos litologías se reporta rocas hidrotermales de relleno, brazo izquierdo indicando la posición del norte (N). Estación: JAD – 16. Coordenadas: X = 1' 204.436, Y = 1' 132.106, Z= 2504 [m],  $\pm 3$  [m].



*Figura 6.* Filita típica a escala mesoscópica perteneciente al sector del Alto de los Cacaos con brillo sedoso, fracturas rellenas de material arcilloso, presenta claramente foliación metamórfica.



*Figura 7.* Filita con porfidoblastos de magnetita producidos por un evento hidrotermal sobreimpuesto a la foliación metamórfica regional. En la imagen derecha se ve la típica forma piramidal de la magnetita.



*Figura 8.* Muestra MB-01-06-02 que corresponde a una metarenisca con estructura bandeada en donde alternan bandas rojizas con bandas blancas y grises. Unidad de las metasedimentitas de los Cacaos de edad Ediacarian. Coordenadas: N 1.204.134; E 1.132.



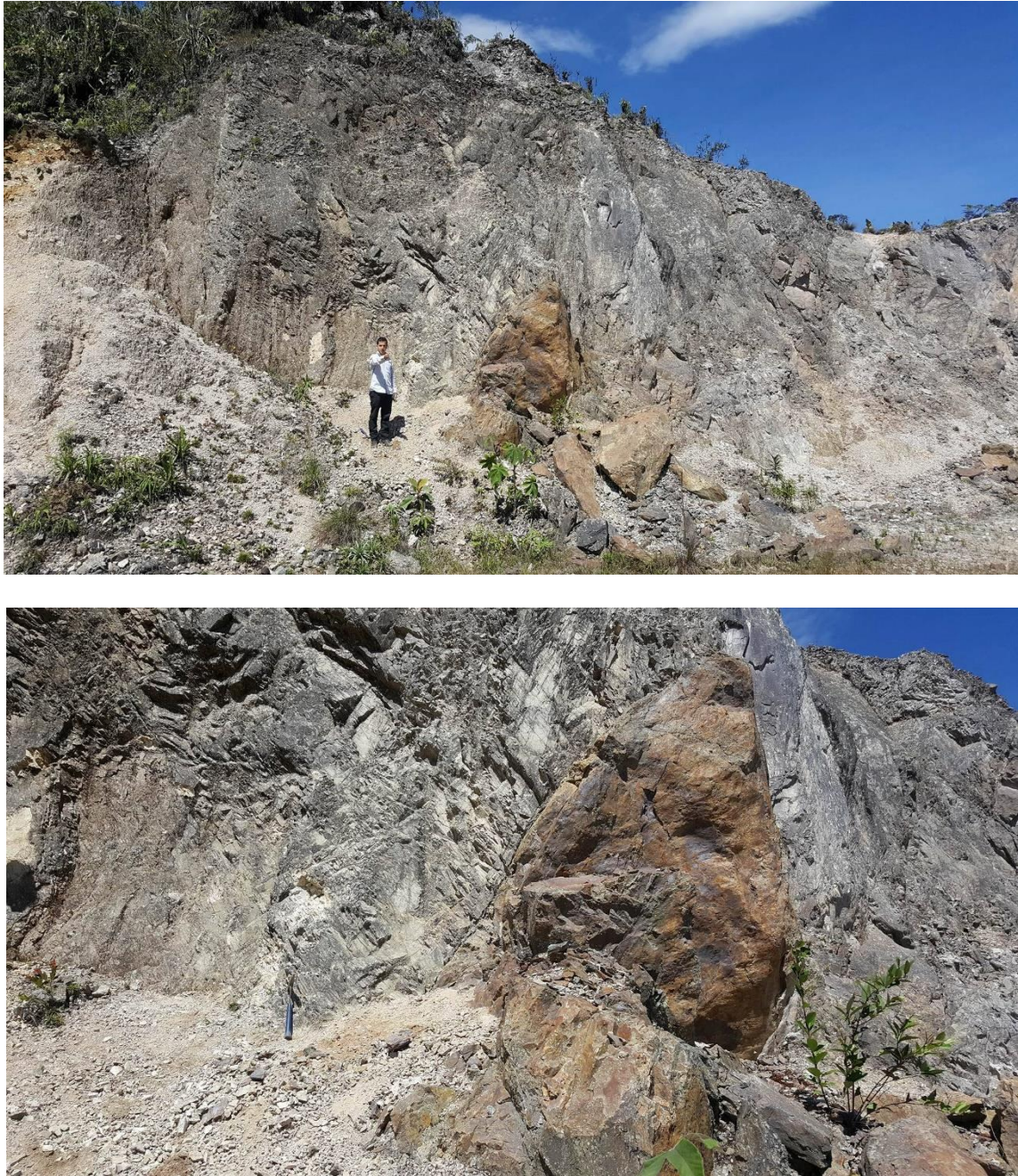
*Figura 9.* Afloramiento en un drenaje de la Quebrada de Panamá en el que se reportan rocas psefíticas con metamorfismo de cizallamiento, este afloramiento corresponde a la parte basal de la Formación Floresta Metamorfoseada (sensu Ward, 1973) (Brazo derecho indicando el Norte). Estación: JAD – 34. Coordenadas: X= 1'200.914 Y= 1'132.297 Z= 2167 [m] ± 14 [m].



*Figura 10.* Afloramiento con mayor detalle de la figura anterior (parte puntiaguda del martillo indicando el N). Se observa con mayor claridad los planos de anisotropía desarrollados durante el metamorfismo de cizallamiento.



*Figura 11.* Detalle a escala mesoscópica de los planos de foliación milonítica del metaconglomerado correspondiente a la muestra JAD-34-1 de la anterior fotografía.



*Figura 12.* Afloramiento del sector de la Virgen del Alto de los Cacaos en donde se presentan dos litologías, una de ellas corresponde a un cuerpo ígneo con textura porfirítica de color gris blancuzco y otro cuerpo de forma triangular metamórfico cuya composición y estructura corresponde a la de una filita clorítica de color negro y pardo. Coordenadas: N 1.204.867; E 1.131.967; Z=2.564. Margen derecho de la carretera, vía Mogotes-San Joaquín.

### **Descripción de muestras de mano**

#### **JAD-19-01**

Roca metasedimentaria de color gris verdoso, con brillo sedoso, con un grado de compactación alto y alta fisilidad, con estructura esquistosa y moteada. Se observa una matriz de filosilicatos de tamaño de grano fino a muy fino, envolviendo porfidoblastos de magnetita con tamaño de grano medio a fino. La muestra se encuentra levemente tectonizada, con algunas fracturas. La clasificación corresponde a una **Filita Magnetítica**.

#### **JAD-29-1**

Roca metasedimentaria de color gris plateado verdoso, con brillo sedoso, con un grado de compactación alto y alta fisilidad, con estructura esquistosa muy desarrollada. En su mayoría la muestra presenta tamaños de grano fino a muy fino, y está conformada principalmente por filosilicatos (no se distingue ningún otro mineral al ojo desnudo). La clasificación corresponde a una **Filita**.

#### **MB-02-01-01**

Roca metasedimentaria de color pardo claro y sectores grises, con brillo mate, el grado de compactación es moderado, cohesiva, heterogénea. Presenta estructura bandeada, en la que hay una alternancia de bandas oscuras de filosilicatos con bandas claras de cuarzo, muscovita y feldespatos principalmente, estas últimas predominan y se observan tamaños de grano fino a muy fino (de acuerdo a la SCMR) para las bandas oscuras y tamaño medio a fino para las bandas más claras. Además, se observa una lente de aproximadamente 2 mm de espesor conformado por arcillas. La clasificación de campo corresponde a una **Metarenisca**.

**JAD-16-02**

Roca metasedimentaria de color gris y pardo por alteración supérgena, con brillo sedoso, grado de compactación alto, cohesiva, homogénea. Se observa estructura esquistosa predominante y estructura augen localmente. Composicionalmente se tiene una matriz de filosilicatos de tamaño fino a muy fino, envolviendo porfidoclastos de cuarzo de tamaño de grano grueso y microporfidoblastos de magnetita de tamaños de grano medio a fino. La muestra presenta leves fracturas, algunas que se desarrollan por los planos de esquistosidad. La clasificación corresponde a una **Filita Magnetítica**.

**GIV-39-1**

Roca metasedimentaria de color gris verdoso y patinas pardas por alteración supérgena, con brillo sedoso, grado de compactación alto, cohesiva, homogénea. Se observa estructura esquistosa que predomina por toda la muestra. Composicionalmente se tiene una matriz de filosilicatos con tamaños de grano fino a muy fino, envolviendo cristales de magnetita de tamaño fino. Algo singular, es que algunas magnetitas se encuentran alineadas con zonas de fractura de la roca y otras se encuentran diseminadas. La clasificación corresponde a una **Filita Magnetítica**.

**JAD-31-1**

Roca metasedimentaria de color gris verdosa y pardo a rojizo, estos últimos por alteración supérgena, con brillo mate a sedoso, grado de compactación alto, cohesiva, heterogénea. Se observa estructura esquistosa y estructura bandeada, conformada por bandas claras de mayor espesor (3-4mm) y bandas oscuras de menor espesor (1mm), que llegan a oxidarse en algunos sectores. Estas bandas oscuras presentan una mineralogía de filosilicatos con tamaños de grano fino a muy fino, mientras las bandas claras presentan minerales como cuarzo y plagioclasas reconocibles a la vista y tamaños de grano fino y algunos porfidoclastos de cuarzo de tamaño

medio. La roca también presenta formación de magnetita diseminada por toda la muestra, con tamaños de grano medio a fino. Se aprecian también algunas fracturas en la muestra, pero no en gran cantidad. La clasificación corresponde a una **Metarenisca Magnetítica**.

#### **MB-01-05-01**

Roca metasedimentaria de color blanco a gris, y colores pardos a rojizos por alteración supergena, con brillo mate a nacarado, grado de compactación medio, cohesiva, heterogénea. Se observa estructura bandeada dominante y una pobre estructura esquistosa; la estructura bandeada se diferencia en bandas claras predominantes con mayor espesor (2-3mm) y bandas oscuras con un espesor menor (1mm). Las bandas claras, compuestas por cuarzo y feldespatos con tamaños de grano medio a fino, y las bandas oscuras compuestas por filosilicatos con tamaños de grano muy fino. La muestra evidencia planos de fracturas concordantes con la foliación y otras en distribución aleatoria. Recalable también que la roca se ve algo triturada, lo cual hace que no sean tan compacta. La clasificación corresponde a una **Metarenisca**.

#### **MB-01-07-01**

Roca meta-sedimentaria de color gris oscuro, y colores naranjas por alteración supérgena, con brillo sedoso, grado de compactación alto, cohesiva, homogénea. Se observa estructura esquistosa predominante en toda la muestra, aunque no tan desarrollada. El tamaño de grano predominante es fino a muy fino, y está compuesta principalmente por filosilicatos. El grado de fracturamiento de la roca no es muy alto, pero presenta algunas fracturas en disposición aleatoria. La clasificación corresponde a una **Filita**.

#### **MB-01-06-01**

Roca metasedimentaria de color gris plateado, con coloraciones naranjas y rojizas por alteración supérgena, con brillo sedoso debido al desarrollo de superficies filíticas ricas en filosilicatos,

además se observan otras superficies no filíticas ricas en cuarzo, grado de compactación alto, cohesiva, homogénea. Se observa estructura esquistosa fundamental en toda la roca, muy bien desarrollada. El tamaño de grano predominante es fino a muy fino. La clasificación corresponde a una **Filita**.

#### **MB-01-06-02**

Roca metasedimentaria constituida por bandas alternantes, unas de color rojo y otras de color gris a blanco, las bandas de color rojo están compuestas de óxidos de hierro, y las bandas de color gris a blanco constituidas por cuarzo y sericita. El grado de compactación es moderado, poco cohesiva, heterogénea. Se observa estructura bandeada. El tamaño de grano predominante es medio a grueso. La clasificación en campo es una Metarenisca (roja).

#### **JAD-10-1**

Roca metasedimentaria de color gris plateado, con coloraciones naranjas y rojizas por alteración supérgena, con un característico brillo sedoso debido al desarrollo de superficies filíticas ricas en filosilicatos, con la presencia de algunos clastos de cuarzo y plagioclasa de mayor tamaño que los de la matriz. La muestra no posee una esquistosidad bien orientada y continua como si lo tiene la MB-01-06-02, aunque la estructura esquistosa es la predominante. El tamaño de grano predominante es fino a muy fino. La clasificación corresponde a una **Filita**.

#### **JAD-10-4**

Roca metasedimentaria completamente alterada a colores naranjas, aunque se observan algunos relictos esquistosos de color gris plateado. La roca presenta una fuerte tendencia a romperse según superficies planas producto del buen desarrollo de la esquistosidad. La muestra posee un grado de compactación moderado, es relativamente cohesiva, y homogénea. El tamaño de grano predominante es fino a ultrafino. La clasificación corresponde a una **Filita**.

**JAD-37-01**

Roca metasedimentaria con colores grises y azulosos, con un gran desarrollo de superficies filíticas debido a la presencia de filosilicatos en buena proporción. Además, se observan localmente superficies con mayor cantidad de cuarzo, es decir, semipelíticas. Se observa un mayor incremento del tamaño de grano en algunos sectores (tamaño medio). La muestra posee un grado de compactación alto, es cohesiva y homogénea. La clasificación en campo corresponde a una **Filita**.

**JAD-19-01**

Roca meta-sedimentaria de color gris verdoso, con brillo sedoso, con un grado de compactación alto y alta fisilidad, con estructura esquistosa y moteada. Se observa una matriz de filosilicatos de tamaño de grano fino a muy fino, envolviendo porfidoblastos de magnetita con tamaño de grano medio a fino. La muestra se encuentra levemente tectonizada, con algunas fracturas. La clasificación corresponde a una **Filita Magnetítica**.

**JAD-29-1**

Roca meta-sedimentaria de color gris plateado verdoso, con brillo sedoso, con un grado de compactación alto y alta fisilidad, con estructura esquistosa muy desarrollada. En su mayoría la muestra presenta tamaños de grano fino a muy fino, y está conformada principalmente por filosilicatos (no se distingue ningún otro mineral al ojo desnudo). La clasificación corresponde a una **Filita**.

**MB-02-01-01**

Roca meta-sedimentaria de color pardo claro y sectores grises, con brillo mate, el grado de compactación es moderado, cohesiva, heterogénea. Presenta estructura bandeada, en la que hay una alternancia de bandas oscuras de filosilicatos con bandas claras de cuarzo, muscovita y

feldespatos principalmente, estas últimas predominan y se observan tamaños de grano fino a muy fino (de acuerdo a la SCMR) para las bandas oscuras y tamaño medio a fino para las bandas más claras. Además, se observa una lente de aproximadamente 2 mm de espesor conformado por arcillas. La clasificación de campo corresponde a una **Meta-arenisca**.

#### **JAD-16-02**

Roca meta-sedimentaria de color gris y pardo por alteración supergena, con brillo sedoso, grado de compactación alto, cohesiva, homogénea. Se observa estructura esquistosa predominante y estructura augen localmente. Composicionalmente se tiene una matriz de filosilicatos de tamaño fino a muy fino, envolviendo porfidoclastos de cuarzo de tamaño de grano grueso y microporfidoblastos de magnetita de tamaños de grano medio a fino. La muestra presenta leves fracturas, algunas que se desarrollan por los planos de esquistosidad. La clasificación corresponde a una **Filita Magnetítica**.

#### **GIV-39-1**

Roca meta-sedimentaria de color gris verdoso y patinas pardas por alteración supergena, con brillo sedoso, grado de compactación alto, cohesiva, homogénea. Se observa estructura esquistosa que predomina por toda la muestra. Composicionalmente se tiene una matriz de filosilicatos con tamaños de grano fino a muy fino, envolviendo cristales de magnetita de tamaño fino. Algo singular, es que algunas magnetitas se encuentran alineadas con zonas de fractura de la roca y otras se encuentran diseminadas. La clasificación corresponde a una **Filita Magnetítica**.

#### **JAD-31-1**

Roca meta-sedimentaria de color gris verdosa y pardo a rojizo, estos últimos por alteración supergena, con brillo mate a sedoso, grado de compactación alto, cohesiva, heterogénea. Se observa estructura esquistosa y estructura bandeada, conformada por bandas claras de mayor

espesor (3-4mm) y bandas oscuras de menor espesor (1mm), que llegan a oxidarse en algunos sectores. Estas bandas oscuras presentan una mineralogía de filosilicatos con tamaños de grano fino a muy fino, mientras las bandas claras presentan minerales como cuarzo y plagioclasas reconocibles a la vista y tamaños de grano fino y algunos porfidoclastos de cuarzo de tamaño medio. La roca también presenta formación de magnetita diseminada por toda la muestra, con tamaños de grano medio a fino. Se aprecian también algunas fracturas en la muestra, pero no en gran cantidad. La clasificación corresponde a una **Meta-arenisca Magnetítica**.

#### **MB-01-05-01**

Roca meta-sedimentaria de color blanco a gris, y colores pardos a rojizos por alteración supergena, con brillo mate a nacarado, grado de compactación medio, cohesiva, heterogénea. Se observa estructura bandeada dominante y una pobre estructura esquistosa; la estructura bandeada se diferencia en bandas claras predominantes con mayor espesor (2-3mm) y bandas oscuras con un espesor menor (1mm). Las bandas claras, compuestas por cuarzo y feldespatos con tamaños de grano medio a fino, y las bandas oscuras compuestas por filosilicatos con tamaños de grano muy fino. La muestra evidencia planos de fracturas concordes con la foliación y otras en distribución aleatoria. Recalcable también que la roca se ve algo triturada, lo cual hace que no sean tan compacta. La clasificación corresponde a una **Meta-arenisca**.

#### **MB-01-07-01**

Roca meta-sedimentaria de color gris oscuro, y colores naranjas por alteración supergena, con brillo sedoso, grado de compactación alto, cohesiva, homogénea. Se observa estructura esquistosa predominante en toda la muestra, aunque no tan desarrollada. El tamaño de grano predominante es fino a muy fino, y está compuesta principalmente por filosilicatos. El grado de fracturamiento

de la roca no es muy alto, pero presenta algunas fracturas en disposición aleatoria. La clasificación corresponde a una **Filita**.

## 6.2 Análisis petrográfico y contextos paragéneticos

El análisis petrográfico consistió en el estudio de 11 secciones delgadas de diferentes áreas en el trayecto que conduce desde el Alto de los Cacaos hasta el Municipio de San Joaquín, y áreas aledañas a éste. A continuación, se da una breve descripción de los diferentes resultados obtenidos. Para un mayor detalle dirigirse al ANEXO: PETROGRAFÍA.

En la zona de estudio se reportaron los siguientes litotipos: pelitas, semipelitas y psamitas de acuerdo con la clasificación de Robertson, S. (1999), las cuales fueron afectadas por 5 eventos denominados aquí como: **EVENTOS SEDIMENTARIOS** (agrupa minerales detríticos y minerales diagénéticos), **EVENTO DE METAMORFISMO REGIONAL DE BAJO Y MUY BAJO GRADO**, **EVENTO HIDROTERMAL 1**, **EVENTO HIDROTERMAL 2** y **EVENTO SUPÉRGENO**.

### **EVENTOS SEDIMENTARIOS**

En todas las secciones delgadas se reportan minerales de índole sedimentaria que dan información sobre el protolito de la roca, estos minerales pueden ser de origen detrítico o diagénético. No se logró una diferenciación entre estos subtipos debido a que esta por fuera del alcance del presente estudio. Los minerales representativos de este evento son: Cuarzo, Muscovita, Albita, Clinozoicita, Ortoclasa, Microclina, Épidota y Zircón. Fundamentalmente, estos minerales tienen forma anhedral, y localmente subhedral y carecen de orientación preferencial mineral en relación con la esquistosidad principal de la roca.

### **EVENTO DE METAMORFISMO REGIONAL DE BAJO Y MUY BAJO GRADO**

Básicamente se evidencia la presencia de un metamorfismo regional de tipo orogénico de bajo y muy bajo grado debido a las siguientes razones: (1) la presencia de varios tipos de clivajes, entre los que tenemos el clivaje pizarroso, el clivaje de crenulación y el clivaje filítico en términos de Fossen, (2010), todos remiten a un metamorfismo orogénico de extensión regional, además en la muestra MB-01-07-01 presenta un clivaje estilolítico que corta al clivaje pizarroso; (2) la neoformación de minerales metamórficos como Clorita 1 y Biotita 1, estos minerales con corcondantes con el clivaje principal de la roca y se caracterizan por ser de grano fino en comparación con la clorita 2 y la biotita 2.

### **EVENTO HIDROTHERMAL 1 (EH1)**

El primer evento hidrotermal se caracteriza por la neoformación de los siguientes minerales: Cuarzo, Biotita 2, Clorita 2, Sericita 1 y Magnetita. Estos minerales se superponen al clivaje principal de la roca, debido al sobrecrecimiento de Magnetita euhedral rica en caras en contacto neto algunas veces con Biotita 2, otras veces con Biotita 2 y Sericita 1 y siempre en contacto con Cuarzo. En algunas secciones estos minerales aparecen diseminados (p. ej., en la JAD-10-3, JAD-31-1), en otras ocurre en venas (p. ej., en la MB-02-02-01). La sericita de este evento es discordante con la orientación de las bandas hidrotermales. Estas bandas hidrotermales reflejan el mecanismo de deformación denominado Crack-Seal, es decir, la sericita 1 aprovecho y relleno los planos de clivaje preexistentes, durante este relleno esta sericita se dispuso de manera aleatoria.

### **EVENTO HIDROTHERMAL 2 (EH2)**

El segundo evento hidrotermal está representado por la ocurrencia de los siguientes minerales: Sericita 2 y Cuarzo. La sericita 2 está orientada de manera casi paralela con la orientación de las bandas e indican la dirección de movimiento de las bandas durante el cizallamiento. Está sericita

2 ocurre en contacto neto con cuarzo. Después del “crack-seal” ocurre el “slide”, es decir el movimiento de cizalla que generó una nueva precipitación y orientación de la sericita 2 y algunas sericitas 1. La diferencia fundamental entre la sericita 1 y 2, radica en el tamaño de grano, la sericita 1 posee un tamaño de grano más grueso que la 2.

### **EVENTO SUPÉRGENO**

La mayoría de las muestras presentan una ocurrencia de venas con óxidos e hidróxidos de hierro, las cuales no poseen una clara orientación, aparecen de forma aleatoria cortando las microestructuras preexistentes, unas veces con un patrón anastomosado, otras veces asociadas con estilolitos. En la muestra MB-01-06-02 el porcentaje modal de hematita es mayor que el de los hidróxidos de hierro, aunque la ocurrencia es distinta, en este caso, la hematita es de grano fino y ocurre diseminada, a diferencia de la hematita de las venas, que es de grano ultrafino.

Eventos Minerales	Sedimentarios	Metamórfico	Hidrotermal 1	Hidrotermal 2	Supérgeno
Muscovita	_____				
Cuarzo	_____				
Biotita 1		_____			
Biotita 2			_____		
Magnetita			_____		
Plagioclasa	_____				
Clinozoicita	_____				
Hematita					_____
Clorita 1		_____			
Clorita 2			_____		
Sericita 1			_____		
Sericita 2				_____	
Hidróxidos de hierro			-		_____
Barita	_____				
Epidota	_____				
Zircón	_____				
Xenotima	_____				
Feldespato potásico	_____				

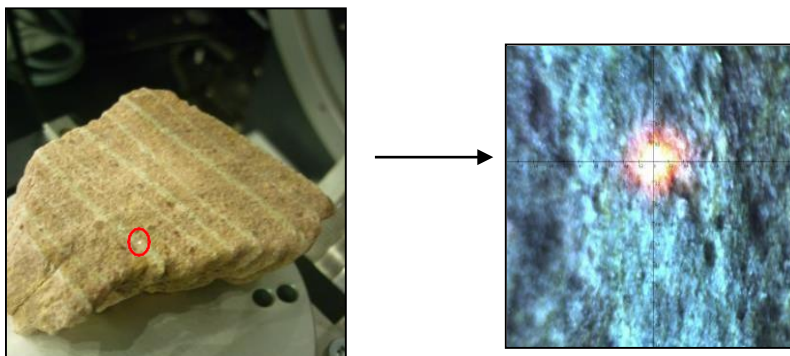
Figura 13. Tabla de Paragénesis minerales, mostrando los diferentes eventos que afectaron dichos minerales desde el momento de su depositación.

### 6.3 Difracción de rayos X (DRX)

Para la identificación de fases minerales más detalladamente, y poder mejorar el análisis mineralógico desarrollado durante la petrografía, se realizaron cuatro (4) tomas de difracción de rayos X, para las muestras MB-06-02-01 y JAD-20-1, en las diferentes zonas, tanto de la roca caja como de los fluidos que la percolan.

En las Tablas 1 a la 4, se describen cada una de las fases cristalinas presentes en los especímenes seleccionados de las muestras con códigos internos E3GN (Zona blanca y Zona rosada) y E3GO (Zona clara y Zona oscura). Estas fases fueron identificadas con la base de datos PDF-2 del *International Centre for Diffraction Data* (ICDD). En las Figuras 1 a la 4, se muestran los perfiles de difracción obtenidos con los análisis comparativos de las fases encontradas.

#### 1. MB-D1-06-D2-XRD (E3GN\_Zona blanca):



*Figura 14:* En la imagen de la izquierda, la zona de irradiación de la muestra se encuentra en el círculo demarcado con color rojo. La imagen de la derecha corresponde a la ampliación de la zona irradiada.

Tabla 1.

Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data (ICDD) en el espécimen seleccionado de la muestra con código interno E3GN\_Zona blanca.

	Fase	PDF No.	Nombre
Cristalino	$K_{0.96} Na_{0.04} Al_{1.71} Fe_{0.29}$ ( $Al_{0.91} Si_{3.09} O_{10}$ ) (O H) 1.78 F <sub>0.22</sub>	010-73-9861	Moscovita-2M1
	Si O <sub>2</sub>	010-89-8938	α-Cuarzo
	Al (O H) <sub>3</sub>	000-07-0324	Gibbsita
	K (Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	010-73-6503	Sanidina

## 2. MB-D1-06-D2-XRD (E3GN\_Zona rosada):

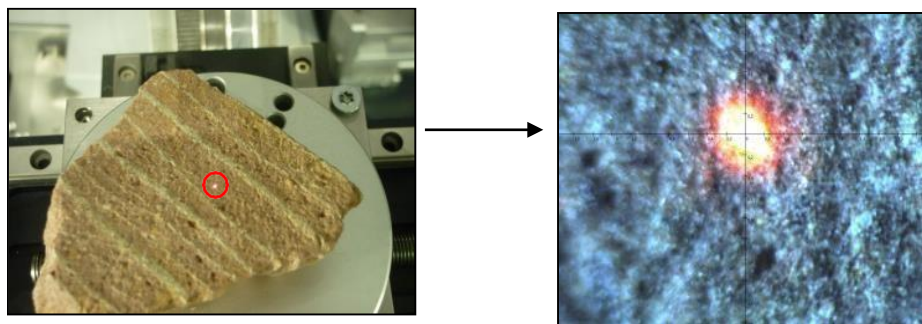


Figura 15. En la imagen de la izquierda, la zona de irradiación de la muestra se encuentra en el círculo demarcado con color rojo. La imagen de la derecha corresponde a la ampliación de la zona irradiada.

Tabla 2.

Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data (ICDD) en el espécimen seleccionado de la muestra con código interno E3GN\_Zona rosada.

	FASE	PDF No.	NOMBRE
Cristalino	K <sub>0.96</sub> Na <sub>0.04</sub> Al <sub>1.71</sub> Fe <sub>0.29</sub> (Al <sub>0.91</sub> Si <sub>3.09</sub> O <sub>10</sub> ) (O H) 1.78 F <sub>0.22</sub>	010-73-9861	Moscovita-2M1
	Si O <sub>2</sub>	010-89-8935	α-Cuarzo
	Al (O H) <sub>3</sub>	000-07-0324	Gibbsita
	K (Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	010-73-6503	Sanidina

### 3. JAD-20-1-XRD (E3GO\_Zona clara):

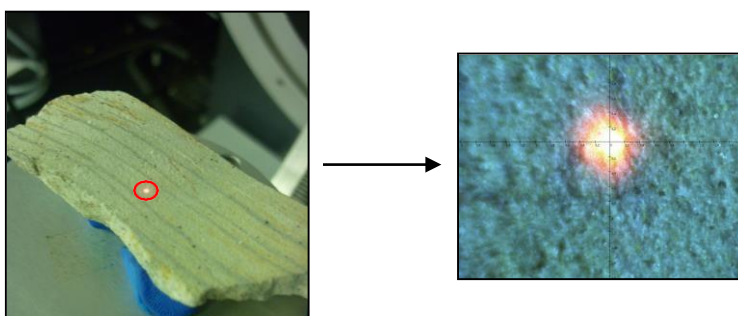


Figura 16. En la imagen de la izquierda, la zona de irradiación de la muestra se encuentra en el círculo demarcado con color rojo. La imagen de la derecha corresponde a la ampliación de la zona irradiada.

Tabla 3.

Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data (ICDD) en el espécimen seleccionado de la muestra con código interno E3GO\_Zona clara.

	FASE	PDF No.	NOMBRE
Cristalino	Si O <sub>2</sub>	010-85-0794	Cuarzo
	K Al <sub>2</sub> (Al Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ) (O H) <sub>2</sub>	010-82-0576	Moscovita-2M1
	Ti O <sub>2</sub>	010-71-1169	Anatasa
	Ca (C O <sub>3</sub> )	010-85-1108	Calcita

## 4. JAD-20-1-XRD (E3GO\_Zona oscura):

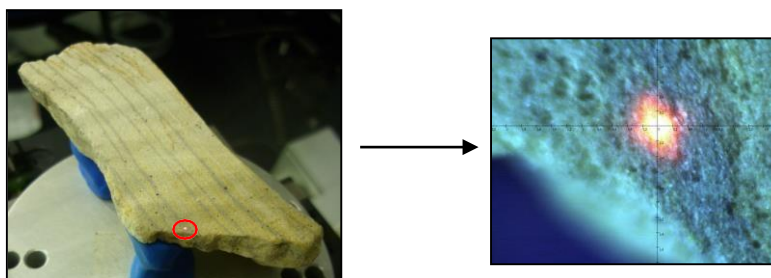


Figura 17. En la imagen de la izquierda, la zona de irradiación de la muestra se encuentra en el círculo demarcado con color rojo. La imagen de la derecha corresponde a la ampliación de la zona irradiada.

Tabla 4.

Fases cristalinas identificadas con ayuda de la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data (ICDD) en el espécimen seleccionado de la muestra con código interno E3GO\_Zona oscura.

	FASE	PDF No.	NOMBRE
Cristalino	$K Al_2 (Al Si_3 O_{10}) (O H)_2$	010-82-0576	Moscovita-2M1
	$Si O_2$	010-85-0796	Cuarzo
	$Ca (C O_3)$	010-72-1652	Calcita
	$Pb_2 (Mn, Mg) Fe_{16} O_{27}$	000-46-1461	Óxido de plomo magnesio manganeso y hierro

### Análisis MB-01-06-02

Dentro de las fases minerales encontradas para la muestra MB-01-06-02, se determinó para sus dos zonas los mismos minerales. La Sanidina, pertenece al grupo de los feldespatos, subgrupo de la ortoclasa; es un mineral muy frecuente en rocas volcánicas ácidas y raramente en pegmatitas, por lo que su presencia en esta roca es de carácter relíctico.

La gibbsita es otro mineral que no se pudo reconocer durante la petrografía, y es un espécimen típico de alteración supérgena en ambientes con entorno hidrotermal, producto de la alteración de minerales ricos en aluminio.

Cabe resaltar también, que no existieron diferencias entre las fases minerales encontradas tanto en la zona clara como en la roja.

#### **Análisis JAD-20-1**

Tanto para la zona clara como la zona oscura de esta muestra, se determinó la presencia de Calcita, la cual no se había podido determinar mediante el análisis petrográfico y que posiblemente este mineral se encuentre en estas muestras como mineral detrítico, en cantidades muy bajas.

Para la zona clara o roca caja de esta muestra, se determinó la fase mineral Anatasa, el cual es un óxido de titanio, que pudo ser determinado como Leucoxeno durante la petrografía, el cual es otro óxido de titanio. Este mineral se encuentra en la roca como mineral detrítico, y proviene principalmente por la meteorización de rocas ígneas y/o metamórficas de carácter muy félsico.

#### **6.4 Microscopia electrónica de barrido (SEM)**

Durante el proyecto, se realizaron análisis de Microscopía Electrónica de Barrido, en tres muestras seleccionadas; JAD-20-1, MB-01-06-02 y MB-02-01-01, las cuales fueron de interés, para conocer la mineralogía que presentaban, tanto las bandas hidrotermales presentes en cada una de ellas, como los que se encontraban dentro de la roca caja, esto último, con el fin de indagar un poco, en la posible procedencia que tendrían los sedimentos detríticos depositados en las rocas aflorantes de la zona. A continuación, se presentan algunos de los resultados más destacados:

Tabla 5.

*Tabla asociaciones minerales posibles identificadas mediante la microscopia electrónica de barrido.*

<b>Muestra</b>	<b>Minerales</b>	<b>Observación</b>
JAD-20-1-001	Ilmenita	
JAD-20-1-002	Barita, Ilmenita	Agregados
JAD-20-1-003	Cuarzo, Moscovita	Minerales alineados
JAD-20-1-004	Cuarzo, Moscovita, Biotita	Minerales alineados
JAD-20-1-005	Cuarzo	
JAD-20-1-006	Anatasa	
JAD-20-1-007	Cuarzo, Moscovita	Perpendicular a la orientación
JAD-20-1-008	Anatasa	
JAD-20-1-009	Cuarzo, Moscovita	Minerales Alineados
JAD-20-1-010	Anatasa, Ilmenita	
JAD-20-1-011	Xenotima	Elementos de las Tierras raras Gd, Er y Dy.
JAD-20-1-012	Moscovita	
JAD-20-1-013	Cuarzo	
JAD-20-1-014	Barita	Agregados
JAD-20-1-015	Barita	Agregados
MB-01-06-02-001	Moscovita	
MB-01-06-02-002	Hematita	
MB-02-01-01-001	Zircón	Deformado
MB-02-01-01-002	Cuarzo	
MB-02-01-01-003	Moscovita	
MB-02-01-01-004	Zircón	Deformado
MB-02-01-01-005	Ilmenita	
G1A-37-6	Cuarzo Jasperoide	

## Resultados SEM

## • JAD-20-1-001

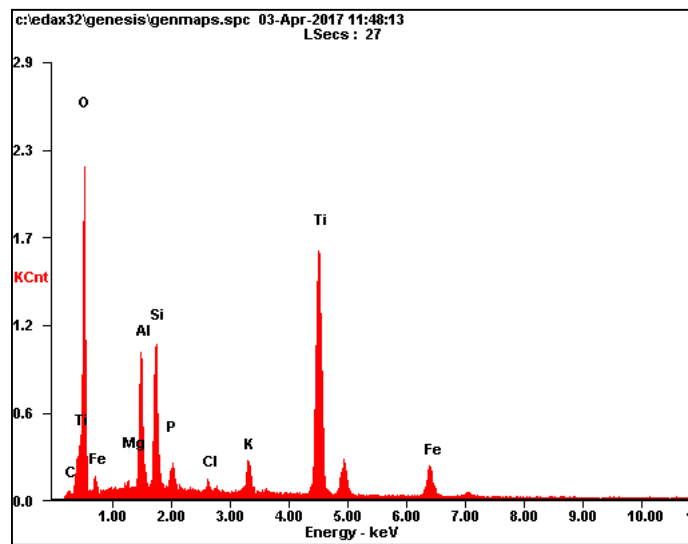


Figura 18. Diagrama de elementos, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS

Tabla 6.

Tabla de Wt% y At% para el Diagrama elemental, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS.

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	01.26	02.38
<i>OK</i>	47.80	68.05
<i>MgK</i>	00.41	00.38
<i>AlK</i>	06.74	05.69
<i>SiK</i>	07.43	06.02
<i>PK</i>	01.31	00.96
<i>ClK</i>	00.50	00.32
<i>KK</i>	01.85	01.08
<i>TiK</i>	26.06	12.39
<i>FeK</i>	06.66	02.71
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

La asociación más probable, entre los elementos de mayor porcentaje en peso (Wt%), sería Ti y O, que corresponde al mineral Anatasa, en relación con el análisis de difracción de rayos X; si la asociación cuenta con el Fe presente, el mineral formado sería Ilmenita.

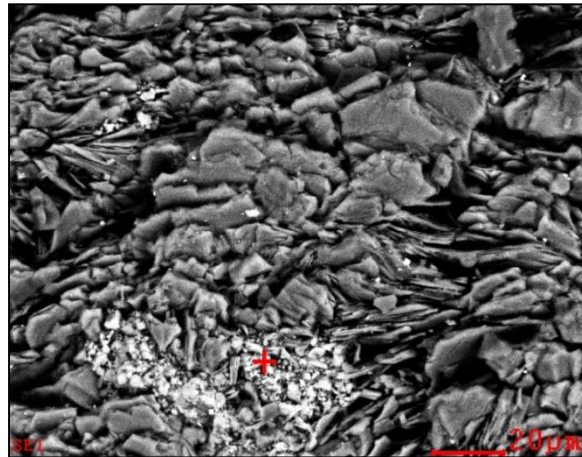


Figura 19. Morfología mineral de la sección estudiada, Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido-UIS

- JAD-20-1-002

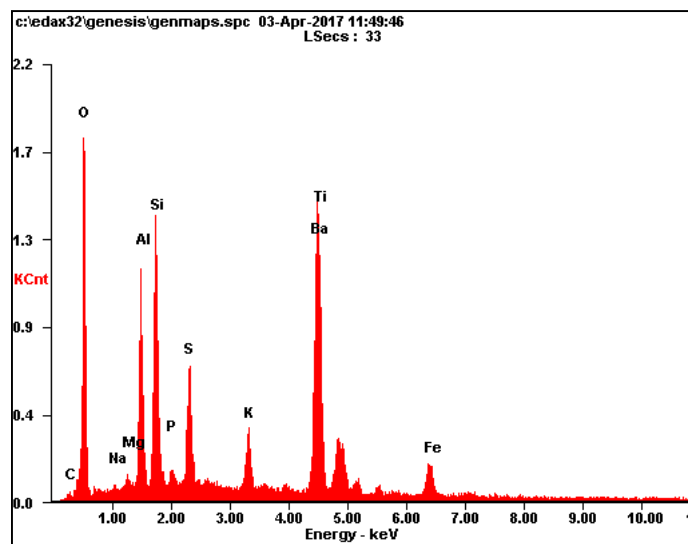


Figura 20. Diagrama de elementos, Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido-UIS

Tabla 7.

Tabla de Wt% y At% para el Diagrama elemental, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS.

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	00.90	02.10
<i>OK</i>	31.67	55.21
<i>NaK</i>	00.21	00.26
<i>MgK</i>	00.43	00.50
<i>AlK</i>	08.39	08.68
<i>SiK</i>	11.17	11.09
<i>PK</i>	00.77	00.69
<i>SK</i>	04.54	03.95
<i>KK</i>	02.52	01.80
<i>BaL</i>	17.98	03.65
<i>TiK</i>	16.70	09.72
<i>FeK</i>	04.71	02.35
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

En esta toma, se puede correlacionar el mineral Barita, por los altos contenidos de Ba presentes, que podrían indicar un aporte de aguas marinas en los fluidos hidrotermales.

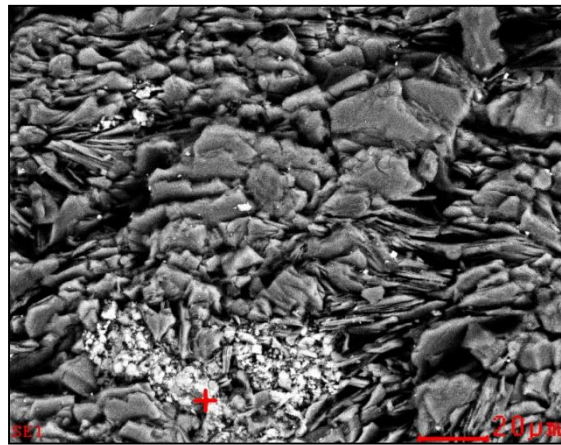


Figura 21. Morfología mineral de la sección estudiada, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS

- JAD-20-1-006

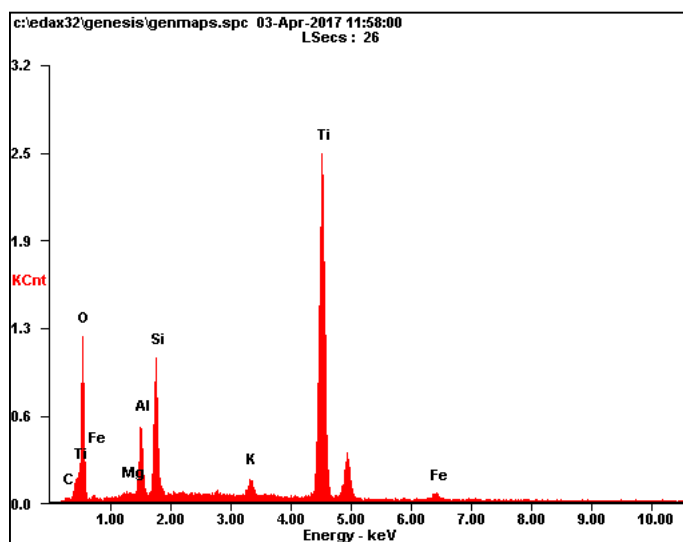


Figura 22. Diagrama de elementos, Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido-UIS

Tabla 8.

Tabla de Wt% y At% para el Diagrama elemental, Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido-UIS.

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	00.78	01.66
<i>OK</i>	37.83	60.30
<i>MgK</i>	00.38	00.39
<i>AlK</i>	04.72	04.46
<i>SiK</i>	08.58	07.79
<i>KK</i>	01.36	00.89
<i>TiK</i>	44.17	23.51
<i>FeK</i>	02.19	01.00
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Los elementos de mayor WT%, presentes en este sector, son TI y O, lo que nos podría representar asociaciones de Anatasa, correlacionables con los estudios de Drx y petrográficos realizados anteriormente, e Ilmenita, si tenemos en cuenta los valores de Fe, aunque sean notablemente bajos.

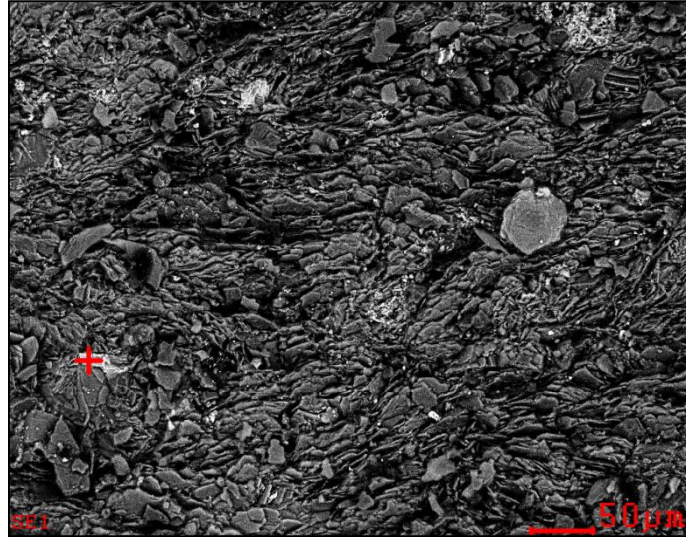


Figura 23. Morfología mineral de la sección estudiada, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS

- JAD-20-1-011

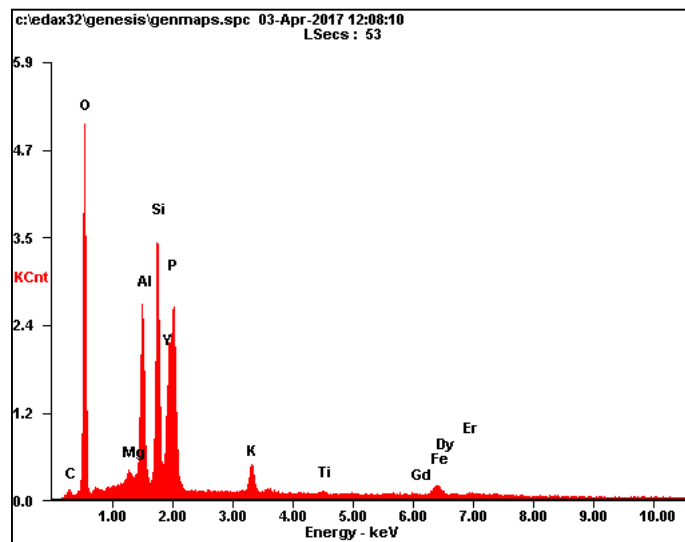


Figura 24. Diagrama de elementos, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS

Tabla 9.

*Tabla de Wt% y At% para el Diagrama elemental, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS.*

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<b><i>CK</i></b>	01.89	03.85
<b><i>OK</i></b>	40.60	62.07
<b><i>MgK</i></b>	00.64	00.64
<b><i>AlK</i></b>	08.87	08.04
<b><i>SiK</i></b>	12.78	11.13
<b><i>YL</i></b>	18.03	04.96
<b><i>PK</i></b>	07.99	06.31
<b><i>KK</i></b>	02.10	01.32
<b><i>TiK</i></b>	00.32	00.16
<b><i>GdL</i></b>	01.01	00.16
<b><i>FeK</i></b>	01.73	00.76
<b><i>DyL</i></b>	02.54	00.38
<b><i>ErL</i></b>	01.49	00.22
<b><i>Matrix</i></b>	Correction	ZAF

En estos resultados, encontramos valores muy interesantes de Y y P, los cuales pueden correlacionarse junto con el O, formando Xenotima, un mineral raro, pero que generalmente también se encuentra asociado con elementos como Si y elementos de las tierras raras (REE), como observamos en la gráfica y la tabla (Microscopia Electrónica, laboratorio GMAS LTDA-Bogotá, Colombia). Cabe destacar que este mineral, se encuentra en la roca caja como mineral detrítico, el cual se describe formado en la literatura de cuerpos graníticos-pegmatíticos, félsicos.

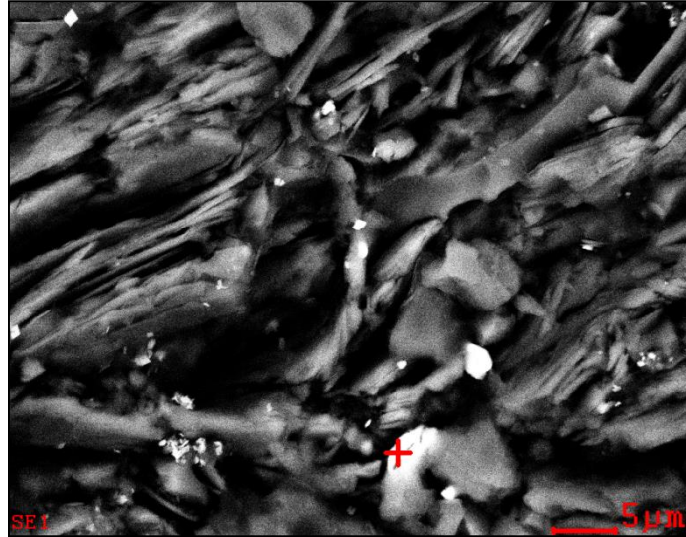


Figura 25. Morfología mineral de la sección estudiada, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS

- MB-01-06-02-002

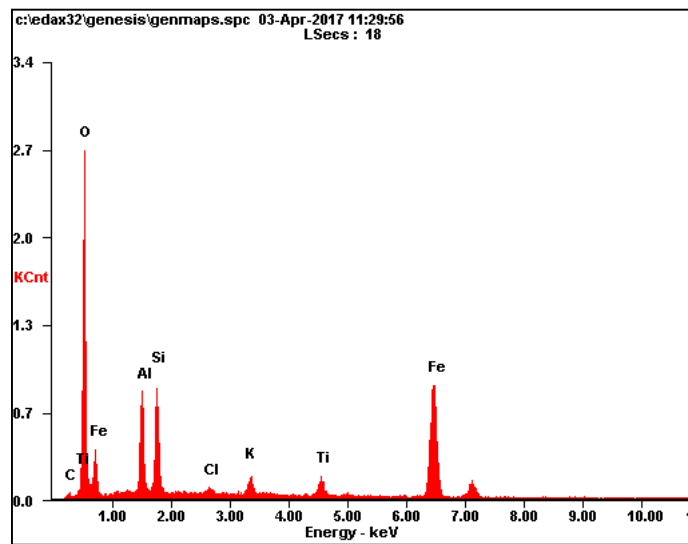


Figura 26. Diagrama de elementos, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS

Tabla 10.

Tabla de Wt% y At% para el Diagrama elemental, Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido-UIS.

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	01.65	03.46
<i>OK</i>	38.29	60.15
<i>AlK</i>	09.50	08.85
<i>SiK</i>	09.18	08.21
<i>ClK</i>	00.56	00.39
<i>KK</i>	01.85	01.19
<i>TiK</i>	02.67	01.40
<i>FeK</i>	36.30	16.34
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Los altos valores de Fe y O en esta captura, nos muestra una concentración de óxido de hierro alto, lo que se puede interpretar como Hematita, la cual también se encontró en la roca caja de esta muestra durante la petrografía, y la cual determina el color rojizo característico de los materiales detríticos de esta roca y la cual proviene de la alteración de la Magnetita.

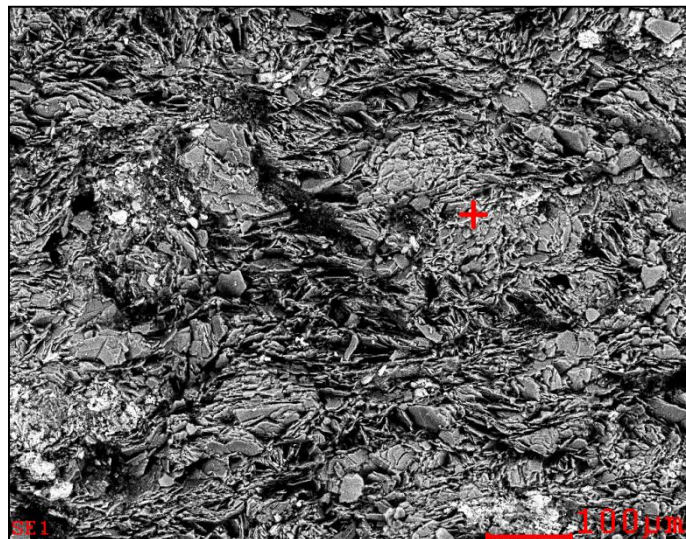


Figura 27. Morfología mineral de la sección estudiada, Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido-UIS

- MB-02-01-01-004

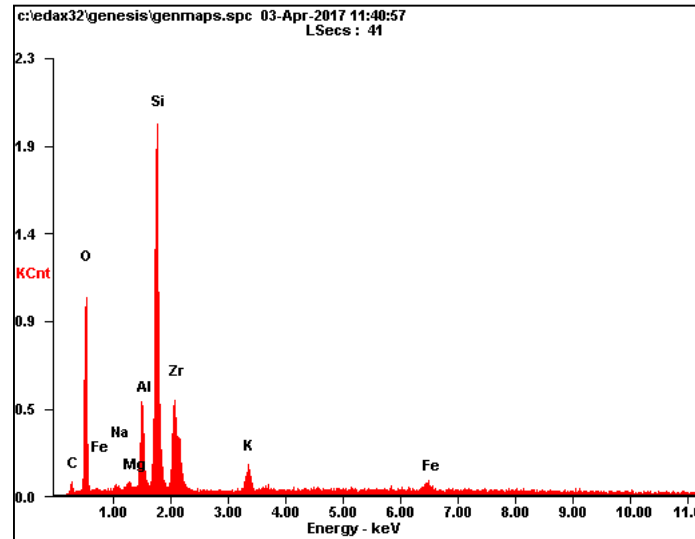


Figura 28. Diagrama de elementos, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS

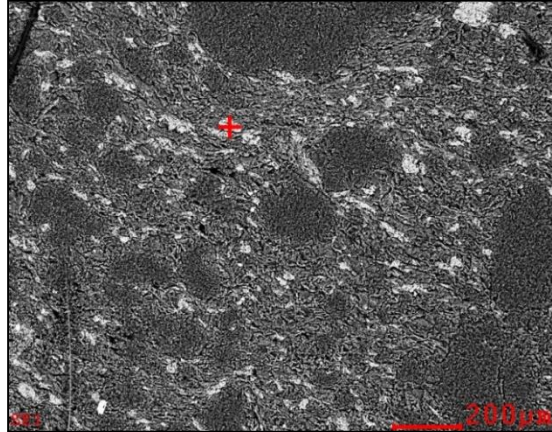
Tabla 11.

Tabla de Wt% y At% para el Diagrama elemental, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS.

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	05.62	10.90
<i>OK</i>	36.79	53.61
<i>NaK</i>	00.60	00.61
<i>MgK</i>	00.54	00.51
<i>AlK</i>	06.00	05.18
<i>SiK</i>	25.71	21.35
<i>ZrL</i>	18.65	04.77
<i>KK</i>	02.94	01.75
<i>FeK</i>	03.16	01.32
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

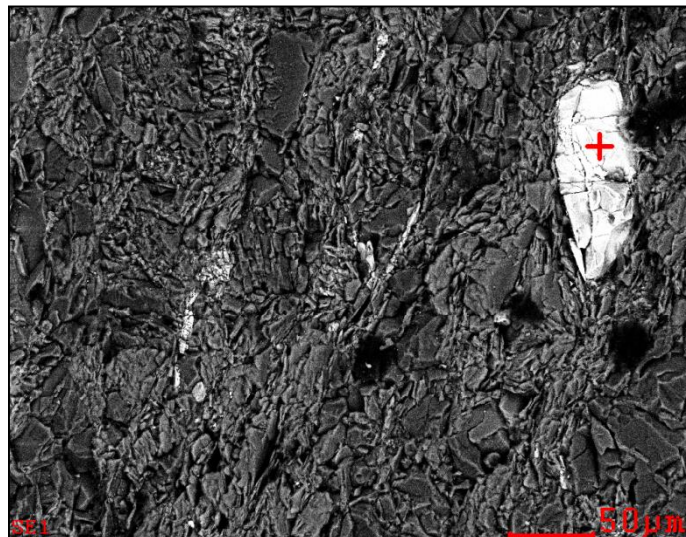
En esta muestra, además de los minerales característicos como cuarzo o micas, se lograron apreciar circones detríticos deformados, los cuales presentan anomalías altas de Zr, pero no presentan su

habito normal, debido a los eventos deformativos que se encuentran cerca de la zona de la quebrada Panamá.



*Figura 29.* Morfología mineral de la sección estudiada, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS

- G1A-37-6



*Figura 30.* Morfología mineral de la sección estudiada, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS

Tabla 12. Tabla de Wt% y At% para el Diagrama elemental, Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido-UIS.

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	12.36	21.98
<i>OK</i>	35.62	47.54
<i>MgK</i>	02.38	02.09
<i>AlK</i>	12.52	09.91
<i>SiK</i>	10.99	08.36
<i>TiK</i>	02.12	00.95
<i>FeK</i>	24.00	09.18
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Los resultados obtenidos en el SEM de la muestra G1A-37-6 mostraron altos valores de hierro(Fe), junto a valores considerables de Si y O, lo cual corrobora las evidencias petrográficas que establecen este mineral como cuarzo con inclusiones de hierro (posiblemente hematita), o cuarzo Jasperoide, el cual presenta deformaciones notables tanto en este análisis como durante la fase del análisis petrográfico.

### ANÁLISIS SEM

Para la muestra JAD-20-1, se pudieron observar gran cantidad de óxidos de titanio(Anatasa), óxidos de hierro y titanio (Ilmenita), los cuales se habían determinado también durante la difracción de rayos X, y también algunos como Leucoxenos reconocibles durante la petrografía. Además de estos minerales, también se encontró Xenotima, fosfato de Itrio, el cual es un mineral bastante exótico, que casualmente se encuentra relacionado con óxidos de titanio y hierro como los anteriormente nombrados y proviene de granitos félsicos. La Barita (sulfato de Bario), presente en esta misma muestra, indica un aporte de aguas marinas en él y posiblemente se encuentre en esta muestra como mineral detrítico.

Una característica notable para los Zircones encontrados en la muestra MB-02-01-01, es que estos se encuentran fuertemente deformados, lo cual es debido a la cercanía que tienen estas muestras con la Falla de Panamá.

En el análisis petrográfico se mencionaron óxidos de hierro para la muestra MB-01-06-02, los cuales ocurren de forma diseminada en la muestra, y durante este análisis se distinguen morfológicamente como agregados de tamaños muy finos, al igual a los observados bajo el microscopio de luz transmitida. Estos óxidos se han encontrado junto a algunos hidróxidos de hierro en la gran mayoría de las muestras, algunas veces como relleno de venas, pero la proliferación de estos óxidos es de magnitudes mucho mayores en esta muestra en específico, y son estos los que la dan su coloración rojiza característica.

### **6.5 Geocronología U-Pb en circones detríticos**

Con el fin de determinar la edad máxima de depositación de los paleosedimentos de las litologías siliciclásticas presentes en la franja de metasedimentitas Cacaos-San Joaquín, se recolectó una muestra de la Formación Mogotes (Moreno-Sánchez et al., 2005) o Formación Floresta Metamorfoseada (Ward et al., 1973), en el carreteable que comunica los municipios de Mogotes y San Joaquín, documentada con el código MB-01-06-02 y clasificada como una metarenisca (litología predominante en la localidad tipo de esta unidad). Este estudio se realizó mediante geocronología U-Pb en circones detríticos. A continuación, se describen los resultados obtenidos.

Tabla 13.

*Localización geográfica de la muestra MB-01-06-02, utilizada para datación U-Pb en circones detríticos.*

Muestra	Coordenadas		Coordenadas Locales			Localización Geográfica	Tipo de Roca
	Latitud	Longitud	X	Y	Z(msnm)		
MB-01-06-02	6°26'28,10	72°52'53,74	1'204.13	1'132.29	2537	Vía Mogotes-San Joaquín (sector Alto de los Cacaos)	Metarenisca de color rojizo con bandas paralelas.
	''	''	4	9			

\* Coordenadas datum MAGNA-SIRGAS

\*\* Coordenadas planas con Datum Bogotá (Bogotá 1975/ Colombia Bogotá zone (21897))

### **Franja Cacaos-San Joaquín**

La muestra MB-01-06-02, recogida en la franja de metasedimentitas Cacaos-San Joaquín, pertenece a una secuencia de rocas de tipo metarenisca, intercaladas con metapelitas y metasemipelitas, las cuales alcanzaron condiciones P-T correspondientes a la facies Sub-Esquistos Verdes (zona de la Clorita), durante el pico metamórfico termal. Estas condiciones máximas de metamorfismo están asociadas con la Orógenia Fammatiniana (localmente referida como Quetame-Caparonensis, Restrepo-Pace and Cediél, 2010; Mantilla et al., 2012, Van Der Lilej, 2014; Spikings et al., 2015; otros).

Ciento diecisiete (117) análisis fueron llevados a cabo en circones detríticos extraídos de la muestra MB-01-06-02, dando como resultado edades entre  $547,7 \pm 96,5$  Ma y  $1697,1 \pm 18,3$  Ma (Ver ANEXO 4). Se observaron picos prominentes con edades en torno a 588, 830, 1022, 1246 y 1476 Ma; entre otros picos menos pronunciados (Ver figura 5).

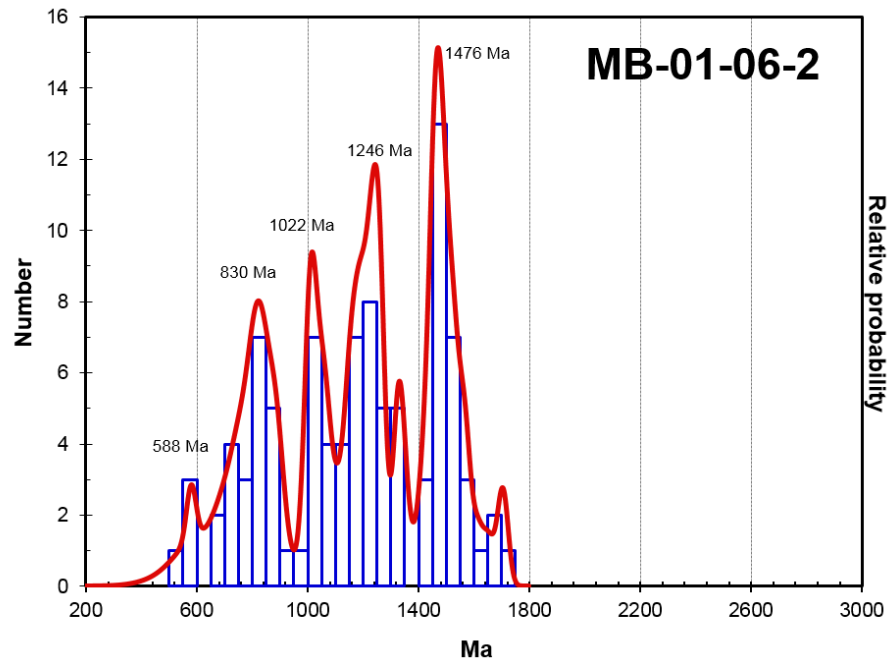


Figura 31. Grafica que relaciona la edad en Ma vs análisis realizados, a partir de geocronología U-Pb en circones detríticos presentes en la muestra MB-01-06-02.

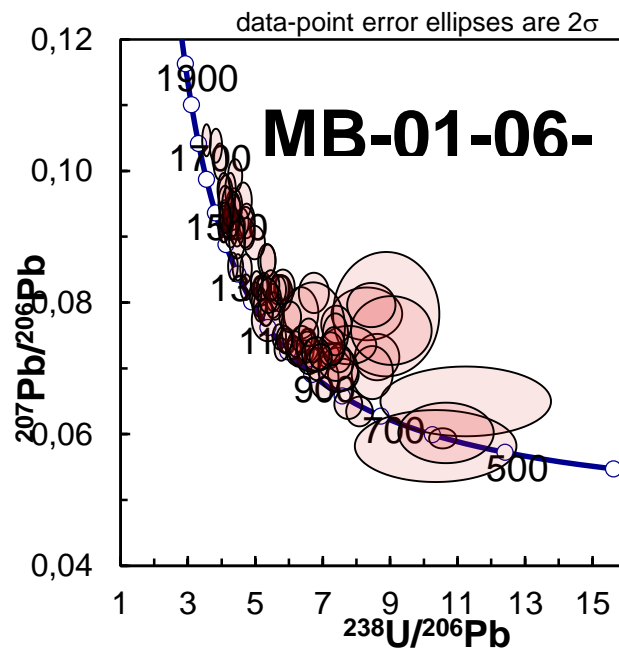


Figura 32. Diagrama concordia U-Pb, el cual se evidencia las diferentes edades de los circones detríticos analizados.

Con base en los resultados anteriormente señalados (Ver Figuras 5 y 6, ANEXO 4) la máxima edad estratigráfica de las litologías objeto de estudio es de finales del Neo-proterozoico, específicamente del Ediacarian (588 Ma), tomando como referencia el pico prominente con edades más recientes.

## **6.6 Modelo Geológico**

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los apartados anteriores, se propone un modelo geológico-geocronológico para la zona estudiada, desde Alto de los Cacaos hasta el Municipio de San Joaquín y hacia el sur de la Quebrada Panamá y sus proximidades. Con base en lo anteriormente referido se generó un esquema geológico de la zona (Ver Figura 7), en donde se separan las unidades de metasedimentitas dependiendo a su edad de depositación, además respecto a diferencias litológicas presentes en cada unidad.

### ESQUEMA GEOLÓGICO DE SAN JOAQUÍN, SANTANDER

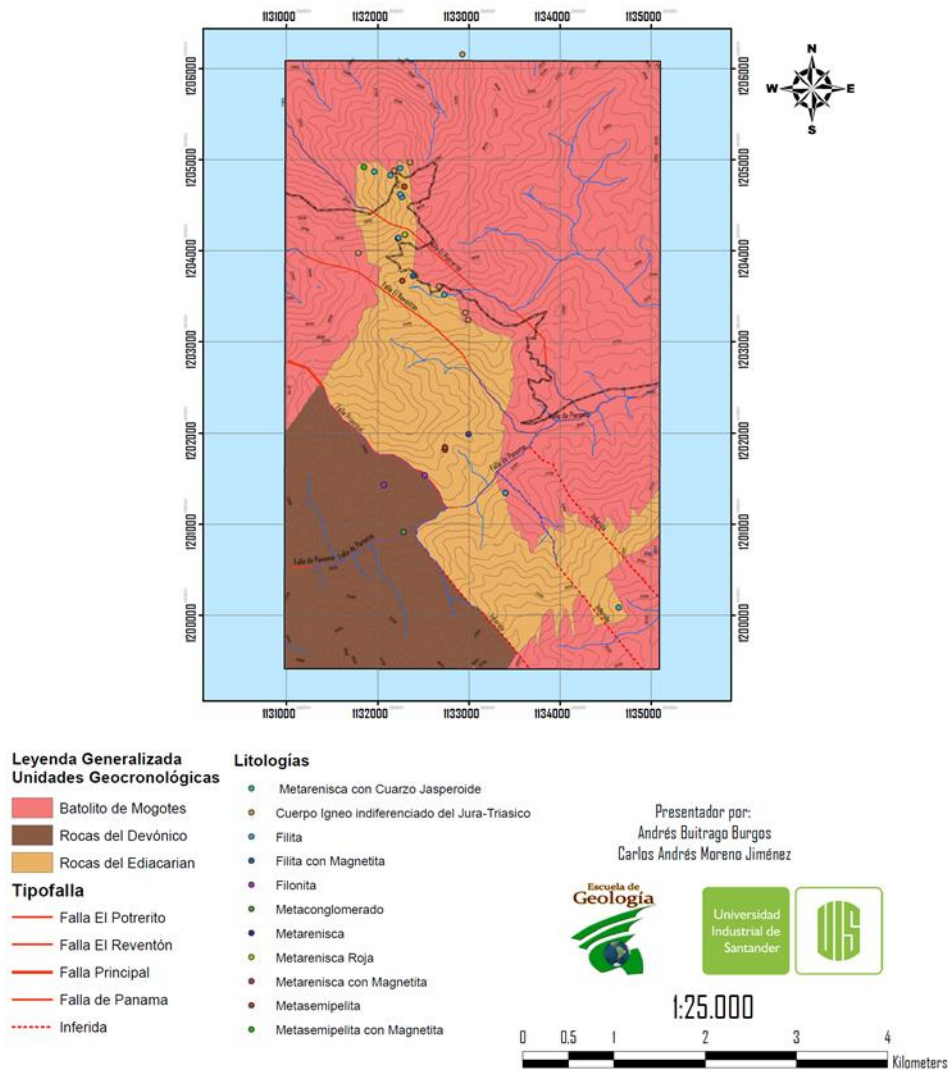


Figura 33. Esquema Geológico del Municipio de San Joaquín, Santander (Autores).

### Unidades Cronoestratigráficas

- **Unidad Ediacarian – Unidad de Metasedimentitas de los Cacaos**

Esta unidad se encuentra caracterizada por intercalaciones de metasedimentitas, que van desde rocas metapsamíticas a metapelíticas, en donde el espesor de las metapsamitas es mayor hacia la

base de la unidad, y por el contrario hacia su tope, hay un mayor predominio de las metapelitas, las cuales en campo se pueden denominar como filitas y que en varios sectores llegan a desarrollar crecimiento de cristales de Magnetita, al igual que algunas metapsamitas.

En estas rocas es donde se encuentra el mayor predominio de venas hidrotermales (*sheet-veins-like*), las cuales se observan en los planos de anisotropía de las rocas, concordantes con la foliación principal, y posiblemente su origen está vinculado a la presencia de grandes fallas en sentido NW-SE que sirvieron como paleocanal para el transporte de dichos fluidos.

Mediante el análisis petrográfico las rocas de esta unidad presentan una zonalidad metamórfica notable en las facies Esquistos Verdes y sub-Esquistos Verdes, que comprende la Zona de la Clorita para las áreas altas del Alto de los Cacaos, y zona de la Biotita para las áreas más bajas, entre el Municipio de San Joaquín y la Quebrada Panamá.

Esta unidad se encuentra separada hacia el SW y levantada, con respecto a la unidad Devónica por una falla que se traza subparalela a la Quebrada la Mesa, y a su vez está separada hacia el NE y NW, se haya posiblemente en contacto intrusivo(inferido) con rocas ígneas del Batolito de Mogotes.

- **Unidad Devónico Temprano– Formación Tíbet**

Representada mayormente por filonitas, con protolitos semipelíticos a pelíticos, y con presencia de rocas metaconglomeráticas hacia los sectores circundantes de la Quebrada Panamá. Estas rocas son consideradas afectadas por un metamorfismo dinámico (protomilonitas de acuerdo con sus características petrográficas), provocado por la Falla Panamá.

Dentro de las rocas siliciclásticas arenosas, se encuentran cristales de cuarzo Jasperoide, el cual se presenta solo hacia la zona norte de la Quebrada Panamá, en intercalación con las filonitas.

La edad de esta unidad fue determinada teniendo en cuenta que estas rocas infrayacen secuencias calcáreas con edades del Permo-Carbonífero, que afloran hacia la zona norte cerca al Municipio de Mogotes (comunicación verbal, Mantilla., 2017).

Estas rocas se encuentran limitadas hacia el NE, por las rocas de Ediacarian, debido a la falla presente en la Quebrada la Mesa.

- **Batolito de Mogotes (Jura-Triásico)**

El batolito de Mogotes se encuentra determinado como dos sub-grupos principalmente 1) Granito rosado y cuarzomonzonita y 2) cuarzomonzonita gris y granodiorita, los cuales se han catalogado con edades del Jurásico al Jura-Triásico. Este cuerpo granítico aflora en gran parte de nuestra zona, ocupando la mayoría de los sectores N y NW, y una pequeña parte del sector SE.

La edad de este cuerpo ha sido determinada por sus semejanzas litológicas con el Granito de Pescadero, las cuales mediante dataciones K/Ar, fueron determinadas para el límite Triásico Tardío-Jurásico Temprano.

Aunque la edad de este cuerpo está determinada, para edades más recientes a las anteriores referidas para las secuencias de metasedimentitas y rocas siliciclásticas afectadas por metamorfismo dinámico en las cuales se centra este trabajo (Unidad Devónica y Ediacarian), este no genera ningún tipo de afectación termal para dichas secuencias a pesar de estar encajado adyacente en estas. Esto es debido a que el magma parental sufrió cristalización fraccionada con ausencia de sus fases volátiles (escape de fluidos por elementos móviles), por lo cual este cuerpo debió cristalizar en zonas muy someras (Tesis C. Hernández, Universidad Industrial de Santander, 2011). Por esta razón y debido a que era un magma anhidro en el momento de su cristalización, este cuerpo no generó afectaciones termales directas a las litologías metasedimentarias. Sin

embargo, no se descarta que los volátiles expulsados por este cuerpo sean los culpables de la fuerte afectación hidrotermal que presentan la mayoría de las rocas de esta zona.

**6.6.1 Evolución geológica** Proponemos una evolución geológica del área basados en los eventos paragenéticos reconocidos durante las fases de campo, petrografía, difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido, ligados a las edades arrojadas por los estudios geocronológicos y las estructuras superficiales que afectan dichas rocas y que finalmente dieron origen a las unidades aflorantes en nuestra zona de estudio.

La máxima edad de depositación de las litologías objeto de estudio, es decir, de la secuencia metamórfica constituida por una intercalación de metareniscas, metalimolitas y filitas, en donde las metareniscas predominan sobre las demás, corresponden a finales del Neo-proterozoico, específicamente Ediacarian, esto nos indica que el aporte de sedimentos proviene de rocas más antiguas a esta edad. Para el Macizo de Santander, donde se localiza nuestra zona de estudio, la unidad metamórfica más antigua registrada es el Neis de Bucaramanga, el cual tiene una máxima edad de depositación correspondiente al Meso-Proterozoico (edad entre ~1200-1300 Ma; según edades U-Pb en zircones detríticos) (Cordani et al., 2005) y fue sometido a un evento orogénico correlacionable ya sea con la Orogenia Grenvilliana o Putumayense, cuya edad se ubica a comienzos del Neo-Proterozoico (entre 1100 y 980 Ma.) (Cordani et al., 2005). Por lo tanto, inferimos que hubo un aporte de sedimentos durante el desmantelamiento del Orógeno Grenvilliano o Putumayense. Por otra parte, no descartamos una fuente proveniente del Cratón Amazónico, debido a la presencia de Xenotima, mineral típico de rocas con afinidad alcalina, reportadas en Brasil en minas de Pitinga ubicada en la parte central del mismo (Melo y Medeiros, Brasil). La presencia de minerales detríticos como feldespatos potásicos y plagioclasas tipo albita

nos indican un aporte de una fuente ígnea, pero en este caso no es posible determinar la procedencia de este material detrítico, aunque si se puede inferir que esta fuente proviene de un material ígneo félsico, debido a la plagioclasa rica en sodio. La presencia de sanidina, dada en el análisis de Difracción de Rayos X, podría indicar un aporte de rocas volcánicas, dada la ocurrencia de este mineral en las mismas. La presencia de barita, que es un mineral presente en muchos contextos geológicos, no nos permite establecer con certeza la procedencia de este mineral, posiblemente sea un mineral de origen diagenético, debido a que estamos estudiando rocas de bajo y muy bajo grado de metamorfismo, en donde la presencia de minerales detríticos es muy común.

El protolito de esta unidad objeto de estudio es claramente de origen sedimentario, y podría ser correlacionado hasta cierto punto cronoestratigráficamente con la máxima edad de depositación reportada para el protolito de los Esquistos del Chicamocha cuya edad alcanza el Cámbrico medio y también presentan picos prominentes coincidentes con los de los Esquistos del Silgará (*s.s.*) (Mantilla et al., 2016a y b) (Ver tabla 8).

En la zona de estudio evidenciamos en la fase de campo la presencia de dos tipos de metamorfismo, desde el Alto de los Cacaos hasta el Municipio de San Joaquín y las zonas aledañas, las rocas poseen una foliación metamórfica regional, la cual es penetrativa y pervasiva, afectando diferentes protolitos como lo son los arenosos, limosos y arcillosos, pero predominantemente arenosos. Además, el estudio petrográfico nos complementó esta estructura foliada; dándonos a conocer las diferentes microestructuras típicas del metamorfismo regional, como lo son el clivaje de crenulación, pizarroso, estilolítico y filítico, que nos indican temperaturas máximas aproximadamente alrededor de 300°C (Fossen, 2010). Sumado a lo anteriormente referido reportamos dos zonas de metamorfismo para dicha zona, por una parte, tenemos la zona de la Clorita, que nos indica condiciones PT correspondientes a la facies Sub-esquistos Verdes y un

grado muy bajo de metamorfismo. Por otra parte, en la quebrada Panamá reportamos para un tramo de esta una metalimolita, con neoformación de Biotita de grano fino y con una orientación preferencial mineral, según la esquistosidad principal de la roca, que nos indica condiciones termodinámicas correspondientes al comienzo de la facies Esquistos Verdes y un grado bajo de metamorfismo.

En relación con el evento tectono-metamórfico, estas rocas de muy bajo y bajo grado de metamorfismo, debieron ser afectadas por la Orogenia Fammatiniana Principal, cuya edad ha sido reportada para el Ordovícico Inferior (hace 480-472 Ma, según Restrepo- Pace y Cediel, 2010; Mantilla, *et al.*, 2012; Van der Lilej, 2013). Este metamorfismo afectó litologías que espacialmente se encuentran ubicadas en las partes superiores del orógeno y hacia sus extremos (Whitmeyer *et al.*, 2007). También es probable que la Orogenia Fammatiniana Menor haya afectado esta secuencia sedimentaria.

En el esquema geológico de la figura 7, claramente se evidencian dos sistemas de fallas, las cuales poseen la siguiente orientación: (1) fallas con sentido NW-SE (fallas tipo 1) y (2) fallas con sentido NE-SW (fallas tipo 2). Estos sistemas de fallas fueron determinados mediante interpretación de imágenes aéreas y satelitales (fotogeología). Ahora bien, en cuanto a la temporalidad de estos dos sistemas, podemos inferir que las fallas tipo 1 son las más antiguas, ya que estas se encuentran desplazadas por las fallas tipo 2, como se observa por la traza de la Falla Panamá, la cual tiene una cinemática dextral evidenciado con el desplazamiento lateral derecho de la Falla Principal que pasa por la Quebrada La Mesa, Falla El Reventón y Falla El Potrerito. Las fallas tipo 1 son claramente de edad post-Jura-Triásico e inferimos que tienen un componente de movimiento vertical en la dirección de buzamiento con desplazamiento inverso en donde el bloque colgante conformado principalmente por rocas de edad Ediacarian, ascendió sobre rocas de edad

Devónica, esto es corroborado en campo debido a la diferencia topográfica que hay entre el Alto de los Cacaos hasta el Municipio de San Joaquín (bloque colgante) y dichas fallas son anteriores al evento de metamorfismo dinámico asociado con las fallas tipo 2, específicamente con la Falla Panamá.

Existen dataciones radiométricas U-Pb en circones detríticos de rocas encontradas hacia el NW de la zona, cercanas al Municipio de Mogotes las cuales arrojaron edades del Devónico Temprano (a) y Devónico Medio-Tardío (b), correspondientes litológicamente a secuencias arenosas a conglomeráticas con una clara presencia de planos de anisotropía (a) y arenosas a lodosas (b) respectivamente (comunicación verbal Mantilla et al., 2017); estas litologías son correlacionables litoestratigráficamente con las secuencias de rocas conglomeráticas y arenosas de la Formación Tíbet (a) de edad Emsiano (Devónico Inferior) (Cediel et al., 1969) y con la Formación Floresta (b) de edad Frasnense-Fameniense (Devónico Medio-Tardío) (Cediel et al., 1969; Vargas et al. 1981). La Formación Tíbet anteriormente referida es relacionada con las rocas reportadas en este trabajo de investigación durante el segundo recorrido de la fase de campo, el cual se llevó a cabo paralelo a la Quebrada Panamá, donde se reportó la presencia de rocas afectadas por un metamorfismo de cizalla provocado por la Falla Panamá. Dicho metamorfismo generó rocas protomiloníticas y filoníticas que en el esquema geológico ocurren en el sector SW del mismo. Este metamorfismo es de extensión local y afecta únicamente a las rocas del Devónico Inferior y podría estar sobreimpuesto al metamorfismo regional anteriormente referido en las rocas del Ediacarian; no obstante, en este proyecto no se encuentran evidencias que confirmen esta premisa.

Temporalmente el metamorfismo dinámico, obviamente debe ser coetáneo con la formación de la Falla de Panamá, es decir, post-Jura-triásico debido a que cortan rocas intrusivas del Batolito de Mogotes. Además, por fotogeología fue posible determinar el movimiento de cizalla generado por

esta falla que propició la protomilonitización. Aunque inferimos que dicha zona de cizalla es un paleocanal que sirvió para el flujo de fluidos hidrotermales que dio lugar a la neoformación de minerales de alteración en bandas de cizalla, esto se evidencia por la presencia pervasiva de estructuras bandeadas en la mayoría de los litotipos estudiados, la cual es muy semejante a la estructura “Sheet veins” típica de varios depósitos minerales asociados a intrusivos (“*Intrusion-Related*”). Varios cuerpos intrusivos ocurren cortando discordantemente la secuencia de metasedimentitas, entre estos tenemos: (1) el Batolito de Mogotes, (2) Riolitoides Porfíricos y (3) diques de Alaskita. Recordar que el Batolito de Mogotes hace parte del Grupo Plutónico de Santander, cuya edad de emplazamiento ocurrió durante el Jura-Triásico (Ward et al., 1973, Goldsmith et al., 1971, comunicación oral Mantilla y Mendoza, 2015). Esta masa plutónica expulsó sus fluidos antes de su cristalización (Tesis C. Hernández, Universidad Industrial de Santander, 2011), lo cual lo define como anhidro. No obstante, estos fluidos migraron aprovechando los planos de anisotropía generados previamente, ya sea por el metamorfismo dinámico, es decir, los paleocanales antes referidos; o bien por los planos de anisotropía de la foliación metamórfica generada por el metamorfismo regional, aunque es necesario un estudio más detallado para soportar o descartar dichas hipótesis. Nos atrevemos a inferir que la fuente de estos fluidos que propició la creación de la estructura bandeada típica de los diferentes litotipos de la secuencia de metasedimentitas aflorante en la transecta que va desde el Alto de los Cacaos hasta el Municipio de San Joaquín y sus zonas circundantes, especialmente en la Quebrada Panamá y sus respectivos tributarios fueron cuerpos porfíricos que cortan el Batolito de Mogotes, estos cuerpos representan estadios tardíos del magmatismo durante el Jurásico Temprano (~180 Ma.); para corroborar esta presunción está en desarrollo determinar la edad absoluta de las magnetitas

(por medio de Re-Os o Pb-Pb), la cual creemos que es contemporánea con la edad reportada por Ardila et al., (2017) para la alteración fílica del Batolito de Mogotes (~180 Ma.)

Ahora bien, pasando a una escala microscópica estas venas de tonalidades grises a blancuzcas evidencian dos eventos hidrotermales, denominados aquí como Evento Hidrotermal 1 (EH1) y Evento Hidrotermal 2 (EH2). Estos eventos hidrotermales ocurrieron simultáneamente durante el desarrollo de un mecanismo de deformación denominado “Crack-Seal”, esto se explica de acuerdo a lo siguiente: (1) durante la apertura de los “microcracks” circularon fluidos de origen hidrotermal que rellenaron estos espacios dando lugar a la precipitación de sericita 1, cuarzo, biotita 2, clorita 2 y magnetita. Esta sericita posee una orientación discordante con respecto a la dirección de las venas y se caracteriza por tener un tamaño de grano grueso en comparación con la sericita 2. De acuerdo con la composición química de las fases minerales anteriormente referidas, podemos deducir que hubo una gran movilización de cationes tales como hierro+2 ( $Fe^{+2}$ ), Potasio (K) y Aluminio (Al) principalmente y en menor medida Magnesio (Mg) (Melgarejo, 1999). Esto nos indica que el fluido es relativamente de Ph básico y a medida que este fluido se moviliza a zonas más someras de la corteza terrestre se va acidificando y precipitan principalmente sericita 1 y cuarzo y en menor medida se evidencian algunas venas de biotita hidrotermal y magnetita. (2) Suponiendo que en el EH1 la precipitación de los minerales previamente referidos no dejó espacio alguno para que siguiera el continuo ascenso de fluidos, sin embargo, proponemos un movimiento posterior de cizalla que provocó la creación de nuevos espacios para la recirculación de los fluidos restantes, los cuales están empobrecidos en hierro +2 ( $Fe^{+2}$ ) y magnesio (Mg) principalmente, esto lo evidenciamos en lámina delgada por la precipitación de sericita 2 de menor tamaño de grano que la sericita 1, asociada a cuarzo, la cual posee una orientación concordante con la dirección de las venas.

Finalmente, durante las últimas ratas de exhumación, después de ocurridos el EH1 y EH2, las rocas fueron afectadas por la percolación de fluidos de origen meteórico, lavando rocas ricas en hierro +2 ( $\text{Fe}^{+2}$ ), titanio (Ti) y aluminio (Al) fundamentalmente, convirtiendo el hierro en hierro +3 ( $\text{Fe}^{+3}$ ), por medio de la oxidación e hidratación, precipitando minerales supérgenos tales como hematita, goethita, leucoxeno, anatasa y gibbsita. Dichos minerales ocurren ya sea en forma diseminada como la hematita en la muestra MB-01-06-02, o en venas discordantes como por ejemplo en la MB-01-05-02.

## 7. Discusión

Varios autores han caracterizado desde el punto de vista estratigráfico, paleontológico y metamorfo, los litotipos pertenecientes a la secuencia de rocas metasedimentarias de muy bajo y bajo grado que afloran en el sector denominado aquí como franja Cacaos-San Joaquín. Por una parte, se encuentra la propuesta de Ward et al., (1973), en donde denominan a estas rocas como pertenecientes a la Formación Floresta Metamorfoseada y definen una edad Devoniana en base a briozoarios reportados por Diana Gutiérrez, típicos para esta edad. Seguidamente viene la propuesta formulada por Moreno-Sanchez et al., (2005), en donde agrupan estas rocas dentro de la Formación Mogotes las cuales incluyen una sucesión de rocas de bajo grado de metamorfismo que fueron abarcadas por Ward et al., (1973), en su Formación Floresta Metamorfoseada, pero este autor recomienda no seguir denominando a estas rocas como pertenecientes a dicha formación, debido a que esta última tiene un aporte sedimentario rico en materiales calcáreos que no posee la

Formación Floresta sin metamorfosear aflorante en Boyacá. Proponemos basados en los resultados mineralógicos, petrográficos y geocronológicos que no se deben utilizar las denominaciones Formación Floresta Metamorfoseada ni Formación Mogotes, para la secuencia de rocas metasedimentarias que va desde el Alto de los Cacaos hasta el Municipio de San Joaquín, soportado principalmente en que la máxima edad de estratificación de estas litologías, corresponde a finales del Neo-Proterozoico (Ediacarian), por lo tanto no son correlacionables cronoestratigráficamente. Sin embargo, hacia el sector SW del área de estudio documentamos una secuencia sedimentaria conglomerática y arenosa, localmente limolítica y arcillosa afectada por un metamorfismo dinámico, evidenciado por la presencia de porfidoclastos de cuarzo y feldespatos potásico, según la foliación milonítica y que tienen forma de phi ( $\phi$ ) los cuales se observó a escala microscópica y permite identificar un proceso de protomilonitización. La composición mineralógica de estas litologías permiten correlacionarla con el miembro basal de la Formación Floresta, que hoy en día varios autores la denominan como Formación Tíbet (Cediel, (1969) en Moreno-Sanchez et al., 2005; Ward et al., 1973; entre otros), debido a que ambas son ricas en cuarzo y además la Formación Tíbet está constituida por una secuencia de areniscas y conglomerados de cuarzo. Recientemente en comunicación verbal con el profesor Luis Carlos Mantilla Figueroa, existe una evidencia por medio de relaciones de campo de que esta secuencia conglomerática y arenosa infrayace a las rocas metacarbonatadas datadas como de edad Permo-Carbonífero a lo largo de la vía Mogotes-San Joaquín, antes de pasar el Alto de los Cacaos. Por lo tanto, estas rocas son de edad Devónico inferior.

Con el propósito de terminar con la confusión sobre las diferentes denominaciones dadas a la secuencia de rocas metasedimentarias que va desde el Alto de los Cacaos hasta el Municipio de San Joaquín, proponemos una nueva unidad litoestratigráfica para el MS. El nombre que se

propone aquí es Unidad de Metasedimentitas de Cacaos, porque su localidad más cercana se llama Alto de los Cacaos y sus límites estratigráficos no son claros y no determinados en este trabajo debido a que esta secuencia es cortada por numerosos cuerpos plutónicos e hipoabisales, sin embargo, para la zona de estudio el límite inferior coincide con un límite tectónico, delimitado por la denominada Falla Principal.

Los resultados arrojados por este trabajo junto con los demás datos proporcionados por otros autores permiten concluir que el basamento cristalino del MS en cuanto a su historia metamórfica es mucho más complejo de lo que se pensaba hace no más de un año. Para mediados del año pasado (abril-junio de 2016) se creía que existían tres unidades filíticas en el registro geológico, estas son: (1) Filitas con Granate, Cloritoide y Biotita pertenecientes a la Formación Silgará (*s.l.*), y con una máxima edad de depositación correspondiente al Tónico (Mantilla *et al.*, 2016a) y reportadas por Ward *et al.* (1973) al sur de Berlín (2) Filitas cloríticas cuya edad de máxima depositación corresponde al Ordovícico Tardío, estas litologías pertenecen a la nueva unidad denominada Filitas de San Pedro documentadas por Mantilla *et al.* (2016a y b) en la franja metamórfica Pescadero-Aratoca, y (3) Filonitas relacionadas espacialmente a protomilonitas con estructura filítica pero cuyo origen en este trabajo se relaciona a un metamorfismo dinámico y que otros autores han catalogado como Floresta Metamorfoseado (Ward *et al.* (1973) o Formación Mogotes (Moreno *et al.*, 2005), pero que básicamente es la parte basal de la Formación Floresta con un metamorfismo de tipo dinámico. De acuerdo a los resultados presentados en este trabajo se comprueba una nueva unidad filítica cuya edad de máxima depositación corresponde al Ediacarian (588 Ma), dicha unidad corresponde litológicamente a unas rocas bandeadas pseudolaminadas, en donde existe una alternancia de bandas claras con bandas de diferentes tonalidades, que van desde amarillos claros,

amarillos parduzcos a rojizos, estas litologías se intercalan con filitas de color gris oscuro que ocurren localmente y más hacia el sector del Alto de los Cacaos.

Teniendo esto en cuenta, encontramos dos tipos de roca con estructura filítica en nuestra zona (Filonitas del Devónico y Filitas del Ediacarian), que se encuentran bastante cerca, pero su contacto no pudo ser definido ya que los cuerpos plutónicos del Batolito de Mogotes los rodean por toda la zona. Lo que, si podemos inferir, es que son edades bastante alejadas en tiempo geológico, por lo cual debemos tener presencia de estructuras grandes, que puedan llegar a poner en contacto dichas unidades. Durante la fase de campo se observaron diferentes tramos en donde las rocas de la unidad Ediacarian, se encontraban completamente fracturadas y en otras zonas con diaclasas poco pronunciadas que indican el paso de fallas. Mediante imágenes aéreas y satelitales, identificamos dos sistemas de fallas con diferentes orientaciones; las primeras con dirección NW-SE, son las que cortan la unidad Ediacarian y son las responsables de que estas rocas se levanten y estén en contacto con las rocas de la unidad Devónica. Posteriores a este primer sistema, se observan fallas con sentido NE-SE, que cortan las fallas del primer sistema y lo desplazan en diferentes zonas, lo que define a estas fallas como de rumbo Destral. Dentro de este segundo sistema de fallas se encuentran la Falla Panamá. Cabe recalcar que nuestro proyecto no está enfocado en la geología estructural del área, por lo que no se realizó mayor profundidad en este aspecto, pero de igual forma debimos tenerlo en cuenta de manera parcial.

En cuanto al metamorfismo de las litologías objeto de estudio, se evidencian básicamente dos tipos. Por una parte, tenemos un metamorfismo orogénico de extensión regional correlacionable con la Orogenia Fammatiniana (de edad Ordovícico Temprano) cuyo pico metamórfico alcanza condiciones termodinámicas de las facies Esquistos Verdes (Zona de la Biotita), específicamente para las rocas documentadas en la Quebrada Panamá. Subiendo topográficamente hasta el alto de

los cacaos, se reporta la facies Sub-Esquistos Verdes (Zona de la Clorita). Por lo tanto, descartamos un metamorfismo orogénico asociado con el Orógeno Alleganiano propuesto por Moreno-Sanchez et al, (2005). Ahora bien, para las rocas de la Formación Floresta Metamorfoseada en las cuales Ward et al, (1973), sugerían un metamorfismo de carácter regional orogénico, asociado con las etapas finales del Orógeno Fammatiniano, no es consecuente con lo reportado en campo para la unidad que aflora hacia el sector SW del esquema geológico, en donde se evidencia una clara deformación por cizalla, coherente con un metamorfismo dinámico. A fin de cuentas, esta última unidad es esencialmente la Formación Tíbet (Emsiano), sometida a un metamorfismo producto de la Falla Panamá y no un metamorfismo orogénico como lo proponía Ward et al. (1973).

Teniendo en cuenta las dataciones U-Pb en circones detríticos realizadas por Mantilla et al., (2016a), para las franjas de rocas metamórficas Piedecuesta-Aratoca y Matanza-Cachiri, donde afloran las secciones tipo de las unidades Esquistos de Chicamocha y Esquistos del Silgará (*s.s*) respectivamente; y las dataciones realizadas en el presente proyecto para la franja de metasedimentitas Cacaos-San Joaquín, donde ocurren rocas de la nueva unidad propuesta aquí, denominada Metasedimentitas de los Cacaos (UMC), proponemos un marco estratigráfico correlacionable para los protolitos de las unidades metamórficas anteriormente referidas del MS. Considerando que las máximas edades estratigráficas reportadas para la unidad Esquistos del Silgará (*s.s*) y Esquistos del Chicamocha son: Tónico (940 Ma) y Cámbrico Temprano (Terrenuviano) a Cámbrico medio (524 Ma) respectivamente, y que la máxima edad estratigráfica para los paleosedimentos de la Unidad Metasedimentitas de los Cacaos es Ediacarian (588 Ma). Comparando los picos prominentes de la unidad objeto de estudio, con los picos de las otras franjas se evidencia cierta coincidencia en algunos, mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 14

*Tabla comparativa de los picos prominentes de las edades (Ma) U-Pb en circones detríticos para los paleosedimentos de las unidades metamórficas: Esquistos del Silgará (s.s), Esquistos de Chicamocha y Metasedimentitas de los Cacaos.*

<b>Esquistos del Silgará (s.s)</b>	<b>Metasedimentitas de los Cacaos</b>	<b>Esquistos del Chicamocha</b>
		524
	588	562
		628
		698
	830	821
940		
1010	1022	1009
		1174
		1205
1248	1246	
1380		
1490	1476	
		1522
1596		
		1876
		2008

Deducimos que existen varias fuentes de los materiales siliciclásticas que constituyen el protolito de la UMC y que dichas fuentes son correlacionables con las áreas de aporte para los paleosedimentos de las unidades Esquistos del Silgará (s.s) y Esquistos del Chicamocha; esto es demostrado mediante la coincidencia de algunos picos prominentes para las tres unidades. Solamente un conjunto de edades para las tres unidades es aproximadamente parecido (1010, 1009 y 1022 Ma, ver Tabla 8) lo que indica que para esta época del tiempo geológico el área fuente fue

la misma, pero se depositaron en diferentes paleocuecas. Cronoestratigráficamente el protolito de la unidad Metasedimentitas de los Cacaos, se ubica entre la edad máxima de depositación de los paleosedimentos que constituyen los Esquistos del Silgará (*s.s*) hacia la parte superior de este, y la máxima edad estratigráfica de los materiales siliciclásticas de los Esquistos del Chicamocha hacia su parte inferior.

En base a datos geocronológicos reportados por Mantilla et al., (2016a) reconstruimos un marco estratigráfico generalizado para los eventos geológicos (sedimentación de protolitos, orogénicos, metamórficos, magmáticos y tectónicos) del Macizo de Santander en cuanto a la historia del Precámbrico, Paleozoico y Mesozoico (Ver Figura 8).

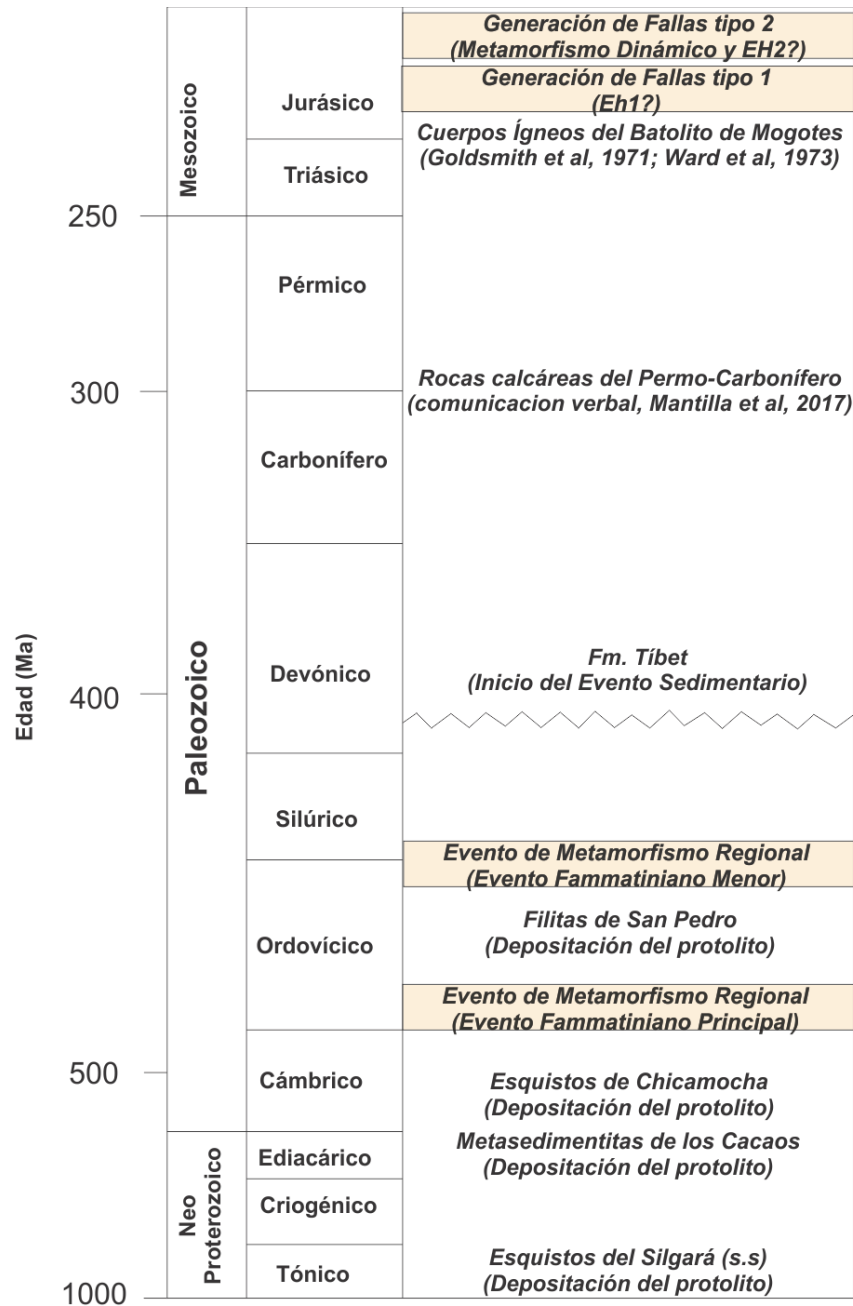


Figura 34. Columna estratigráfica generalizada de los eventos evolutivos y geológicos en la franja Cacaos-San Joaquín (tomado y modificado de Mantilla et al, 2016b)

Según Pirajno (2009) existen varias texturas en venas hidrotermales, una de ellas es la que define como “crack-seal” (grieta-sello), la cual es una textura que deriva de un proceso de acreción, que básicamente consiste en un incremento de la apertura de microgrietas (microcracks) y su

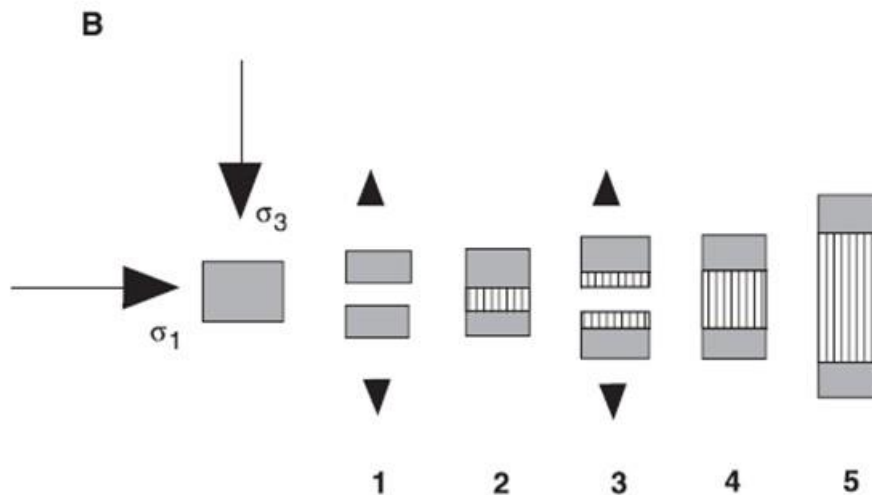
posterior sello por material de origen hidrotermal. Generalmente se forma en ambientes metamórficos y puede ser típico de vetas orogénicas. Además, este autor considera que estas texturas son típicas de fracturación hidráulica y están compuestas de cuarzo y carbonatos, las cuales abarcan un amplio rango de condiciones PT en un ambiente frágil-dúctil relacionado con un sistema de vetas provocado por un metamorfismo de tipo orogénico.

Para el tramo que va desde el Alto de los Cacaos hasta el Municipio de San Joaquín, se evidencian varias fallas paralelas que denominamos tipo 1, las cuales son las siguientes: (1) Falla Principal, (2) Falla El Reventón y (3) Falla El Potrerito y tienen una dirección de rumbo NW-SE. Estas fallas presentan un carácter frágil, evidenciado por la presencia de rocas de la serie cataclástica y brechas de falla localmente, afectando tanto a rocas del Batolito de Mogotes, como a rocas de la Unidad de Metasedimentitas de los Cacaos. No obstante, la deformación frágil se observa mejor en las rocas plutónicas que en las metasedimentitas, la explicación a esto se debe a que el cuerpo plutónico es rico en minerales frágiles como cuarzo y feldespatos, aunque las metareniscas también poseen estos minerales, ellas reflejan un comportamiento más frágil-dúctil debido a que presentan pliegues de tipo “chevron-like”. Hemos visto que diferentes rocas de acuerdo con sus propiedades físicas responden de manera diferente ante los esfuerzos.

En este trabajo observamos que las venas con estructura “sheet veins”, se concentran en mayor medida hacia las zonas más cercanas a las fallas anteriormente referidas. Sin embargo, el dato estructural tanto para la esquistosidad principal de las filitas como para el bandeamiento de las metareniscas, tienen una dirección NW-SE ( $147^{\circ}/35^{\circ}$  y  $325^{\circ}/86^{\circ}$  respectivamente) el cual coincide con la dirección de las fallas tipo 1, lo cual sugiere que estas fallas fueron los paleocanales al igual que los planos de anisotropía de las metasedimentitas que sirvieron para la migración de fluidos

que provienen del cuerpo plutónico y cuyo desencadenante de dicha migración fue el movimiento de estas fallas.

Decimos que la migración proviene del cuerpo plutónico, principalmente a que las venas hidrotermales están constituidas por biotita 2, magnetita, clorita 2, sericita 1 y cuarzo, con lo cual descartamos un origen hidrotermal de carácter metamórfico debido a la ausencia de carbonatos. Sin embargo, reportamos el mecanismo “crack-seal and slide” a escala microscópica, pero con un diferente origen ya que tenemos una fuente rica en hierro (Fe), aluminio (Al), magnesio (Mg) y potasio (K), que reiteramos como de origen hidrotermal (o magmático-hidrotermal) y este mecanismo se resume en la siguiente gráfica:



*Figura 35.* Modelo que explica la generación de venas hidrotermales con estructura "Sheet veins" mediante el mecanismo de deformación "crack-seal". El clivaje preexistente es perpendicular al  $\sigma_1$  y paralelo a  $\sigma_3$ . (1) Posteriormente ocurre un esfuerzo de tensión que provoca la apertura de la grieta. (2) Luego esta es rellenada por un material hidrotermal, que en este caso corresponde a la sericita 1, la cual tiene una orientación discordante con la dirección de esta grieta. (3,4 y 5). Este proceso se puede repetir conforme la apertura se sigue abriendo y continúa rellenándose, dando lugar a venas con mayor espesor a medida que avanza el proceso. Imagen Tomada de Cox et al, (1986) en Pirajno, (2009).

Además, después de operar el anterior mecanismo, ocurre un movimiento de cizalla (*slide*) en las venas hidrotermales, el cual es generado por el movimiento dextral de la Falla de Panamá que es el principal responsable de la migración de fluidos hidrotermales que precipitaron la sericita 2 junto con cuarzo.

## 8. Conclusiones

- La secuencia de rocas metasedimentarias que aflora en el sector que va desde el Alto de los Cacaos hasta el Municipio de San Joaquín no es correlacionable en términos cronoestratigráficos con la Formación Floresta Metamorfoseada, ni tampoco con la Formación Mogotes. Estas litologías poseen una máxima edad estratigráfica que corresponde al Ediacarian (588 Ma.), diferente a las edades reportadas para la Formación Floresta Metamorfoseada y para la Formación Mogotes. Por lo tanto, proponemos una nueva denominación para dichas litologías. Aquí proponemos el nombre informal Unidad de Metasedimentitas de los Cacaos.
- El metamorfismo propuesto anteriormente por diferentes autores para las rocas metasedimentarias aflorantes de la zona no corresponde para estas unidades, y se proponen dos tipos de metamorfismo: (1) metamorfismo regional de tipo orogénico, que afectó las rocas de edad Ediacarian, relacionado con la Orogenia Fammatiniana y (2) metamorfismo dinámico que afecta las rocas de edad Devónica, producto de los esfuerzos generados por la Falla Panamá.

- Hacia el sector SE de la zona de estudio, se encuentran aflorantes cerca a la Quebrada Panamá, una secuencia de rocas siliciclásticas principalmente conglomerados y areniscas, localmente limolitas y arcillolitas las cuales son correlacionables estratigráficamente con la Formación El Tibet como de edad Devónica Inferior (Emsiano). Esta edad se pudo inferir, mediante correlaciones de campo con unidades de edad Permo-Carboníferas que afloran hacia el norte del Municipio de Mogotes, fuera de nuestra zona de estudio (comunicación oral, Mantilla., 2017).
- Estructuralmente la zona se encuentra dominada por dos sistemas de fallas principales, las cuales son: (1) fallas con orientación NW-SE (fallas tipo 1) y (2) fallas con orientación NE-SW (fallas tipo 2), en donde las fallas tipo 2 cortan y desplazan con sentido dextral los bloques afectados por las fallas tipo 1.
- El límite entre la nueva unidad propuesta en este trabajo de edad Ediacarian, y las rocas de edad Devónica, es el trazo de la falla subparalela a la Quebrada La Mesa, la cual pertenece al sistema de fallas tipo 1 y que llamamos Falla Principal. Es posible inferir una cinemática inversa para esta falla, debido a que pone en contacto rocas muy antiguas de edad Ediacarian con rocas relativamente jóvenes de edad Devónico Inferior.
- Logramos diferenciar a escala microscópica dos eventos hidrotermales, llamados EH1 y EH2 cuyos minerales constituyen la estructura bandeada hidrotermal a escala macroscópica. Petrográficamente, estos eventos están representados por los siguientes minerales: Magnetita, Sericita 1, Biotita 2, Clorita 2 y Cuarzo (EH1); y Sericita 2 y Cuarzo (EH2). Además, evidenciamos el mecanismo de deformación denominado *crack-seal* and *slide* en dichas venas.

- El EH1 es propiciado por los movimientos tectónicos asociados con las fallas tipo 1, mientras que el EH2 por los movimientos destrales generados por las fallas tipo 2, específicamente la Falla Panamá. Estas fallas contribuyeron a la migración de fluidos hidrotermales expulsados previamente por el Batolito de Mogotes.
- En el área de estudio se identificó la presencia de la falla de Lebrija (la cual es paralela a la Falla de Bucaramanga), reportada recientemente por Velandia et al., (2017). Esta falla tiene una dirección aproximada NW-SE.
- La Falla Lebrija separa al norte rocas filíticas de edad Pre-Cámbrica, de rocas de aspecto similar a escala macroscópica, localizadas al sur de la falla, pero de edad Devónica.
- Las rocas de aspecto filítico antes referidas (de edad Devónico), al ser estudiadas a escala microscópica, se clasifican como rocas protomiloníticas, propias de un evento dinamo-térmico.
- Las protomilonitas referidas (de edad Devónica) y las Filitas (de edad Precámbrica), presentan en cercanías a la falla de Lebrija, minerales neoformados de magnetita y biotita. Estos minerales, de tamaños que varían entre 0.1 -1.0 cm (especialmente la magnetita), se considerados formados con posterioridad al evento de metamórfico regional relacionado con las filitas y posterior al evento dinamo-térmico asociado a las protomilonitas.
- La presencia de alteraciones filicas en inmediaciones a la falla de Lebrija (afectando las rocas ígneas de aproximadamente 200 Ma del Batolito de Mogotes; tal como ya fue reportada en trabajos anteriores –Ardila et al. 2017-), y con edades en torno a 180-178 Ma (según edades Ar-Ar), se relacionan en este estudio, también temporalmente con las alteraciones filicas o cuarzo-sericíticas, reconocidas tanto las filitas del Precámbrica, como también con las alteraciones potásicas (magnética-biotita epigenética) reportadas en las

filitas y en las protomilonitas. Aunque esta relación temporal (entre las alteraciones QS y K) se establece por estar estas confinadas a la falla de Lebrija, se requiere confirmación mediante nuevas dataciones geocronológicas.

- Con base en los datos aquí obtenidos, se propone que la falla de Lebrija debe ser considerada como un potencial metalotecto, considerando la profusión de diferentes alteraciones hidrotermales hipógenas concentradas a lo largo de esta estructura y sus fallas satélites de menor orden.

## 9. Recomendaciones

- Realizar un estudio geocronológico de las rocas aflorantes hacia la zona sur de San Joaquín, para corroborar la extensión de la franja de rocas con edad Ediacarian.
- Realizar un estudio más detallado de la geología estructural de la zona, teniendo en cuenta que nuestro trabajo no se basó en dicha temática, y que por ende la complejidad estructural, puede ser un factor clave para el conocimiento de la migración de fluidos.
- Es recomendable desarrollar un análisis de inclusiones fluidas sobre las venas que percolan las rocas de la zona, para saber con exactitud su origen y condicione fisicoquímicas en el momento de su precipitación, y por consiguiente sus posibles implicaciones metalogénicas en el marco local y regional.
- Desarrollar un estudio geocronológico de las rocas catalogadas aquí como de edad Devónica Inferior, para corroborar su máxima edad de depositación.

- Se recomienda un estudio de procedencia detallado, para los minerales detríticos, con el fin de determinar específicamente la fuente de aporte.
- Desarrollar un estudio a mayor profundidad, para corroborar el origen de los paleocanales que ayudaron a la circulación de fluidos hidrotermales procedentes del plutón.

### Referencias Bibliográficas

- Castro-Dorado, A. (2015). *Petrografía de rocas Ígneas y Metamórficas*. Madrid, ESPAÑA: Panainfo.
- Fossen, H. (2010). *Structural Geology*. New York: Cambridge.
- Frey, M., & Robinson, D. (1999). *LOW-GRADE METAMORPHISM*. MALDEN, MA: BLACKWELL SCIENCE.
- García, C. (2002). *Facies de metamorfismo regional y de contacto*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- García, C. (2005). *Guía de descripción de rocas y minerales metamórficos*. . Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- García, C. (2007). *Manual de prácticas de petrología metamórfica*. . Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- García, C. A., Ríos, C. A., & Castellanos, O. M. (2005). MEDIUM-PRESSURE METAMORPHISM IN THE CENTRAL SANTANDER MASSIF, EASTERN CORDILLERA. COLOMBIAN ANDES. *Boletín de Geología*, 26.
- Goldsmith, R. (1971). *Radiometric age in the Santander massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes*. WASHINGTON: UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR.
- Mantilla-Figueroa, L. C. (2003). NUEVAS EVIDENCIAS ACERCA DE LA PRESENCIA DE UNA BANDA DE CIZALLAMIENTO EN LA SECUENCIA METAPELÍTICA DE LA FORMACION SILGARÁ, SECTOR ARATOCA-PESCADERO (REGION SUROCCIDENTAL DEL MACIZO DE SANTANDER). *Boletín de Geología - Universidad Industrial de Santander*, 9.

- Mantilla-Figueroa, L. C. (2016). Nuevas evidencias que soportan la escisión de la formación Silgará y propuesta de nuevo marco estratigráfico para el basamento metamórfico del Maciso de Santander (Cordillera Oriental de Colombia). *Boletín de Geología - Universidad Industrial de Santander*, 17.
- Mantilla-Figueroa, L. C. (2016). PROPUESTA DE ESCISIÓN DE LA DENOMINADA FORMACIÓN SILGARA (MACIZO DE SANTANDER, COLOMBIA), A PARTIR DE EDADES U-Pb EN CIRCONES DETRÍTICOS. *Boletín de Geología - Universidad Industrial de Santander*, 19.
- Mantilla-Figueroa, L. C., Valencia, V. A., Barra, F., Pinto, J., & Colegial, J. (2009). GEOCROLOGÍA U-Pb DE LOS CUERPOS PORFIRITICOS DEL DISTRITO AURÍFERO DE VETAS-CALIFORNIA (DPTO DE SANTANDER, COLOMBIA). *Boletín de Geología - Universidad Industrial de Santander*, 13.
- Mario Moreno-Sanchez et al. (2007). LA "FORMACIÓN FLORESTA METAMORFOSEADA" (sensu Ward et al., 1973) NO ES LA FORMACIÓN FLORESTA SIN METAMORFOSEAR. *Universidad de Caldas*, 7.
- Martínez-Catalán, J. M. (2002/2003). Geología Estructural y dinámica global (adaptados por Gabriel Gutiérrez Alonso). *Curso*, <http://web.usal.es/~gabi/apuntes>.
- Melgarejo, J. C. (1999). *ATLAS DE ASOCIACIONES MINERALES EN LÁMINA DELGADA*. Barcelona: Edicions Universitat de Barcelona.
- Moreno-Sánchez, M. (2016). FORMACIÓN NOGONTOVA, UNA NUEVA UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA EN LA CORDILLERA ORIENTAL DE COLOMBIA. *Boletín de Geología - Universidad Industrial de Santander*, 8.
- Pirajno, F. (2009). *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Western Australia : Springer.
- Restrepo-Pace, P. A., & Cediél, F. (2010). Northern South America basement tectonics and implications for paleocontinental reconstructions of the Americas. *ELSEVIER*, 8.
- Royero Gutiérrez, J. M., & Clavijo, J. (2001). *Mapa Geológico Generalizado, Departamento de Santander*. Bogotá: INGEOMINAS.

- Royero Gutiérrez, J. M., & Vargas, R. (1999). *Geología del Departamento de Santander*. Bogotá: INGEOMINAS.
- Van Der Lelij, R., Spikings, R., Ulianov, A., Chiaradia, M., & Mora, A. (2016a). *Paleozoic to Early Jurassic history of the northwestern corner of Gondwana and implications of the evolution of the Iapetus, Rheic and Pacific oceans*. *Gondwana Research*, Vol. 31, 271-294.
- Vargas H., R., Arias T., A., Jaramillo C., L., & Téllez I., N. (1981). *Geología de las planchas 136 Málaga y 152 Soatá cuadrángulo I-13*. Bogotá: INGEOMINAS.
- Villagómez, D., Spikings, R., Magna, T., Kammer, A., Winkler, W., & Beltrán, A. (2011). Geochronology, geochemistry and tectonic evolution of the Western and Central cordilleras of Colombia. *ELSEVIER*, 22.
- Ward, D. E., & Goldsmith, R. (1973). GEOLOGIA DE LOS CUADRANGULOS H-12 BUCARAMANGA Y H-13 PAMPLONA DEPARTAMENTO DE SANTANDER. *Boletín Geológico - Instituto Nacional de Investigación Geológico - Mineras*, 114.
- Whitmeyer, S. J., Fichter, L. S., & Pyle, E. J. (2007). New directions in Wilson Cycle concepts: Supercontinent and Tectonic Rock Cycles. *Geosphere*, 16.

## Apéndices

### Apéndice A. Petrografía

- Muestra MB-02-01-01

#### I. Descripción en Muestra de mano

Roca metasedimentaria de color pardo claro y sectores grises, con brillo mate, el grado de compactación es moderado, cohesiva, heterogénea. Presenta estructura bandeada, en la que hay una alternancia de bandas oscuras de filosilicatos con bandas claras de cuarzo y feldspatos principalmente, estas últimas predominan y se observan tamaños de grano fino a muy fino (de acuerdo con la SCMR) para las bandas oscuras y tamaño medio a fino para las bandas más claras. Además, se observa una lente de aproximadamente 2 mm de espesor conformado por arcillas. La clasificación de campo corresponde a una metarenisca.

#### II. Composición mineralógica

Minerales mayores: Muscovita y Cuarzo

Minerales menores: Biotita y Opacos

Minerales accesorios: Plagioclasa, Epidota, Hematita, Feldespato potásico, Zircón, Clorita (Biotita), Caolinita (Feldespato potásico) y Sericita (Plagioclasa).

Minerales secundarios: Sericita (Plagioclasa) y Clorita (Biotita)

### III. Textura

La textura predominante en la roca es granolepidoblástica, localmente se desarrollan las texturas porfidoclástica en matriz granolepidoblástica (textura relíctica) y poiquiloblástica.

Nombre de la muestra	Metarenisca	Código de la muestra	MB-02-01-01
Coordenadas			
X	Y	Z	Error
1.201.987	1.132.999	2035	NA
Patrón Textural			
Apariencia Física		Tamaño de Grano	
Presenta brillo mate, el grado de compactación es moderado, cohesiva, heterogénea.		Fino a muy fino	
Textura General		Textura Local	
Granolepidoblástica		Porfidoclástica en matriz granolepidoblástica y poiquiloblástica	
Color		Estructura	
Pardo claro y sectores grises		Bandeada	
Clivaje		Fragmentos Visibles %	Matriz %
		NA	NA
Protolito			
Semipelita (Roca Sedimentaria)			
Minerales Esenciales			
<b>Muscovita</b> (44.67%)		Se presentan dos generaciones de Muscovita. Muscovita 1. Este tipo de Muscovita se presenta como minerales relícticos que poseen una orientación casi perpendicular al clivaje principal de la roca. Además, aparecen individuos orientados	

	<p>conformando una esquistosidad interna en feldespatos relícticos. Por tanto, este mineral en el marco de los contextos paragenéticos es definido como mineral detrítico asociado con feldespatos y posiblemente con biotitas 1. Su distribución es restringida en la roca y con ocurrencia de individuos aislados. Algunos individuos aparecen conformando pliegues de crenulación</p> <p>Muscovita 2. Agregados incoloros hojosos, compuestos de individuos heteroblásticos subidioblásticos de hábito laminar con terminaciones irregulares, en contacto neto con cuarzo, biotita 2. Presenta un patrón de textura entrecruzada. Se presenta concordante con la dirección de clivaje principal Sn + 1. Su distribución en la roca es abundante y en dominios de clivaje (dominio M) lo que define una foliación espaciada. Algunos individuos ocurren aislados. Algunos individuos aparecen conformando un clivaje de crenulación.</p>
<p><b>Cuarzo</b> (44.17%)</p>	<p>Se presentan dos generaciones de Cuarzo.</p> <p>Cuarzo 1: Muy pocos cuarzos evidencian extinción ondulante de barrido y subgranos, y probablemente estos sean minerales relícticos, entre los que están también plagioclasa, feldespato potásico, biotita 1 y muscovita 1.</p> <p>Cuarzo 2: Ocurren en dominios poliminerales con la muscovita 2 y biotita 2, que se presentan de manera restringida. Son heteroblásticos y xenoblásticos. Algunos individuos aparecen alargados según la esquistosidad principal de la roca. En algunos sectores presenta contactos de carácter suturado, y otros con puntos triples aproximadamente a 120°. Se asocia en contacto neto con Muscovita 2, Biotita 2, Opacos.</p>
<p><b>Biotita</b> (3.4%):</p>	<p>Se presentan dos generaciones de Biotita.</p> <p>Biotita 1: Individuos heteroblásticos, subidioblásticos de hábito laminar. Discordantes con la dirección principal de esquistosidad. Probablemente esté asociada con Muscovita 1 y feldespatos, sin embargo, no se encontró contacto neto alguno. Por tanto, es un mineral relíctico de carácter detrítico o correspondiente a un clivaje anterior Sn. Algunos individuos están alterados a clorita, además poseen extinción ondulante de barrido.</p> <p>Biotita 2. Agregados de color marrón con un pleocroísmo no tan marcado, constituidos por individuos heteroblásticos, subidioblásticos</p>

	de hábito laminar, en su mayoría concordantes con la dirección principal de esquistosidad $S_n + 1$ . Está asociada con Muscovita 2, Cuarzo y Opacos en contacto neto. Su distribución está localizada en la roca. Algunas biotitas son constituyentes de zonas abrigadas.
<b>Minerales Opacos</b> (3.4%):	Porfidoclastos heteroblásticos de forma subhedral a euhedral, algunos hacen que el clivaje principal $S_n + 1$ se deflece, lo que se constituye como un porfidoclasto precinemático con respecto a $S_n + 1$ y a su vez como un mineral relíctico. Otros parecieran que fueran postcinemáticos a la esquistosidad $S_n + 1$ . Suponiendo el caso anterior habría dos generaciones de opacos, los de geometría subhedral corresponderían a porfidoclastos pretectónicos y los de geometría euhedral a postectónicos con respecto a $S_n + 1$ .
<b>Plagioclasa</b> (0.8%):	Porfidoclastos incoloros, de bajo relieve de morfología heteroblástica, con contornos subidioblásticos. Presentan una forma alargada con un patrón discordante con la esquistosidad principal $S_n + 1$ . Algunos aparecen como micropertitas incluidas en feldespato potásico, otras presentan maclado Albita-polisintética y Albita-Carlsbad. La deformación por el mecanismo de maclado mecánico es evidente en algunas plagioclasas. Posiblemente se asocia con Muscovita 1 y Biotita 1. Existen algunos individuos que están fuertemente sericitizados.
<b>Epidota</b> (0.8%):	Individuo de color amarillo y pleocroísmo leve, con variaciones internas en los colores de interferencia, relieve muy alto, de morfología anhedral. En el contexto de las paragénesis representa un mineral detrítico granular.
<b>Hematita</b> (0.8%):	Ocurre como agregados de grano muy fino en venas concordantes a la esquistosidad $S_n + 1$ , algunas veces alterando opacos que posiblemente sean magnetita. Las venas de hematita presentan un patrón anastomosado.
<b>Feldespato potásico</b> (0.8%):	Individuos incoloros, de bajo relieve de forma heteroblástica, subidioblástica, la mayoría posee inclusiones de muscovita 1, dichos feldespatos aparecen discordantes con la esquistosidad principal de la roca, es decir, son minerales relícticos con respecto a $S_n + 1$ . Aparece como mineral detrítico algunos están fuertemente caolinitizados y otros en los bordes.
<b>Zircón</b> (0.8%):	Individuos incoloros de relieve alto, granos redondeados, homeoblásticos, algunos aparecen incluidos en filosilicatos otros en cuarzo.
Tipo de metamorfismo	
Regional	

Paragénesis mineral
Ms1 + Bt1 + Pl + Kfs + Qtz1 + Op
Ms2 + Bt2 + Qtz2
Facies de metamorfismo
Esquistos verdes
Zona de metamorfismo
Biotita

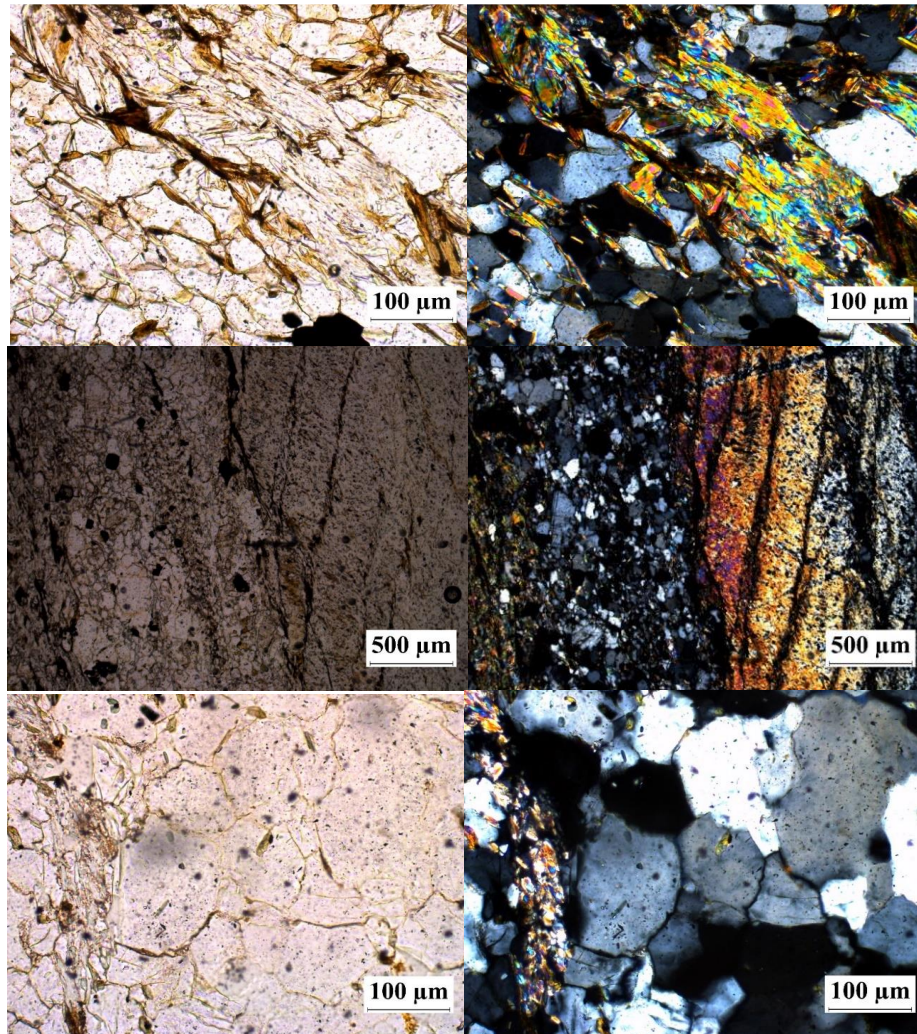


Figura 1. a) Agregado polimineral en donde se observan muscovita y biotita de origen metamórfico concordante con la esquistosidad principal de la roca, y otra discordante que denominamos sericita I de origen hidrotermal todas estas en asociación con cuarzo. (b) Foliación espaciada en donde hay un dominio rico en cuarzo, y otro rico en filosilicatos, en este último se observa el desarrollo de un clivaje de crenulación típico de rocas metamórficas de bajo grado. (c) Recristalización estática incipiente en un agregado de cuarzo evidenciando recristalización después de la deformación.

- Muestra JAD-34-1

### **I. Descripción en Muestra de mano**

Roca metamórfica de color grisáceo, con brillo mate, el grado de compactación es de moderado a alto, cohesiva, heterogénea, de grano fino a medio, en ocasiones grueso (de acuerdo con la SCMR), con estructura milonítica, fundamentalmente ocurren porfidoclastos de cuarzo con forma de phi ( $\Phi$ ) embebidos en una matriz oscura indistinguible a escala mesoscópica. La clasificación de campo corresponde a una meta-conglomerado milonitizado.

### **II. Composición mineralógica**

Mineral principal: Cuarzo.

Mineral mayor: Muscovita.

Minerales menores: Hematita, Biotita, Plagioclasa.

Minerales accesorios: Ortoclasa, Epidota, Zircón, Microclina, Clinozoicita, Clorita, Opacos.

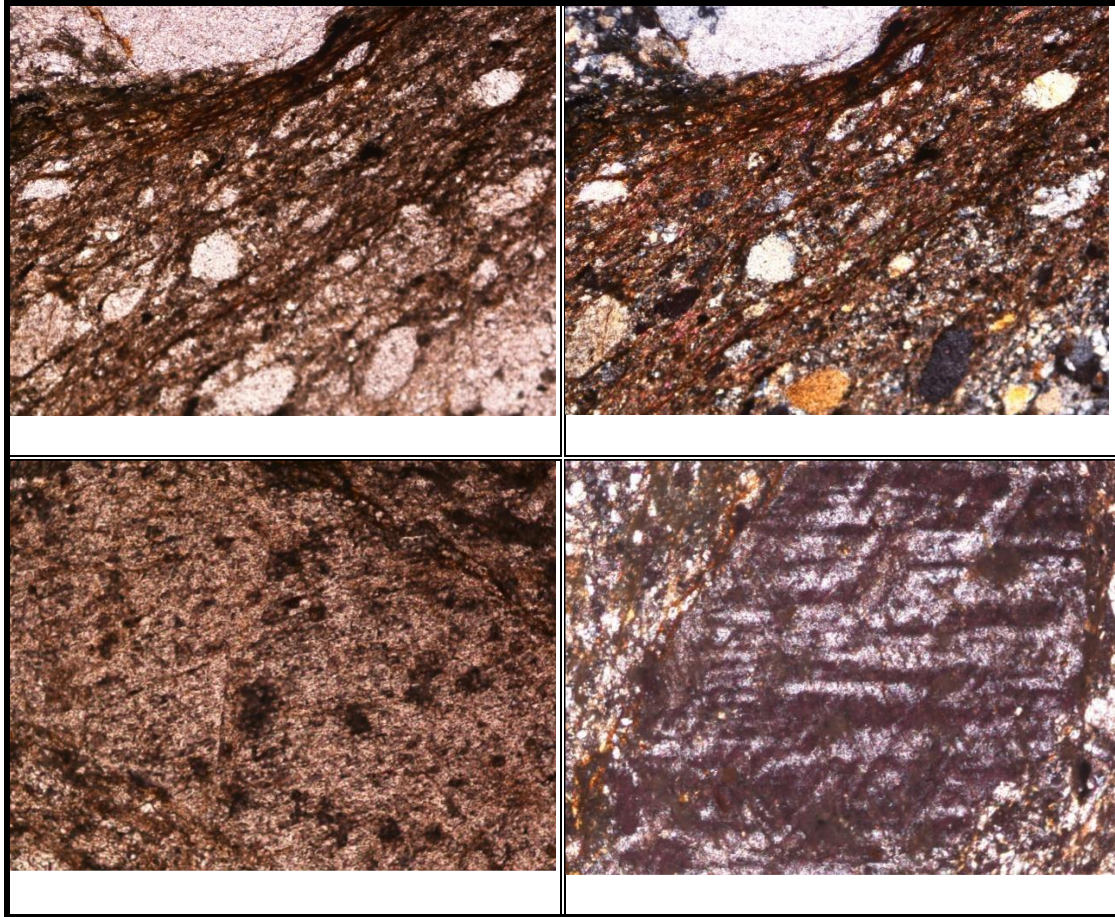
Minerales secundarios:

**VII. Clasificación de la roca según la SCMR.**

Protomilonita.

Nombre de la muestra	Protomilonita psefítica	Código de la muestra	JAD 34-1
Coordenadas			
X	Y	Z	Error
1200914,00	1132997,00	2167,00	2 m
Patrón Textural			
Apariencia Física		Tamaño de Grano	
Presenta brillo mate, alto grado de compactación y cohesión primaria.		Medio (Porfidoclastos) y fino (matriz)	
Textura General		Textura Local	
Cataclástica		Porfidoblástica en matriz lepidogranoblástica	
Color		Estructura	
Gris		Milonítica	
Foliación		Fragmentos Visibles %	Matriz %
Milonítica		40	60
Protolito			
Arenita ligeramente conglomerático. (Sedimentario)			
Minerales Esenciales			
Cuarzo (Qtz) (40%)	Ocurre como porfidoclastos con extinción ondulante y bordes suturados, además algunos presentan elongación debido a la deformación dúctil en una zona de cizalla dúctil en la corteza inferior. Algunos granos aparecen como constituyentes de la matriz debido a la intensa milonitización, los bordes suturados evidencian un mecanismo de deformación por migración de borde de grano. No se alcanza a observar bien la estructura SC típica de las milonitas.		
Feldespatos Potásicos (Kfs) (10%)	Aparece como porfidoclastos con macla polisintética en parrilla o de Tartan. Presenta extinción heterógena con formas anhedrales. Este mineral es detrítico por lo tanto es un mineral relíctico. La foliación externa se acomoda a la forma de los granos de feldespato potásico. Posiblemente estos granos corresponden a Microclina. Ausencia de foliación interna.		

Biotita (Bt) (10%)	Aparece como mineral detrítico en la matriz deliniendo una foliación externa, y se está alterando a clorita. Es muy susceptible a la deformación dúctil junto con la mica muscovita. Son concordantes con la foliación externa a los porfidoclastos.
Muscovita (20%)	Agregados incoloros hojosos, compuestos de individuos incoloros heteroblásticos, con forma subidioblástica de hábito laminar. Estrechamente asociado a cuarzo en contacto neto, algunos individuos forman bandas polimineraleas con el cuarzo. Se presenta concordantemente con las direcciones de clivaje principal. Su distribución en la roca es localizada y heterogénea.
Plagioclasa (Pl) (15%)	Ocurre como individuos incoloros, de bajo relieve de forma heteroblástica, xenoblástica de menor tamaño que el cuarzo, con geometría redondeada discordante con la foliación principal, presenta bordes angulosos, algunos individuos están maclados con la macla polisintética, está asociado a cuarzo y muscovita.
Minerales Accesorios	
Circón (Zrn) (1%)	Individuos incoloros, homeoblásticos, xenoblásticos, la mayoría muy pequeños, de geometría ovalada con bordes curvilíneos sin orientación específica, se presenta en contacto neto y como inclusión en cuarzos.
Minerales Secundarios	
Clorita (Chl) (2%)	La clorita se presenta como agregados fibrosos, siguiendo la exfoliación y orientación de la biotita en la roca. Posiblemente se forma durante la etapa de metamorfismo dinámico retrógrado
Óxidos de hierro (2%)	Agregados concordantes con la foliación externa y como venillas cortando algunos cristales de cuarzo. Este mineral es propio del último contexto paragénético de la roca en el que se produce una alteración supergena ocasionada por aguas meteóricas.
Tipo de metamorfismo	
Dinámico retrógrado?	
Paragénesis mineral	
Qtz + Ms + Kfs ± Pl	
Facies de metamorfismo	
NA	
Zona de metamorfismo	
NA	



*Figura 2A. Microfotografías en las que se observan porfidoclastos de cuarzo de grano grueso principalmente embebidos en una matriz muscovítica formando en ciertos sectores sombras de presión (imágenes superiores a 5X), además en las imágenes inferiores a 20X se aprecia claramente un grano de feldespato potásico con macla en enrejado o parrilla. Imágenes izquierdas en LPNA, derechas en LPA.*

- Muestra MB-01-05-02

### **I. Descripción en Muestra de mano**

Roca metamórfica de color grisáceo, con brillo mate, el grado de compactación es de moderado a alto, cohesiva, heterogénea, de grano fino (de acuerdo con la SCMR), con estructura esquistosa,

en donde solo se observan minerales de grano fino, esporádicamente en la matriz granos de cuarzo y en mayor cantidad en venas. La clasificación dada en campo corresponde a una meta-pelita.

## II. Composición mineralógica

Minerales principales: Muscovita.

Mineral mayor: Cuarzo.

Minerales menores: Opacos.

Minerales secundarios: Caolinita, Hematita

Nombre de la muestra	Filita	Código de la muestra	MB-01-05-02
Coordenadas			
X	Y	Z	Error
1'204.588	1'132.268	2530	NA
Patrón Textural			
Apariencia Física		Tamaño de Grano	
Con brillo mate, el grado de compactación es de moderado a alto, cohesiva, heterogénea		Fino	
Textura General		Textura Local	
Granolepidoblástica		NA	
Color		Estructura	
Gris		Esquistosa	
Clivaje		Fragmentos Visibles %	Matriz %
Crenulación, filítico, pizarroso		NA	NA
Protolito			
Pelítico (Sedimentario)			
Minerales Esenciales			
Cuarzo (16%):	Se presentan tres generaciones de Cuarzo.  Cuarzo 1: Individuos de tamaño fino, incoloros, con colores de interferencia grises de primer orden, relieve bajo, con fracturas, y presencia de algunas estructuras deformativas, y se encuentran en		

	<p>disposición aleatoria con respecto al clivaje principal.</p> <p>Cuarzo 2: Ocurren en contacto neto con la Muscovita 2 al igual que con minerales opacos. Presenta forma xenoblástica y tienen extinción ondulante.</p> <p>Cuarzo 3: Se presentan en las venas con forma subidioblastica a xenoblástica y presentan bordes de subgrano y nuevos granos.</p> <p>Nota: Estos cuarzos presentan texturas por cizallamiento como textura de manto y núcleo (antigua).</p>
Muscovita (68%):	<p>Se presentan dos generaciones de muscovita.</p> <p>Muscovita 1: Se presenta en una dirección aleatoria y casi perpendicular a la foliación principal. Está en menor proporción y en general son agregados hojosos heteroblasticos.</p> <p>Muscovita 2 (Antiguo clivaje pizarroso): Agregados hojosos, incoloros generando textura heteroblastica con terminación laminar. Fue encontrada en contacto neto con cuarzo y en contacto irregular con Hematita y Opacos.</p> <p>Se encuentra en la misma dirección de clivaje que el Cuarzo 2 y los Opacos (Dirección principal).</p> <p>Se encuentra abundante y homogénea por toda la roca.</p>
Minerales Opacos (15%):	<p>Se encuentran como agregados xenoblásticos, heteroblasticos, orientados en la dirección principal de la foliación y asociado con Muscovita y Hematita. Presenta una distribución homogénea en la roca. Estos también se encuentran orientados en las zonas de charnela de la creanulacion, indicando un paso anterior al clivaje filítico.</p>
Hematita (0,5%):	<p>Se presenta posiblemente como mineral de alteración supergena de la magnetita (opacos). Xenoblastico y heteroblastico, asociado principalmente a los opacos y en contacto con la Muscovita. El mineral aparece en ciertos sectores de la muestra (heterogénea).</p>
Caolinita (0,5%):	<p>Se presenta como mineral de alteración hidrotermal, en ocurrencia diseminada, alrededor de las venas en contacto con el Cuarzo 2 y con la Muscovita 1.</p>
Tipo de metamorfismo	
Regional orogénico	

Paragénesis mineral
Ms2 + Qtz2 + Op
Ms1 + Qtz1
Qtz3 + Cao
Facies de metamorfismo
Sub-esquistos verdes
Zona de metamorfismo
Clorita (Chl)

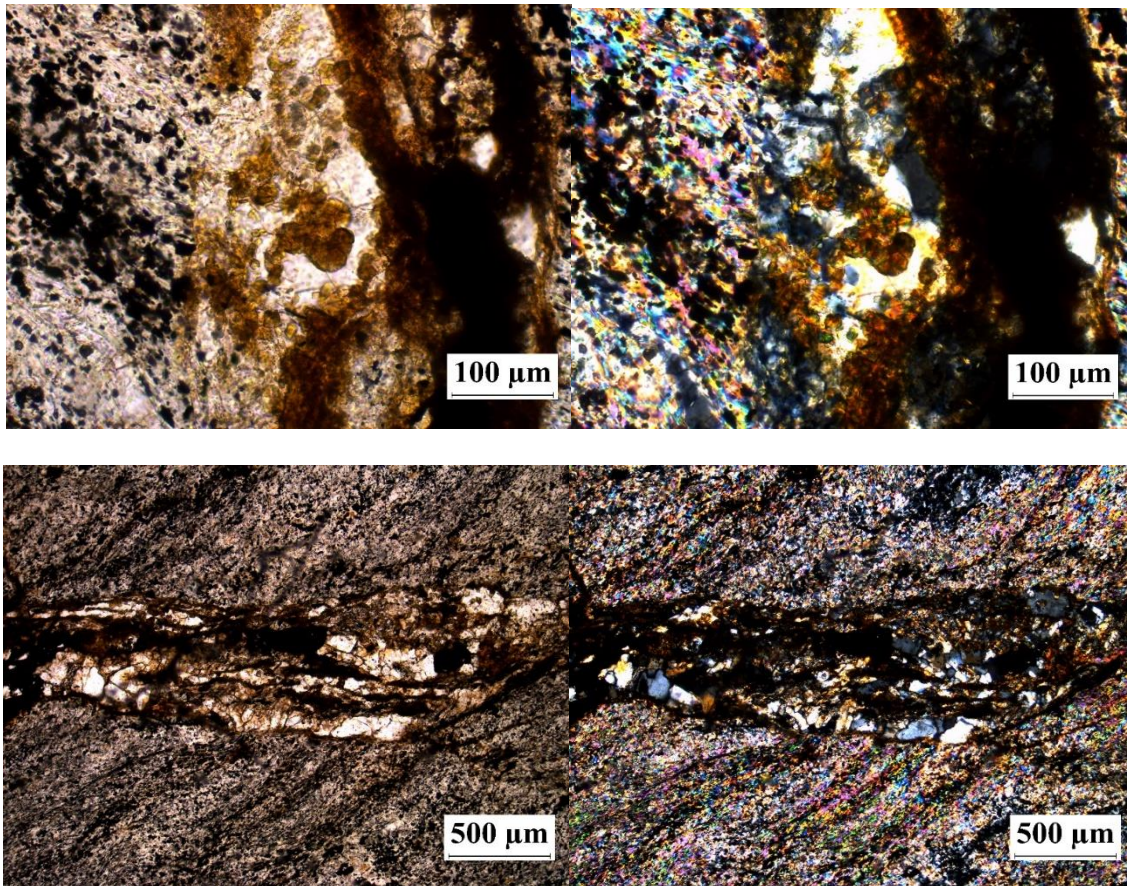


Figura 3A. (a) Agregado radial de Biotita hidrotermal (Biotita 2) en contacto neto con cuarzo en una vena con un espesor medio de 300  $\mu\text{m}$ , dicha vena corta la esquistosidad principal de la roca, la cual está conformada por un agregado de opacos asociados con muscovita de origen metamórfico. (b) Vista ampliada de una vena hidrotermal constituida por un agregado de cuarzo con óxidos de hierro, cortando la esquistosidad principal de la roca.

- Muestra MB-01-01-01

### I. Descripción en Muestra de mano

Roca metasedimentaria de color grisáceo oscuro, que presenta brillo mate, el grado de compactación es alto, cohesiva, homogénea, de grano fino a muy fino (de acuerdo con la SCMR), con estructura esquistosa, además se observa una estructura local denominada tilling constituida por un arreglo en domino de granos de feldespatos. La clasificación dada en campo corresponde a una Filita.

### II. Composición mineralógica

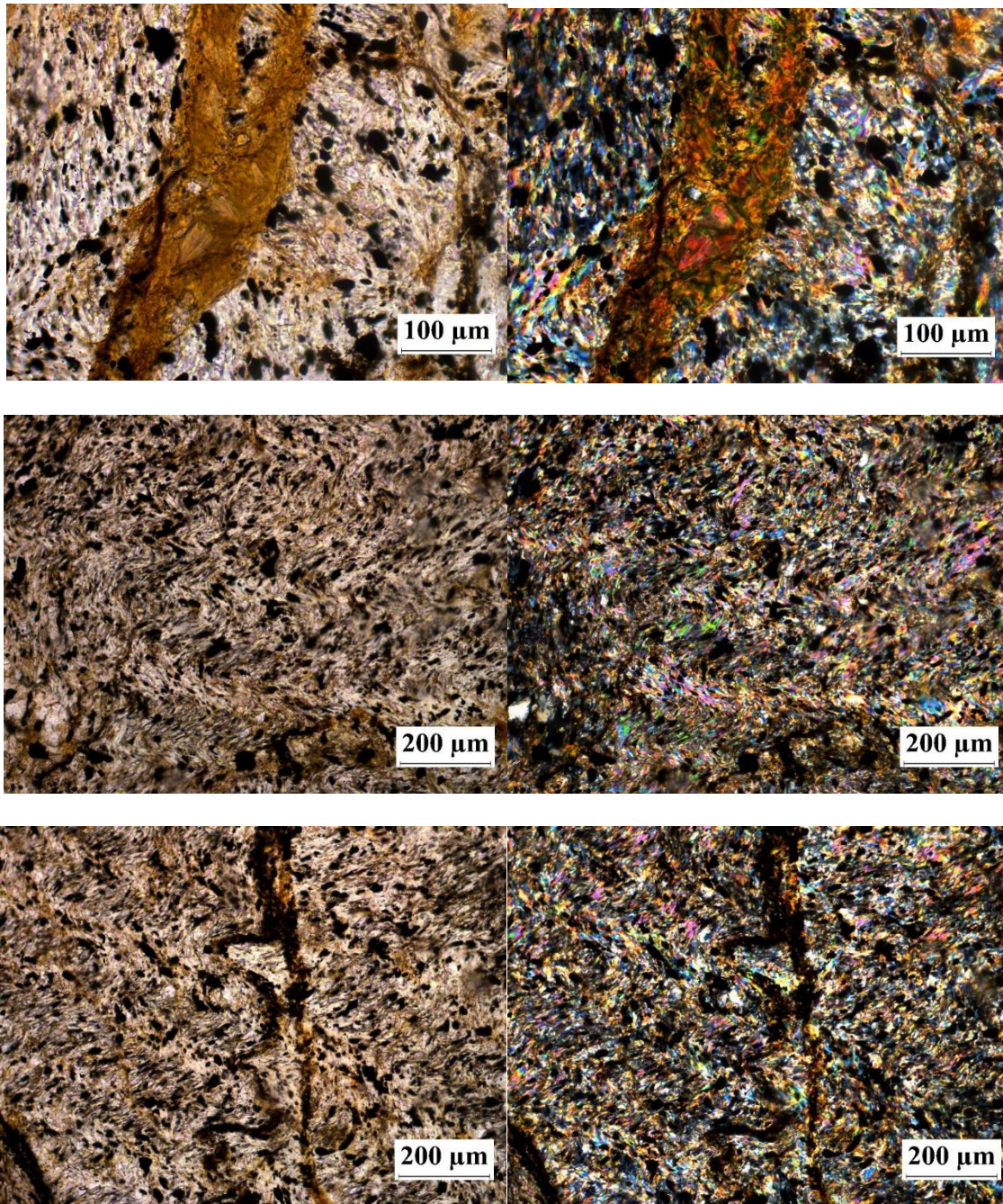
Minerales principales: Muscovita.

Mineral mayor: Cuarzo, Opacos, Sericita, Caolinita, Leucoxeno.

Minerales accesorios: Biotita (Hidrotermal).

Nombre de la muestra	Filita	Código de la muestra	MB-01-01-01
Coordenadas			
X	Y	Z	Error
1'204.828	1'131.965	2549	NA
Patrón Textural			
Apariencia Física		Tamaño de Grano	
Presenta brillo mate, el grado de compactación es alto, cohesiva, homogénea		Fino a muy fino	
Textura General		Textura Local	
Granolepidoblástica		NA	
Color		Estructura	
Grisáceo oscuro		Esquistosa	

Clivaje	Fragmentos Visibles %	Matriz %
Pizarroso, filítico	NA	NA
Protolito		
Pelítico (Sedimentario)		
Minerales Esenciales		
Muscovita (51%):	Agregados hojosos, alargados y microplegados (crenulacion), textura heteroblástica. Se encuentra en contacto con Opacos principalmente y con Cuarzo 1.	
Minerales Opacos (16%):	Se encuentran como agregados xenoblásticos, heteroblasticos, orientados en la dirección principal de la foliación y asociado con Muscovita. Presenta una distribución homogénea en la roca. Presentes y orientados en las zonas de charnela de la creanulacion, indicando un paso anterior al clivaje filítico.  Se encuentra abundante y homogénea por toda la roca.	
Leucoxeno (9%):	Agregados anhedrales, por alteración supergena de Titanio, colores pardos a marrones, en distribución heterogénea por la muestra.	
Sericita (8%):	Agregados xenoblásticos, incoloros, con relieve bajo a medio, y distribución pobre en la roca. Asociada principalmente a la muscovita, y en la dirección de la foliación principal.	
Caolinita (7%):	Se presenta como mineral de alteración hidrotermal, en ocurrencia diseminada, alrededor de las venas en contacto con el Cuarzo 2 y con la Moscovita.	
Tipo de metamorfismo		
Regional orogénico		
Paragénesis mineral		
Ms + Qtz1 + Ser Qtz2 + Cao		
Facies de metamorfismo		
Sub-esquistos verdes		
Zona de metamorfismo		
Clorita (Chl)		



(a) Vena discordante compuesta por biotita hidrotermal (biotita 2) cortando la esquistosidad principal de la roca la cual está constituida por un agregado de muscovita metamórfica y opacos detríticos (b) Clivaje pizarroso afectado por un plegamiento generando crenulación y un clivaje de crenulación incipiente. (c) Clivaje pizarroso plegado en el cual también se observa una vena de óxidos de hierro de origen pre-tectónico, además se observa otra vena discordante con relación a la crenulación, la cual es de origen post-tectónico.

- Muestra MB-01-06-02

Roca metasedimentaria constituida por bandas alternantes, unas de color rojo y otras de color gris a blanco, las bandas de color rojo están compuestas de óxidos de hierro, y las bandas de color gris a blanco están constituidas por cuarzo y sericita. El grado de compactación es moderado, es poco cohesiva, heterogénea. Se observa estructura bandeada. El tamaño de grano predominante es medio a grueso. La clasificación en campo es una **Metarenisca (roja)**.

### **I. Descripción en Muestra de mano**

Roca metasedimentaria

### **II. Composición mineralógica**

Mineral mayor: Cuarzo, Sericita, Hematita.

Minerales menores: Goetita, Opacos, Líticos, Biotita.

Minerales accesorios: Clorita, Epidota, Zircón.

### **III. Textura**

La textura predominante en la roca es Lepidogranoblastica.

### **IV. Paragénesis mineral**

**V. Facies de metamorfismo**

Esquistos Verdes

**VI. Zona de metamorfismo**

Clorita

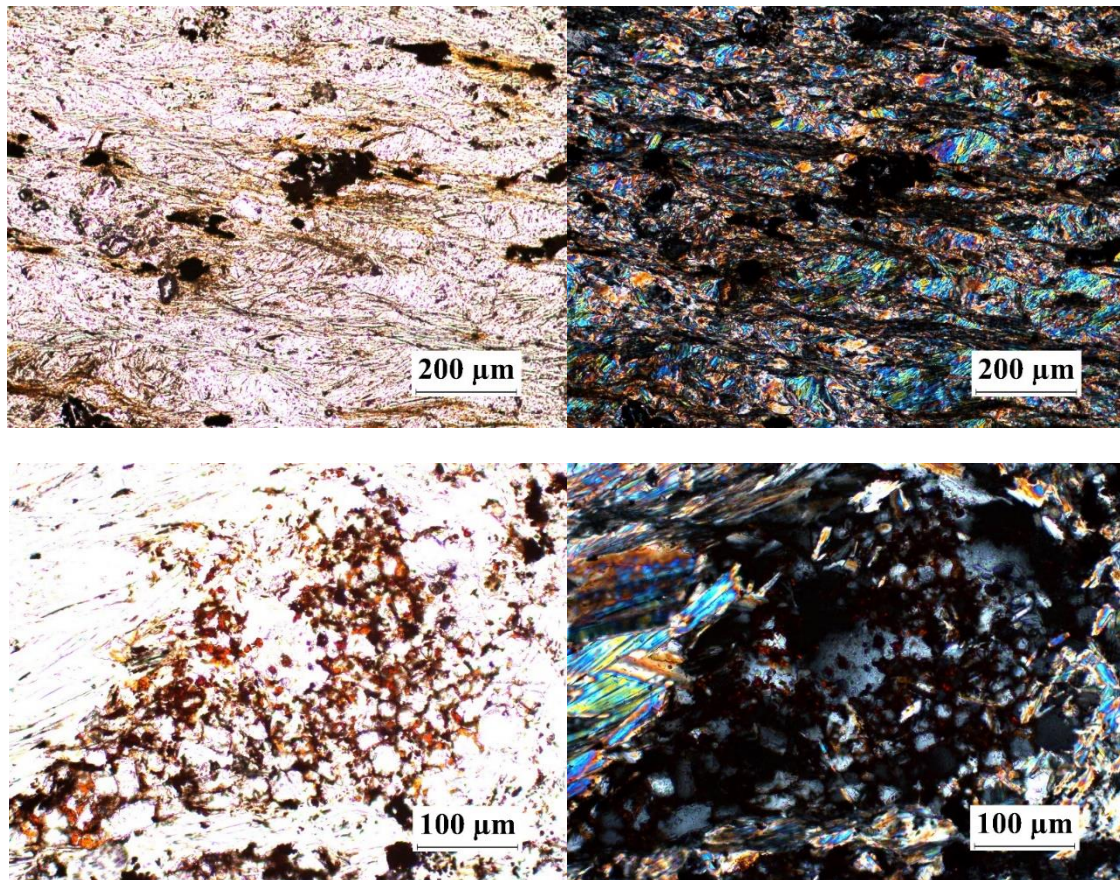
**VII. Clasificación de la roca según Robertson, S. 1999.**

Semipelita

Nombre de la muestra	Filita	Código de la muestra	MB-01-06-02
Coordenadas			
X	Y	Z	Error
1°204.177	1°132.299	2508	NA
Patrón Textural			
Apariencia Física		Tamaño de Grano	
compactación es moderado, es poco cohesiva, heterogénea		Medio a grueso	
Textura General		Textura Local	
Lepidogranoblástica		NA	
Color		Estructura	
Rojo y gris		Bandeada	
Clivaje		Fragmentos Visibles %	Matriz %
Compactación		NA	NA
Protolito			
Psamítico (Sedimentario)			
Minerales Esenciales			

Cuarzo (48%):	<p>Se presentan dos generaciones de cuarzo.</p> <p>Cuarzo 1: Cuarzo detrítico, aparece como individuos incoloros, con bajo relieve, heteroblasticos, xenoblásticos, con colores de birrefringencia como grises de primer orden. Estos cristales se encuentran sin una dirección preferencial, situados al azar, y presentan textura de manto y núcleo, en donde los cristales más grandes presentan extinción ondulante y algunas bandas de deformación. Se encuentra principalmente asociado con moscovita 1 y es el mineral más abundante en la muestra.</p> <p>Cuarzo 2: Este cuarzo se encuentra en las venas, presenta estructuras deformativas como extinción ondulante y bandas de deformación. Se encuentran asociados principalmente a la dirección del flujo hidrotermal y su concentración es mayor hacia los bordes de las venas, estando en contacto neto con moscovita 2 y biotita.</p>
Sericita (37%):	<p>Se presentan dos generaciones de Sericita:</p> <p>Sericita 1: Agregados de mayor tamaño que la sericita 2, presentan colores de interferencia de tercer orden, incoloros, y se encuentran distribuidos en las bandas hidrotermales que atraviesan la roca. Se encuentran todos de formas perpendiculares o basculadas, en sentido contrario, del flujo hidrotermal.</p> <p>Sericita 2: Agregados de menor tamaño, que se encuentran dentro de las bandas hidrotermales, y que además se presentan entre la sericita 2, por procesos de cizalla dentro del material sericitico, generando un segundo evento de formación de sericita, que se encuentra orientada respecto al flujo hidrotermal.</p>
Goethita (2%):	<p>Agregados rojizos anaranjados, producto de la alteración de la hematita, xenoblásticos, con tamaños de grano ultrafino (0,0243mm), sin orientación preferencial. Su distribución es heterogénea, concentrándose en algunos sectores de la muestra.</p>
Biotita (2%):	<p>Dos generaciones de Biotita.</p> <p>Biotita 1: Individuo con colores típicos de la biotita, asociado principalmente con cuarzo 1, exfoliación típica, con habito hojoso, con muy poca distribución en la muestra (solo un cristal). Este cristal se encuentra alterando a clorita.</p>

	Biotita 2: Se presenta en venas de espesor de 0,0324mm, de color marrón, con pleocroísmo, con relieve medio, y colores de interferencia enmascarados un poco con el color del mineral.
Minerales Opacos (2%):	<p>Aparecen dos generaciones de opacos.</p> <p>Opacos 1: Individuos xenoblásticos, heteroblasticos, con distribución heterogenea en la muestra, asociados principalmente a cuarzo 1, como mineral detrítico.</p> <p>Opacos 2: Individuos idioblásticos, homeoblasticos, con distribución pobre en la roca, sobrepuesto a minerales como muscovita, aveces con habito rómbico, y muy localmente con inclusiones de cuarzo.</p>
Clorita (1%):	Aparece como mineral de alteración de una biotita. Individuo xenoblástico, con distribución heterogenea, con colore verde y pleocroísmo levemente marcado.
Epidota (0,6%):	Mineral detrítico, con zonación, alto relieve y altamente fracturado.
Zircón (0,4%):	Individuos incoloros de relieve alto, granos redondeados, homeoblásticos, algunos aparecen incluidos en filosilicatos otros en cuarzo.
Tipo de metamorfismo	
Regional orogénico	
Paragénesis mineral	
Qtz1 + Bt1 + Op1 + Ep (Minerales detríticos)	
Op2 + Bt2 + Ser1(Evento Hidrotermal 1)	
Qtz2 + Ser2 (Evento Hidrotermal 2)	
Goe + Hem (Evento de alteración Supergena)	
Facies de metamorfismo	
Sub-esquistos verdes	
Zona de metamorfismo	
Clorita (Chl)	



(a) Evidencia de los dos eventos hidrotermales generados durante el mecanismo de deformación *crack and slide*, formando dos tipos de sericita, la sericita 1 es la generada durante la apertura de la grieta (*crack*) la cual posee una disposición discordante con respecto a la dirección de la vena; la sericita 2 es la generada durante el movimiento de cizalla (*slide*) la cual posee una orientación concordante en relación a la dirección de la vena. (b) Evidencia de la fuerte oxidación durante los eventos supérgenos por la presencia de un agregado diseminado principalmente de hematita y localmente de goetita.

- Muestra MB-01-05-01

### I. Descripción en Muestra de mano

Roca meta-sedimentaria de color blanco a gris, y colores pardos a rojizos por alteración supergena, con brillo mate a nacarado, grado de compactación medio, cohesiva, heterogénea. Se observa

estructura bandeada dominante y una pobre estructura esquistosa; la estructura bandeada se diferencia en bandas claras predominantes con mayor espesor (2-3mm) y bandas oscuras con un espesor menor (1 mm). Las bandas claras, compuestas por cuarzo y feldespato con tamaños de grano medio a fino, y las bandas oscuras compuestas por filosilicatos con tamaños de grano muy fino. La muestra evidencia planos de fracturas concordes con la foliación y otras en distribución aleatoria. Recalcable también que la roca se ve algo triturada, lo cual hace que no sean tan compacta. La clasificación corresponde a una **Metarenisca**.

## II. Composición mineralógica

Minerales principales: Cuarzo.

Mineral mayor: Muscovita, Biotita.

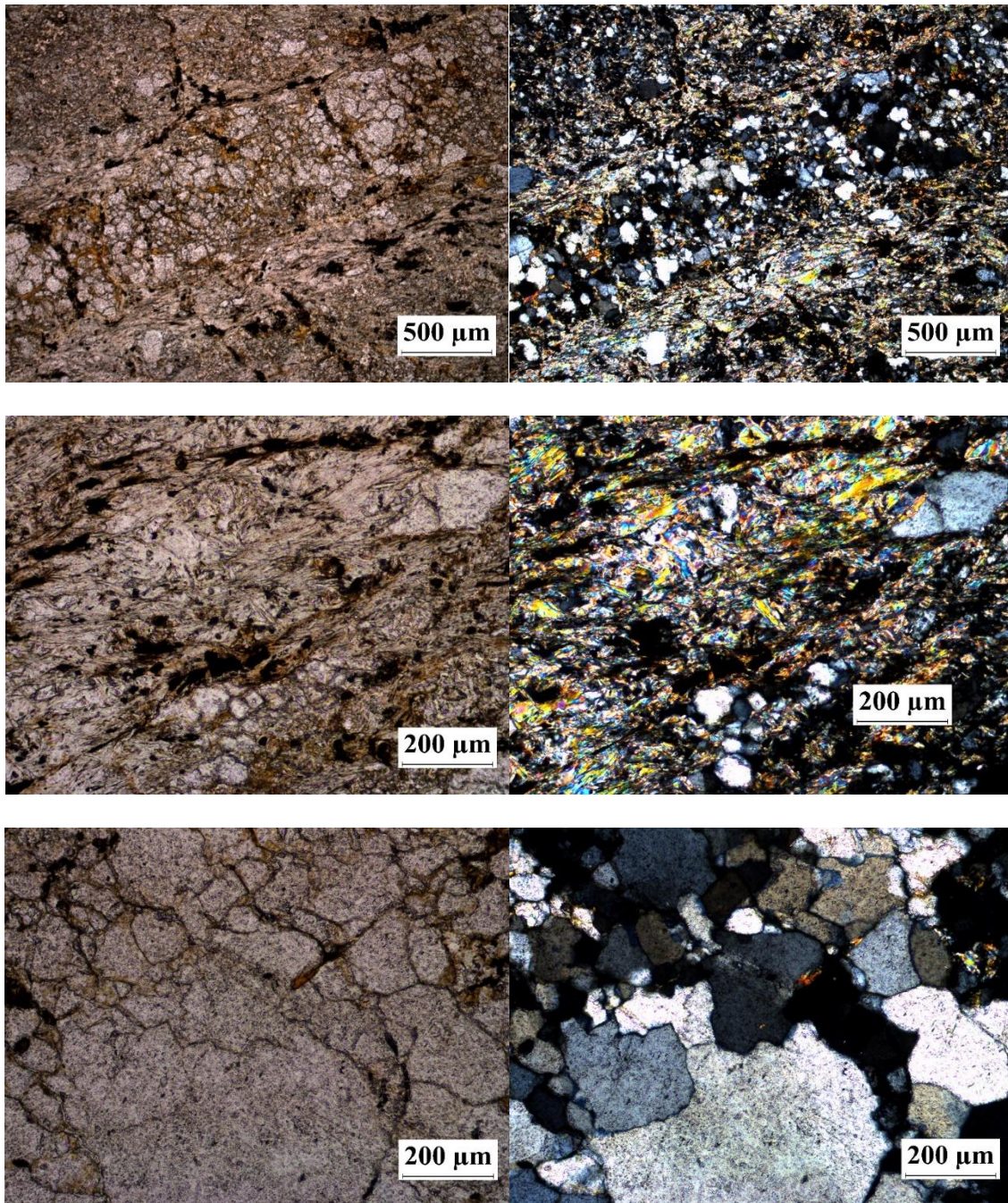
Minerales menores: Sericita, Hematita, Plagioclasa.

Minerales accesorios: Ortoclasa, minerales opacos.

Nombre de la muestra	Metarenisca	Código de la muestra	MB-01-05-01
Coordenadas			
X	Y	Z	Error
1.204.588	1.132.268	2530	NA
Patrón Textural			
Apariencia Física		Tamaño de Grano	
Grado de compactación medio, cohesiva, heterogénea.		Medio, Fino (bandas claras) y muy fino (bandas oscuras)	
Textura General		Textura Local	
Lepidogranoblástica		NA	
Color		Estructura	
Blanco a gris		Bandeada	
Clivaje		Fragmentos Visibles %	Matriz %
		NA	NA

Protolito	
Psamita (Roca Sedimentaria)	
Minerales Esenciales	
<b>Cuarzo (51%):</b>	<p>Presenta dos generaciones de cuarzos.</p> <p>Cuarzo 1: Individuos incoloros, con bajo relieve, heteroblasticos, xenoblásticos, con colores de interferencia hasta grises de primer orden. Estos individuos varían en tamaño y forma, sin presentar una orientación predilecta reconocible. Su distribución en la muestra es abundante y homogénea.</p> <p>Cuarzo 2: Individuos de menor tamaño, recristalizados por el evento metamorfoico. Presentan estructuras como extinción ondulante, estructura de manto y núcleo.</p> <p>Minerales Opacos (0,5%): Individuos xenoblásticos, en algunos sectores se observa su alteración a biotita y se encuentran con una distribución pobre en la muestra.</p>
<b>Moscovita (30%):</b>	<p>Agregados incoloros hojosos, compuesto por individuos heterogeneos, subhedrales-anhedrales, con terminaciones irregulares, que están en contacto neto con cuarzo 1. Su distribución en la muestra es abundante y homogénea.</p>
<b>Sericita (10%):</b>	<p>Dos generaciones de Sericita:</p> <p>Sericita 1: Agregados de mayor tamaño que la sericita 2, presentan colores de interferencia de tercer orden, incoloros, y se encuentran distribuidos en las bandas hidrotermales que atraviesan la roca. Se encuentran todos de formas perpendiculares o basculadas, en sentido contrario, del flujo hidrotermal.</p> <p>Sericita 2: Agregados de menor tamaño, que se encuentran dentro de las bandas hidrotermales, y que además se presentan entre la sericita 2, por procesos de cizalla dentro del material sericitico, generando un segundo evento de formación de sericita, que se encuentra orientada respecto al flujo hidrotermal.</p> <p>Hematita (3%): Se encuentran como individuos rojizos a negros, xenoblásticos, con tamaños de grano ultrafino (0,00285mm), homeoblastico, sin una orientación preferencial. Se presenta de manera heterogénea en la muestra, concentrándose en algunos sectores.</p>

Biotita (2%)	<p>Se presentan dos generaciones de Biotita:</p> <p>Biotita 1: Agregados de color marrón, con pleocroísmo algo alterado, con tamaños de grano muy fino (0,19mm) y se dispone de forma aleatoria en la muestra, asociado en algunos sectores con fracturas. Se encuentra de forma aleatoria y diseminada.</p> <p>Biotita 2: Se presentan como alteración de los minerales opacos que se observan en la muestra.</p>
Plagioclasa (2%):	Individuos incoloros, de relieve bajo, subidioblasticos, con tamaños parecidos a Cuarzo 1, con maclas típicas, pero sucias por el nivel de alteración. Estos cristales no concuerdan con la esquistosidad principal y aparecen de forma heterogénea en la muestra.
Ortoclasa (0,5%):	Individuo incoloro, de relieve bajo, xenoblástico, con inclusiones y bastante fracturado. Se observa en poca cantidad en la muestra y como mineral detrítico, bordeado por moscovita, biotita y cuarzo.
Tipo de metamorfismo	
Regional	
Paragénesis mineral	
<p>Qtz1 + Ms + Bt1 + Pl + Or</p> <p>Ser1 (EH1)</p> <p style="text-align: right;">Ser2 (EH2)</p>	
Facies de metamorfismo	
Sub-Esquistos verdes	
Zona de metamorfismo	
Clorita	



(a) Vena compuesta de cuarzo y biotita hidrotermal concordante con la esquistosidad principal de la roca, esta última está constituida por muscovita y cuarzo de origen metamórfico. (b) Agregado polimeneral de muscovita, sericita 1, sericita 2 (?) y cuarzo, como se observa la sericita 1 corta la esquistosidad principal, cabe resaltar en este caso es indistinguible la sericita 2 de la muscovita de origen metamórfico. (c) Evidencia de recrystalización dinámica por el mecanismo de migración de borde grano de baja temperatura en cuarzos. Se observa un grano de biotita metamórfica.

- Muestra MB-02-02-01

### I. Descripción en Muestra de mano

Roca metasedimentaria de color amarillo pardo, con brillo mate, el grado de compactación es moderado, cohesiva, heterogénea. Presenta estructura bandeada, con una alternación de bandas grisáceas compuestas por filosilicatos con bandas claras pardas compuestas de cuarzo, moscovita y feldespatos. Estas últimas bandas son las que presentan un mayor espesor. El tamaño de grano para las bandas grisáceas varía de fino a muy fino, mientras que para las bandas pardas varía de medio a fino. La clasificación en campo corresponde a una **Metarenisca**.

### II. Composición mineralógica

Minerales principales: Cuarzo.

Mineral mayor: Biotita, Sericita.

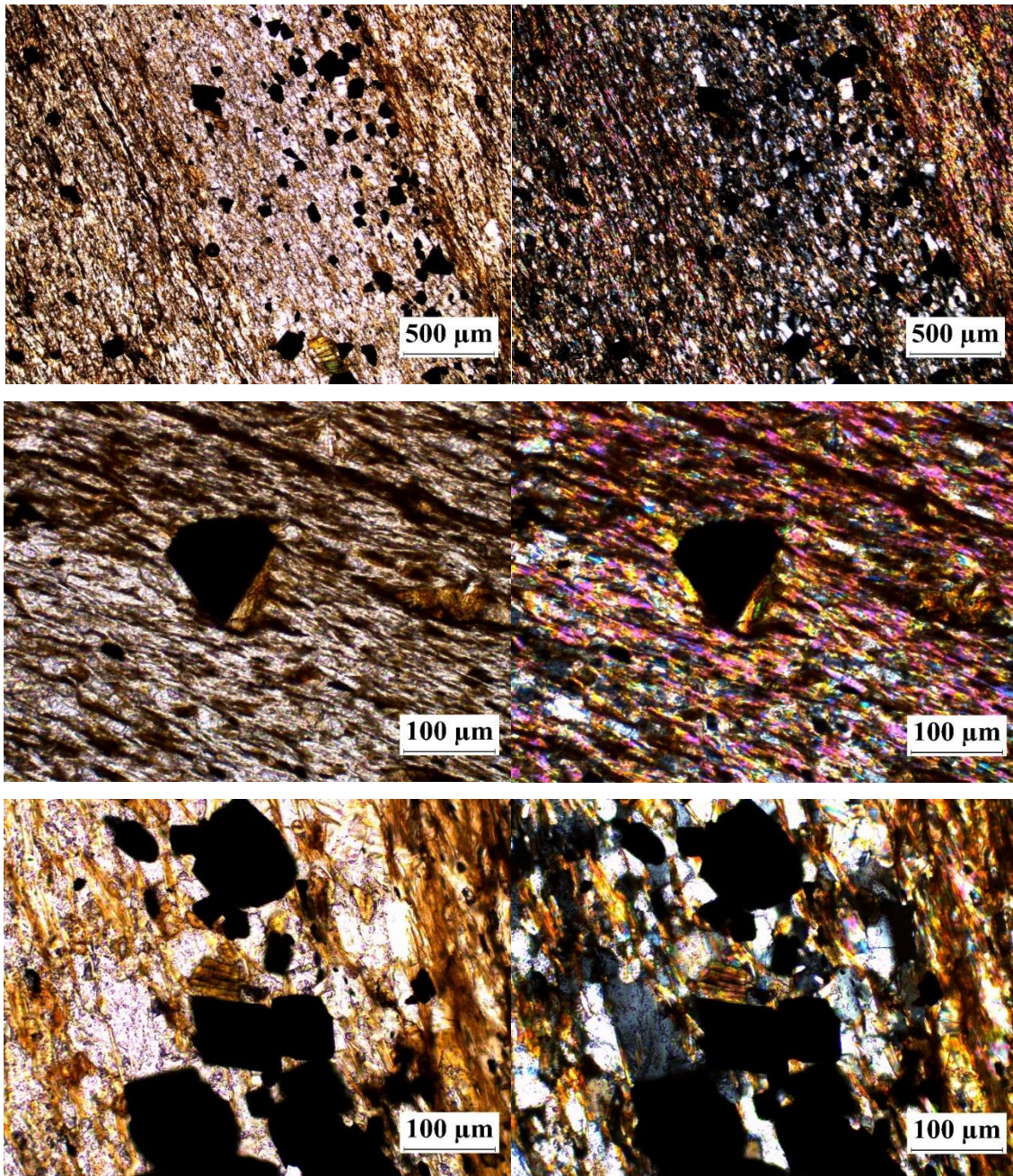
Minerales menores: Leucoxenos, Goetita.

Minerales accesorios: Hematita.

Nombre de la muestra	Metarenisca	Código de la muestra	MB-02-02-01
Coordenadas			
X	Y	Z	Error
1.204.588	1.132.268	2530	NA
Patrón Textural			
Apariencia Física		Tamaño de Grano	
Con brillo mate, el grado de compactación es moderado, cohesiva, heterogénea.		Medio, Fino (bandas claras) y fino a muy fino (bandas oscuras)	
Textura General		Textura Local	

Lepidogranoblástica		Microperitita (relictica)	
Color		Estructura	
Amarillo pardo		Bandeada	
Clivaje		Fragmentos Visibles %	Matriz %
Filítico		NA	NA
Protolito			
Psamita (Roca Sedimentaria)			
Minerales Esenciales			
Cuarzo (51%):	<p>Cuarzo (51%): Presenta dos generaciones de cuarzos.</p> <p>Cuarzo 1: Individuos incoloros, con bajo relieve, heteroblasticos, xenoblásticos, con colores de interferencia hasta grises de primer orden. Estos individuos varían en tamaño y forma, sin presentar una orientación predilecta reconocible. Su distribución en la muestra es abundante y homogénea.</p> <p>Cuarzo 2: Individuos de menor tamaño, recristalizados por el evento metamórfico, en relación con la sericita 2. Presentan estructuras como extinción ondulante, estructura de manto y núcleo.</p>		
Sericita (30%):	<p>Se presentan dos generaciones de Sericita:</p> <p>Sericita 1: Agregados de mayor tamaño que la sericita 2, presentan colores de interferencia de tercer orden, incoloros, y se encuentran distribuidos en las bandas hidrotermales que atraviesan la roca. Se encuentran todos de formas perpendiculares o basculadas, en sentido contrario, del flujo hidrotermal.</p> <p>Sericita 2: Agregados de menor tamaño, que se encuentran dentro de las bandas hidrotermales, y que además se presentan entre la sericita 2, por procesos de cizalla dentro del material sericitico, generando un segundo evento de formación de sericita, que se encuentra orientada respecto al flujo hidrotermal.</p>		
Biotita (7%):	<p>Dos generaciones de Biotita:</p> <p>Biotita 1: Agregados de color marrón con pleocroísmo típico, alargados en el sentido de la foliación. Se encuentra en contacto con Qz2 y sobreimpuesto a cristales de Qz1.</p> <p>Biotita 2: Agregados de color marrón, con pleocroísmo algo alterado, con tamaños de grano muy fino (0,19mm) y se dispone de forma</p>		

	aleatoria en la muestra, asociado en algunos sectores con fracturas. Se encuentra de forma aleatoria y sin seguir la dirección de la foliación
Leucoxeno (6%):	Agregados anhedrales, por alteración supergena de Titanio, colores pardos a marrones, en distribución heterogénea por la muestra.
Hematita (3%):	Se encuentran como individuos rojizos a negros, xenoblásticos, con tamaños de grano ultrafino (0,00285mm), homeoblastico, sin una orientación preferencial. Se presenta de manera heterogénea en la muestra, concentrándose en algunos sectores.
Plagioclasa (2%):	Individuos incoloros, de relieve bajo, subidioblasticos, con tamaños parecidos a Cuarzo 1, con maclas típicas, pero sucias por el nivel de alteración. Estos cristales no concuerdan con la esquistosidad principal y aparecen de forma heterogénea en la muestra.
Ortoclasa (0,5%):	Individuo incoloro, de relieve bajo, xenoblástico, con inclusiones y bastante fracturado. Se observa en poca cantidad en la muestra y como mineral detrítico, bordeado por moscovita, biotita y cuarzo.
Tipo de metamorfismo	
Regional Orogénico	
Paragénesis mineral	
<p>Qtz1 + Pl + Or (relicticos)</p> <p>Qtz2 + Bt1 (metamórfico)</p> <p>Op + Bt2 + Ser1 (EH1)</p> <p>Ser2 (EH2)</p> <p style="text-align: right;">Hem + Leu (supérgeno)</p>	
Facies de metamorfismo	
Esquistos Verdes	
Zona de metamorfismo	
Biotita	



(a) Bandas poliminerales constituidas por un agregado de Magnetita de forma euhedral a subhedral, en contacto neto con biotita hidrotermal (biotita 2) y cuarzo, todo este conjunto de minerales está sobreimpuesto a la esquistosidad principal de la roca. Además, se observa que la biotita 2 está alterada a clorita 2. (b) Magnetita euhedral a subhedral en contacto neto con biotita hidrotermal (biotita 2) y sericita 1, todo este conjunto de minerales está sobreimpuesto a la esquistosidad principal de la roca, la cual está constituida por muscovita, opacos y cuarzo principalmente. (c) Magnetita de forma que tiende a euhedral en contacto neto con biotita 2, este grupo de minerales está sobreimpuesto a la esquistosidad principal de la roca la cual está conformada por muscovita, cuarzo y biotita 1.

- Muestra JAD-20-1

### I. Descripción en Muestra de mano

Roca metasedimentaria con microporfidoblastos de Magnetita, la cual posee color amarillo parduzco, brillo mate, grado de compactación alto, cohesiva, heterógena. Presenta estructura bandeada, la cual está constituida por una alternancia de bandas gris-azuloso compuestas por filosilicatos con bandas amarillas claras compuestas de cuarzo, feldespato, líticos y magnetita. El tamaño grado es fino a muy fino para las bandas grises y fino a medio para las bandas amarillas claras. La clasificación es campo corresponde a una **Metarenisca magnetítica**.

### II. Composición mineralógica

Mineral mayor: Cuarzo, Sericita.

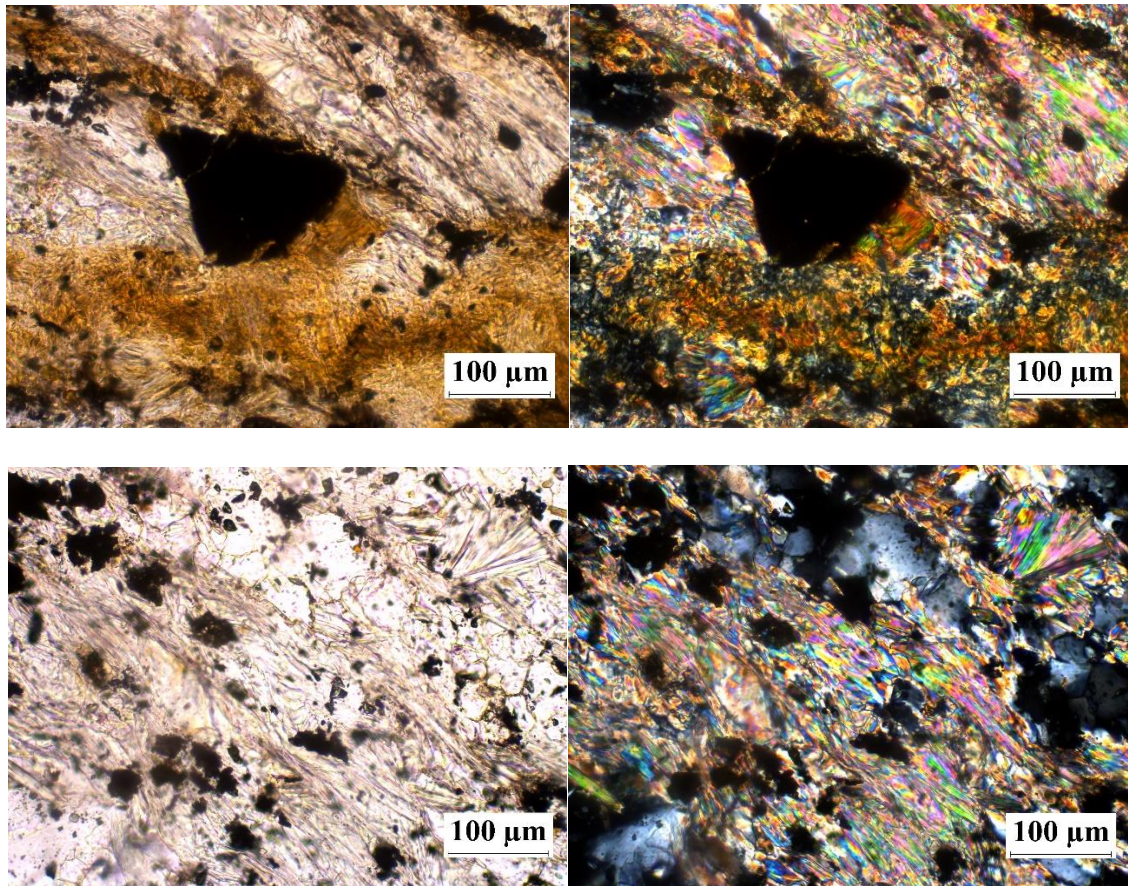
Minerales menores: Opacos, Biotita.

Minerales accesorios: Hematita, Goethita, Epidota.

Nombre de la muestra	Metarenisca	Código de la muestra	JAD-20-1
Coordenadas			
X	Y	Z	Error
1.203.706	1.132.2328	2368	8 m.
Patrón Textural			
Apariencia Física		Tamaño de Grano	
Tiene brillo mate, grado de compactación alto, cohesiva, heterógena.		Medio, Fino (bandas claras) y fino a muy fino (bandas oscuras)	
Textura General		Textura Local	
Lepidogranoblástica		Manto y núcleo	

Color	Estructura	
Amarillo parduzco	Bandeada	
Clivaje	Fragmentos Visibles %	Matriz %
Crenulación, Filítico	NA	NA
Protolito		
Psamita (Roca Sedimentaria)		
Minerales Esenciales		
Cuarzo (51%):	<p>Cuarzo (51%): Se presentan dos generaciones de cuarzo.</p> <p>Cuarzo 1: Individuos incoloros, con relieve bajo, anhedrales, con colores grises de primer orden. Estos cristales se encuentran presentes en la muestra sin una dirección preferencial, y en algunos sectores desarrollan estructura de manto y núcleo.</p> <p>Cuarzo 2: Este cuarzo se encuentra en menor proporción y se sitúa en las venas, presenta estructuras deformativas como extinción ondulante y bandas de deformación. Se encuentran asociados principalmente a la dirección del flujo hidrotermal y su concentración es mayor hacia los bordes de las venas, estando en contacto neto con sericita 1.</p>	
Sericita (35%):	<p>Se presentan dos generaciones de Sericita:</p> <p>Sericita 1: Agregados de mayor tamaño que la sericita 2, presentan colores de interferencia de tercer orden, incoloros, y se encuentran distribuidos en las bandas hidrotermales que atraviesan la roca. Se encuentran todos de formas perpendiculares o basculadas, en sentido contrario, del flujo hidrotermal.</p> <p>Sericita 2: Agregados de menor tamaño, que se encuentran dentro de las bandas hidrotermales, y que además se presentan entre la sericita 2, por procesos de cizalla dentro del material sericitico, generando un segundo evento de formación de sericita, que se encuentra orientada respecto al flujo hidrotermal.</p>	
Minerales Opacos (6%):	<p>Aparecen dos generaciones de opacos.</p> <p>Opacos 1: Individuos xenoblásticos, heteroblasticos, con distribución heterogénea en la muestra, asociados principalmente a cuarzo 1, como mineral detrítico.</p>	

	Opacos 2: Individuos idioblásticos, homeoblasticos, con distribución pobre en la roca, sobreimpuesto a minerales como muscovita, a veces con habito rómbico, y muy localmente con inclusiones de cuarzo.
Hematita (2%):	Se encuentran como agregados rojizos a negros, xenoblásticos, con tamaños de grano ultrafino (0,00167mm), homeoblastico, sin una orientación preferencial, y se ve alterando a Goethita en varios sectores. Se presenta de manera heterogénea en la muestra, concentrándose en algunos sectores.
Goethita (2%):	Agregados rojizos anaranjados, producto de la alteración de la hematita, xenoblásticos, con tamaños de grano ultrafino (0,00126mm), sin orientación preferencial. Su distribución es heterogénea, concentrándose en algunos sectores de la muestra.
Biotita (2%):	Individuo con colores típicos de la biotita, asociado principalmente con cuarzo 1, exfoliación típica, con habito hojoso, con muy poca distribución en la muestra (solo un cristal). Este cristal se encuentra alterando a clorita.
Epidota (2%):	Aparece en poca cantidad, subhedral y de forma redondeada indicando un origen detrítico
Tipo de metamorfismo	
Regional Orogénico	
Paragénesis mineral	
<p>Qtz1 + Bt1 + Op1 (Minerales detríticos)</p> <p>Op2 + Bt2 (Evento Hidrotermal 1)</p> <p>Ser1 (Evento Hidrotermal 2)</p> <p>Qtz2 + Ser2 (Evento Hidrotermal 3)</p> <p>Ep (Evento Hidrotermal 4)</p> <p style="text-align: right;">Hem + Goe (Evento supergena)</p>	
Facies de metamorfismo	
Sub-Esquistos Verdes	
Zona de metamorfismo	
Clorita	



(a) Magnetita de forma subhedral en contacto neto con biotita hidrotermal (biotita 2), además se observa un agregado diseminado de biotita 2 con caolinita. (b) Agregado polimineral de muscovita y cuarzo de origen metamórfica concordante con la esquistosidad principal, la cual está cortada por una sericita 1 que es discordante con la esquistosidad principal de la roca, además se observa unas bandas de cizalla de sericita 2 de tamaño fino.

- Muestra JAD-31-1

### I. Descripción en Muestra de mano

Roca metasedimentaria de color gris oscuro a amarillento, con brillo mate, grado de compactación moderado, cohesiva, heterogénea. Presenta una estructura bandeada compuesta por bandas gris oscuras (filosilicatos) y bandas claras amarillentas (cuarzo, magnetita, feldespatos). El tamaño de

grano es fino a muy fino (bandas grises) y medio a fino (bandas amarillentas claras). La clasificación en campo corresponde a una **Metarenisca** con Magnetita.

## II. Composición mineralógica

Minerales mayores: Cuarzo, Sericita 2.

Minerales menores: Magnetita, Sericita 1.

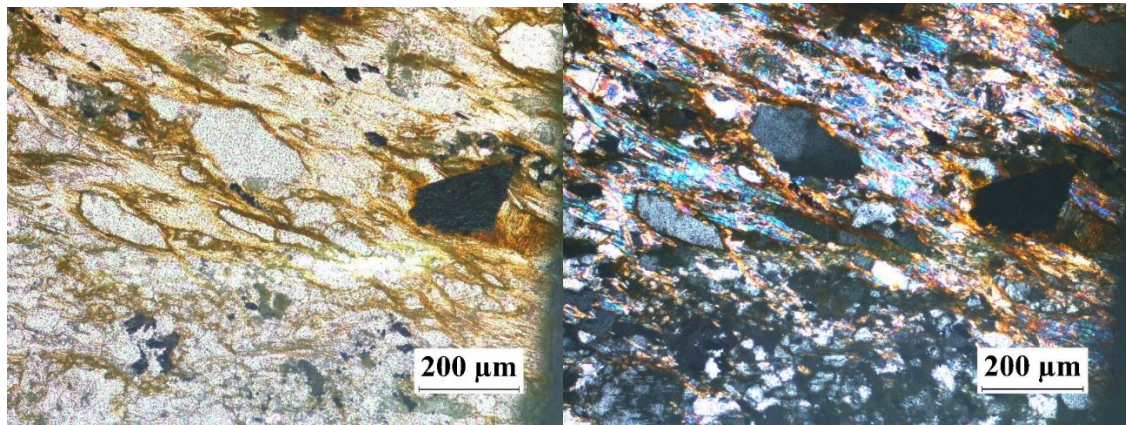
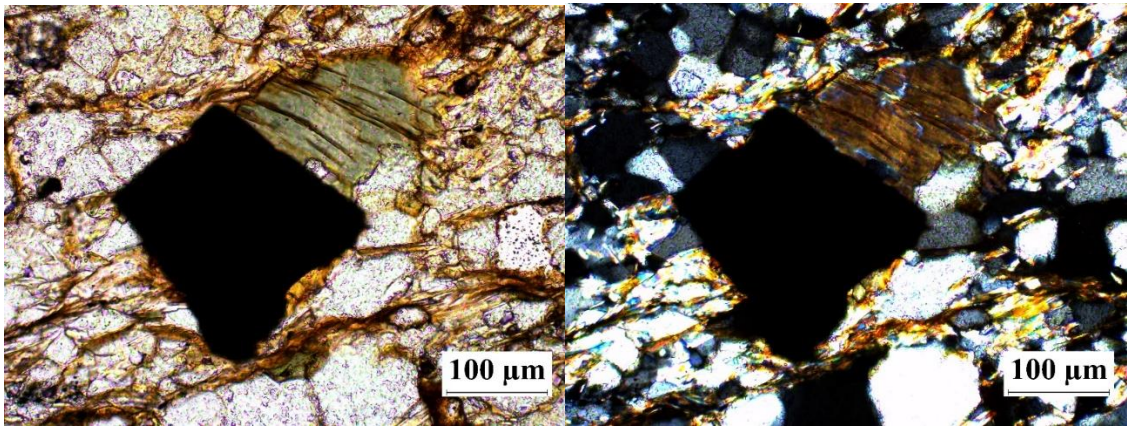
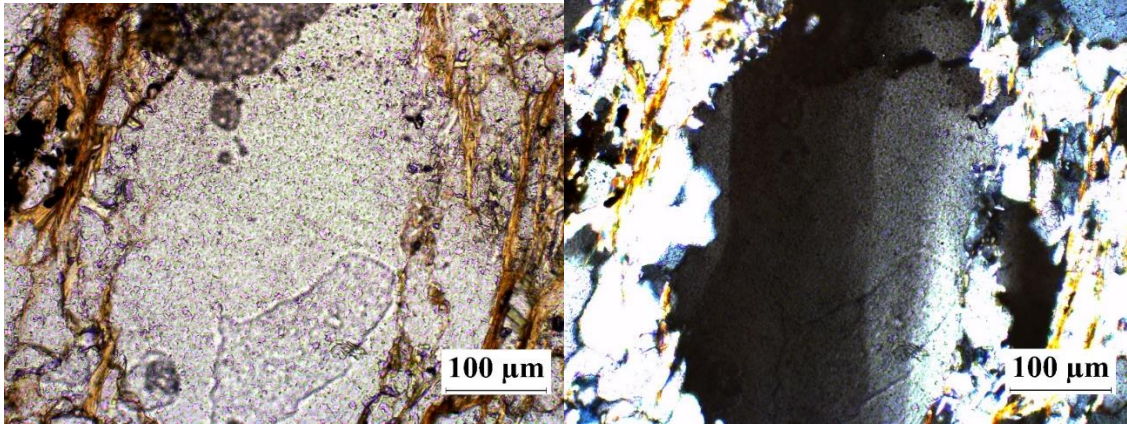
Minerales accesorios: Ortoclasa, Plagioclasa (albita), Microclina, Biotita.

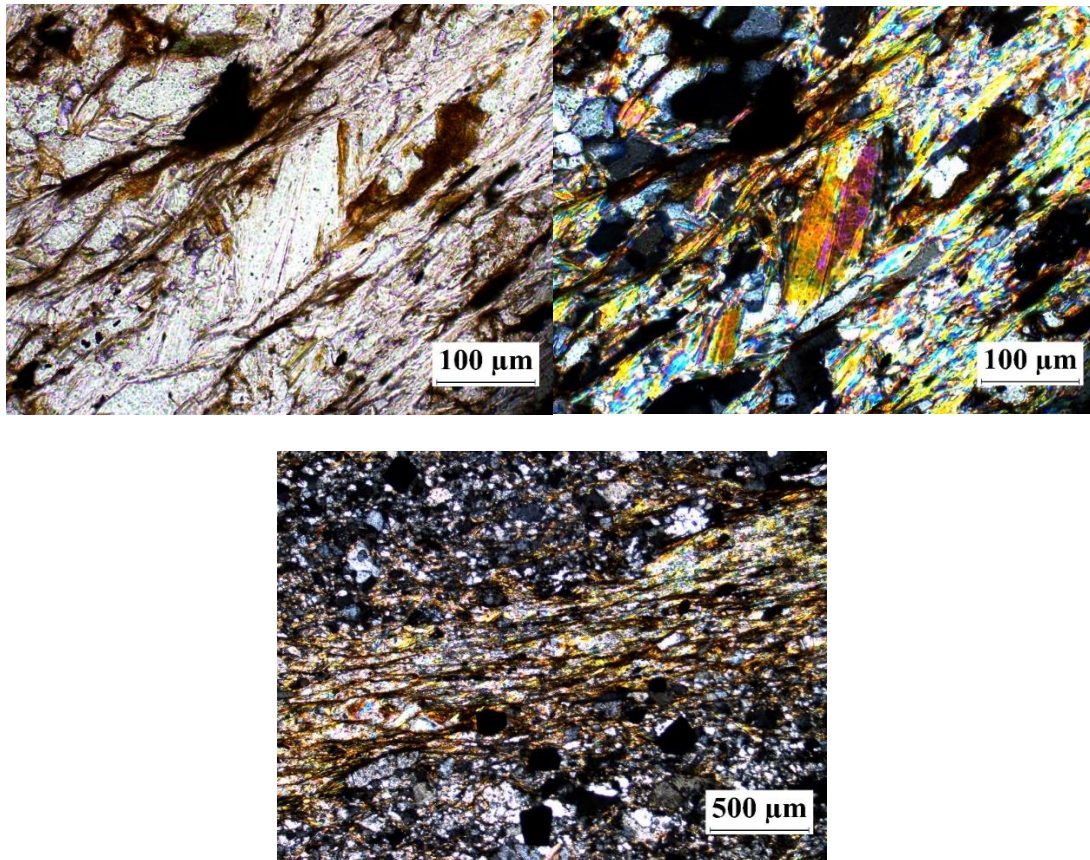
Minerales secundarios: Sericita (Plagioclasa) y Clorita (Biotita)

Nombre de la muestra	Metarenisca	Código de la muestra	JAD-31-1
Coordenadas			
X	Y	Z	Error
1.201.235	1.132.035	2104	9 m.
Patrón Textural			
Apariencia Física		Tamaño de Grano	
Con brillo mate, grado de compactación moderado, cohesiva, heterogénea.		Medio, Fino (bandas claras) y fino a muy fino (bandas oscuras)	
Textura General		Textura Local	
Milonítica		Extinción onduante, bandas de deformación, cuarzoes elongados.	
Color		Estructura	
Gris oscuro a amarillento		Bandeada	
Clivaje		Fragmentos Visibles %	Matriz %
Compactación		NA	NA
Protolito			
Psamita (Roca Sedimentaria)			
Minerales Esenciales			

Sericita (45%):	<p>Se presentan dos generaciones de Sericita.</p> <p>Sericita 1. Este tipo de Sericita se presenta como minerales relícticos que poseen una orientación casi perpendicular al clivaje principal de la roca. Además, aparecen individuos orientados conformando una esquistosidad interna en feldespatos relícticos. Por tanto, este mineral en el marco de los contextos paragenéticos es definido como mineral detrítico asociado con feldespatos y posiblemente con biotitas 1. Su distribución es restringida en la roca y con ocurrencia de individuos aislados. Algunos individuos aparecen conformando pliegues de crenulación</p> <p>Sericita 2. Agregados incoloros hojosos, compuestos de individuos heteroblásticos subidioblásticos de hábito laminar con terminaciones irregulares, en contacto neto con cuarzo, biotita 2. Presenta un patrón de textura entrecruzada. Se presenta concordante con la dirección de clivaje principal <math>S_n + 1</math>. Su distribución en la roca es abundante y en dominios de clivaje (dominio M) lo que define una foliación espaciada. Algunos individuos ocurren aislados. Algunos individuos aparecen conformando un clivaje de compactación.</p>
Cuarzo (40%):	<p>Se presentan dos generaciones de Cuarzo.</p> <p>Cuarzo 1: Muy pocos cuarzoes evidencian extinción ondulante de barrido y subgranos, y probablemente estos sean minerales relícticos, entre los que están también plagioclasa, feldespato potásico, biotita 1 y muscovita 1.</p> <p>Cuarzo 2: Ocurren en dominios poliminerales con la muscovita 2 y biotita 2, que se presentan de manera restringida. Son heteroblásticos y xenoblásticos. Algunos individuos aparecen alargados según la esquistosidad principal de la roca. En algunos sectores presenta contactos de carácter suturado, y otros con puntos triples aproximadamente a <math>120^\circ</math>. Se asocia en contacto neto con Muscovita 2, Biotita 2, Opacos.</p>
Biotita (8%):	<p>Biotita 2. Agregados de color marrón con un pleocroísmo no tan marcado, constituidos por individuos heteroblásticos, subidioblásticos de hábito laminar, en su mayoría concordantes con la dirección principal de esquistosidad <math>S_n + 1</math>. Está asociada con Muscovita 2, Cuarzo y Opacos en contacto neto. Su distribución está localizada en</p>

	la roca. Algunas biotitas son constituyentes de zonas abrigadas. Algunas ocurrencias están alteradas a clorita.
Minerales Opacos (Magnetita) (4%):	Porfidoclastos heteroblásticos de forma subhedral a euhedral, algunos hacen que el clivaje principal $S_n + 1$ se defleccione, lo que se constituye como un porfidoclasto precinemático con respecto a $S_n + 1$ y a su vez como un mineral relíctico. Otros parecieran que fueran postcinemáticos a la esquistosidad $S_n + 1$ . Suponiendo el caso anterior habría dos generaciones de opacos, los de geometría subhedral corresponderían a porfidoclastos pretectónicos y los de geometría euhedral a postectónicos con respecto a $S_n + 1$ .
Plagioclasa (2%):	Porfidoclastos incoloros, de bajo relieve de morfología heteroblástica, con contornos subidioblásticos. Presentan una forma alargada con un patrón discordante con la esquistosidad principal $S_n + 1$ . Algunos aparecen como micropertitas incluidas en feldespato potásico, otras presentan maclado Albita-polisintética y Albita-Carlsbad. La deformación por el mecanismo de maclado mecánico es evidente en algunas plagioclasas. Posiblemente se asocia con Muscovita 1 y Biotita 1.  Existen algunos individuos que están fuertemente sericitizados.
Feldespato potásico (Ortoclasa y Microclina) (1%):	Individuos incoloros, de bajo relieve de forma heteroblástica, subidioblástica, la mayoría posee inclusiones de muscovita 1, dichos feldespatos aparecen discordantes con la esquistosidad principal de la roca, es decir, son minerales relícticos con respecto a $S_n + 1$ . Aparece como mineral detrítico algunos están fuertemente caolinitizados y otros en los bordes.
Tipo de metamorfismo	
Dinámico	
Paragénesis mineral	
Qtz1 + Op1 (Minerales detríticos)	
Op2 + Bt2 + Ser 1 (EH1)	
Qtz2 + Ser2 (EH2)	
Hem + Goe (Evento supergena)	
Facies de metamorfismo	
NA	
Zona de metamorfismo	
NA	





- (a) Bandas de deformación en cuarzo indicando recuperación, además se observa migración de borde de grano de baja temperatura debido a la presencia de bordes suturados en cuarzos. (b) Magnetita subhedral en contacto neto con picno-clorita sobreimpuestos a la esquistosidad principal de la roca, la cual está constituida por un agregado de cuarzo y muscovita de origen metamórfico. (c) Evidencias de deformación intracrystalina debido a la ocurrencia de cuarzos alargados, algunas veces con extinción ondulante, además es clara la esquistosidad principal definida por la orientación de muscovitas e hidróxidos de hierro (d) Clara evidencia de tres tipos de filosilicatos, por un lado tenemos la muscovita concordante con la esquistosidad principal de la roca, por otra parte tenemos una sericita 1 de mayor tamaño de grano, la cual es discordante, y por último tenemos unos planos de anisotropía en los cuales está la sericita 2 asociada con óxidos de hierro. (f) Banda de cizallamiento con un espesor medio de 600-700 μm.

- Muestra MB-01-07-01

### I. Descripción en Muestra de mano

Roca metasedimentaria de color gris oscuro y verdosa, y colores naranjas por alteración supérgena, con brillo sedoso, grado de compactación moderado, cohesiva, homogénea. Se observa estructura esquistosa predominante en toda la muestra, aunque no tan desarrollada. El tamaño de grano predominante es fino a muy fino, y está compuesta principalmente por filosilicatos, tipo clorita y muscovita. El grado de fracturamiento de la roca no es muy alto, presentando algunas fracturas en disposición aleatoria. La clasificación corresponde a una **Filita**.

### II. Composición mineralógica

Minerales mayores: Cuarzo y Clorita

Minerales menores: Muscovita, Magnetita

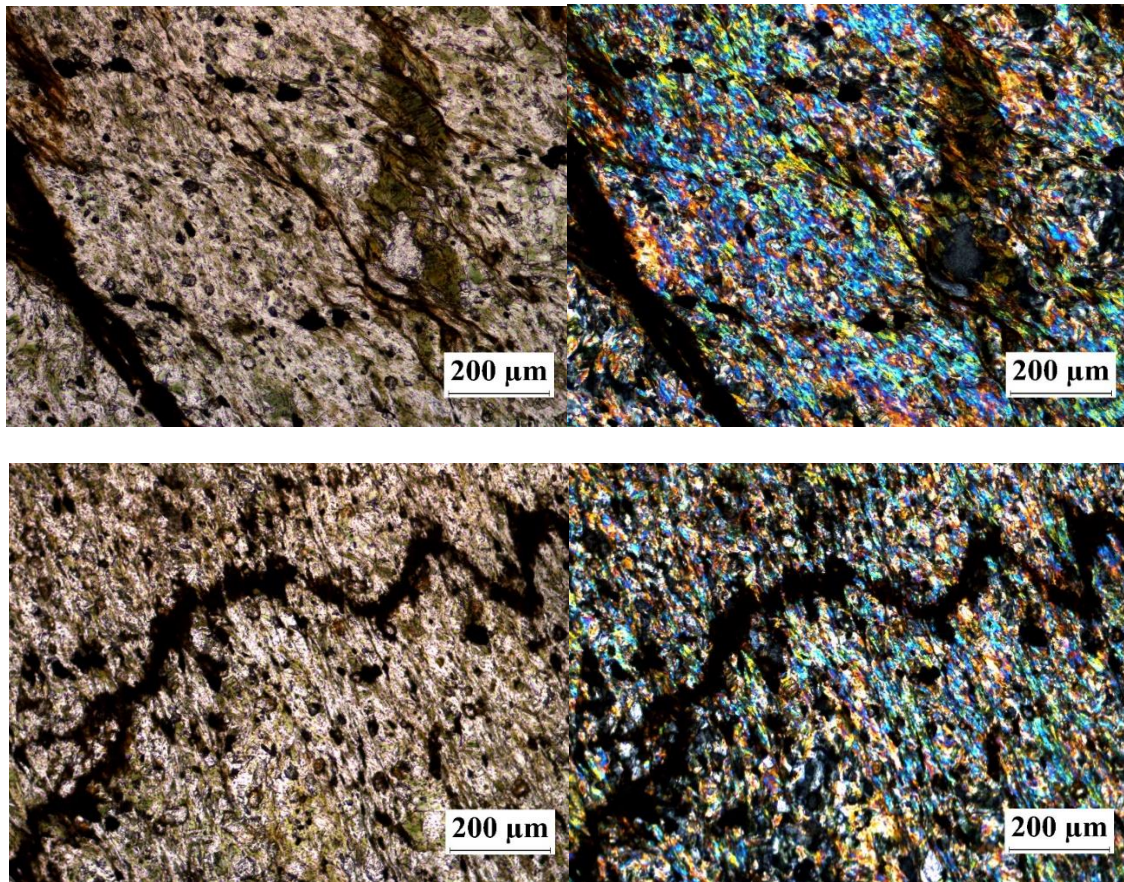
Minerales accesorios: Hematita, Goethita, Ilmenita.

Minerales secundarios: Biotita hidrotermal-Biotita 2.

Nombre de la muestra	Filita	Código de la muestra	MB-01-07-01
Coordenadas			
X	Y	Z	Error
1.204.141	1.132.230	2315	NA
Patrón Textural			
Apariencia Física		Tamaño de Grano	
Brillo sedoso, grado de compactación moderado, cohesiva, homogénea.		Fino a muy fino	
Textura General		Textura Local	

Granolepidoblástica		Estilolitos	
Color		Estructura	
Gris oscuro y verdosa		Esquistosa	
Clivaje		Fragmentos Visibles %	Matriz %
Pizarroso, crenulación		NA	NA
Protolito			
Pelítico (Roca Sedimentaria)			
Minerales Esenciales			
Clorita (45%):	Individuos con el típico pleocroísmo en tonalidades verdes. Ocurre diseminado y concordante con la esquistosidad principal de la roca, es decir, con el clivaje pizarroso, aparece en contacto neto con cuarzo y muscovita también de origen metamórfico. Indica la zona metamórfica de la clorita		
Cuarzo (40%):	<p>Se presentan dos generaciones de Cuarzo.</p> <p>Cuarzo 1: Muy pocos cuarzos evidencian extinción ondulante de barrido y subgranos, y probablemente estos sean minerales relícticos, entre los que están también plagioclasa, feldespato potásico, biotita 1 y muscovita 1.</p> <p>Cuarzo 2: Ocurren en dominios poliminerale con la muscovita 2 y biotita 2, que se presentan de manera restringida. Son heteroblásticos y xenoblásticos. Algunos individuos aparecen alargados según la esquistosidad principal de la roca. En algunos sectores presenta contactos de carácter suturado, y otros con puntos triples aproximadamente a 120°. Se asocia en contacto neto con Muscovita 2, Biotita 2, Opacos.</p>		
Muscovita (10%):	Muscovita 2. Agregados incoloros hojosos, compuestos de individuos heteroblásticos subidioblásticos de hábito laminar con terminaciones irregulares, en contacto neto con cuarzo, biotita 2. Presenta un patrón de textura entrecruzada. Se presenta concordante con la dirección de clivaje principal Sn + 1. Su distribución en la roca es abundante y en dominios de clivaje (dominio M) lo que define una foliación espaciada. Algunos individuos ocurren aislados. Algunos individuos aparecen conformando un clivaje de crenulación.		
Minerales Opacos (Magnetita) (2%):	Minerales Opacos (Magnetita) (2%): Porfidoclastos heteroblásticos de forma subhedral a euhedral, algunos hacen que el clivaje principal Sn + 1 se deflece, lo que se constituye como un porfidoclasto precinemático con respecto a Sn + 1 y a su vez como un mineral		

	relíctico. Otros parecieran que fueran postcinemáticos a la esquistosidad Sn + 1. Suponiendo el caso anterior habría dos generaciones de opacos, los de geometría subhedral corresponderían a porfidoclastos pretectónicos y los de geometría euhedral a postectónicos con respecto a Sn + 1.
Goethita (0.8%):	Agregados de color naranja que ocurren en venas discordantes y en algunas ocasiones alterando a hematita.
Hematita (0.8%):	Ocurre como agregados de grano muy fino en venas concordantes a la esquistosidad Sn + 1, algunas veces alterando opacos que posiblemente sean magnetita. Las venas de hematita presentan un patrón anastomosado
Biotita hidrotermal (0.7%):	Biotita 1. Agregados de color marrón con un pleocroísmo no tan marcado, constituidos por individuos heteroblásticos, subidioblásticos de hábito laminar, en su mayoría concordantes con la dirección principal de esquistosidad Sn + 1. Está asociada con Muscovita 2, Cuarzo y Opacos en contacto neto. Su distribución está localizada en la roca. Algunas biotitas son constituyentes de zonas abrigadas.
Ilmenita (0.7%):	Individuos de grano fino opacos alargados en contacto neto con muscovita y clorita de origen metamórfico.
Tipo de metamorfismo	
Regional orogénico	
Paragénesis mineral	
Chl + Ms + Qtz (Minerales metamórficos)	
Op + Bt2 + Ser 1 (EH1)	
Hem + Goe (Evento supergena)	
Facies de metamorfismo	
NA	
Zona de metamorfismo	
NA	



(a) Evidencia de la zona metamórfica de la clorita, caracterizada por la ocurrencia de un agregado de clorita asociado con muscovita y cuarzo, está clorita la definimos como la clorita 1, la cual se identifica por un tamaño de grano más fino que la clorita 2, y porque esta última está en contacto neto con magnetita hidrotermal. (b) Clivaje estilolítico con su típica forma de electrocardiograma, ocurre de manera discordante con la esquistosidad principal de la roca y está compuesto de hematita con reflexiones internas de color rojo.

- Muestra JAD 10-3

## II. Composición mineralógica

Minerales mayores: Muscovita y Cuarzo

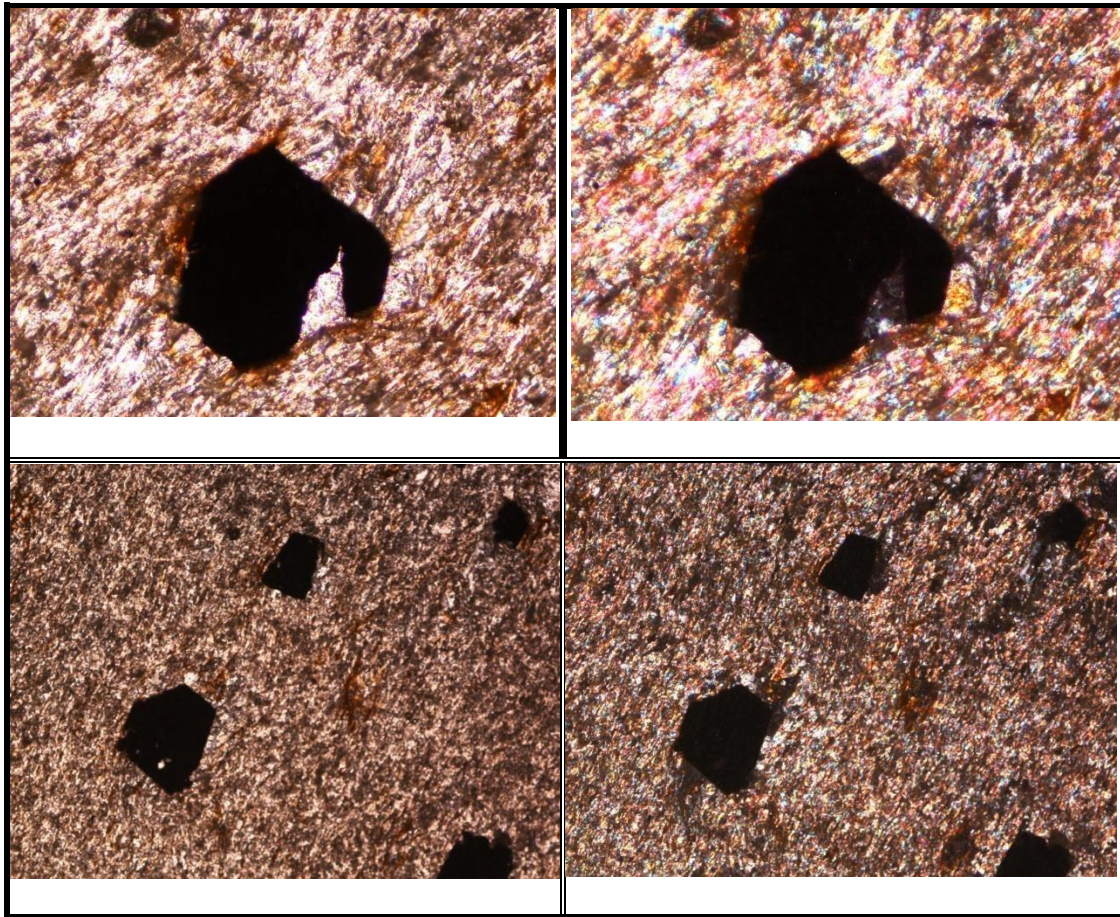
Minerales menores: Biotita y Opacos

Minerales accesorios: Plagioclasa, Epidota, Hematita, Feldespato potásico, Zircón, Clorita (Biotita), Caolinita (Feldespato potásico) y Sericita (Plagioclasa).

Minerales secundarios: Sericita (Plagioclasa) y Clorita (Biotita)

Nombre de la muestra	Filita	Código de la muestra	JAD 10-3
Coordenadas			
X	Y	Z	Error
1201841,00	1132739,00	2045,00	10 m
Patrón Textural			
Apariencia Física		Tamaño de Grano	
Presenta brillo satinado, alto grado de compactación y cohesión primaria.		Gruoso (Porfidoblastos), fino a muy fino (matriz)	
Textura General		Textura Local	
Porfidoblástica en matriz lepidoblástica		Granolepidoblástica	
Color		Estructura	
Gris		Moteada con matriz filítica	
Clivaje		Fragmentos Visibles %	Matriz %
Filítico		30	70
Protolito			
Argilita (Roca sedimentaria)			
Minerales Esenciales			
Magnetita (Mag) (25%)	Ocurre como porfidoblastos, homeoblástico, idioblástico distribuidos homogéneamente. Algunas se encuentran pseudomorfizados a muscovita. Algunos presentan inclusiones solidas extrañas. Con geometría poligonal. Estos cristales muestran una baja nucleación y un alto crecimiento cristalino. Atendiendo a las relaciones blastesis-deformación se infiere que son Porfidoblastos post-tectónico.		
Cuarzo (Qtz) (5%)	Se presenta en muy baja proporción en la roca, ocurre como individuos en la matriz junto con los filosilicatos. Es xenoblástico, homeoblástico. Está en contacto con minerales de micas (Muscovita).		
Muscovita (Ms) (50%)	Aparece como agregados incoloros, hojosos, compuestos de individuos heteroblásticos. Son subidioblásticos, de hábito laminar, están en un gran porcentaje en la roca, lo que indica que el protolito es rico en potasio (K). Se presenta concordantemente con la dirección del clivaje filítico principal.		

Clorita (Chl) (15%)	Este mineral proviene de la diagénesis profunda, en donde tuvo lugar su formación. Presenta un tamaño de grano fino, en algunos sectores se confunde con la muscovita, Es un mineral indicador de grado de metamorfismo por el que ha pasado la roca, aparece concordantemente en la misma dirección del clivaje  filítico marcando una orientación preferente, aparece en contacto con la muscovita.
Oxidos de Hierro (5%)	Ocurre como agregados cristalinos producto de la alteración supergéna que han sufrido los constituyentes de la matriz como la muscovita. Esto indica que estos minerales pertenecen a un segundo contexto paragenético.
Tipo de metamorfismo	
Dinamotérmico (Regional)	
Paragénesis mineral	
Qtz + Ms + Mag ± Chl	
Acies de metamorfismo	
Sub-esquistos verdes	
Zona de metamorfismo	
Clorita	

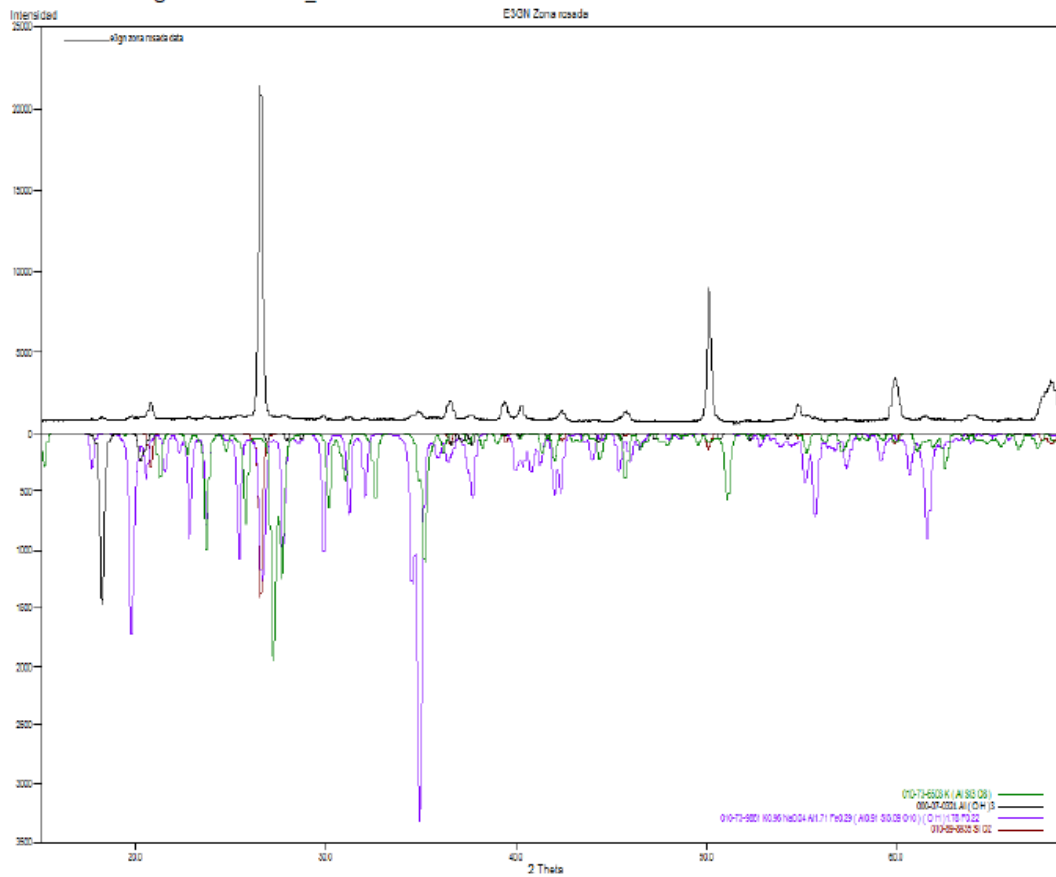


*Microfotografías en las que se observan porfidoblastos de Magnetita (Mag) de geometría euhedral embebidos en una matriz de grano fino conformada principalmente por Muscovita (Ms). Imágenes izquierdas en LPNA, derechas en LPA. Imágenes superiores a 20X e inferiores a 5X.*



 	<b>LABORATORIO DE RAYOS X</b> UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Código: F-T-D-04
	<b>INFORME DE RESULTADOS DIFRACCIÓN DE RAYOS-X</b>	Versión: 01
		Página 6 de 9

Figura 2. Análisis comparativo por difracción de rayos-X de las fases identificadas en el espécimen seleccionado de la muestra con código interno E3GN\_Zona rosada.

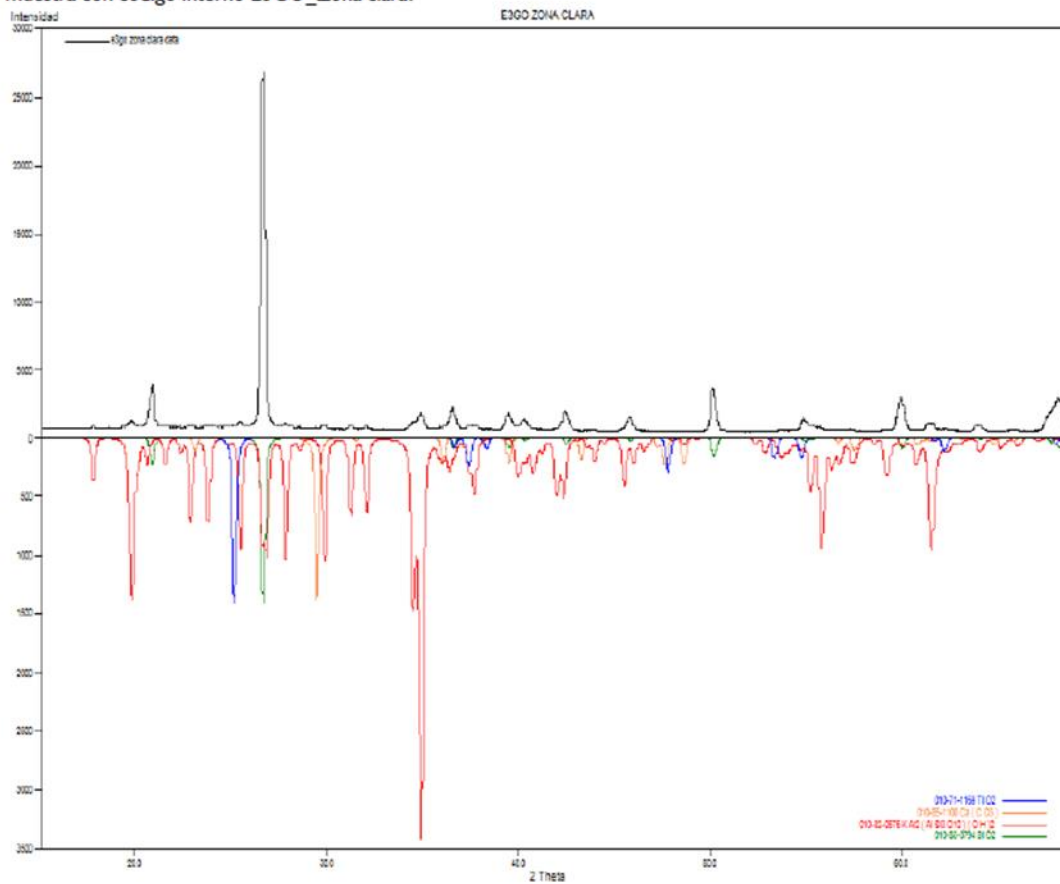


**Nota:**

En el perfil de difracción experimental, se observaron reflexiones con poca intensidad que no pudieron ser asignadas a alguna fase reportada en la base de datos PDF-2.

	<b>LABORATORIO DE RAYOS X</b> UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Código: F-T-D-04
	<b>INFORME DE RESULTADOS DIFRACCIÓN DE RAYOS-X</b>	Versión: 01
		Página 7 de 9

Figura 3. Análisis comparativo por difracción de rayos-X de las fases identificadas en el espécimen seleccionado de la muestra con código interno E3GO\_Zona clara.

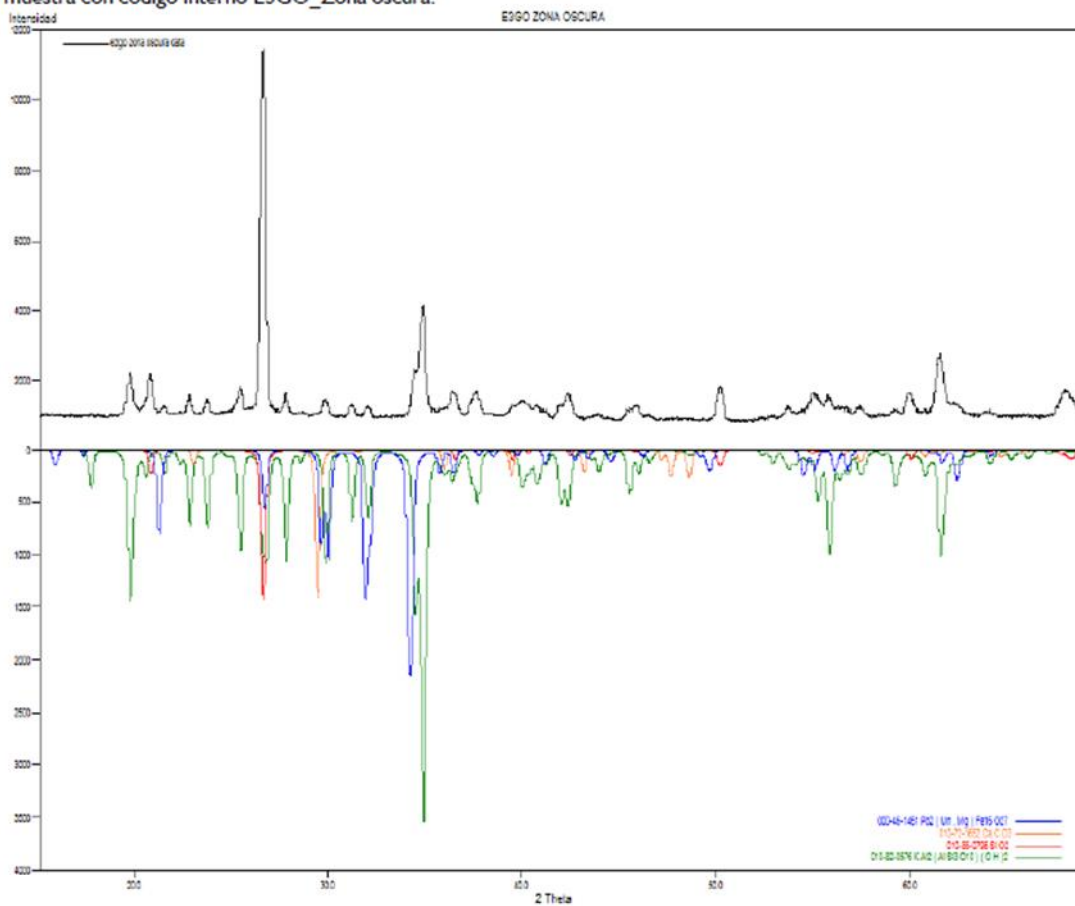


**Nota:**

En el perfil de difracción experimental, se observaron reflexiones con poca intensidad que no pudieron ser asignadas a alguna fase reportada en la base de datos PDF-2.

		<b>LABORATORIO DE RAYOS X</b> UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Código: F-T-D-04
		<b>INFORME DE RESULTADOS DIFRACCIÓN DE RAYOS-X</b>	Version: 01
			Página 8 de 9

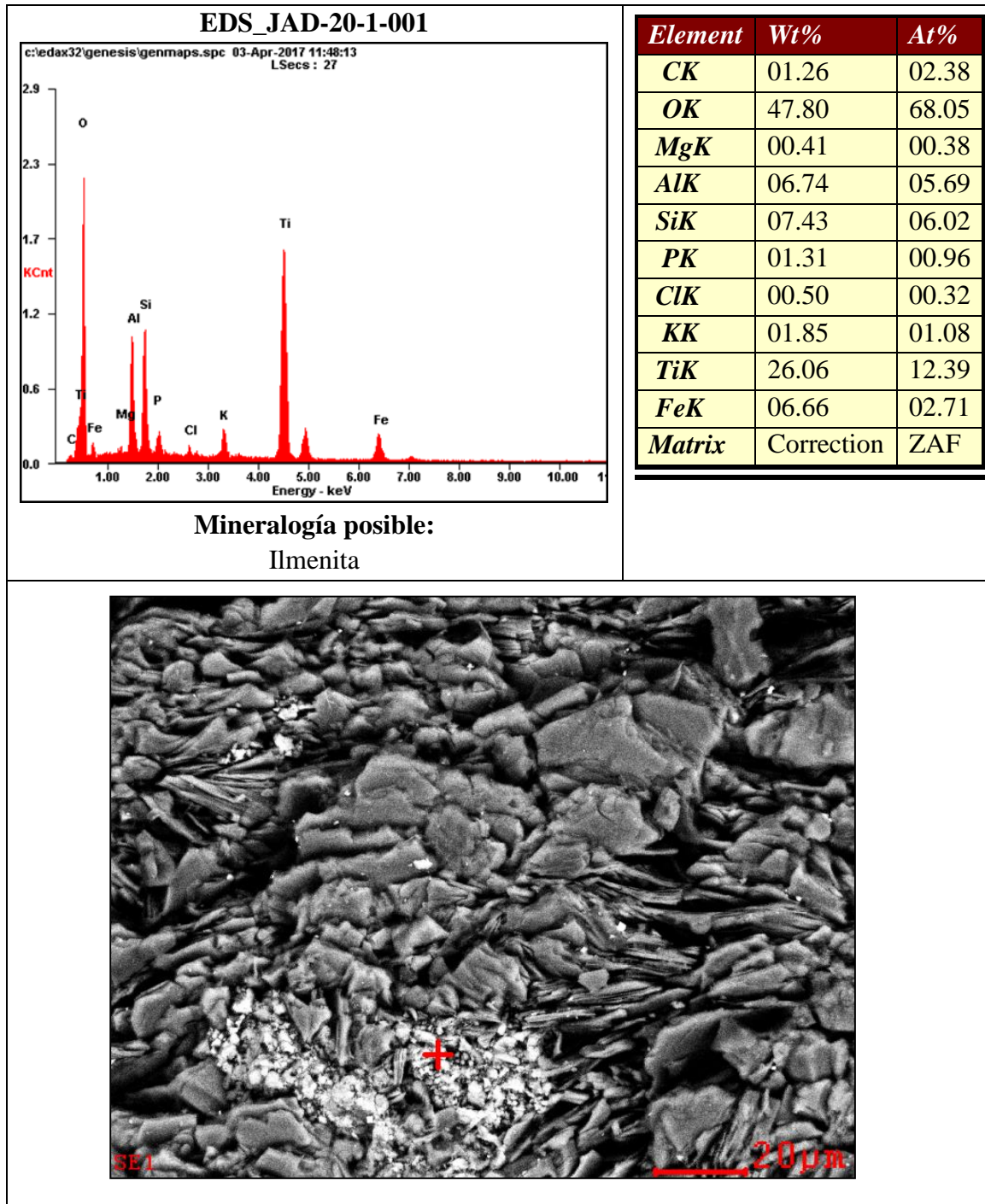
Figura 4. Análisis comparativo por difracción de rayos-X de las fases identificadas en el espécimen seleccionado de la muestra con código interno E3GO\_Zona oscura.

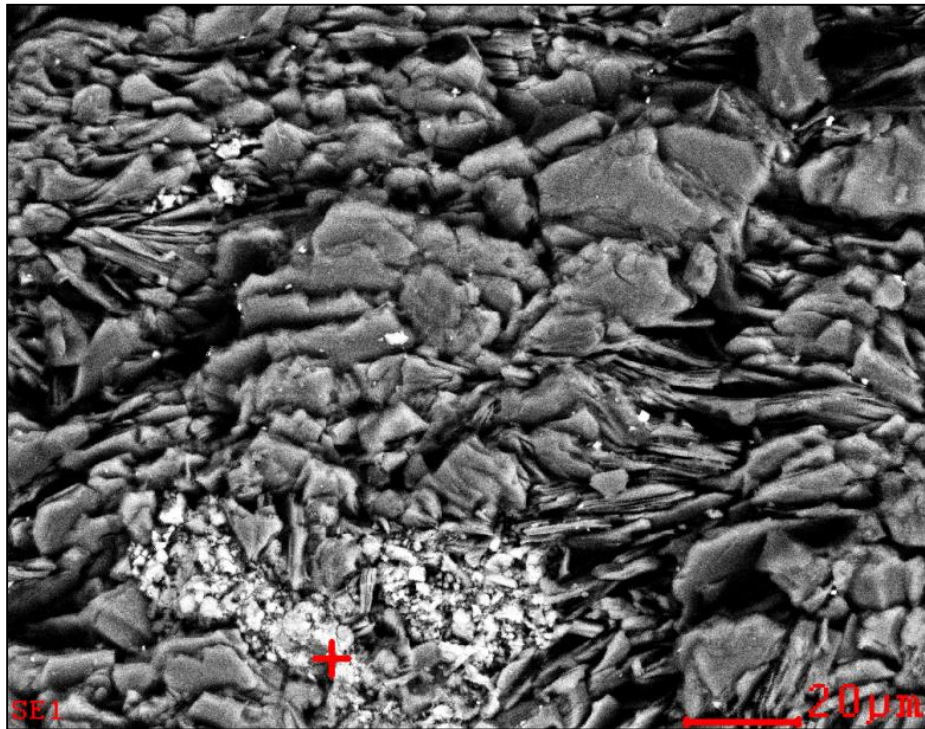
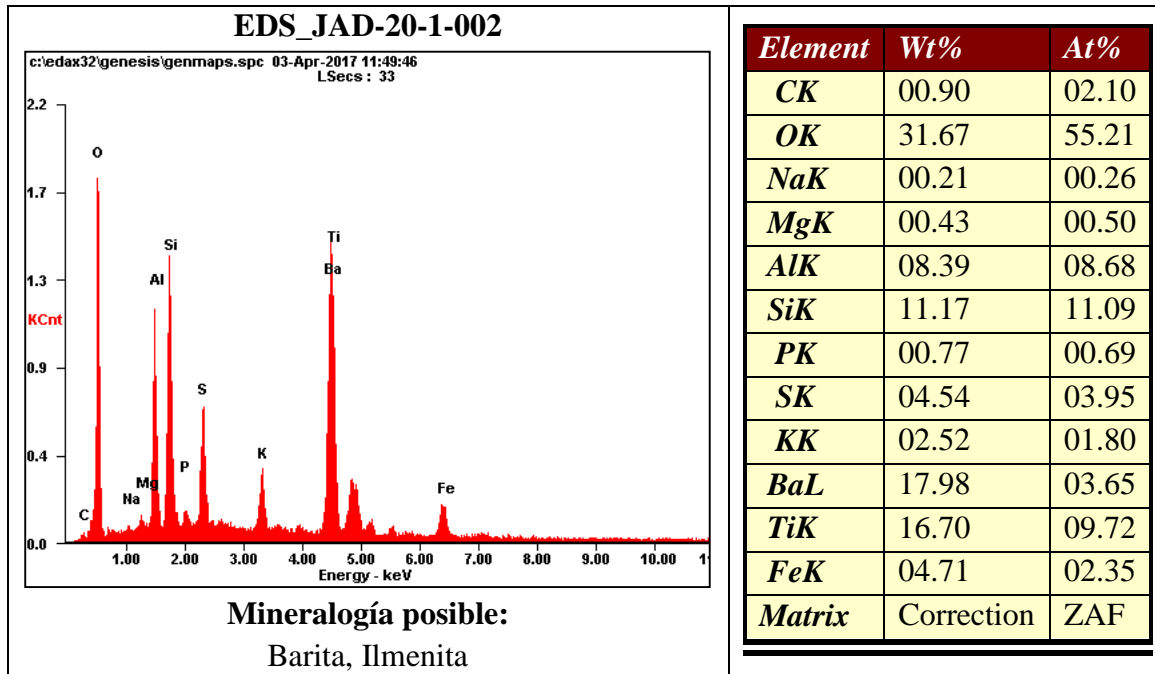


**Nota:**

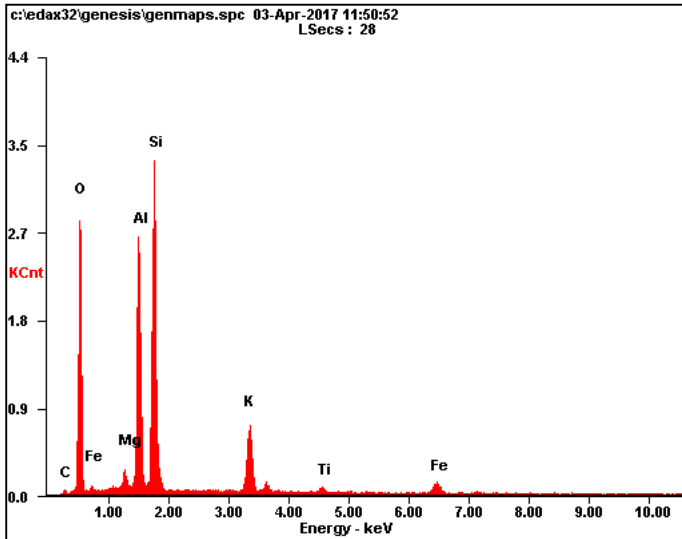
En el perfil de difracción experimental, se observaron reflexiones con poca intensidad que no pudieron ser asignadas a alguna fase reportada en la base de datos PDF-2.

## Apéndice C. Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)



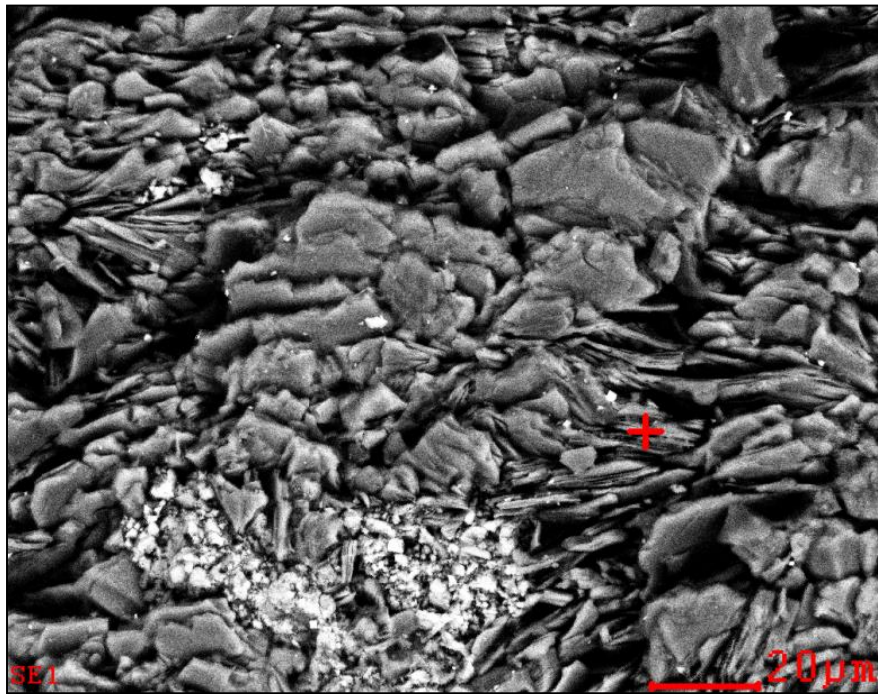


## EDS\_JAD-20-1-003

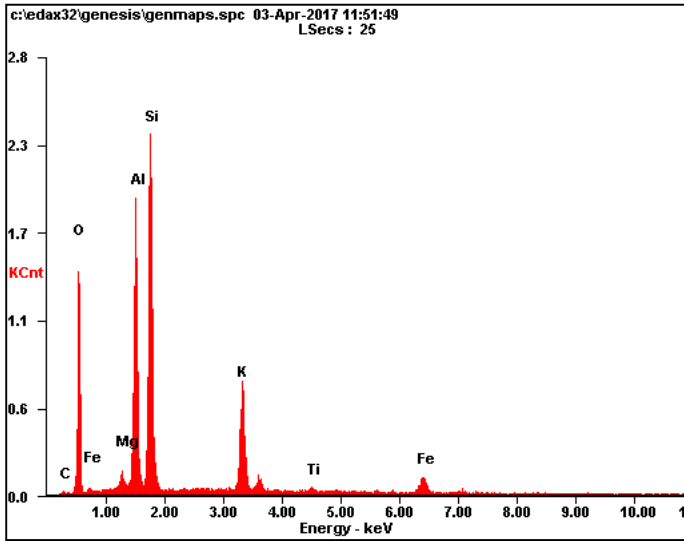
**Mineralogía posible:**

Cuarzo, Moscovita – Minerales alineados con la orientación principal.

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	01.63	02.92
<i>OK</i>	41.96	56.48
<i>MgK</i>	01.13	01.00
<i>AlK</i>	16.94	13.52
<i>SiK</i>	26.16	20.06
<i>KK</i>	07.69	04.23
<i>TiK</i>	00.90	00.40
<i>FeK</i>	03.60	01.39
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

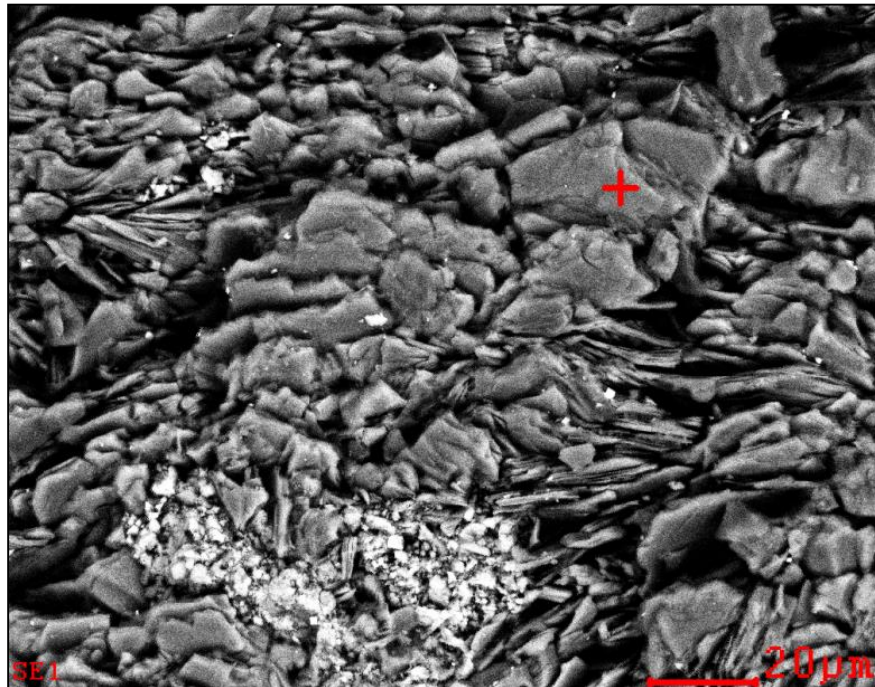


## EDS\_JAD-20-1-004

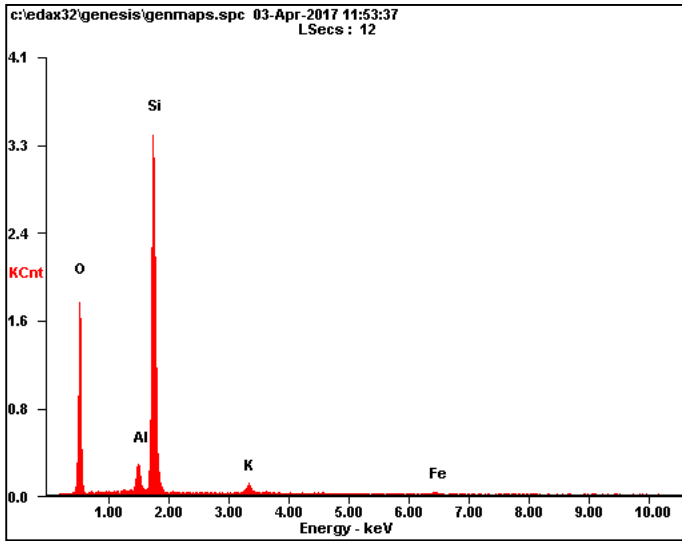
**Mineralogía posible:**

Cuarzo, Moscovita, Biotita – Minerales alineados con la orientación principal.

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	01.13	02.14
<i>OK</i>	35.64	50.71
<i>MgK</i>	00.94	00.88
<i>AlK</i>	17.69	14.93
<i>SiK</i>	27.99	22.69
<i>KK</i>	10.47	06.10
<i>TiK</i>	00.84	00.40
<i>FeK</i>	05.29	02.16
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

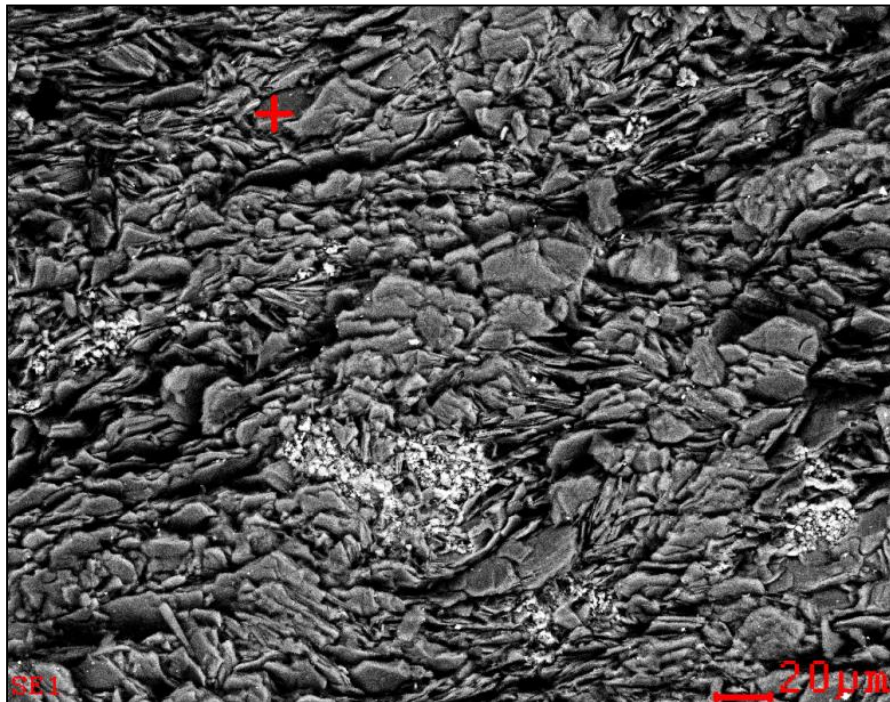


EDS\_JAD-20-1-005

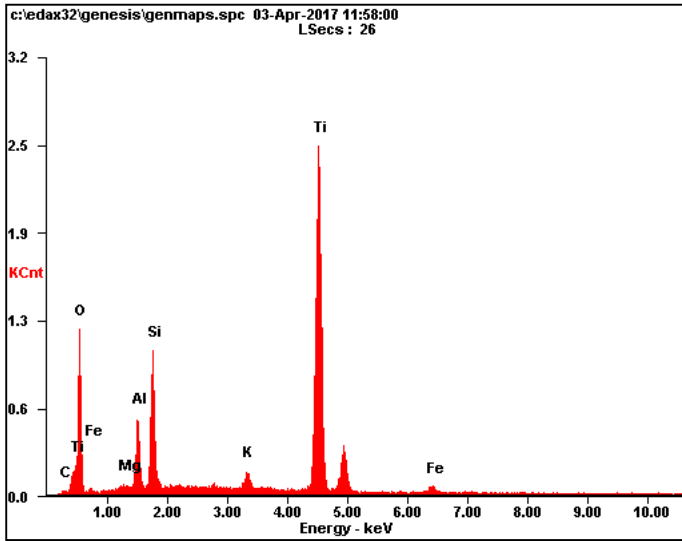


<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>OK</i>	47.38	61.73
<i>AlK</i>	04.05	03.13
<i>SiK</i>	45.32	33.63
<i>KK</i>	01.88	01.00
<i>FeK</i>	01.37	00.51
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Mineralogía posible:  
Cuarzo



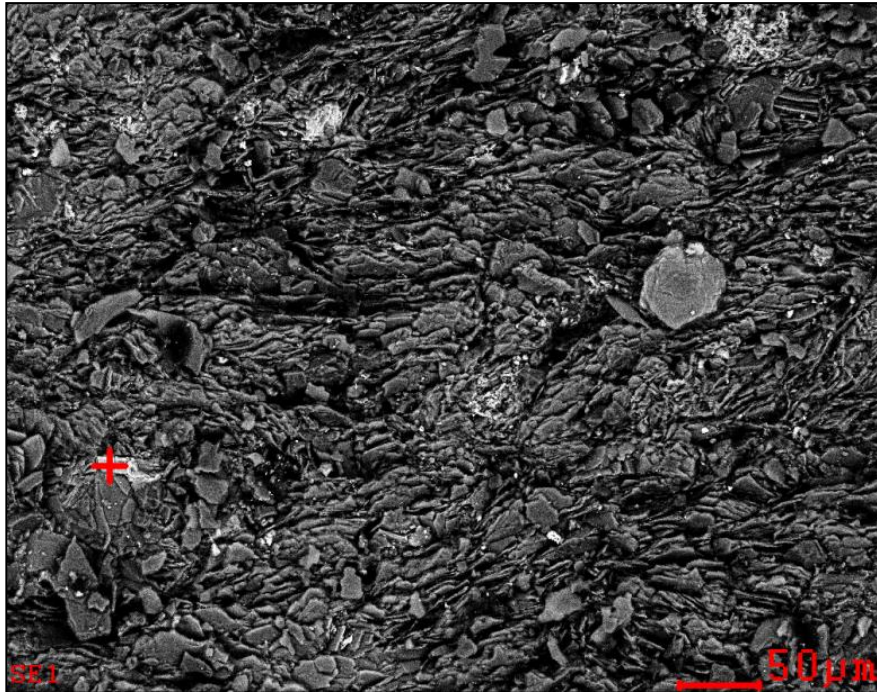
## EDS\_JAD-20-1-006



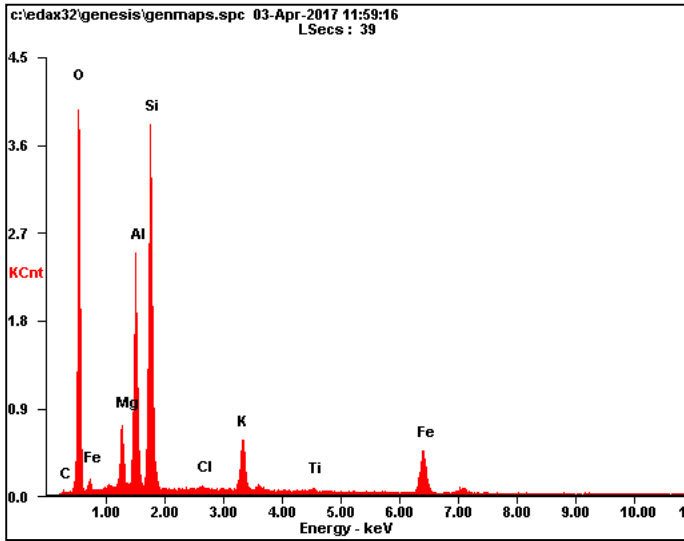
Mineralogía posible:

Anatasa

Element	Wt%	At%
<i>CK</i>	00.78	01.66
<i>OK</i>	37.83	60.30
<i>MgK</i>	00.38	00.39
<i>AlK</i>	04.72	04.46
<i>SiK</i>	08.58	07.79
<i>KK</i>	01.36	00.89
<i>TiK</i>	44.17	23.51
<i>FeK</i>	02.19	01.00
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

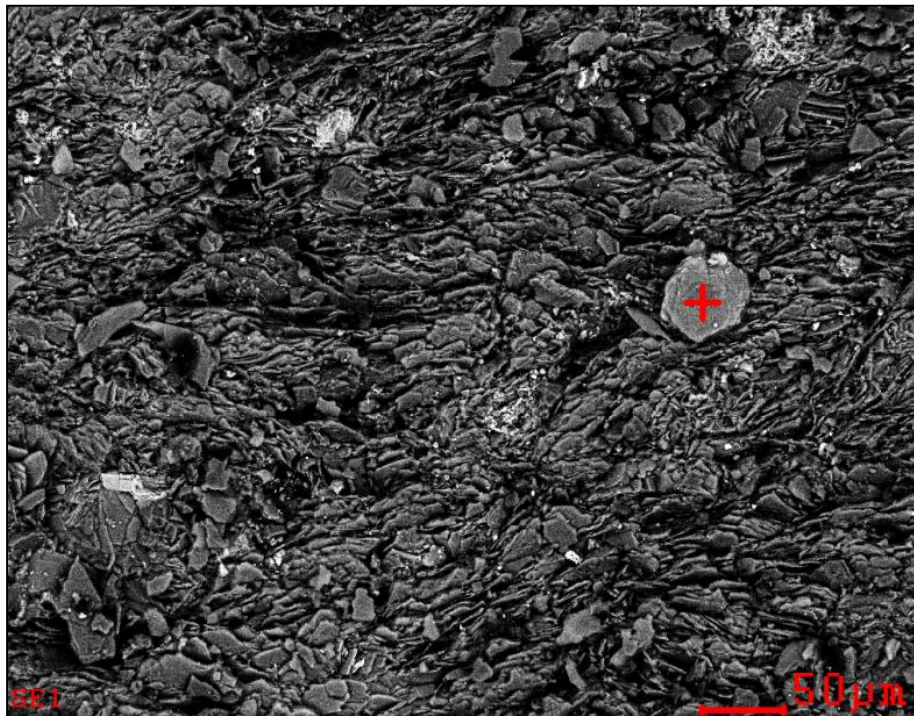


## EDS\_JAD-20-1-007

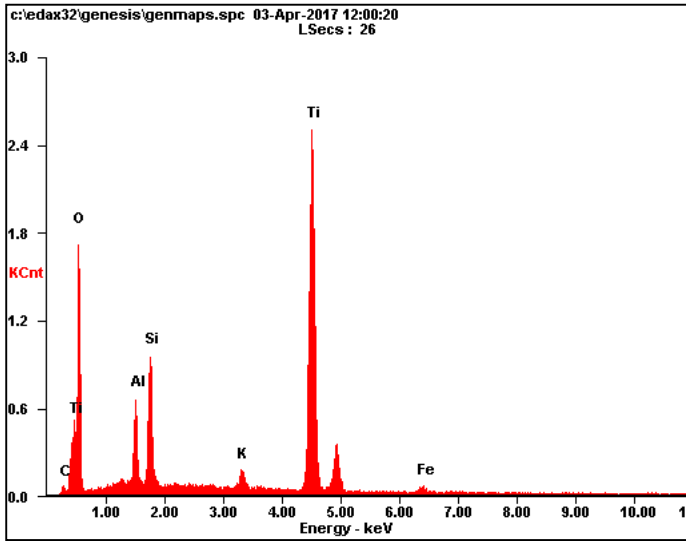
**Mineralogía posible:**

Cuarzo, Moscovita – Perpendicular a la orientación principal de la roca.

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	00.89	01.65
<i>OK</i>	40.64	56.61
<i>MgK</i>	03.94	03.61
<i>AlK</i>	13.67	11.29
<i>SiK</i>	24.57	19.49
<i>ClK</i>	00.35	00.22
<i>KK</i>	04.33	02.46
<i>TiK</i>	00.44	00.21
<i>FeK</i>	11.17	04.46
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

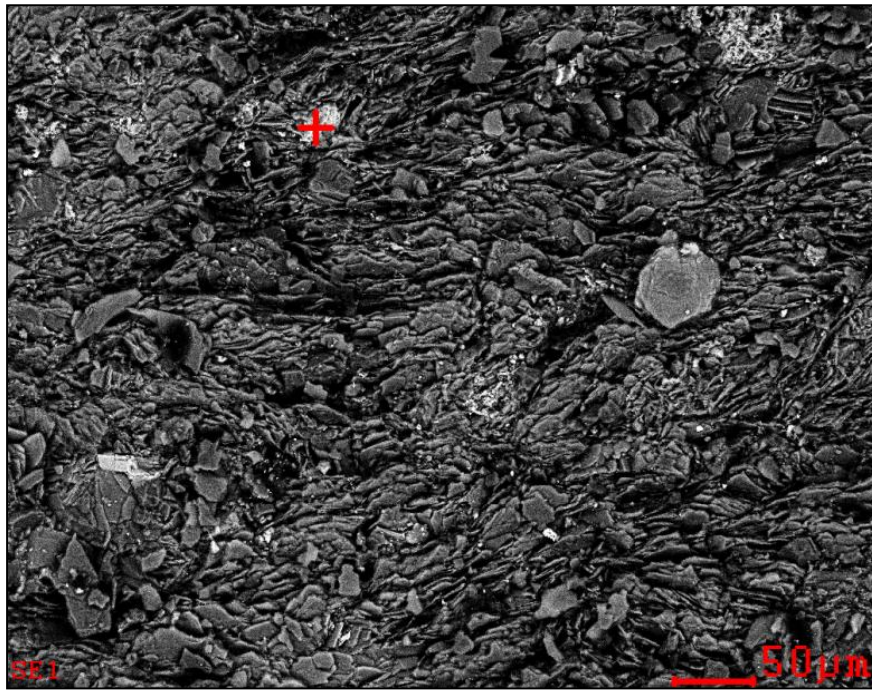


EDS\_JAD-20-1-008

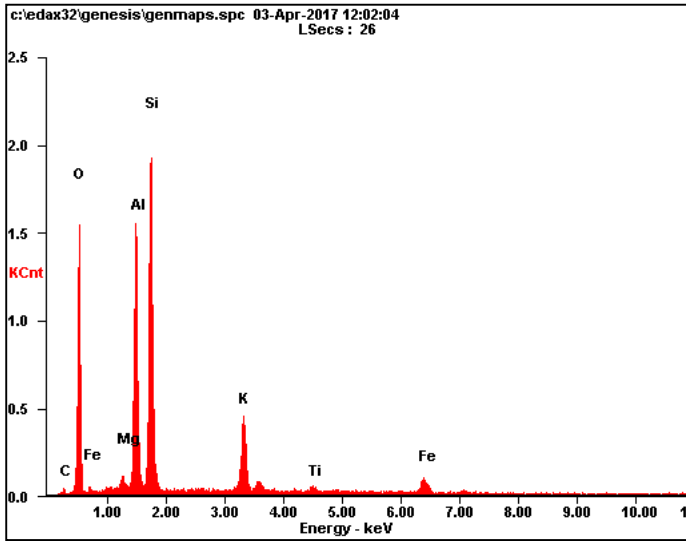


Element	Wt%	At%
<i>CK</i>	00.89	01.77
<i>OK</i>	45.34	67.32
<i>AlK</i>	04.45	03.92
<i>SiK</i>	07.11	06.01
<i>KK</i>	01.28	00.78
<i>TiK</i>	39.68	19.68
<i>FeK</i>	01.25	00.53
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Mineralogía posible:  
Anatasa

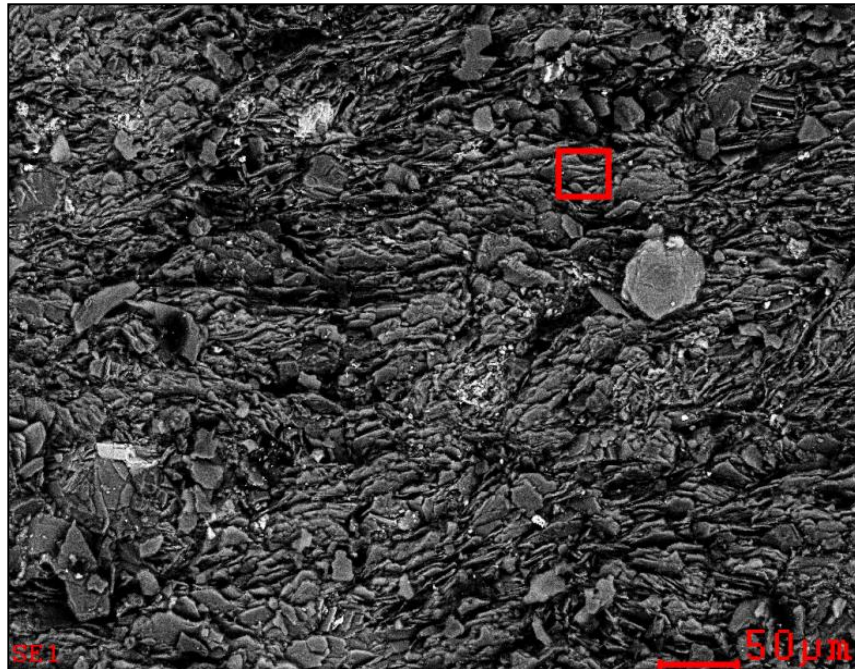


**EDS\_JAD-20-1-009**

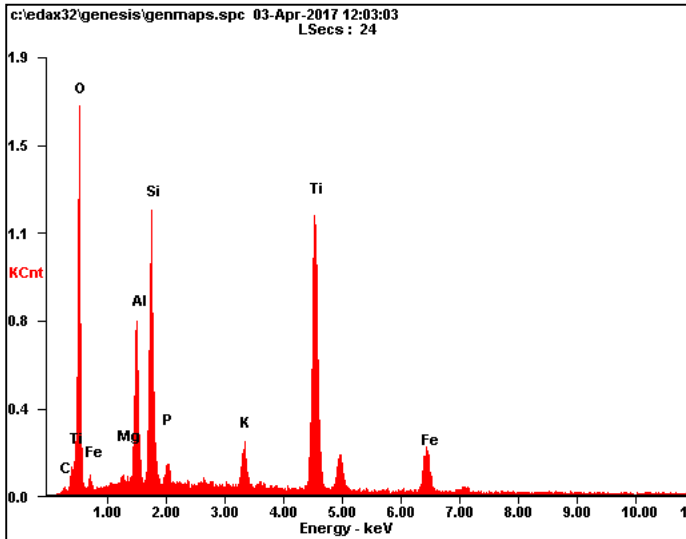


<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	02.29	04.13
<i>OK</i>	40.41	54.83
<i>MgK</i>	00.86	00.77
<i>AlK</i>	16.56	13.32
<i>SiK</i>	26.42	20.42
<i>KK</i>	07.36	04.09
<i>TiK</i>	00.97	00.44
<i>FeK</i>	05.13	01.99
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

**Mineralogía posible:**  
Cuarzo, Moscovita – Minerales Alineados

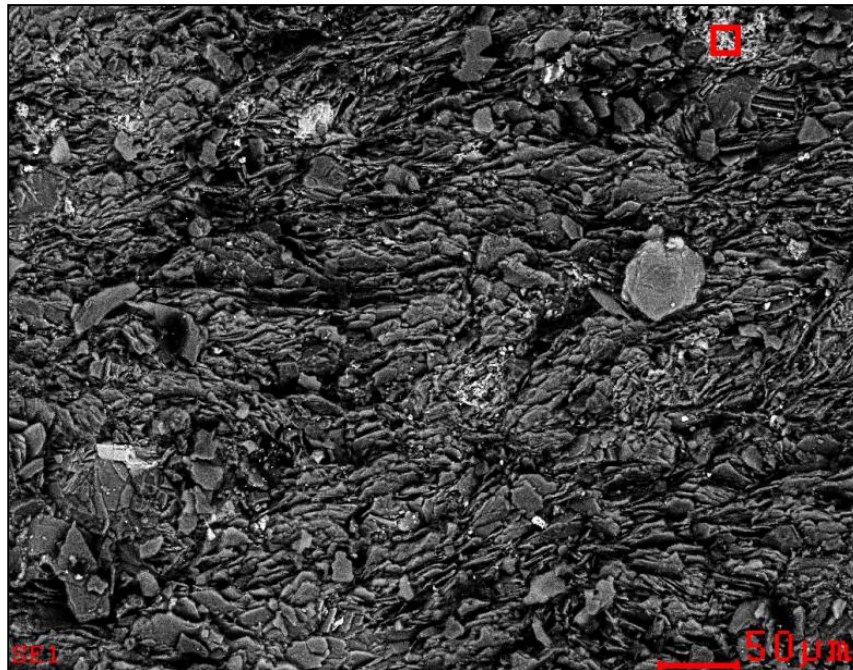


**EDS\_JAD-20-1-010**

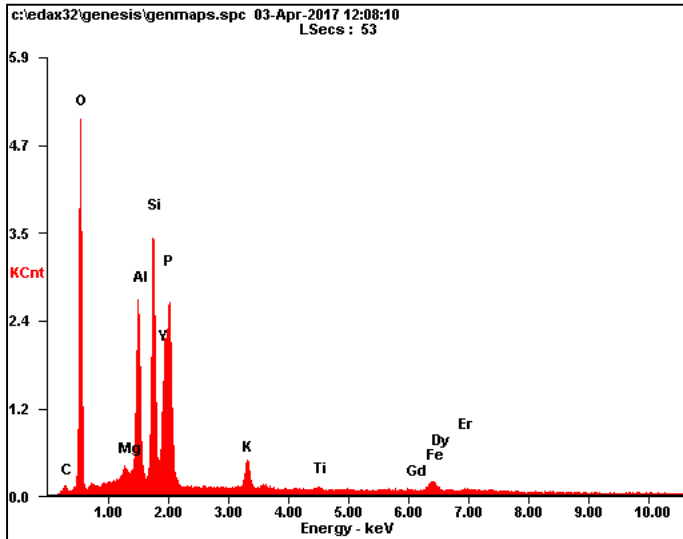


<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	01.27	02.50
<i>OK</i>	42.89	63.05
<i>MgK</i>	00.50	00.48
<i>AlK</i>	07.28	06.35
<i>SiK</i>	11.71	09.80
<i>PK</i>	01.05	00.80
<i>KK</i>	02.35	01.41
<i>TiK</i>	24.83	12.19
<i>FeK</i>	08.13	03.42
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

**Mineralogía posible:**  
Anatasa, Ilmenita



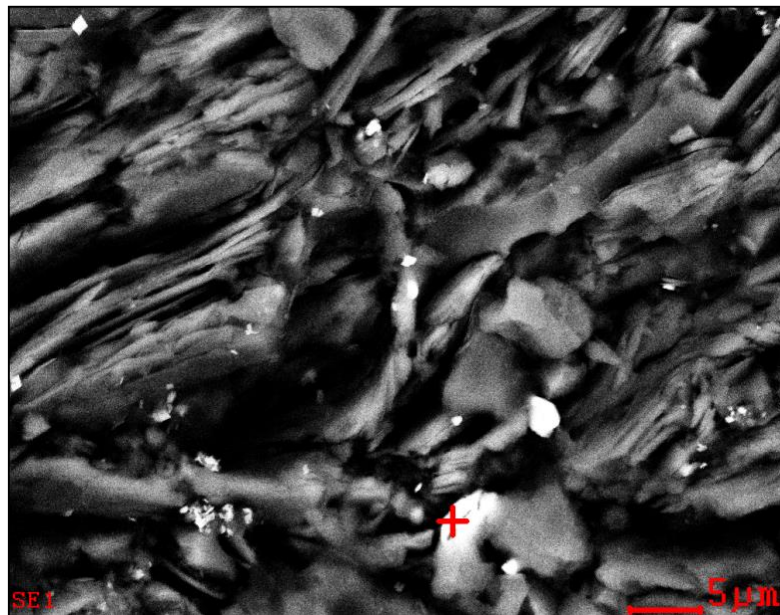
EDS\_JAD-20-1-011

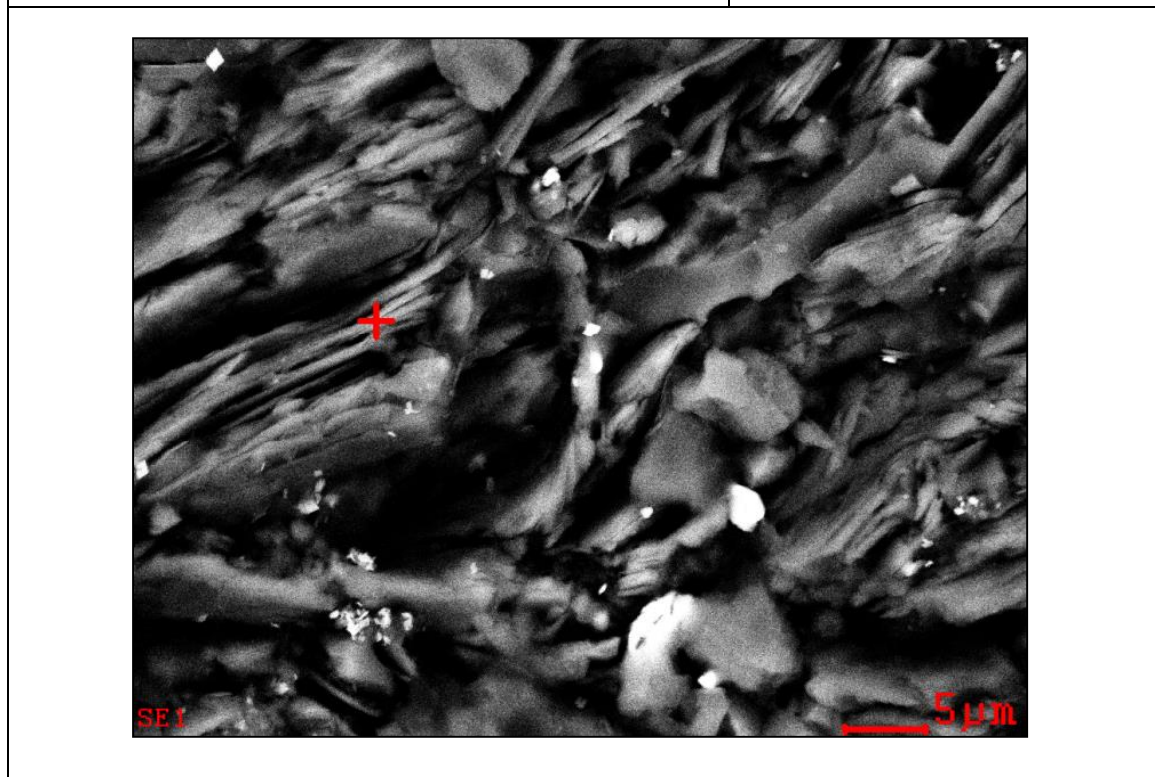
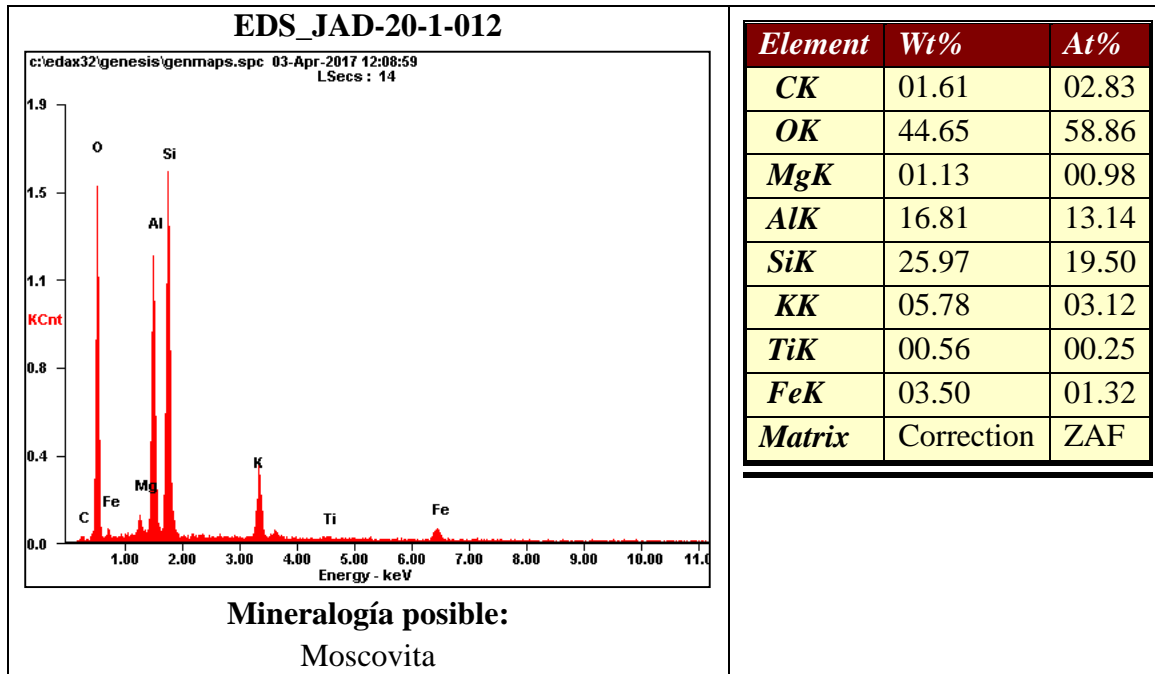


**Mineralogía posible:**

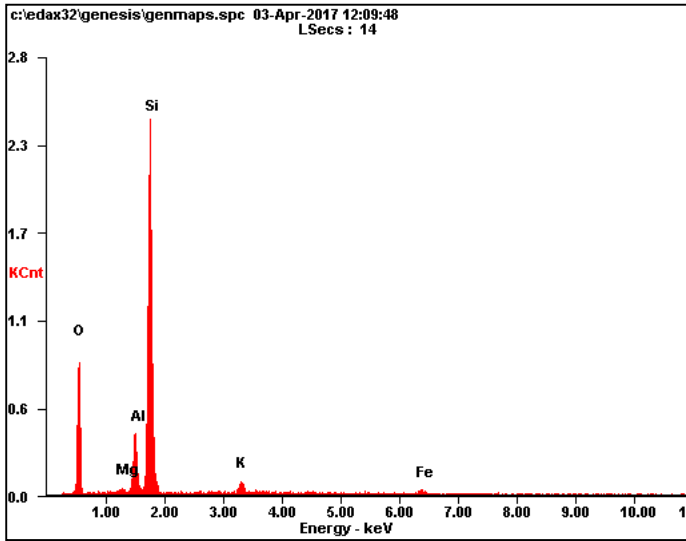
Xenotima – Elemento de las Tierras raras Gd, Er y Dy.

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	01.89	03.85
<i>OK</i>	40.60	62.07
<i>MgK</i>	00.64	00.64
<i>AlK</i>	08.87	08.04
<i>SiK</i>	12.78	11.13
<i>YL</i>	18.03	04.96
<i>PK</i>	07.99	06.31
<i>KK</i>	02.10	01.32
<i>TiK</i>	00.32	00.16
<i>GdL</i>	01.01	00.16
<i>FeK</i>	01.73	00.76
<i>DyL</i>	02.54	00.38
<i>ErL</i>	01.49	00.22
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



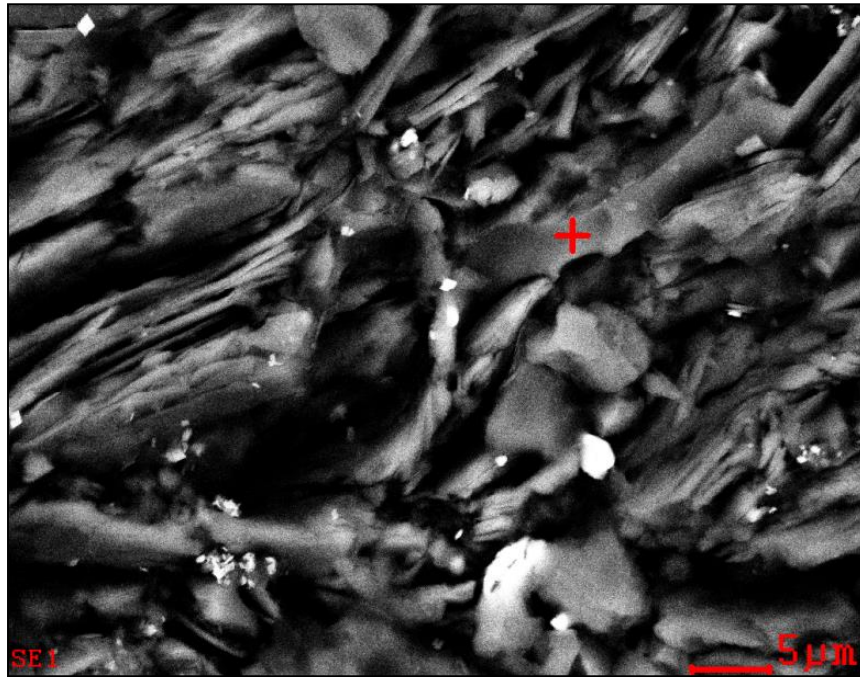


EDS\_JAD-20-1-013

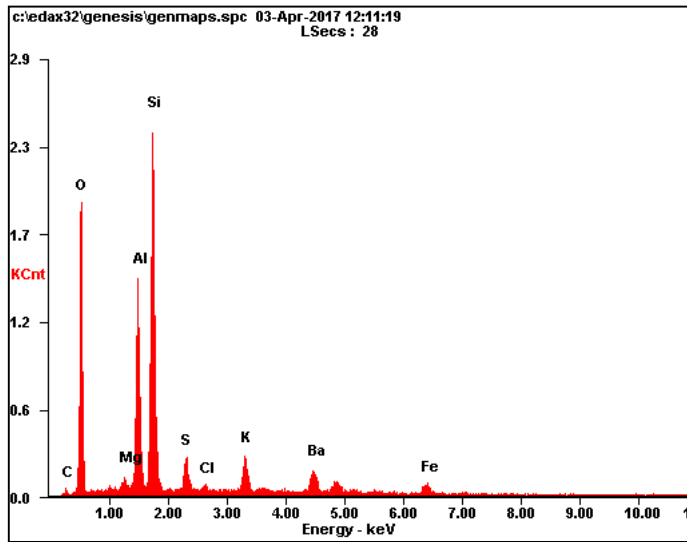


<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>OK</i>	37.39	51.79
<i>MgK</i>	00.53	00.48
<i>AlK</i>	07.28	05.98
<i>SiK</i>	49.94	39.41
<i>KK</i>	02.42	01.37
<i>FeK</i>	02.44	00.97
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Mineralogía posible:  
Cuarzo

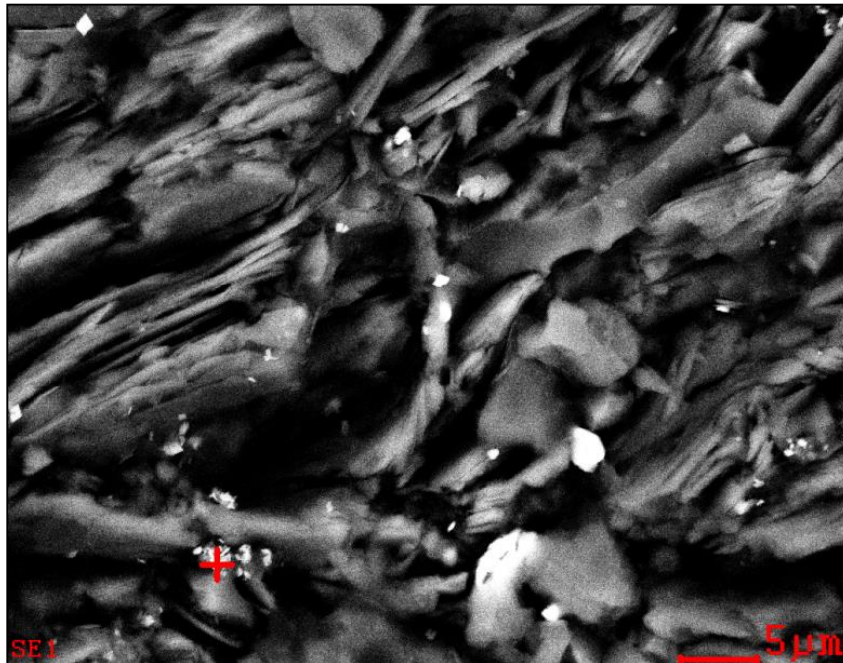


**EDS\_JAD-20-1-014**

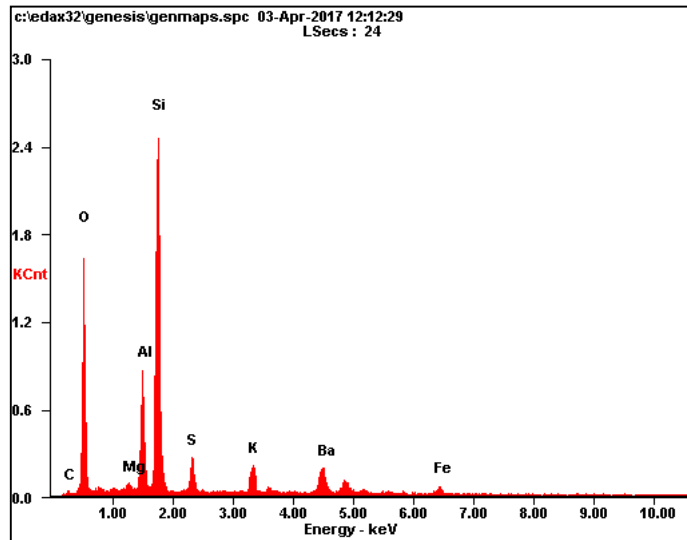


<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	02.00	03.91
<i>OK</i>	36.24	53.09
<i>MgK</i>	00.73	00.70
<i>AlK</i>	13.86	12.04
<i>SiK</i>	27.36	22.83
<i>SK</i>	02.76	02.02
<i>ClK</i>	00.56	00.37
<i>KK</i>	03.43	02.05
<i>BaL</i>	10.03	01.71
<i>FeK</i>	03.04	01.28
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

**Mineralogía posible:**  
Barita - Agregados

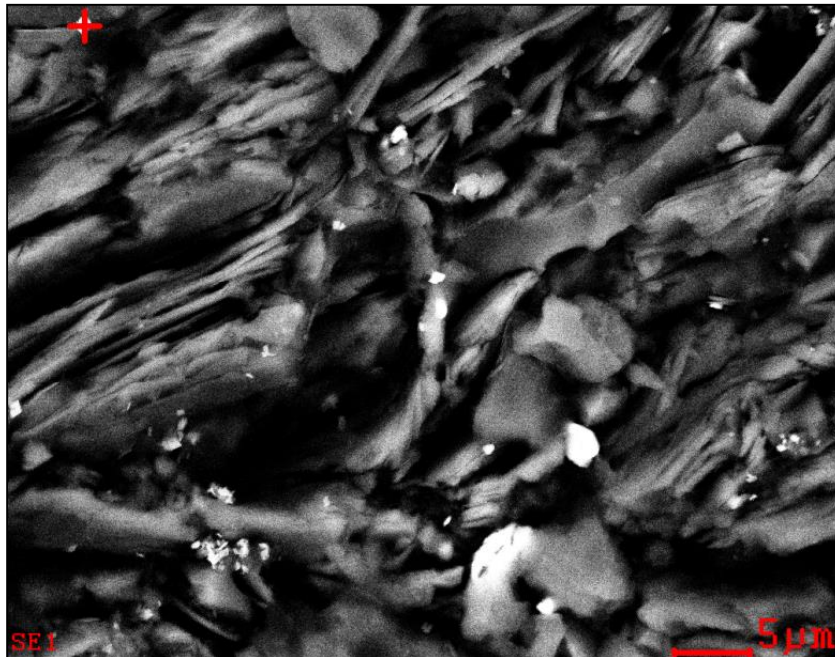


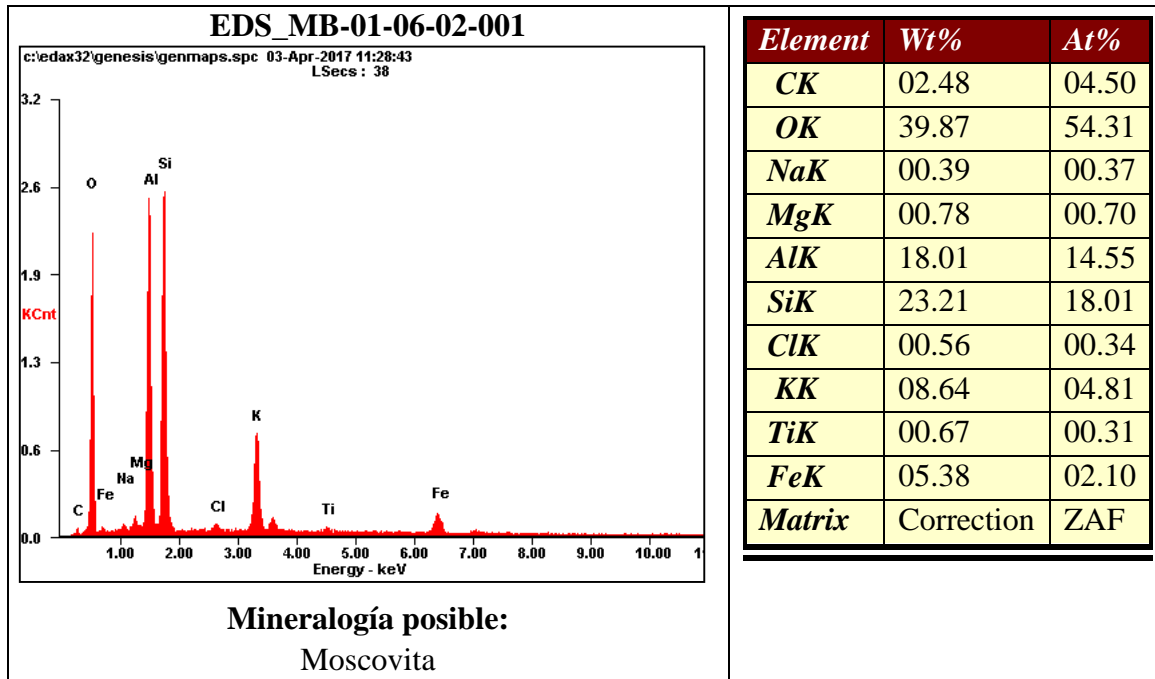
## EDS\_JAD-20-1-015



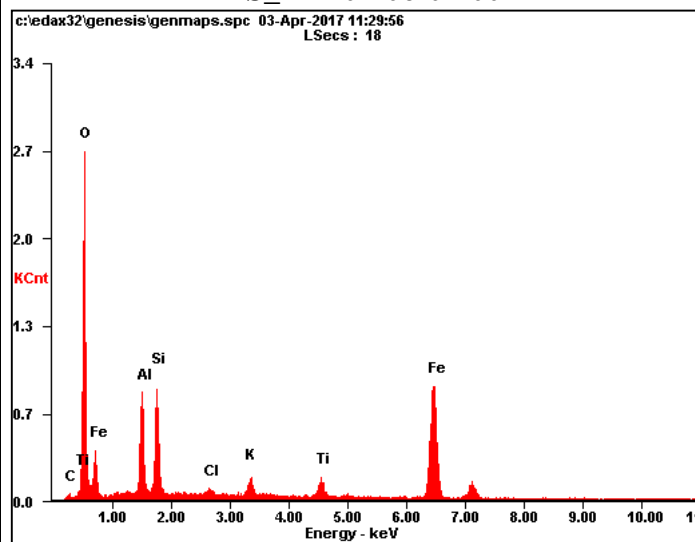
**Mineralogía posible:**  
Barita - Agregados

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	01.99	03.99
<i>OK</i>	35.42	53.24
<i>MgK</i>	00.49	00.49
<i>AlK</i>	09.22	08.22
<i>SiK</i>	30.59	26.19
<i>SK</i>	03.33	02.50
<i>KK</i>	03.19	01.96
<i>BaL</i>	13.22	02.31
<i>FeK</i>	02.54	01.10
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



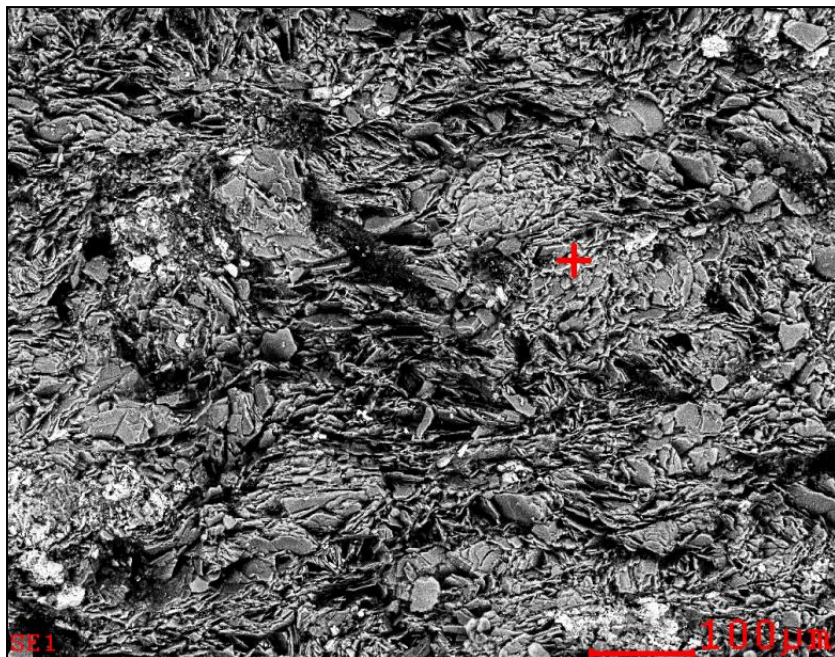


## EDS\_MB-01-06-02-002

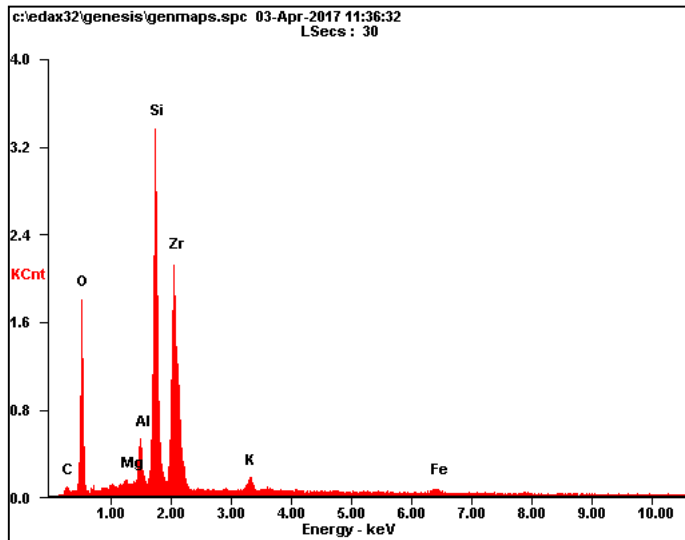


Mineralogía posible:  
Hematita

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	01.65	03.46
<i>OK</i>	38.29	60.15
<i>AlK</i>	09.50	08.85
<i>SiK</i>	09.18	08.21
<i>ClK</i>	00.56	00.39
<i>KK</i>	01.85	01.19
<i>TiK</i>	02.67	01.40
<i>FeK</i>	36.30	16.34
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

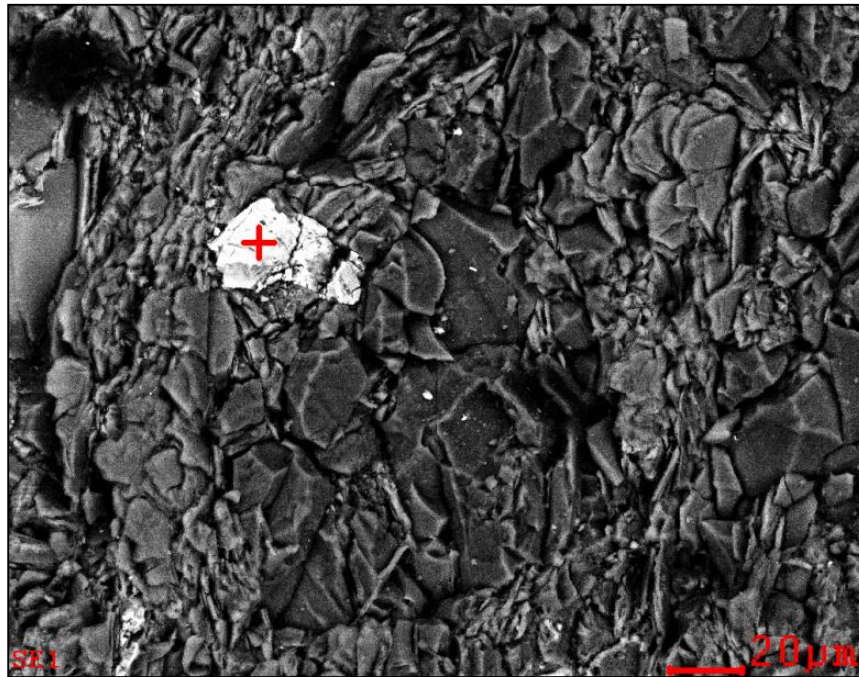


EDS\_MB-02-01-01-001

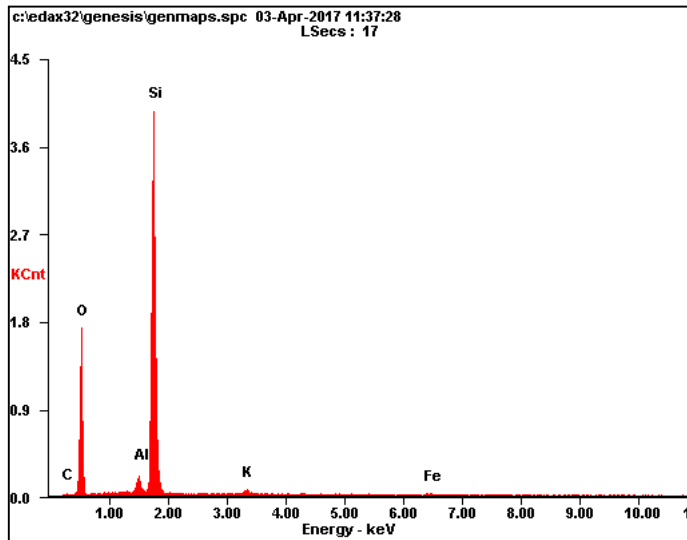


<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	03.22	07.23
<i>OK</i>	34.31	57.93
<i>MgK</i>	00.29	00.32
<i>AlK</i>	02.49	02.49
<i>SiK</i>	20.23	19.46
<i>ZrL</i>	36.42	10.78
<i>KK</i>	01.47	01.02
<i>FeK</i>	01.58	00.76
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Mineralogía posible:  
Zircón - Deformado

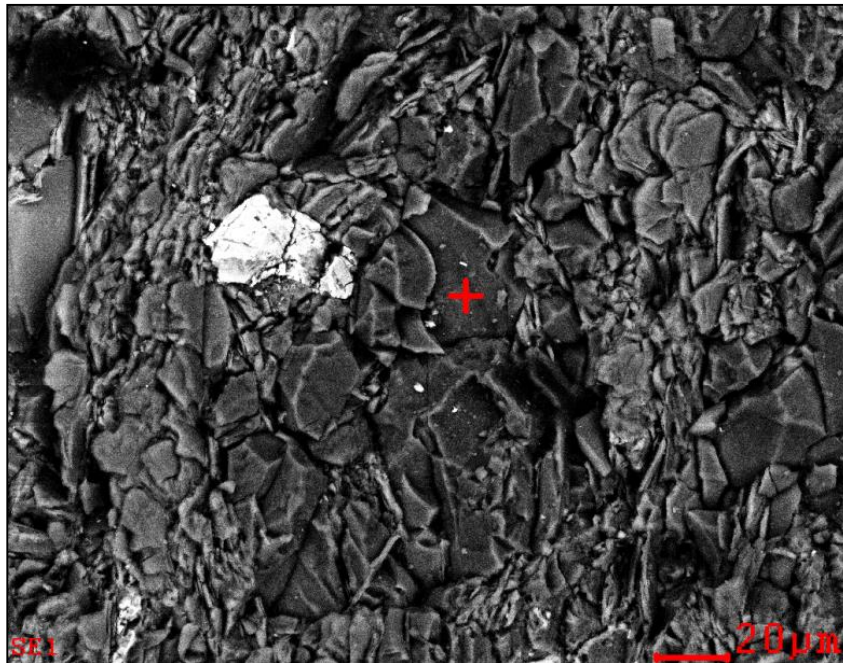


EDS\_MB-02-01-01-002

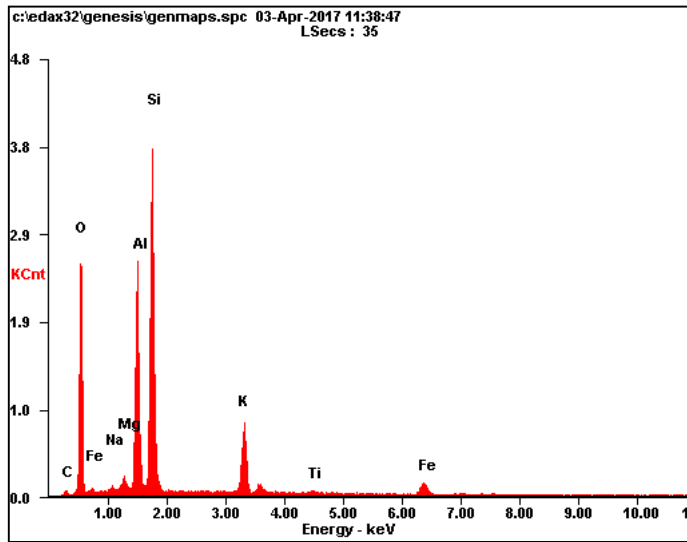


<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	02.72	04.68
<i>OK</i>	44.10	56.85
<i>AlK</i>	02.31	01.77
<i>SiK</i>	48.62	35.70
<i>KK</i>	01.06	00.56
<i>FeK</i>	01.19	00.44
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Mineralogía posible:  
Cuarzo

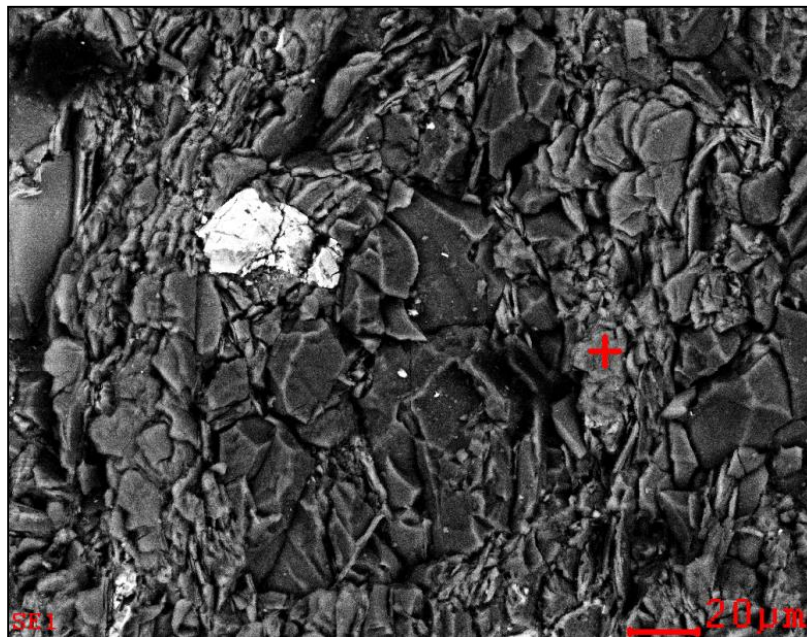


EDS\_MB-02-01-01-003

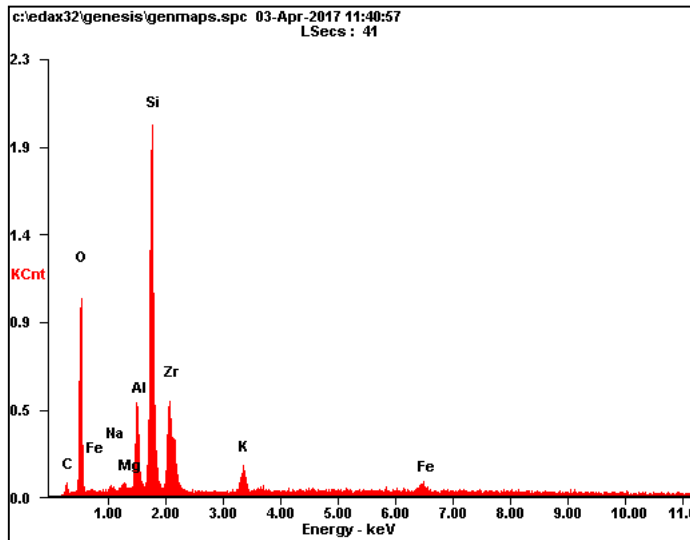


<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	02.02	03.68
<i>OK</i>	38.78	53.00
<i>NaK</i>	00.26	00.25
<i>MgK</i>	00.91	00.82
<i>AlK</i>	15.88	12.87
<i>SiK</i>	29.69	23.11
<i>KK</i>	08.10	04.53
<i>TiK</i>	00.52	00.24
<i>FeK</i>	03.85	01.51
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Mineralogía posible:  
Moscovita

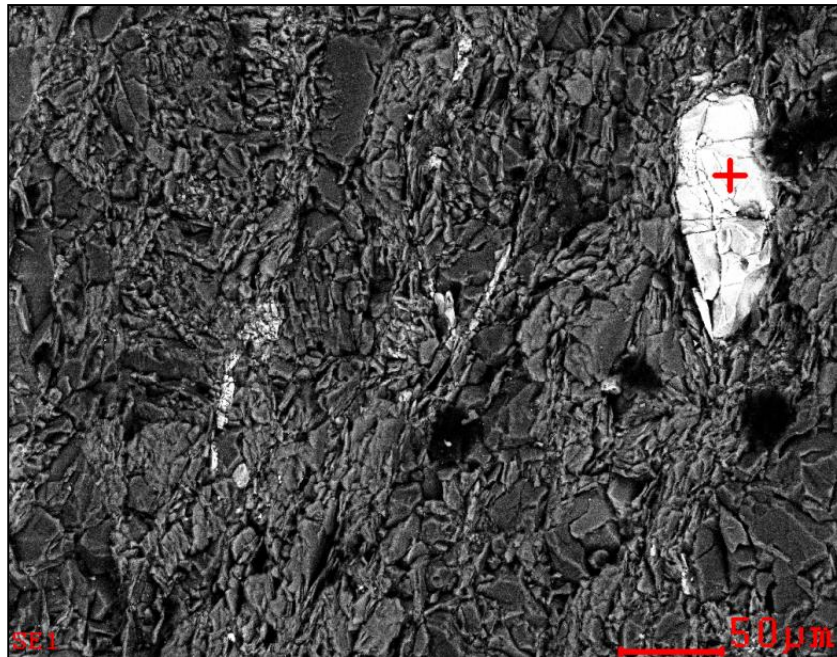


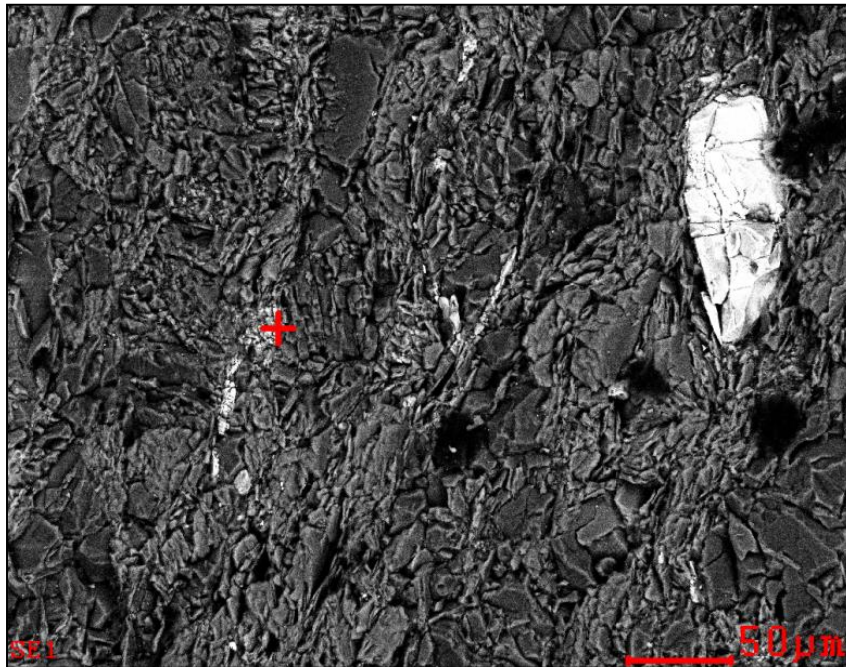
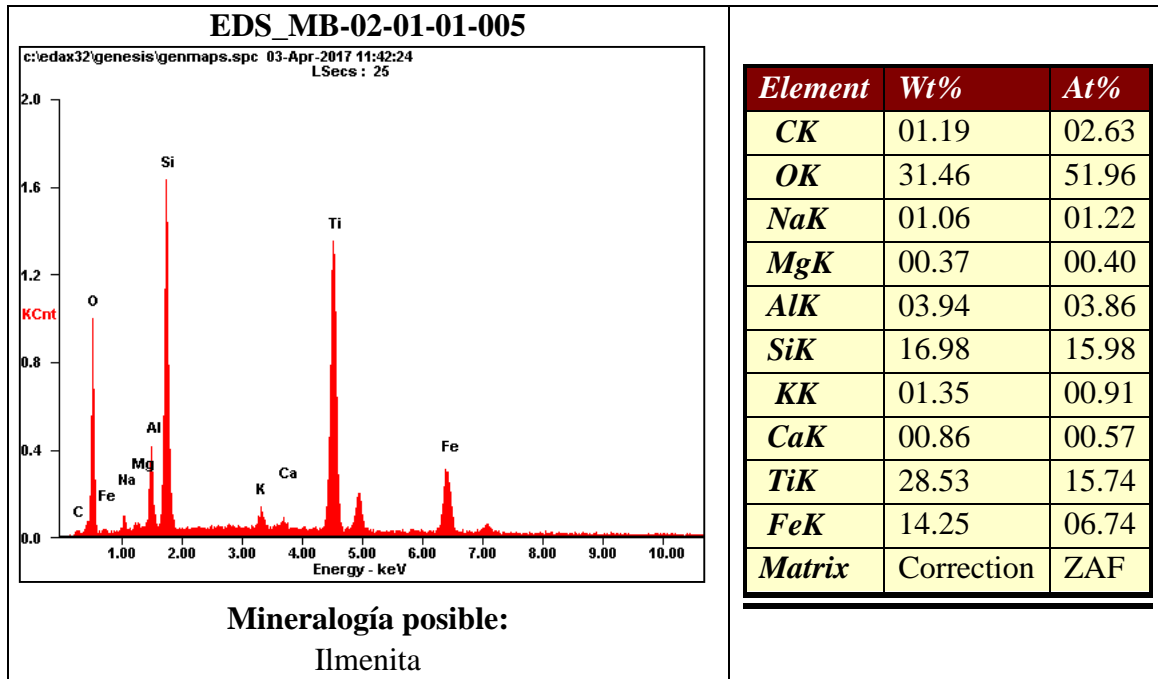
EDS\_MB-02-01-01-004

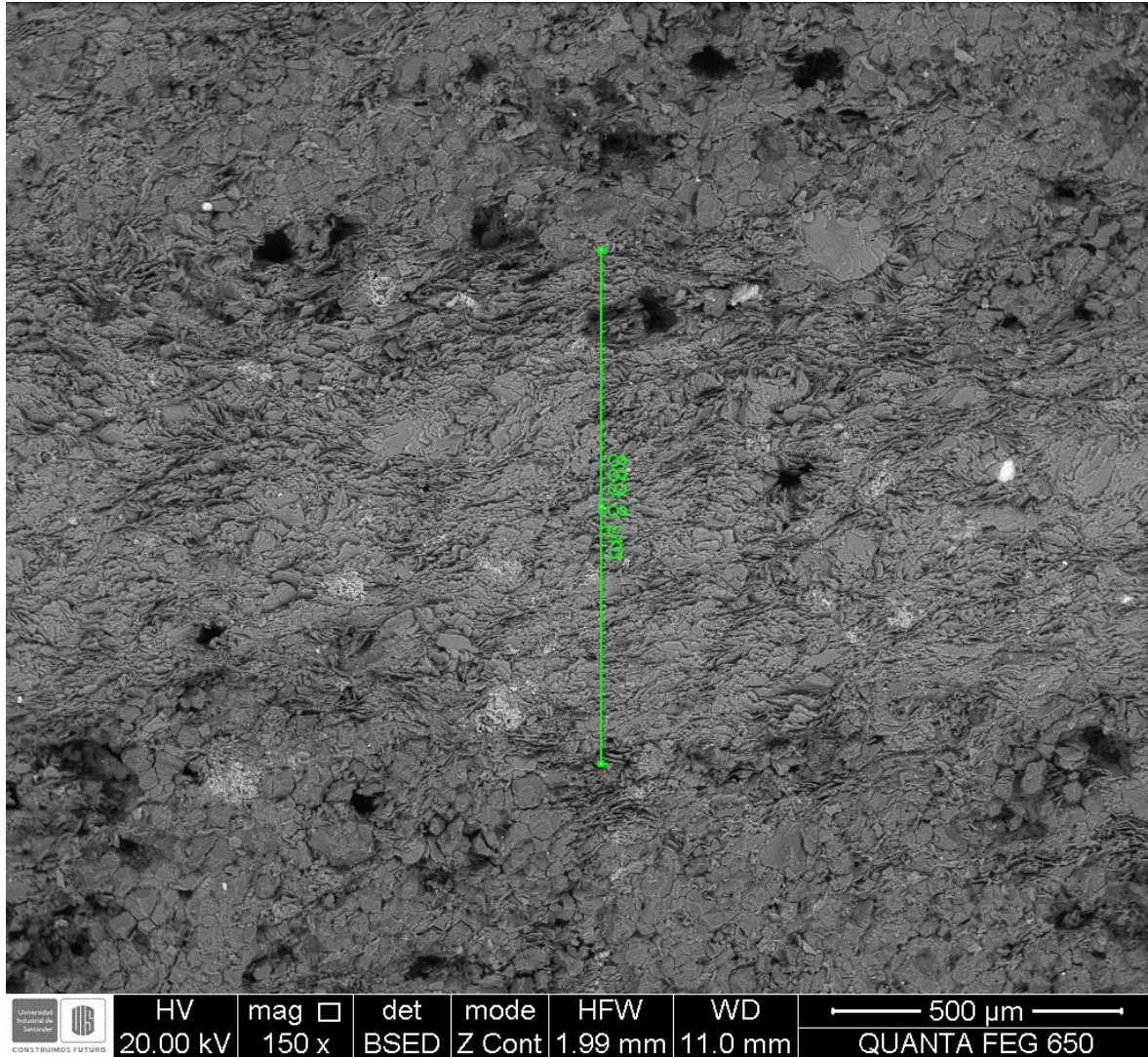


<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	05.62	10.90
<i>OK</i>	36.79	53.61
<i>NaK</i>	00.60	00.61
<i>MgK</i>	00.54	00.51
<i>AlK</i>	06.00	05.18
<i>SiK</i>	25.71	21.35
<i>ZrL</i>	18.65	04.77
<i>KK</i>	02.94	01.75
<i>FeK</i>	03.16	01.32
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

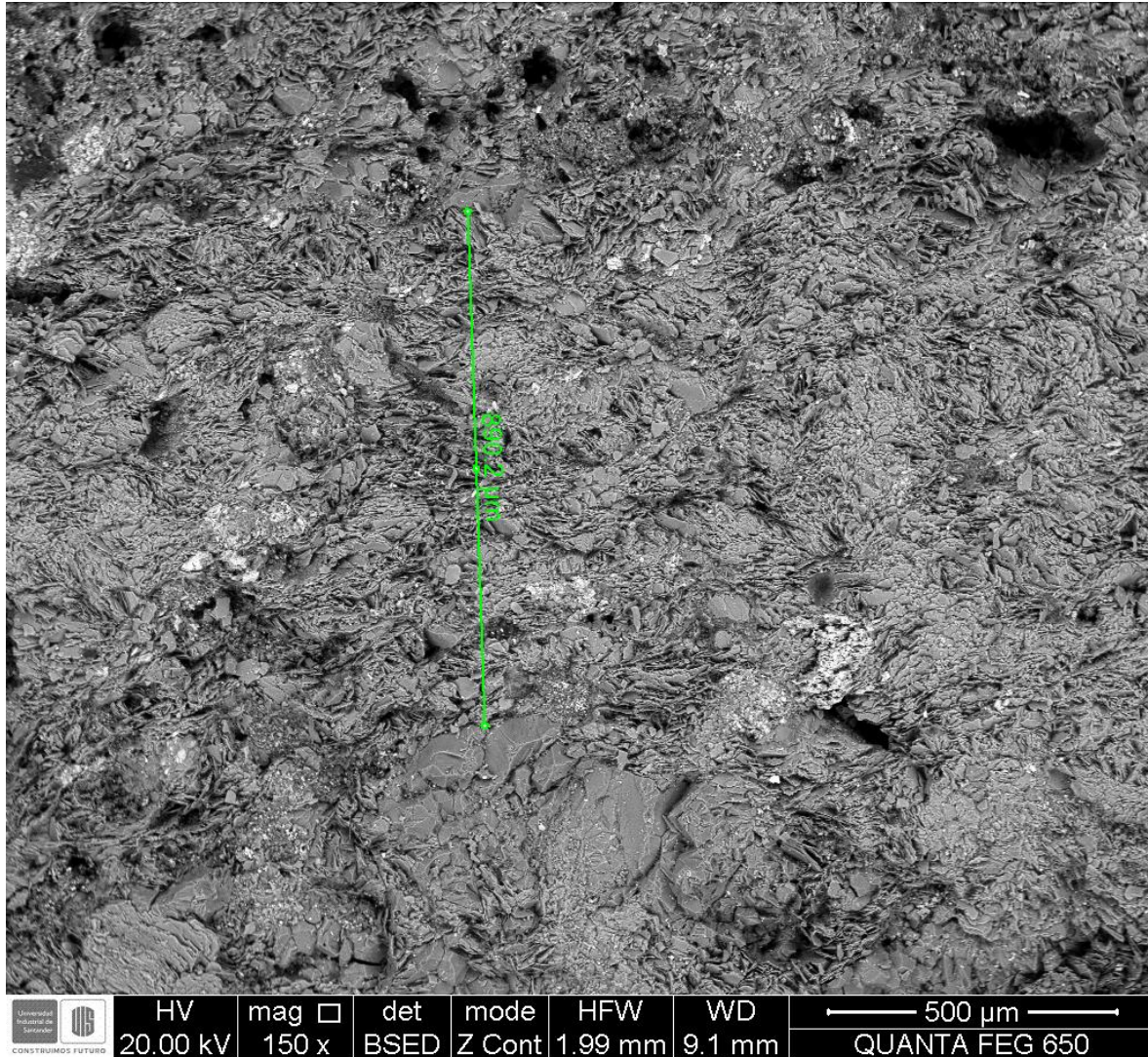
Mineralogía posible:  
Zircón - Deformado







Espesor de las venas hidrotermales en la muestra JAD-20-1, mediante Microscopia Electrónica de Barrido, Laboratorio Universidad Industrial de Santander sede Guatiguara.



Espesor de las venas hidrotermales en la muestra MB-01-06-02, mediante Microscopia Electrónica de Barrido, Laboratorio Universidad Industrial de Santander sede Guatiguara.

## Apéndice D. Cronoestratigrafía

Muestra MB-01-06-02. Resultados analíticos U-Pb de circones detríticos en metarenisca de la franja Alto de los Cacaos-San Joaquín (denominada en el presente estudio como unidad de Metasedimentitas de Cacaos). Macizo de Santander.

Dept of the Environment, Washington State University			AGES						Best Age	1 $\sigma$ Abs Error	% ConC
Sample Name	U ppm	U/Th	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U Ma	2 $\sigma$ Abs Error Ma	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U Ma	2 $\sigma$ Abs Error Ma	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb Ma	2 $\sigma$ Abs Error Ma			
MB-01-06-2_1	72	1,1	1046,0	27,5	1039,2	26,4	1064,9	20,8	<b>1064,9</b>	<b>20,8</b>	97,6
MB-01-06-2_4	166	2,5	580,7	19,6	581,4	17,1	583,2	22,3	<b>581,4</b>	<b>17,1</b>	99,7
MB-01-06-2_5	155	0,2	1168,2	30,8	1121,8	32,5	1260,0	19,6	<b>1260,0</b>	<b>19,6</b>	89,0
MB-01-06-2_6	217	0,4	1188,6	36,3	1104,8	39,1	1349,0	22,9	<b>1349,0</b>	<b>22,9</b>	81,9
MB-01-06-2_7	91	0,7	843,4	65,7	730,7	71,3	1157,6	40,9	<b>730,7</b>	<b>71,3</b>	63,1
MB-01-06-2_8	135	1,1	1536,8	40,1	1457,0	50,3	1652,7	20,4	<b>1652,7</b>	<b>20,4</b>	88,2
<del>MB-01-06-2_9</del>	<del>112</del>	<del>1,0</del>	<del>852,4</del>	<del>47,2</del>	<del>730,6</del>	<del>42,7</del>	<del>1188,9</del>	<del>41,9</del>	<del>1188,9</del>	<del>41,9</del>	61,4
MB-01-06-2_10	69	1,1	1006,9	52,2	939,6	56,0	1160,9	39,6	<b>1160,9</b>	<b>39,6</b>	80,9
MB-01-06-2_11	84	0,7	1097,0	42,2	1031,4	47,7	1234,4	27,0	<b>1234,4</b>	<b>27,0</b>	83,6
MB-01-06-2_12	220	1,6	1101,1	31,6	1060,4	33,3	1187,1	21,0	<b>1187,1</b>	<b>21,0</b>	89,3
MB-01-06-2_13	76	0,9	593,5	88,7	547,7	96,5	777,5	68,7	<b>547,7</b>	<b>96,5</b>	70,4
MB-01-06-2_14	175	0,7	878,3	28,8	837,7	28,2	987,0	22,8	<b>837,7</b>	<b>28,2</b>	84,9
<del>MB-01-06-2_15</del>	<del>77</del>	<del>1,1</del>	<del>1201,3</del>	<del>38,6</del>	<del>1079,2</del>	<del>43,0</del>	<del>1432,7</del>	<del>21,8</del>	<del>1432,7</del>	<del>21,8</del>	75,3
MB-01-06-2_16	112	1,3	974,6	31,3	962,5	32,9	1006,9	23,3	<b>1006,9</b>	<b>23,3</b>	95,6
MB-01-06-2_17	49	1,1	774,7	43,9	706,5	42,4	981,3	40,1	<b>706,5</b>	<b>42,4</b>	72,0
MB-01-06-2_18	61	1,9	1403,8	43,3	1328,9	55,1	1523,8	21,9	<b>1523,8</b>	<b>21,9</b>	87,2
MB-01-06-2_19	237	1,0	946,3	26,9	922,8	26,7	1006,1	19,7	<b>1006,1</b>	<b>19,7</b>	91,7
MB-01-06-2_20	54	1,3	1185,6	33,7	1100,1	34,7	1349,7	22,0	<b>1349,7</b>	<b>22,0</b>	81,5

Muestra MB-01-06-02. Resultados analíticos U-Pb de circones detríticos en metarenisca de la franja Alto de los Cacaos-San Joaquín (denominada en el presente estudio como unidad de Metasedimentitas de Cacaos). Macizo de Santander.

MB-01-06-2_21	62	1,4	1167,3	33,6	1150,4	36,5	1203,4	22,5	<b>1203,4</b>	<b>22,5</b>	95,6
MB-01-06-2_22	45	0,8	1391,0	39,1	1354,8	46,1	1451,5	23,4	<b>1451,5</b>	<b>23,4</b>	93,3
MB-01-06-2_23	94	1,6	1444,3	31,5	1412,1	33,3	1496,5	19,0	<b>1496,5</b>	<b>19,0</b>	94,4
MB-01-06-2_24	579	0,4	1343,4	33,0	1265,1	37,2	1474,9	17,9	<b>1474,9</b>	<b>17,9</b>	85,8
MB-01-06-2_25	92	0,5	805,2	101,6	685,8	93,8	1156,3	95,1	<b>685,8</b>	<b>93,8</b>	59,3
MB-01-06-2_26	76	1,9	765,1	44,9	717,0	40,3	913,4	48,1	<b>717,0</b>	<b>40,3</b>	78,5
MB-01-06-2_27	366	0,7	1122,0	28,4	1106,2	28,8	1157,5	19,3	<b>1157,5</b>	<b>19,3</b>	95,6
MB-01-06-2_28	139	1,0	1323,2	39,7	1232,1	46,8	1478,6	21,8	<b>1478,6</b>	<b>21,8</b>	83,3
MB-01-06-2_29	185	0,8	1165,5	31,9	1126,7	33,9	1243,0	20,8	<b>1243,0</b>	<b>20,8</b>	90,6
MB-01-06-2_30	114	0,8	925,8	33,5	909,8	35,5	969,1	25,7	<b>909,8</b>	<b>35,5</b>	93,9
MB-01-06-2_31	115	1,3	1113,5	33,1	1048,1	34,9	1248,0	21,6	<b>1248,0</b>	<b>21,6</b>	84,0
MB-01-06-2_32	126	1,0	1268,3	31,9	1238,9	34,4	1323,3	20,0	<b>1323,3</b>	<b>20,0</b>	93,6
MB-01-06-2_33	57	1,5	821,7	35,2	793,5	36,6	903,6	29,0	<b>793,5</b>	<b>36,6</b>	87,8
MB-01-06-2_34	169	1,6	1427,7	32,6	1411,6	37,2	1456,2	18,6	<b>1456,2</b>	<b>18,6</b>	96,9
MB-01-06-2_35	504	1,3	1304,4	30,5	1293,6	33,4	1326,9	18,1	<b>1326,9</b>	<b>18,1</b>	97,5
MB-01-06-2_36	77	2,6	742,5	29,7	749,1	28,1	727,5	30,8	<b>749,1</b>	<b>28,1</b>	103,0
MB-01-06-2_37	92	1,1	1417,5	33,7	1376,0	38,2	1485,1	19,3	<b>1485,1</b>	<b>19,3</b>	92,7
MB-01-06-2_38	55	2,0	1421,0	33,9	1371,0	37,5	1501,2	20,0	<b>1501,2</b>	<b>20,0</b>	91,3
MB-01-06-2_39	173	1,5	1647,3	34,5	1600,6	42,1	1711,8	17,4	<b>1711,8</b>	<b>17,4</b>	93,5
MB-01-06-2_40	164	2,2	911,9	25,2	891,2	23,0	967,0	20,5	<b>891,2</b>	<b>23,0</b>	92,2
MB-01-06-2_41	106	1,1	986,1	27,0	972,0	26,2	1022,6	20,2	<b>1022,6</b>	<b>20,2</b>	95,1
MB-01-06-2_42	182	1,3	1390,1	32,2	1346,7	36,3	1461,8	17,9	<b>1461,8</b>	<b>17,9</b>	92,1
MB-01-06-2_43	42	1,8	965,5	28,4	953,2	27,1	998,4	22,9	<b>998,4</b>	<b>22,9</b>	95,5
MB-01-06-2_44	168	1,0	1333,0	31,1	1337,0	34,1	1331,4	19,0	<b>1331,4</b>	<b>19,0</b>	100,4
MB-01-06-2_45	314	1,1	1433,8	30,8	1422,6	34,1	1455,0	17,5	<b>1455,0</b>	<b>17,5</b>	97,8

Muestra MB-01-06-02. Resultados analíticos U-Pb de circones detríticos en metarenisca de la franja Alto de los Cacaos-San Joaquín (denominada en el presente estudio como unidad de Metasedimentitas de Cacaos). Macizo de Santander.

MB-01-06-2_46	36	2,5	1158,1	31,2	1144,7	30,3	1187,9	23,3	<b>1187,9</b>	<b>23,3</b>	96,4
MB-01-06-2_47	76	1,6	984,9	27,6	964,1	25,7	1036,3	22,0	<b>1036,3</b>	<b>22,0</b>	93,0
MB-01-06-2_48	586	0,4	1021,9	26,9	1027,5	27,2	1015,0	19,1	<b>1015,0</b>	<b>19,1</b>	101,2
<del>MB-01-06-2_49</del>	<del>649</del>	<del>4,3</del>	<del>4159,4</del>	<del>31,4</del>	<del>993,5</del>	<del>30,7</del>	<del>4488,8</del>	<del>48,6</del>	<del>4488,8</del>	<del>48,6</del>	<del>66,7</del>
MB-01-06-2_50	272	1,1	775,4	31,9	781,0	32,1	764,4	30,1	<b>781,0</b>	<b>32,1</b>	102,2
MB-01-06-2_51	103	0,7	862,6	40,1	854,4	38,6	888,7	39,2	<b>854,4</b>	<b>38,6</b>	96,1
MB-01-06-2_52	160	0,9	1579,6	38,6	1496,3	49,4	1697,1	18,3	<b>1697,1</b>	<b>18,3</b>	88,2
MB-01-06-2_53	159	1,7	1117,9	31,7	1069,0	33,8	1218,9	20,3	<b>1218,9</b>	<b>20,3</b>	87,7
MB-01-06-2_54	164	1,4	1109,2	29,9	1070,2	30,9	1191,1	19,8	<b>1191,1</b>	<b>19,8</b>	89,8
MB-01-06-2_55	157	1,3	1126,6	31,7	1109,7	34,0	1164,3	21,3	<b>1164,3</b>	<b>21,3</b>	95,3
MB-01-06-2_56	142	1,2	1308,0	38,3	1232,9	46,1	1438,0	20,2	<b>1438,0</b>	<b>20,2</b>	85,7
MB-01-06-2_57	60	1,1	581,0	91,2	592,6	106,8	541,2	81,4	<b>592,6</b>	<b>106,8</b>	109,5
MB-01-06-2_58	94	1,0	994,1	42,8	890,0	44,8	1236,1	29,6	<b>1236,1</b>	<b>29,6</b>	72,0
MB-01-06-2_59	72	1,0	846,0	54,6	778,5	63,0	1032,5	32,5	<b>778,5</b>	<b>63,0</b>	75,4
MB-01-06-2_60	62	2,3	1262,4	43,6	1179,5	54,1	1411,2	22,2	<b>1411,2</b>	<b>22,2</b>	83,6
MB-01-06-2_61	121	0,7	971,9	31,5	937,0	33,4	1056,4	21,8	<b>1056,4</b>	<b>21,8</b>	88,7
<del>MB-01-06-2_62</del>	<del>95</del>	<del>0,6</del>	<del>4244,4</del>	<del>38,4</del>	<del>4040,5</del>	<del>41,0</del>	<del>4542,6</del>	<del>24,4</del>	<del>4542,6</del>	<del>24,4</del>	<del>67,5</del>
MB-01-06-2_63	96	1,0	899,0	38,7	814,7	39,0	1117,1	29,6	<b>1117,1</b>	<b>29,6</b>	72,9
MB-01-06-2_64	59	0,8	840,1	47,1	809,7	50,2	926,3	39,7	<b>809,7</b>	<b>50,2</b>	87,4
MB-01-06-2_65	65	0,7	1320,2	45,5	1239,3	54,7	1458,5	26,2	<b>1458,5</b>	<b>26,2</b>	85,0
MB-01-06-2_66	146	0,9	1462,6	40,7	1397,5	51,1	1563,0	21,0	<b>1563,0</b>	<b>21,0</b>	89,4
MB-01-06-2_67	143	0,8	1097,8	40,7	1020,7	46,1	1258,6	25,1	<b>1258,6</b>	<b>25,1</b>	81,1
MB-01-06-2_68	198	1,0	1432,5	38,7	1316,2	47,0	1614,0	18,9	<b>1614,0</b>	<b>18,9</b>	81,5
<del>MB-01-06-2_69</del>	<del>220</del>	<del>0,8</del>	<del>4084,6</del>	<del>48,4</del>	<del>938,7</del>	<del>53,9</del>	<del>4395,3</del>	<del>26,3</del>	<del>4395,3</del>	<del>26,3</del>	<del>67,3</del>
MB-01-06-2_70	409	4,3	854,5	84,5	639,5	77,0	1457,8	54,8	<b>1457,8</b>	<b>54,8</b>	43,9

Muestra MB-01-06-02. Resultados analíticos U-Pb de circones detríticos en metarenisca de la franja Alto de los Cacaos-San Joaquín (denominada en el presente estudio como unidad de Metasedimentitas de Cacaos). Macizo de Santander.

MB-01-06-2_71	120	0,6	1110,2	57,2	1099,7	73,5	1135,6	33,8	<b>1135,6</b>	<b>33,8</b>	96,8
MB-01-06-2_72	72	0,6	777,7	68,5	674,3	68,7	1091,9	55,3	<b>674,3</b>	<b>68,7</b>	61,8
MB-01-06-2_73	146	0,9	946,9	33,8	915,4	35,0	1025,6	25,8	<b>1025,6</b>	<b>25,8</b>	89,3
MB-01-06-2_74	177	0,7	852,0	29,6	806,7	28,5	976,9	24,5	<b>806,7</b>	<b>28,5</b>	82,6
<del>MB-01-06-2_75</del>	<del>187</del>	<del>0,6</del>	<del>1350,6</del>	<del>36,2</del>	<del>1231,8</del>	<del>40,8</del>	<del>1548,7</del>	<del>19,7</del>	<del>1548,7</del>	<del>19,7</del>	<del>79,5</del>
MB-01-06-2_76	162	0,4	1358,4	39,6	1302,6	47,7	1451,8	22,3	<b>1451,8</b>	<b>22,3</b>	89,7
<del>MB-01-06-2_77</del>	<del>87</del>	<del>0,5</del>	<del>906,3</del>	<del>117,1</del>	<del>697,1</del>	<del>125,6</del>	<del>1462,4</del>	<del>47,2</del>	<del>1462,4</del>	<del>47,2</del>	<del>47,7</del>
<del>MB-01-06-2_78</del>	<del>64</del>	<del>0,8</del>	<del>1171,0</del>	<del>67,6</del>	<del>1045,7</del>	<del>81,0</del>	<del>1415,2</del>	<del>38,0</del>	<del>1415,2</del>	<del>38,0</del>	<del>73,9</del>
<del>MB-01-06-2_79</del>	<del>53</del>	<del>1,1</del>	<del>1101,7</del>	<del>67,1</del>	<del>992,6</del>	<del>76,1</del>	<del>1328,5</del>	<del>44,0</del>	<del>1328,5</del>	<del>44,0</del>	<del>74,7</del>
MB-01-06-2_80	104	0,8	1399,1	43,4	1333,1	55,7	1505,7	21,7	<b>1505,7</b>	<b>21,7</b>	88,5
<del>MB-01-06-2_81</del>	<del>72</del>	<del>0,8</del>	<del>1317,2</del>	<del>57,3</del>	<del>1172,7</del>	<del>58,8</del>	<del>1565,1</del>	<del>40,7</del>	<del>1565,1</del>	<del>40,7</del>	<del>74,9</del>
MB-01-06-2_82	245	0,4	1143,4	35,1	1083,9	38,4	1262,8	22,4	<b>1262,8</b>	<b>22,4</b>	85,8
MB-01-06-2_83	120	0,7	954,9	87,5	892,7	94,8	1105,8	70,8	<b>1105,8</b>	<b>70,8</b>	80,7
<del>MB-01-06-2_84</del>	<del>94</del>	<del>0,9</del>	<del>1331,3</del>	<del>64,7</del>	<del>1183,5</del>	<del>72,9</del>	<del>1582,2</del>	<del>41,5</del>	<del>1582,2</del>	<del>41,5</del>	<del>74,8</del>
MB-01-06-2_85	621	0,3	1190,9	28,5	1172,2	29,2	1229,7	18,4	<b>1229,7</b>	<b>18,4</b>	95,3
MB-01-06-2_86	86	0,9	854,4	41,8	815,9	44,7	960,8	32,9	<b>815,9</b>	<b>44,7</b>	84,9
MB-01-06-2_87	321	0,4	1241,1	31,2	1235,2	34,8	1256,0	18,9	<b>1256,0</b>	<b>18,9</b>	98,3
MB-01-06-2_88	102	1,1	1441,7	35,5	1358,0	40,0	1571,8	20,2	<b>1571,8</b>	<b>20,2</b>	86,4
MB-01-06-2_89	108	0,9	1026,5	30,1	1015,0	31,0	1055,8	22,0	<b>1055,8</b>	<b>22,0</b>	96,1
MB-01-06-2_90	173	1,2	1200,6	29,0	1166,2	29,5	1267,6	18,7	<b>1267,6</b>	<b>18,7</b>	92,0
MB-01-06-2_91	109	1,0	1416,4	32,5	1383,3	36,5	1470,9	18,6	<b>1470,9</b>	<b>18,6</b>	94,0
MB-01-06-2_92	33	2,2	898,2	32,2	878,7	30,9	951,2	28,6	<b>878,7</b>	<b>30,9</b>	92,4
MB-01-06-2_93	50	1,7	882,4	33,5	831,9	32,2	1016,0	28,7	<b>831,9</b>	<b>32,2</b>	81,9
MB-01-06-2_94	20	1,2	888,9	36,3	817,2	31,8	1076,5	34,2	<b>817,2</b>	<b>31,8</b>	75,9
MB-01-06-2_95	26	1,2	878,9	33,8	822,9	29,7	1027,6	32,0	<b>822,9</b>	<b>29,7</b>	80,1

Muestra MB-01-06-02. Resultados analíticos U-Pb de circones detríticos en metarenisca de la franja Alto de los Cacaos-San Joaquín (denominada en el presente estudio como unidad de Metasedimentitas de Cacaos). Macizo de Santander.

MB-01-06-2_96	98	0,8	961,2	29,9	910,6	29,5	1083,5	22,4	<b>1083,5</b>	<b>22,4</b>	84,0
MB-01-06-2_97	212	0,5	925,8	26,6	892,7	25,4	1010,3	20,6	<b>1010,3</b>	<b>20,6</b>	88,4
MB-01-06-2_98	160	0,6	1387,8	33,9	1333,9	39,5	1476,2	18,3	<b>1476,2</b>	<b>18,3</b>	90,4
MB-01-06-2_99	154	1,1	1362,8	41,8	1254,9	50,3	1540,9	22,1	<b>1540,9</b>	<b>22,1</b>	81,4
<del>MB-01-06-2_100</del>	<del>424</del>	<del>4,3</del>	<del>4137,5</del>	<del>68,6</del>	<del>4033,9</del>	<del>83,6</del>	<del>4345,7</del>	<del>38,2</del>	<del>4345,7</del>	<del>38,2</del>	<del>76,8</del>
MB-01-06-2_101	174	1,5	1456,3	37,9	1405,0	46,5	1536,5	20,2	<b>1536,5</b>	<b>20,2</b>	91,4
MB-01-06-2_102	150	1,3	1344,5	42,6	1301,1	52,1	1418,7	24,5	<b>1418,7</b>	<b>24,5</b>	91,7
MB-01-06-2_103	158	1,0	1138,4	40,7	1095,7	47,4	1225,4	25,3	<b>1225,4</b>	<b>25,3</b>	89,4
<del>MB-01-06-2_104</del>	<del>148</del>	<del>0,7</del>	<del>898,9</del>	<del>36,9</del>	<del>826,9</del>	<del>38,2</del>	<del>1085,2</del>	<del>27,0</del>	<del>1085,2</del>	<del>27,0</del>	<del>76,2</del>
<del>MB-01-06-2_105</del>	<del>223</del>	<del>0,9</del>	<del>890,8</del>	<del>33,7</del>	<del>822,3</del>	<del>34,4</del>	<del>1069,6</del>	<del>25,0</del>	<del>822,3</del>	<del>34,4</del>	<del>76,9</del>
MB-01-06-2_106	69	0,9	583,4	58,2	576,7	59,8	614,4	65,9	<b>576,7</b>	<b>59,8</b>	93,9
MB-01-06-2_107	114	0,7	1035,6	36,9	986,4	41,1	1145,7	24,1	<b>1145,7</b>	<b>24,1</b>	86,1
MB-01-06-2_108	115	0,6	912,9	37,8	881,3	40,4	995,1	29,0	<b>881,3</b>	<b>40,4</b>	88,6
MB-01-06-2_109	308	1,4	898,8	30,8	866,6	32,1	983,6	22,6	<b>866,6</b>	<b>32,1</b>	88,1
MB-01-06-2_110	206	1,1	843,9	47,1	720,0	47,1	1190,4	33,6	<b>1190,4</b>	<b>33,6</b>	60,5
MB-01-06-2_111	366	0,2	1401,8	33,9	1328,0	39,1	1520,5	18,1	<b>1520,5</b>	<b>18,1</b>	87,3
<del>MB-01-06-2_112</del>	<del>169</del>	<del>0,6</del>	<del>1030,9</del>	<del>39,7</del>	<del>946,4</del>	<del>43,4</del>	<del>1219,5</del>	<del>25,9</del>	<del>1219,5</del>	<del>25,9</del>	<del>77,6</del>
<del>MB-01-06-2_113</del>	<del>53</del>	<del>4,3</del>	<del>712,6</del>	<del>87,5</del>	<del>741,4</del>	<del>107,6</del>	<del>628,4</del>	<del>70,3</del>	<del>741,4</del>	<del>107,6</del>	<del>118,0</del>
MB-01-06-2_114	145	2,2	1480,0	37,6	1418,8	46,0	1573,3	19,6	<b>1573,3</b>	<b>19,6</b>	90,2
<del>MB-01-06-2_115</del>	<del>117</del>	<del>4,2</del>	<del>929,9</del>	<del>34,7</del>	<del>946,8</del>	<del>37,2</del>	<del>895,0</del>	<del>28,2</del>	<del>946,8</del>	<del>37,2</del>	<del>105,8</del>
MB-01-06-2_116	47	2,6	1433,4	37,9	1377,0	41,4	1522,6	24,1	<b>1522,6</b>	<b>24,1</b>	90,4
MB-01-06-2_117	103	1,3	1437,1	34,2	1405,2	39,6	1489,1	19,4	<b>1489,1</b>	<b>19,4</b>	94,4