

Identificación y estudio de las alteraciones hidrotermales presentes entorno a la Falla de Onzaga y El Gaital, en el área comprendida al noreste del municipio de San Joaquín (Departamento de Santander, Colombia)

Carlos Eduardo Guerrero Ardila

Juan Pablo Oviedo Díaz

Trabajo de grado para optar al título de Geólogo

Director

Luis Carlos Mantilla Figueroa

Geólogo

PhD En Geología Económica

Universidad Industrial De Santander

Facultad De Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Geología

Bucaramanga

2018

Dedicatoria

Dedicado a mi familia, en especial a mis padres, a quienes aprecio inmensamente y me han brindado un apoyo incondicional para materializar mis metas y sueños en toda mi vida.

A mis amigos, que me han ofrecido toda su confianza y aprecio, han estado acompañándome en todo momento convirtiéndose en mi otra familia.

A todos los profesores que me han formado en esta ciencia y a la Universidad Industrial de Santander que me ha ofrecido grandes enseñanzas en el ámbito académico y personal.

Carlos Eduardo Guerrero Ardila.

Dedicatoria

A Dios por guiarme, regalarme la sabiduría y brindarme la oportunidad de cumplir este objetivo.

A mis padres Edgardo Oviedo y Sary Díaz por su apoyo, amor y dedicación para mi formación como persona y haciendo posible alcanzar este logro.

A mi hermano Edgardo Andrés Oviedo que gracias a sus enseñanzas y permanente apoyo para lograr esta meta.

A los demás integrantes de mi familia que me brindaron un apoyo incondicional.

A mis amigos y compañeros que han aportado en todo el proceso de aprendizaje.

Juan Pablo Oviedo Díaz.

Agradecimientos

Al profesor Luis Carlos Mantilla Figueroa por su acompañamiento en las fases del proyecto, sus asesorías y enseñanzas.

Al Laboratorio de Microscopía de la Universidad Industrial de Santander, Parque Tecnológico de Guatiguará y su personal por el servicio suministrado para la realización de la Microscopía Electrónica de Barrido.

Al grupo de Investigación en Geología Básica y Aplicada, GIGBA, de la Universidad Industrial de Santander por su ayuda en la ejecución de este proyecto.

Al Laboratorio de preparación de muestras de Geología, en especial a Luis Eduardo Garrido y a Luis Fernando Anaya por su colaboración.

A los estudiantes de la asignatura de Campo II-Primer Semestre 2018 por su amabilidad, disposición y colaboración en la fase de Campo.

A todas las personas de la Escuela de Geología por su colaboración y enseñanza.

A nuestros compañeros de Geología que apoyaron este proyecto: Ángel Salazar, Leidy Remolina, Luis Murillo, Omar Latorre, Carlos Castro, Juan Camilo Contreras, Denis Rueda, Nicolás Gómez, Carlos Moreno, Daniela Marín, Tatiana Suárez, Néstor Zipamoncha, Keyla Rodríguez, Paula Díaz, Hernán Camargo, Daniela Bohórquez y todos los demás compañeros que estuvieron con nosotros a lo largo de este proceso.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	18
1. Objetivos	19
1.1 Objetivo General	19
1.2 Objetivos Específicos.....	19
2. Localización.....	20
3. Metodología	21
3.1. Fase de Pre-Campo:	21
3.2. Fase de Campo:.....	21
3.3.1. Análisis petrográfico:.....	22
3.3.2. Análisis de Microscopía Electrónica de Barrido:	22
3.4. Fase de Oficina:	22
4. Marco geológico regional.	22
5. Geología local	26
5.1. Litologías Aflorantes:	26

5.1.1. Esquistos de Silgará:	27
5.1.2. Batolito de Mogotes:	28
5.1.3. Estructuras que afectan el Batolito de Mogotes.	34
5.1.4 Formación Floresta:	35
6. Resultados	35
6.1. Petrografía	35
6.1.1 Evento de alteración Qz – Ser:	36
6.1.2. Evento de Epidotización:	38
6.1.3. Evento de Cloritización:	46
6.1.4 Evento de muscovitización:	49
6.1.5 Silicificación:	50
6.2. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM-EDS):	52
6.3. Paragénesis.	61
7. Modelo evolutivo.	62
8. Discusión.....	64
9. Conclusiones	72
10. Recomendaciones.	74
Referencias bibliográficas.....	75

Lista de Tablas

Tabla 1. Clasificación en cuanto a la intensidad de las alteraciones hidrotermales presentes en las rocas de Batolito de Mogotes	35
Tabla 2. Tabla donde se muestran las secciones de Epidotización analizadas petrográficamente en relación con su % de alteración en las muestras.....	39
Tabla 3. Paragénesis de las alteraciones hidrotermales.....	62

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema geológico del Macizo de Santander con la ubicación de la zona de estudio. Tomado y modificado de Castellanos et al. (2008) y Goldsmith et al. (1971).....	20
Figura 2. Provincias tectónicas de la parte noroccidental de Suramérica. (Tomado Van der Lelij, Spikings, Ulianov, Chiaradia, & y Mora, 2016)	23
Figura 3. Mapa Geológico del área de campo. Se resaltan las alteraciones hidrotermales identificadas en el área. Tomado y modificado de la plancha 136-Málaga. INGEOMINAS 1984.	26
Figura 4. Fotografía de un monzogranito siendo afectado por vetillas de poco espesor (< a 2cm) de epidota.....	28
Figura 5. Fotografía de fases ígneas alteradas del Batolito de Mogotes.	29
Figura 6. Fotografía de epidotización en vetillas.	30
Figura 7. Fotografía de epidotización en bolsas de pegmatitas.....	31
Figura 8. Fotografía donde se evidencia epidotización en vetillas y en bolsas de epidota.	32
Figura 9. Fotografías de la alteración Cuarzo-Sericita sobre diques riolíticos.....	33
Figura 10. Fotografía donde se evidencia cuarzo calcedónico.....	34
Figura 11. Microfotografía de alteración Cuarzo-Sericita.....	36
Figura 12. Microfotografía en nicols paralelos y cruzados donde se observa la intensidad de la alteración cuarzo-sericita.....	37
Figura 13. Microfotografía donde se observa la relación Cuarzo-Sericita.....	38
Figura 14. Microfotografía donde se evidencia epidotización.. ..	39

Figura 15. Microfotografía del evento de epidotización. Vetilla con fragmentos de cristales de la roca original correspondientes a plagioclasas y feldspatos potásicos. A) Microfotografía Fotografía en nicoles cruzados, b) Microfotografía en nicoles paralelos.	40
Figura 16. Microfotografía de cristales idiomórficos de epidota.	41
Figura 17. Microfotografía de los diferentes tamaños de los cristales de epidota.....	43
Figura 18. Microforografía donde se evidencian agujas dentro de cristales de epidota y cuarzo.	43
Figura 19. Microfotografía de un cristal de plagioclasa reemplazado por epidota.	44
Figura 20. Microfotografía de cristal de Albita tipo chessboard en contacto con cristales de epidota y cuarzo.....	45
Figura 21. Microfotografía de anfíboles alterándose a micas blancas (borde del cristal) y epidotas.	46
Figura 22. Microfotografía que exhibe cloritización parcial y total de biotita, epidotización diseminada que se encuentra incluyendo cristales de plagioclasa que presentan poca y moderada sericitización.....	47
Figura 23. Microfotografía de cloritización parcial y total de Biotita.....	48
Figura 24. Microfotografía en nicoles paralelos y cruzados donde se muestra el evento de cloritización de anfíboles.	49
Figura 25. Microfotografía de biotitas en nicoles paralelos y cruzados, donde localmente presentan un proceso de Muscovitización.	50
Figura 26. Microfotografías del cuarzo calcedonico.....	51

Figura 27. Microfotografías de la vetilla de cuarzo calcedónico en relación con venas de caolinita?.....	52
Figura 28. Resultados SEM-EDS obtenido de la muestra JC05	54
Figura 29. Resultados SEM – EDS obtenido de la muestra JC05.....	55
Figura 30. Resultados SEM-EDS de la muestra JC03.	56
Figura 31. Resultados SEM-EDS de la muestra JC-01.	57
Figura 32. Resultados SEM-EDS muestra JC-01.	58
Figura 33. Resultados SEM-EDS de la muestra JC05. (a) y (b).	59
Figura 34. Resultados SEM-EDS de la muestra JC03.	60

Lista de Apéndices

(Los Apéndices se encuentran en una carpeta anexa en el CD)

Apéndice A. Análisis Petrográfico

Apéndice B. Microscopía Electrónica de Barrido

Apéndice C: Mapa Cartográfico.

Resumen

TÍTULO: IDENTIFICACIÓN Y ESTUDIO DE LAS ALTERACIONES HIDROTERMALES PRESENTES ENTORNO A LA FALLA DE ONZAGA Y EL GAITAL, EN EL ÁREA COMPRENDIDA AL NORESTE DEL MUNICIPIO DE SAN JOAQUÍN (DEPARTAMENTO DE SANTANDER, COLOMBIA)

AUTORES: OVIEDO DÍAZ, Juan Pablo**; GUERRERO ARDILA, Carlos Eduardo**.

PALABRAS CLAVES: Alteración hidrotermal, Epidotización, Epidota, Batolito de Mogotes, Macizo de Santander.

DESCRIPCIÓN:

Las rocas aflorantes del batolito de mogotes al noreste y alrededores del municipio de San Joaquín presentan distintos tipos de alteraciones, las cuales se han identificado las dos más prominentes en la zona de estudio, las cuales son: una alteración Cuarzo-Sericita y otra alteración denominada como un evento de Epidotización. Las alteraciones menos prominentes en la zona que a su vez tienden a ser más locales son: un evento de Silicificación caracterizado por la aparición de cuarzo calcedónico, Cloritización coorientada parcial y total de Biotitas y una alteración tipo Clorita-Sericita afectando anfíboles y plagioclasas.

La alteración Cuarzo-Sericítica se asocia a los cuerpos riolíticos de edad Jurásica a los alrededores del municipio de San Joaquín y es la de mayor pervasividad, ya que los rasgos de las litologías originales han sido completamente obliterados.

El estudio se enfocó en la alteración de tipo Epidotización, la cual es la que abarca la mayoría de área en la zona de estudio, esta se caracteriza por una paragénesis Epidota-Cuarzo±Albita±Apatito, la cual fue posible identificar por medio de análisis petrográficos y datos arrojados en los análisis realizados en microscopio electrónico de barrido, esta alteración se encuentra asociada a las fallas Onzaga, el Gaital y San Cayetano. Se presenta de manera diseminada, en bolsas pegmatíticas y vetillas, afectando las rocas del batolito de mogotes principalmente. Se plantea una serie de distintos eventos por medio de las características petrográficas y relaciones de campo.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de geología. Director: Luis Carlos Mantilla Figueroa. Geólogo,

Abstract

TITLE: IDENTIFICATION AND STUDY OF THE HYDROTHERMAL ALTERATIONS OCCURRING ALONG ONZAGA AND EL GAITAL'S FAULTS, IN THE AREA LOCATED NORTHEAST OF SAN JOAQUÍN (DEPARTMENT OF SANTANDER, COLOMBIA)

AUTHORS: OVIEDO DÍAZ, Juan Pablo**; GUERRERO ARDILA, Carlos Eduardo**.

KEYWORDS: Hydrothermal Alteration, Epidotization, Epidote, Mogote's Batholith, Santander Massif.

DESCRIPTION:

The outcropping rocks at the northeast of the Mogotes Batholith and around San Joaquín shows distinct types of alterations, which two of the most prominent in the study area have been identified as: Quartz-Sericitic alteration and the other one named as an Epidotization event. The minor alterations tend to be more local and those were categorized as: Silicification event characterized by the appearance of chalcedony quartz, partial and total cooriented Chloritization of Biotites and a Chlorite-Sericite alteration affecting amphiboles and plagioclases.

The Quartz-Sericitic alteration is associated to the rhyolitic rocks of Jurassic age, located at the northeast of San Joaquín and is the most pervasive one because the original features of the rock were obliterated by this alteration and only quartz of the original rock is remained.

This study was focused in the Epidotization, which is the one that covers most of the study area, this one is characterized by the paragenesis Epidote-Quartz±Albite±Apatite identified through petrographic analysis and the results of the scanning electron microscopy, this alteration is associated to the Onzaga, el Gaital and San Cayetano's faults. It appears as veinlets, pegmatitic "bags" and disseminated affecting mainly the Mogotes Batholith. Different subevents of this alteration were established according to the petrographic analysis and field relationships.

*Research Project

**Faculty of Physical-Chemical Engineering. School of Geology. Director: Luis Carlos Mantilla Figueroa. Geologist, PhD.

Introducción

Los procesos hidrotermales que afectan las rocas generan cambios físicos y químicos que se evidencian en las fases minerales existentes, cambios texturales, formación de nuevos minerales y estos cambios permiten reconocer las características del fluido causante de la alteración. Las asociaciones minerales resultantes de la alteración proporcionan una base fundamental para determinar la génesis de la alteración.

Las alteraciones presentes en las rocas ígneas del Batolito de Mogotes son de origen hidrotermal, en la actualidad existen pocos trabajos reportados que se enfoquen principalmente en los tipos de alteraciones, sus asociaciones minerales, su temporalidad y los procesos hidrotermales que las afectan.

Por tal razón, el presente trabajo tiene como finalidad identificar y caracterizar mediante mineralogía y petrografía las alteraciones hidrotermales que se manifiestan sobre el Batolito de Mogotes y evaluando su asociación con las fallas Onzaga y el Gaital, utilizando técnicas de análisis como la microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido (SEM) para determinar los distintos sucesos evolutivos de algún tipo de alteración sobre las rocas.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Analizar, identificar y reportar los tipos de alteraciones presentes al noreste del municipio de San Joaquín comprendiendo las alteraciones presentes en los cuerpos ígneos los cuales han sido afectados por las fallas Onzaga y el Gaital, realizando énfasis en la alteración que ha producido la marcada epidotización en la zona de estudio.

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.
- Realizar un estudio de campo para fines de identificar a escala macroscópica los diferentes tipos de alteraciones hidrotermales allí presentes y sus relaciones de temporalidad.
- Realizar un análisis de microscopía óptica y electrónica en los diferentes tipos de alteraciones hidrotermales reconocidas para fines de establecer su mineralogía y contextos paragenéticos.
- Establecer a la luz los nuevos datos, las posibles condiciones físico-químicas en las cuales tuvieron lugar los diferentes episodios de alteración hidrotermal reconocidos.

2. Localización

El área seleccionada como objeto para el desarrollo de la investigación se encuentra ubicada en el SW del Macizo de Santander más exactamente en cercanías del municipio de San Joaquín, la cual constituye la parte nororiental de la Cordillera Oriental (Figura 1).

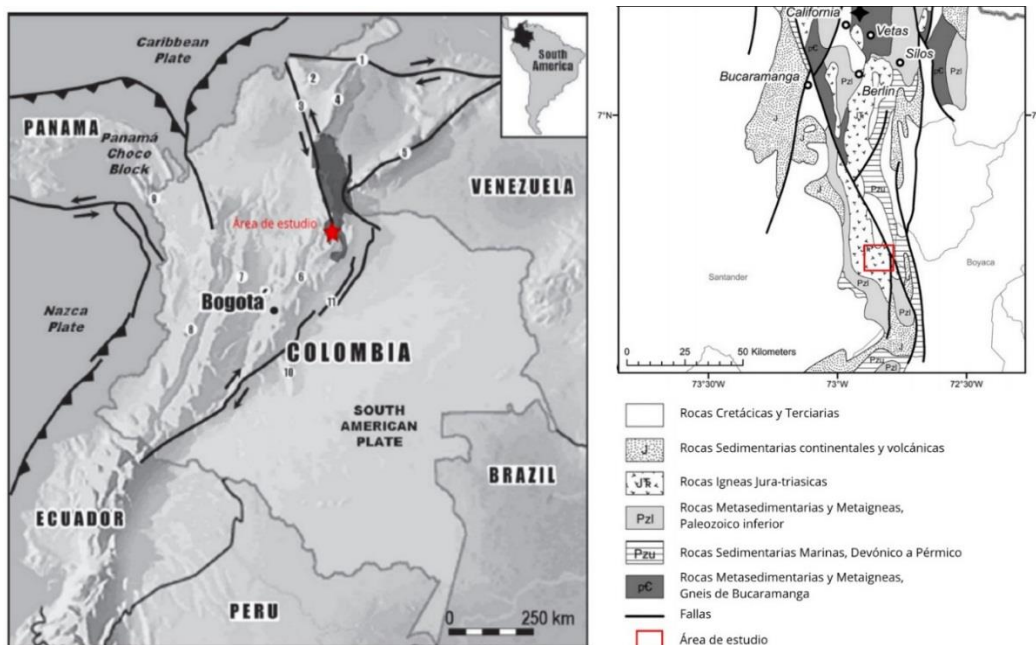


Figura 1. Esquema geológico del Macizo de Santander con la ubicación de la zona de estudio. Tomado y modificado de Castellanos et al. (2008) y Goldsmith et al. (1971).

La zona se encuentra comprendida específicamente delimitada por las siguientes coordenadas planas: $X1= 1'200.000$ $X2= 1'210.000$; $Y1= 1'132.000$ $Y2= 1'141.000$.

Estas coordenadas comprenden un área 90Km² en la plancha 136 del INGEOMINAS. Las unidades que comprenden el área de estudio son las siguientes: Formación Silgará,

Cuarzomonzonita, Tonalitas, Monzogranitos y diques de composición riolítica del Batolito de Mogotes, Formación Floresta las cuales son afectadas por las fallas Onzaga, El Gaital y San Cayetano.

3. Metodología

Para cumplir con los objetivos planteados se dispuso de un orden para la realización de este proyecto, éste se ejecutará de acuerdo con las siguientes fases: a) Fase de Pre-Campo, b) Fase de Campo, c) Fase de Laboratorio y d) Fase de Oficina, la cual comprende la interpretación de los resultados y la posterior realización del proyecto.

3.1. Fase de Pre-Campo:

Comprende la etapa de revisión bibliográfica, donde se llevaron a cabo las indagaciones sobre antecedentes litológicos, estructurales y petrogenéticos del Macizo de Santander. También consta de los proyectos realizados en la zona y datos de artículos científicos, trabajos de grado, mapas, etc.

3.2. Fase de Campo:

Se realizó un reconocimiento y control de las unidades aflorantes en la zona, realizando toma de datos y recolectando las muestras necesarias para el desarrollo de este estudio.

3.3. Fase de Laboratorio:

La ejecución de esta etapa, la cual es una de las fases más importantes de nuestro proyecto se realizó en 3 etapas que son fundamentales para la posterior interpretación de los resultados.

3.3.1. Análisis petrográfico. Fueron realizadas 10 secciones delgadas en el laboratorio de realización de muestras de la Universidad Industrial de Santander de las muestras de interés para realizar estudios petrográficos de secciones delgadas en microscopio de luz transmitida Nikon eclipse E200 y Leica DM750 P, para clasificar e identificar cada una de estas con el fin de establecer alteraciones y petrogénesis asociada para identificar las alteraciones hidrotermales. Se realizó énfasis en la alteración hidrotermal que generó la epidotización (Diferenciando los diferentes grupos de epidotas: en vetillas, diseminada, producto de fracturamiento hidráulico y masiva, mediante pleocroísmo y diferentes características petrográficas).

3.3.2. Análisis de Microscopía Electrónica de Barrido. Se realizó análisis con el microscopio electrónico de barrido (MEB) para identificar las 4 diferentes generaciones de epidotas por alteración ubicado en el laboratorio del Parque Tecnológico de Guatiguará-UIS.

3.4. Fase de Oficina:

Compilación de información para identificar las características fundamentales e indicios que expongan la relación y etapas evolutivas de las alteraciones

4. Marco Geológico Regional.

El Sistema Andino Colombiano (SAC) y los Andes de Mérida y Ecuador, representan lo que se conoce como el Bloque Andino (Pennington, 1981) o los Andes del Norte, el cual se

extienden por más de 900 Km a lo largo del Oeste Suramericano. Norte (Gansser, et al., 1973 y; Alemán y Ramos, 2000). (Figura 2)

El Macizo de Santander, se encuentra ubicado dentro de la Cordillera Oriental; el cual forma el margen sur-oeste de la subplaca de Maracaibo (Cediel, et al., 2003) o Terreno Chibcha (Toussaint y Restrepo, 1976).

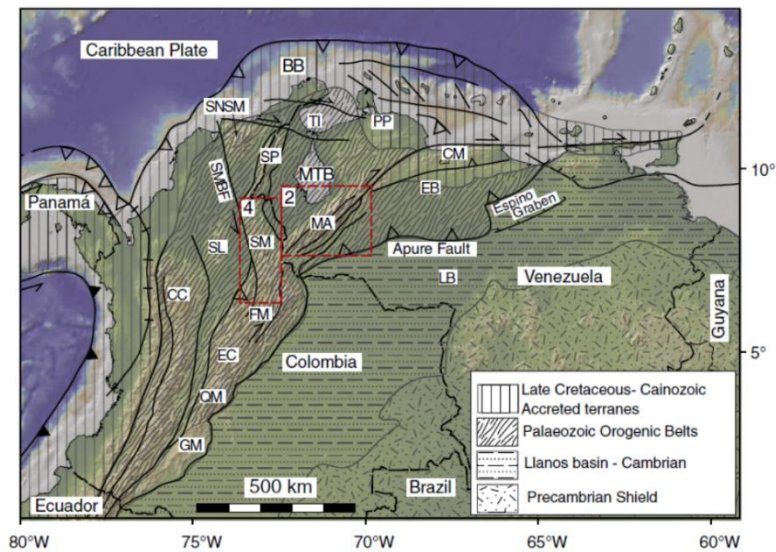


Figura 2. **Provincias tectónicas de la parte noroccidental de Suramérica.** BB: Bloque Bonaire, CC: Cordillera Central, CM: Montañas Caribe, EB: Macizo El Baúl, EC: Cordillera Oriental, FM: Macizo de Floresta, GM: Macizo de Garzón, LB: Cuenca Llanos, MA: Andes de Mérida, MTE: Bloque Triangular de Maracaibo, PP: Península de Paraguaná, QM: Macizo de Quetame, SL: Serranía de San Lucas, SMBF: Falla Santa Marta – Bucaramanga, SM: Macizo de Santander, SNSM: Sierra Nevada de Santa Marta, SP: Serranía del Perijá, TI: Islas Toas. (Tomado Van der Lelij, Spikings, Ulianov, Chiaradia, & y Mora, 2016)

El basamento cristalino del Macizo de Santander, se encuentra representado 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).

La formación Silgará definida por Ward et al. (1973), conocida como Esquistos de Silgará es típicamente de grado bajo a medio. Esta unidad toma el nombre de la Quebrada Silgará, afluente de Río Salamanca al occidente de Cáchira (Norte de Santander), donde se encuentra ubicada su sección tipo; la cual es descrita como secuencia de rocas clásticas metamorfoseadas que consta de pizarras, filitas, metalimolitas, meta-areniscas. (Ward et al,1973). Típicamente clasificada como de metamorfismo de medio a bajo grado.

En cuanto a la edad de esta unidad, a la Formación Silgará le han asignado tentativamente una edad del Cámbrico al Ordovícico (WARD, et al. 1973, Royero & Clavijo, 2001; Mantilla et al,2009).

Para las unidades ígneas en el área, se encuentra el Batolito de Mogotes, el cual forma parte del llamado Grupo Plutónico de Santander. Este batolito se encuentra ubicado al oeste de la Falla Bucaramanga y se pueden dividir composicionalmente en dos zonas: i) Cuarzomonzonita y granito rosado y, ii) Granodiorita; de edad Jurásico y Jura-Triásico. (Ward et al, 1973; Vargas et al, 1981).

La roca típica de la Cuarzomonzonita es leucocrática y contiene cantidades iguales de oligoclasa, feldespato y cuarzo, con presencia de biotita, predominantemente equigranular de grano medio, la cuarzomonzonita de Mogotes hace parte de los granitos rosados. En el área de Onzaga la roca es una granodiorita localmente porfirítica. También se encuentra una intrusión de la Riolita de Onzaga en alrededores a San Joaquín. (Ward et al, 1973; Vargas et al, 1981). Debido a la relación litológica que existe con el Granito de Pescadero, la cuarzomonzonita del Batolito de Mogotes, es correlacionada con la edad radiométrica K/Ar, la cual se encuentra en el límite Triásico Tardío-Jurásico Temprano para el Granito de

Pescadero. Por último, en la franja Mogotes-San Joaquín, el batolito intruye la unidad metamórfica de los Esquistos de Silgará (Ward et al., 1973, Vargas et al, 1981)

La Formación Floresta Metamorfoseada inicialmente fue dado por Ward et al. (1973), 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 (Vargas et al., 1981); suprayace la Formación Silgará en el sector de Mogotes y San Joaquín, conformada por rocas metamórficas de bajo grado, correspondientes a pizarras argilitas a filitas principalmente. (Ward et al,1973), la cual presenta de 750 a 1000 m. de espesor (R. Carpa comunicación escrita 1968; en Ward et al., 1973). Estudios recientes (Mantilla Figueroa & García Ramírez, 2018) datan las rocas aflorantes en el área Mogotes-San Joaquín (sector SW del Macizo de Santander), representan un importante registro sedimentario desarrollado durante el Paleozoico Tardío. Las rocas del área de estudio, agrupadas dentro del denominado miembro basal de la Formación Floresta, se correlacionan en edad con la Formación Tíbet, descrita en el Macizo de Floresta (considerado que su máxima edad estratigráfica es Devónico Temprano; 410Ma). Por otro lado, el miembro medio de la Formación Floresta en el área de estudio presenta una máxima de edad de depositación Devónico Tardío (Frasniense), mientras que el miembro superior, en ausencia de edades absolutas, se presume que sea igualmente Devónico Tardío (?). En cuanto a la edad de la Formación Floresta Metamorfoseada, reportan edades del Devónico (Ward et al, 1973; Vargas et al., 1981); mediante fósiles como Briozoarios en cercanías al municipio de Duitama, datan del Devónico-Pérmico y por medio de braquiópodos que datan de la misma edad. (Moreno-Sánchez et al., 2005).

5. Geología Local

5.1. Litologías Aflorantes:

En el área objeto de estudio afloran diferentes unidades litológicas, las cuales se estudiaron con la idea de contextualizar geológicamente la zona. Esquistos de Silgará (s.l), Batolito de Mogotes y Formación Floresta. Sin embargo, la principal litología objeto de este estudio son las del Batolito de Mogotes y diques de composición riolítica que cortan los cuerpos anteriormente mencionados. Para ello, se procedió a realizar una cartografía general mediante trabajo de campo con ayuda de estudiantes de Campo II de la escuela de Geología y trabajos previamente realizados (Ward et al. 1973, Royero y Vargas 1999, Royero y Clavijo, 2001; Mantilla y otros 2011,2016 a y b, 2018), haciendo énfasis principalmente en las alteraciones hidrotermales que se exhiben. (Figura 3).

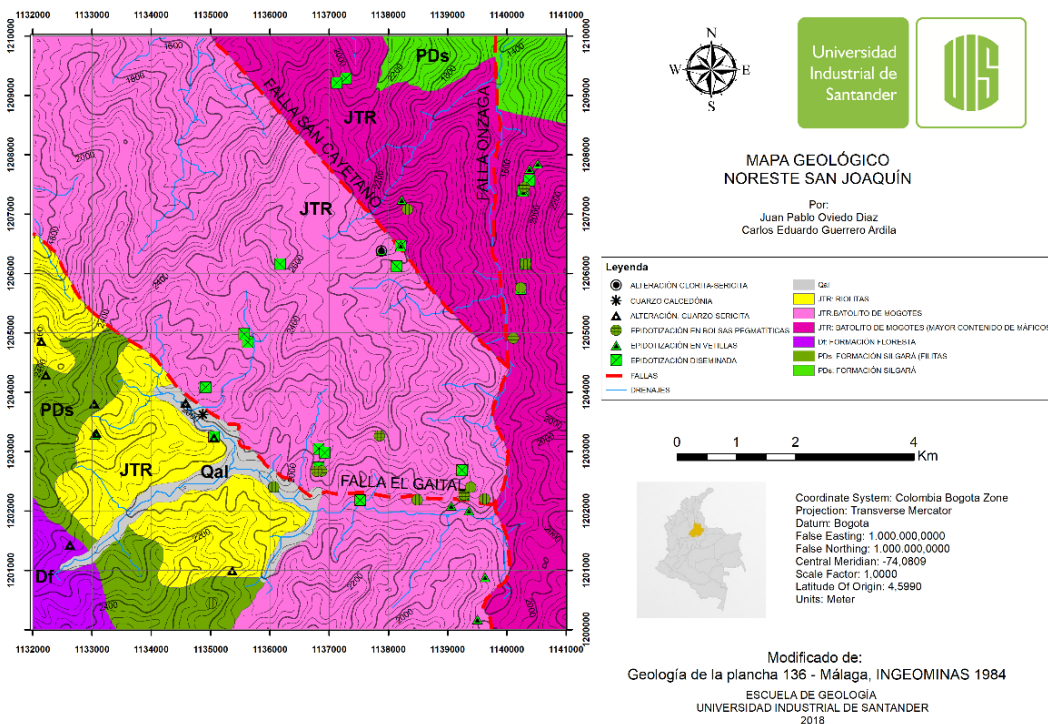


Figura 3. Mapa Geológico del área de campo. Se resaltan las alteraciones hidrotermales identificadas en el área. Tomado y modificado de la plancha 136-Málaga. INGEOMINAS 1984.

En el mapa geológico, se diferencian las distintas muestras de epidotización en el área de estudio. Mostrando una leve particularidad, la epidotización en sus diferentes apariciones se concentra principalmente sobre la falla Onzaga y El Gaital, mientras que la alteración Cuarzo-Sericita se concentra en el bloque sur de la Falla el Gaital asociado a los cuerpos riolíticos.

5.1.1. Esquistos de Silgará. Las rocas aflorantes al norte de la zona de estudio en la Vía La Aurora – La Antigua presentan una estructura esquistosa con tonalidades pardas oscuras ligeramente rosadas. Están compuestas principalmente por micas (moscovita y biotita) y presentan cuarzos alargados en dirección de la esquistosidad. Esta unidad dentro de la Formación Silgará se diferencia fundamentalmente por su protolito pelítico y semipelítico. Hacia la zona sur-occidental del área de estudio afloran las Filitas de Silgará, más exactamente en el tramo que comprende la vía San Joaquín-Vereda Santa Clara. Comprenden una secuencia de rocas sedimentarias metamorfoseadas y metasedimentarias que incluyen filitas, metalimolitas, metareniscas e intrusiones de roca ígnea con cataclasis. Presentan algunas venas de cuarzo lo que sugiere inyecciones de fluidos hidrotermales. Esta litología es intruida por una roca ígnea cataclástica, caracterizada por presentar cristales de cuarzo orientados.

5.1.2. Batolito de Mogotes. Rocas ígneas caracterizadas por presentar variedades composicionales principalmente monzogranitos, granodioritas, cuarzomonzonitas y diques que evidencian vulcanismo de composición riolítica con fenocristales de cuarzo. Relacionado con eventos magmáticos ocurridos en el Triásico tardío y el Jurásico temprano (Goldsmith et al., 1971; Ward et al., 1973; Mantilla et al., 2013). El Batolito es uno de los cuerpos ígneos más grandes del Macizo de Santander y se encuentra diferenciado por monzogranitos y en menor proporción granodioritas. Los monzogranitos son de tonalidad blanca y grisácea (ambos con leve coloración rosada), de textura inequigranular y el tamaño de los cristales es medio y se encuentran variaciones locales a rocas faneríticas de grano fino con textura equigranular. Contienen plagioclasa (30-40%), feldespato potásico (25- 35%), cuarzo (20-30%) y biotita (3-5%). (Figura 4). Este cuerpo es de especial interés, ya que en él se encuentran las alteraciones hidrotermales reconocidas en campo por su distribución en bandas, vetillas, masas, que por su diferencia en cuanto a la tonalidad con la roja original contrastan entre un rosado/blanco para la hospedante y un tono verde/verde manzana para la roca alterada. (Figura 4).



Figura 4. Fotografía de un monzogranito siendo afectado por vetillas de poco espesor (< a 2cm) de epidota.

Las granodioritas son de tonalidades grises a blanco rosáceo, con textura fanerítica, principalmente inequigranular de tamaño de cristales medio a grueso y de composición: Plagioclasa (60%), cuarzo (10%), biotita y anfíboles (20-25%) y feldespato potásico (5-10%).. (Figura 5 B). (Figura 6).

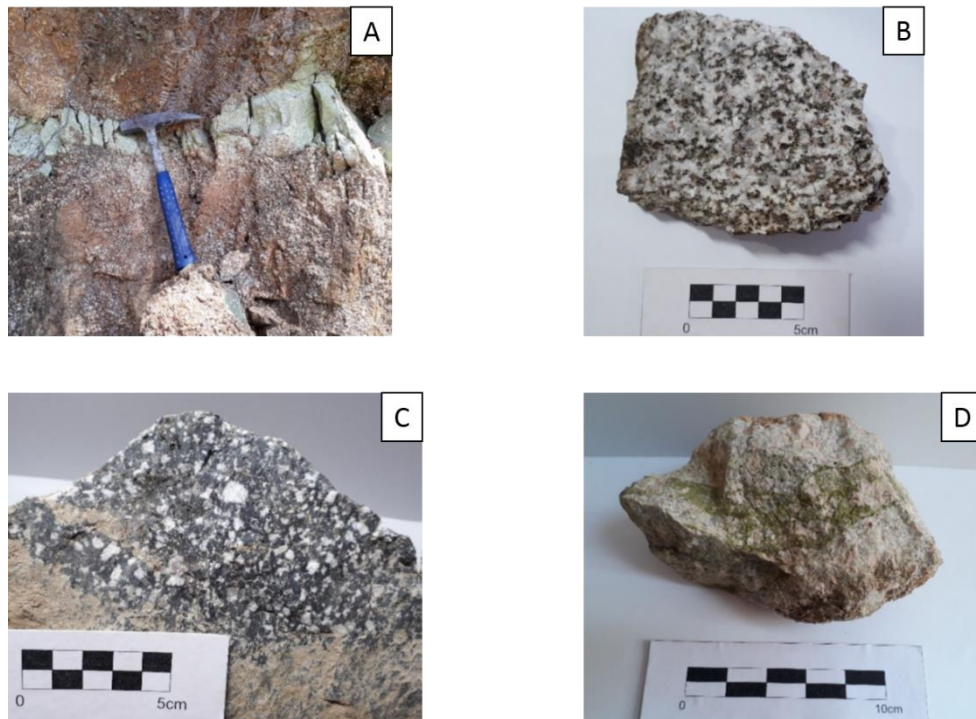


Figura 5. Fotografía de fases ígneas alteradas del Batolito de Mogotes. A. Evento de alteración hidrotermal tipo epidotización sobre el Batolito de Mogotes. B. Muestra macroscópica de la granodiorita inalterada, C: Muestra del dique porfirítico, D: Epidotización en vetillas a escala macroscópica.

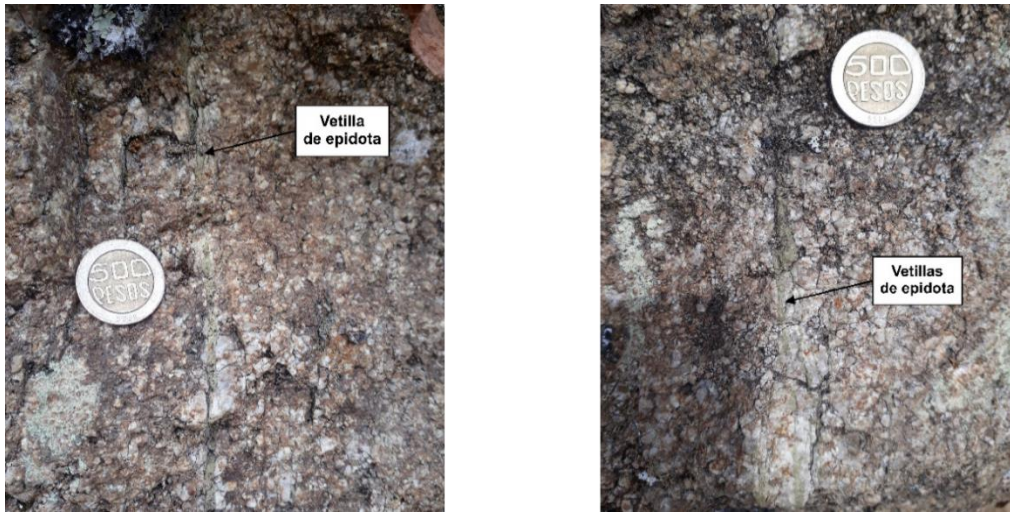


Figura 6. *Fotografía de epidotización en vetillas. Se evidencian vetillas de epidota menores a 2 cm afectando una granodiorita.*

Tanto en el cuerpo plutónico principal como los diques y en otros cuerpos menores, se encontraron evidencias de alteraciones hidrotermales las cuales se exhiben de diferente manera e intensidad. Las alteraciones presentes fueron identificadas como: Alteración cuarzo-sericita, cloritización, evidencias de alteración supérgena producto de la aparición de cuarzo calcedónico y la alteración más importante y pervasiva: Epidotización, la cual se encuentra en vetillas de epidota cortando las rocas, epidota diseminada, e incluso, bolsas pegmatíticas de epidota. (Figura 7).



Figura 7. Fotografía de epidotización en bolsas de pegmatitas. Se muestra a diferentes escalas la epidotización sectorizada en este caso afectando una roca de composición granodiorítica.

El evento de epidotización es el de mayor área sobre la zona de estudio, situado en la zona central y oriental del área, afectando la mayor parte de las rocas diferenciadas del Batolito de Mogotes tales como: Granodioritas, Monzogranitos y Tonalitas. Su zona de mayor intensidad se encuentra muy cercana a la Falla Onzaga, en cercanías a las veredas de san Cayetano, Las Tapias, Corralejas y la Aurora, donde su principal y más notable evidencia se genera tanto en bolsas de epidotas como en vetillas con mayor desarrollo. (Figuras 4,7 y 8)



Figura 8. Fotografía donde se evidencia epidotización en vetillas y en bolsas de epidota. Cuerpo de composición granodiorítica afectado por dos tipos de epidotización.

Hacia la parte este, la siguiente alteración en cuanto a extensión es la Cuarzo-Sericita, es la más pervasiva de las alteraciones distinguidas, ya que la roca original de composición riolítica es destruida y/o reemplazada en su totalidad por cuarzo y sericita. La alteración Cuarzo-Sericita afecta principalmente en diques riolíticos (Donde se encuentra la mayor intensidad de la alteración) y en menor proporción cuerpos clasificados como monzogranitos y granodioritas que son cortados por los diques (Donde sus feldespatos se encuentran moderadamente sericitizados) y fue reconocida en tres sitios importantes: Sobre las quebradas Panamá y La Leona, y en el desvío hacia la vereda San Cayetano, teniendo como característica más importante que la roca hospedadora se encuentra alterada en su totalidad. (Figura 9).

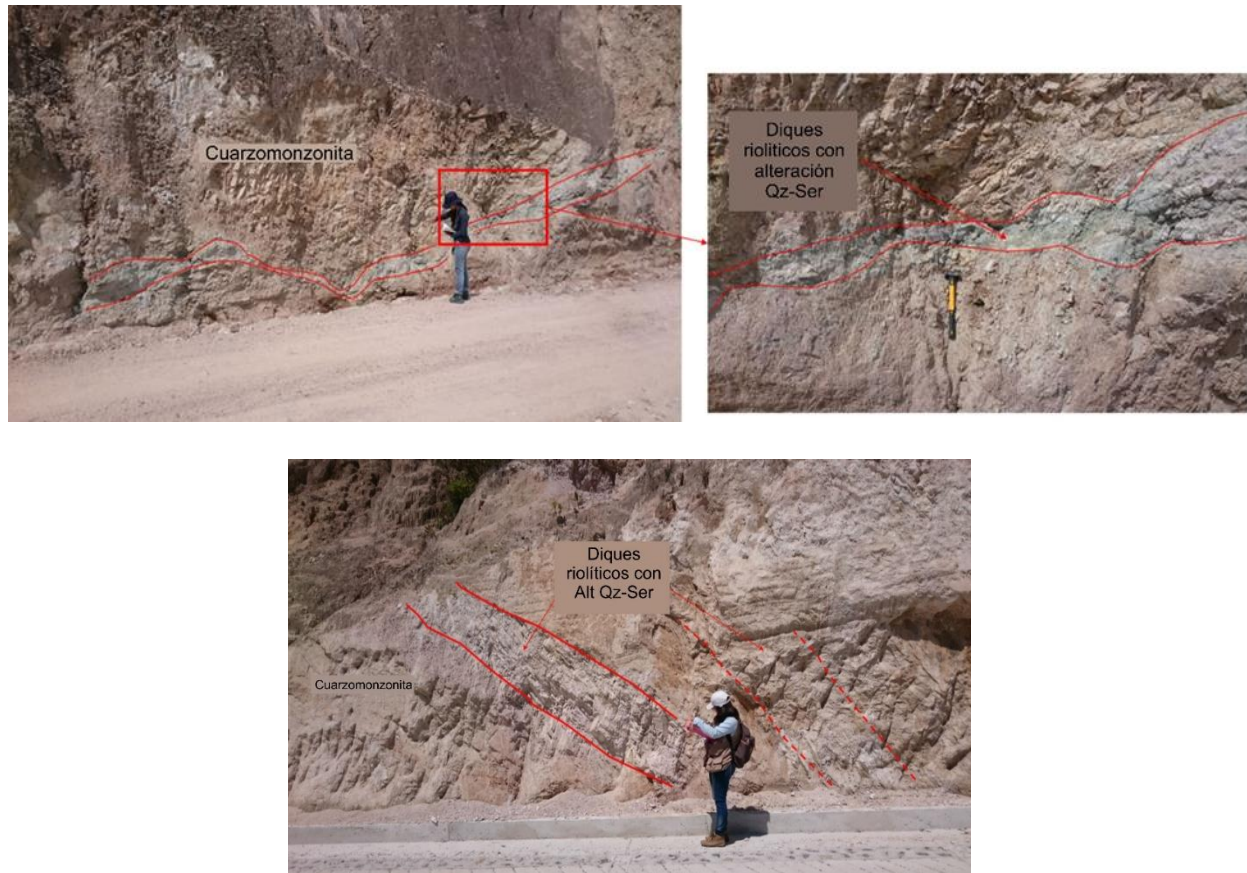


Figura 9. Fotografías de la alteración Cuarzo-Sericita sobre diques riolíticos. Estos diques son irregulares y su particularidad es que presenta una alteración muy pervasiva.

Sobre la vía San Joaquín- La Aurora fue encontrado un cuerpo de composición leucogranítica, el cual tiene un rasgo característico. Se encuentra cortado por una vetilla de no más de 1 cm de espesor de cuarzo calcedónico, a su vez, con presencia de epidotización diseminada sobre la roca hospedadora. (Figura 10).



Figura 10. *Fotografía donde se evidencia cuarzo calcedónico. Leucogranito de grano medio, con presencia de epidotización diseminada cortado por venas de cuarzo calcedónico (color negro).*

5.1.3. Estructuras que afectan el Batolito de Mogotes. En cuanto a estructuras, el Batolito de Mogotes se encuentra afectado por tres fallas: Onzaga, El Gaital y San Cayetano. La primera, es la de mayor importancia, presenta vergencia N-S y alrededor de la falla se muestran los rangos de mayor epidotización (Ya sea en bolsas de epidota o en vetillas) en el cuerpo plutónico. La Falla El Gaital, converge en la Falla Onzaga, con vergencia W-E, es de importancia ya que coloca en contacto cuerpos riolíticos con cuerpos graníticos del Batolito de Mogotes. Se pueden asociar a ella, venas de cuarzo calcedónico que se encuentran cortando vetillas de epidota, por lo que serviría como una fuente con alto paleoflujo hidráulico para la formación de estas estructuras. Finalmente, la Falla San Cayetano, con vergencia NW-SE, caracterizada por cambios mineralógicos al Batolito, incrementando el contenido de máficos y sirviendo de paleocanal de inyecciones graníticas que afectan rocas ya sean de Ígneas o Metamórficas. (Figura 3).

5.1.4 Formación Floresta. Nombrada inicialmente por Ward et al. (1973), Se encuentra localizada hacia el sector suroccidental del MS, en la franja de metasedimentitas Mogotes-San Joaquín, suprayaciendo la Formación Silgará, conformada por rocas metamórficas de bajo grado, correspondientes principalmente a pizarras y filitas.

La formación Floresta aflora en la parte SE de la zona de estudio, en la que se pueden diferenciar a simple vista 2 miembros: Miembro inferior y miembro medio, los cuales presentan las siguientes características: El miembro inferior Floresta presenta rocas lodolíticas, pizarrosas con contenido fósil, filitas pelíticas y semipelíticas. El miembro medio o 2 de la formación, presenta metacuarcitas, areniscas foliadas, filonitas semipelíticas y psamíticas con niveles cuarzosos. Los afloramientos encontrados se encuentran en cercanías a la quebrada Panamá y a la Vereda San Ignacio. (Figura 3).

6. Resultados

6.1. Petrografía:

Tabla 1.

Clasificación en cuanto a la intensidad de las alteraciones hidrotermales presentes en las rocas de Batolito de Mogotes

INTENSIDAD DE LA ALTERACIÓN	VALOR EN %
Poco pervasiva	< 20%
Moderadamente pervasiva	20 - 45%
Pervasiva	45 - 60%
Muy pervasiva	> 60%

La tabla 1 es una clasificación en la que se especifican mediante porcentajes, el carácter en cuanto a la intensidad de las alteraciones hidrotermales presentes en el Batolito. El dato de cada intensidad fue observado a escala microscópica.

6.1.1 Evento de alteración Qz – Ser. Es la alteración más desarrollada en cuanto a intensidad, ya que afectada de manera generalizada la roca caja la cual era de composición riolítica, estas se encuentran ubicada en la zona más occidental del área de estudio. Caracterizada por la formación de cuarzo y sericita y se evidencia un evento sobreimpuesto a las alteraciones mencionadas anteriormente únicamente en la zona de estudio. Figura 11. La alteración sericítica se debe esencialmente a la desestabilización de los feldespatos en presencia de H⁺, OH⁻, K y S, para formar cuarzo, mica blanca y algunos sulfuros como pirita, calcopirita. (Pirajno, 2009). Las muestras analizadas fueron las JC09 Y JC10, en las cuales que se resalta la magnitud en cuanto a intensidad de esta alteración ya que se clasificó como muy pervasiva, donde sobresalen sericita y cuarzo tanto pre-existentes como nuevos cristales, óxidos y opacos.

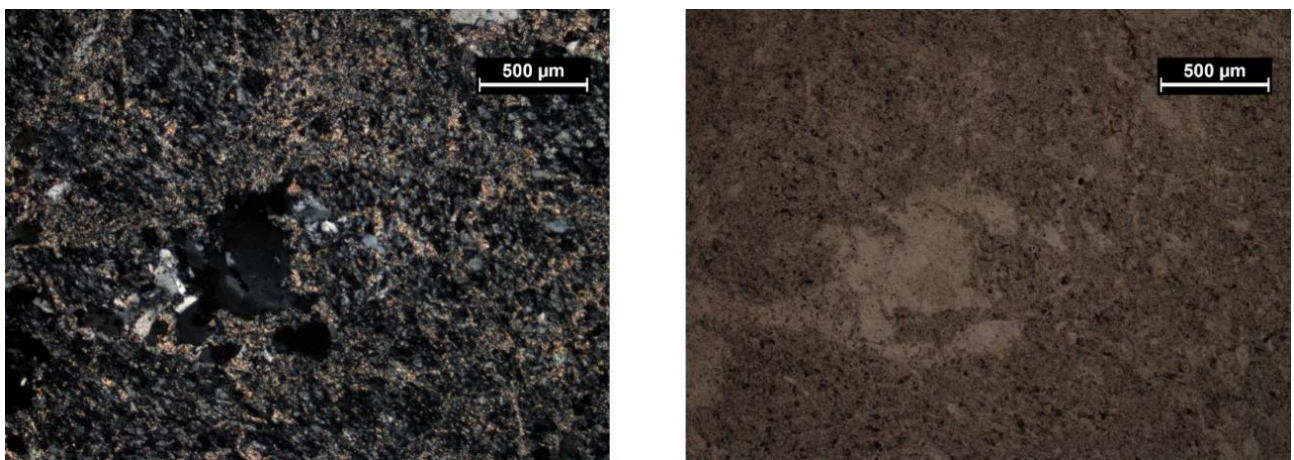


Figura 11. Microfotografía de alteración Cuarzo-Sericita. Se evidencian evidencia los diferentes tamaños de cuarzo presentes en la muestra asociados generalmente a sericita.

La intensidad de la alteración suprime totalmente los minerales de la roca original evidenciando solamente cuarzo hidrotermal y algún cuarzo precursor y sericita de diferentes formas asociadas con los nuevos cuarzos. La concentración de óxidos y opacos se generan en zonas de fracturas y/o vetillas de poca continuidad y espesor.

La sericita se exhibe como agregados irregulares y algunos con textura escamosa de tamaño < 1mm, las cuales se encuentra distribuidas homogéneamente sobre toda la muestra y presentan orientación preferencial, pero generalmente se encuentran asociadas con cristales de cuarzo.

Figura 13. Algunas microfracturas irregulares de poca continuidad a las que se asocian agregados anhedrales de óxidos. (Figura 12 y 13).

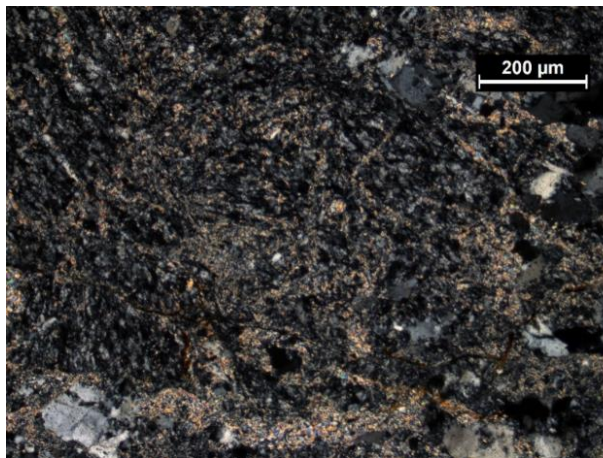


Figura 12. Microfotografía en nicoles paralelos y cruzados donde se observa la intensidad de la alteración cuarz-sericita. Se observan cuarzos de diferente tamaño asociados principalmente con sericita y algunos óxidos que se asocian con micro-fracturas.

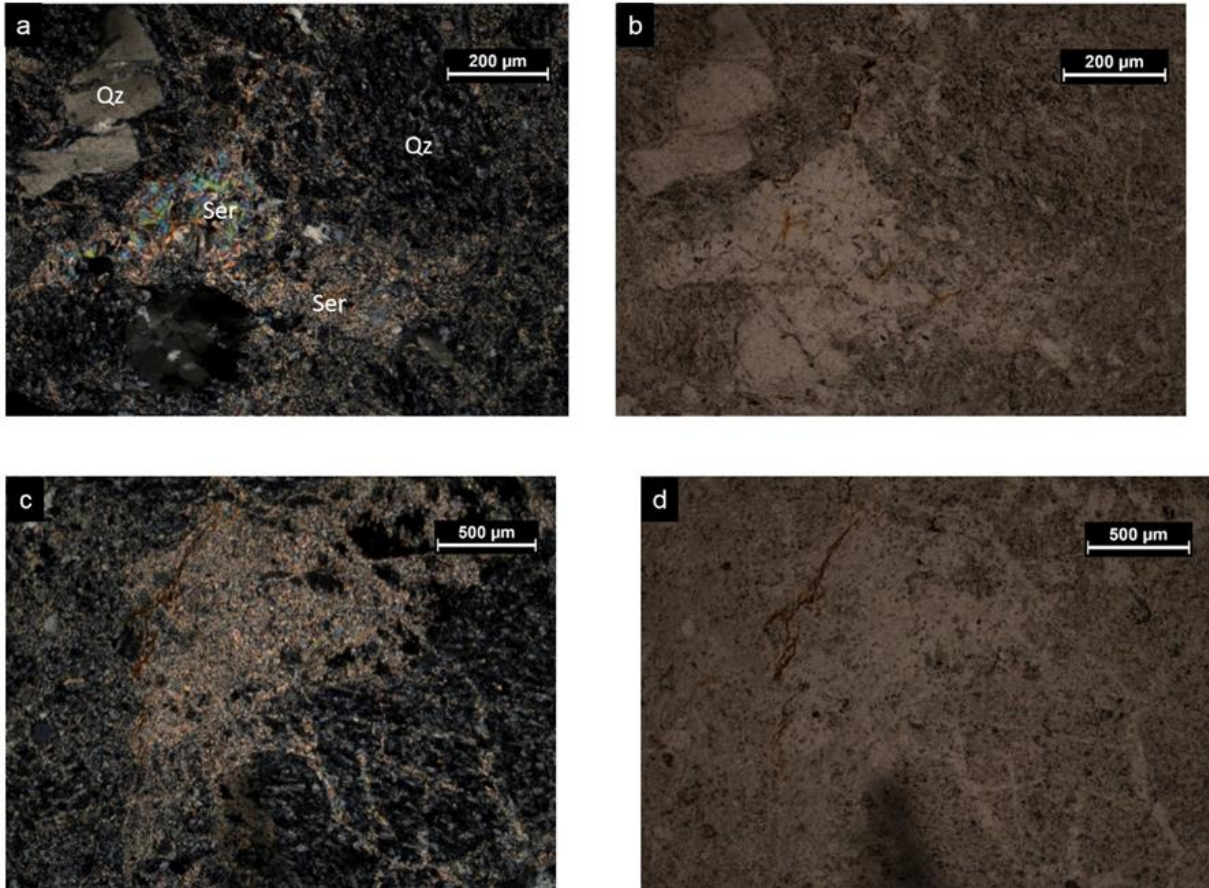


Figura 13. Microfotografía donde se observa la relación Cuarzo-Sericita. La sericita se exhibe de dos formas: En agregados radiales de menor tamaño (c y d) y en agregados escamosos de tamaño variable (0,7- 1mm) (a y b).

6.1.2. Evento de Epidotización. Esta alteración se observa petrográficamente como agregados microcristalinos de epidota, cuarzo y albita (esta última se muestra formándose a partir de los feldespatos potásicos). La intensidad de esta alteración es relativa, ya que en cercanías a las Fallas Onzaga y el Gaital, presenta una mayor pervasividad. (Ver Tabla. 2).

Tabla 2.

Tabla donde se muestran las secciones de Epidotización analizadas petrográficamente en relación con su % de alteración en las muestras.

MUESTRAS	% de Intensidad	Clasificación
JC01	70%	Muy Pervasiva
JC02	40%	Moderadamente Pervasiva
JC03	15%	Poco Pervasiva
JC04	90%	Muy Pervasiva
JC05	80%	Muy Pervasiva
JC08	45%	Moderadamente Pervasiva

Las vetillas de epidota contienen agregados microcristalinos de epidota anhedral a subhedral y cuarzo, la alteración se encuentra afectando principalmente las plagioclasas y menormente a los feldespatos potásicos. Las epidotas presentan distintos colores de interferencia que varían de gris a amarillo, amarillo grisáceo, violeta azulado, verdes pistacho intenso y rosado en algunos casos (Figura 14) con pleocroísmo verde, verde-amarillento, café e incluso incoloro en algunos cristales todos con su característico relieve alto.

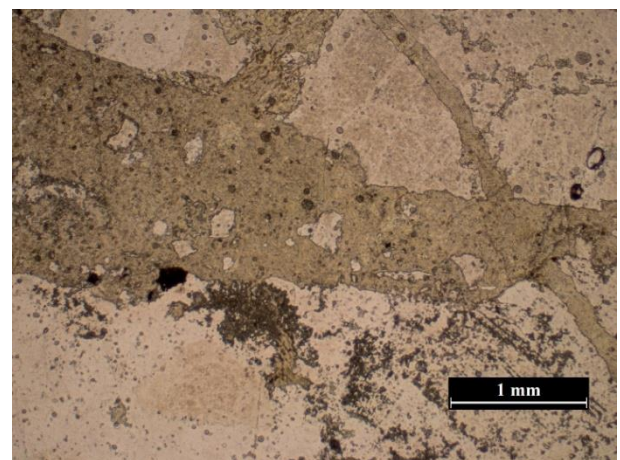
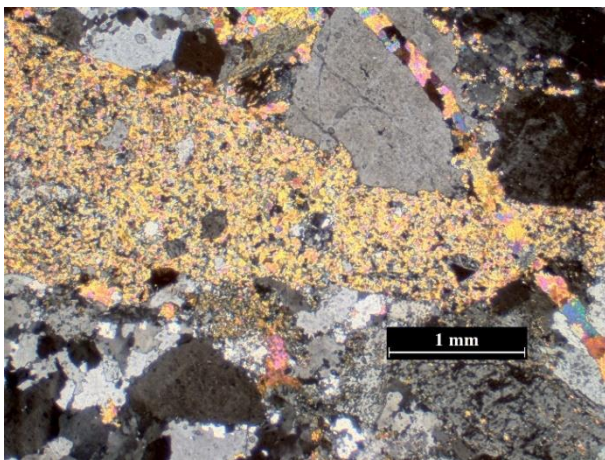


Figura 14. Microfotografía donde se evidencia epidotización. Vetillas de cristales de epidota en contacto con feldespato potásico y cuarzo correspondiente a la mineralogía original de la roca (muestra JC02).

Estas vetillas muestran distintas fases de agregados microcristalinos que pueden relacionarse o atribuirse a distintos eventos, se observan una vetilla con algunos cristales correspondientes a la mineralogía principal de la roca, embebidos en ella dándole una apariencia brechoide (Figura 15), estos cristales son fragmentos angulares por lo que se podría tratar de una vetilla generada por hidrofracturamiento.

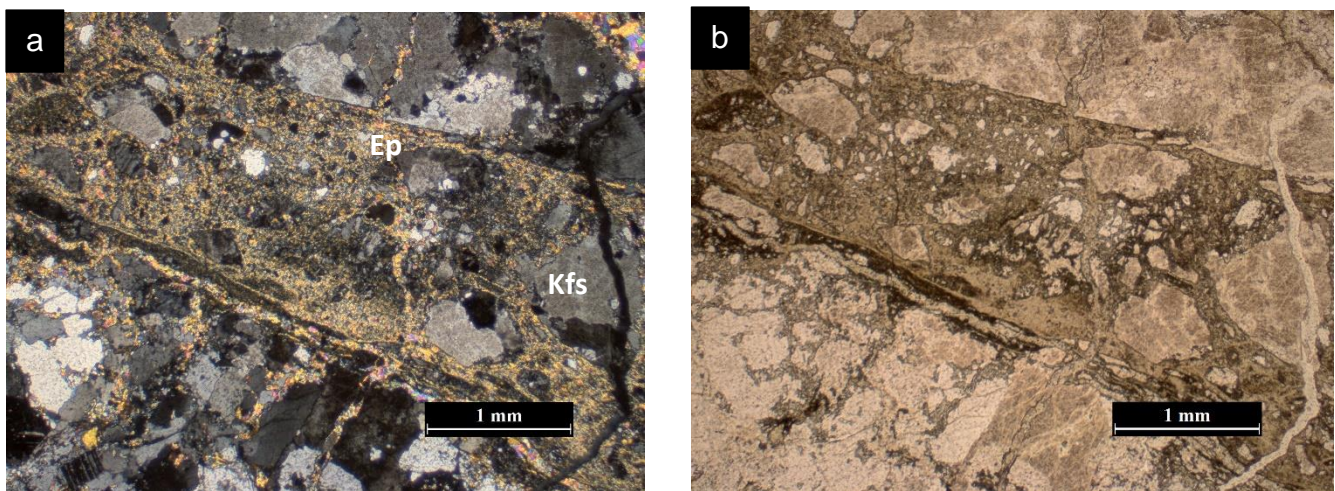


Figura 15. Microfotografía del evento de epidotización. Vetilla con fragmentos de cristales de la roca original correspondientes a plagioclasas y feldespatos potásicos. A) Microfotografía Fotografía en nicoles cruzados, b) Microfotografía en nicoles paralelos.

La epidota muestra distintos tamaños, los más grandes se atribuyen a espacios que fueron rellenados por el fluido causante de la alteración, los cristales son anhedrales a subhedrales, solo en una sola muestra (JC04) se aprecian cristales idiomórficos de epidota (Figura 16), alargados y con una morfología en abanico, sus bordes muy bien definidos y estas presentan un crecimiento de borde a centro, lo que se podría asociar con un relleno de una antigua cavidad por parte de las epidotas.

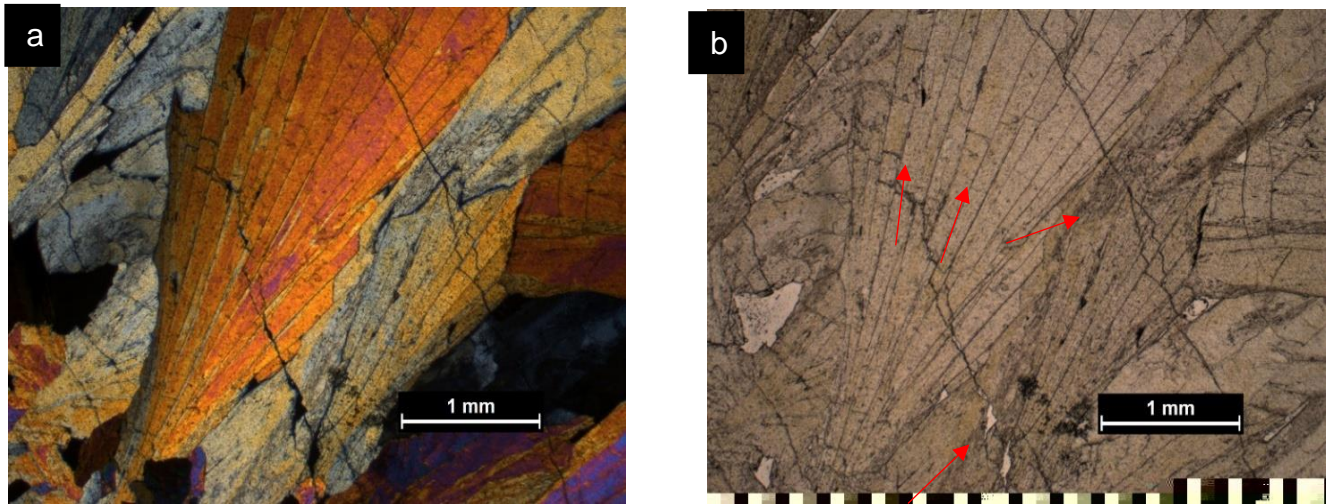


Figura 16. *Microfotografía de cristales idiomórficos de epidota. Cristales idiomórficos de epidota con débil pleocroísmo observado en nicols paralelos. Las flechas indican las zonas en donde se observa pleocroísmo verde débil como se observa en la imagen b.*

El tamaño de estos cristales no se rige por una característica en particular, pero sí muestran patrones de tamaño en todas las muestras, de acuerdo con lo anterior el tamaño de los cristales de epidota en las muestras, se clasificarían de menor a mayor de la siguiente manera:

- Epidota en los bordes vetilla brechoide
- Epidota reemplazando cristales de plagioclasa que se encuentran dentro de las vetillas
- Epidota en vetillas de poco grosor
- Epidota en vetillas gruesas
- Epidota intersticial interconectada a las vetillas principales por medio de fracturas delgadas

que también se encuentran rellenas de epidota

- Epidota idiomorfa (muestra JC04)

Existe una particularidad en algunos cristales de epidota los cuales muestran una zonación en los bordes (Figura 17c) diferentes pleocroísmos, por ejemplo, los cristales idiomórficos que son los más grandes que corresponden a la muestra JC04 presentan un pleocroísmo muy débil, exhiben un color verdoso claro solo en algunas partes de todo el cristal y aquellos que presentan un menor tamaño pueden llegar a presentar no solo un pleocroísmo en tonalidades verdes, si no también, tonalidades cafés. Esto indica que el pleocroísmo marcado puede estar directamente ligado a el tamaño de los cristales y aquellos más pequeños pueden presentar tonalidades un poco más oscuras, en la Figura 15b se observa también un conjunto de cristales de epidota de menor tamaño que muestran un pleocroísmo en tonalidades más oscuras que el resto de los cristales de la vetilla.

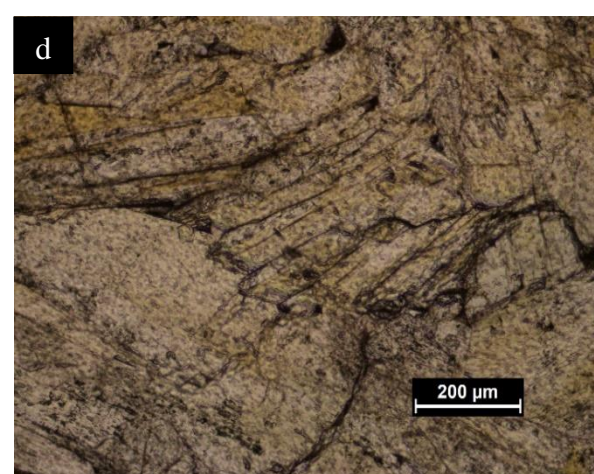
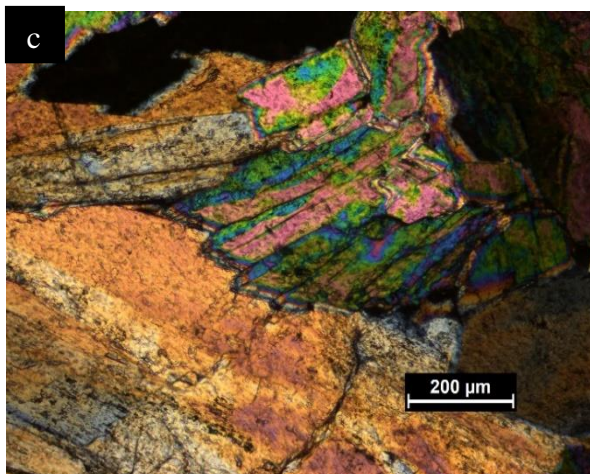
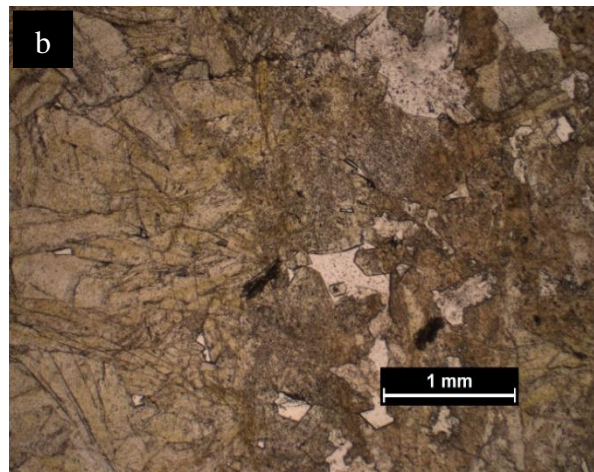
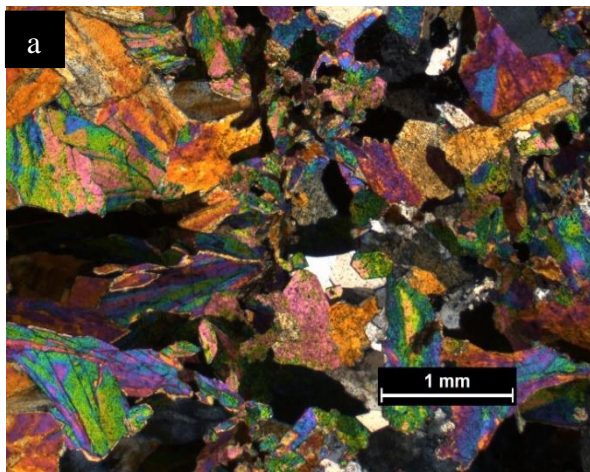


Figura 17. Microfotografía de los diferentes tamaños de los cristales de epidota. a) Cristales de epidota, a la izquierda los de mayor tamaño, a la derecha aquellos de menor tamaño. b) Cristales de epidota en nicoles paralelo mostrando pleocroísmo café verdoso para las de menor tamaño y verde muy claro para las de mayor tamaño. c) Cristales de epidotas con bordes zonados. d) Fotografía en nicoles paralelos donde se observa pleocroísmo débil.

Algunos cristales de epidota y cuarzo presentan unas pequeñas inclusiones en forma de agujas las cuales pueden ser sinuosas en algunos casos, pero se descarta un proceso de deformación posterior a la alteración ya que por ejemplo aquellos cuarzos que presentan estas inclusiones no tienen extinción ondulosa. Figura 18.

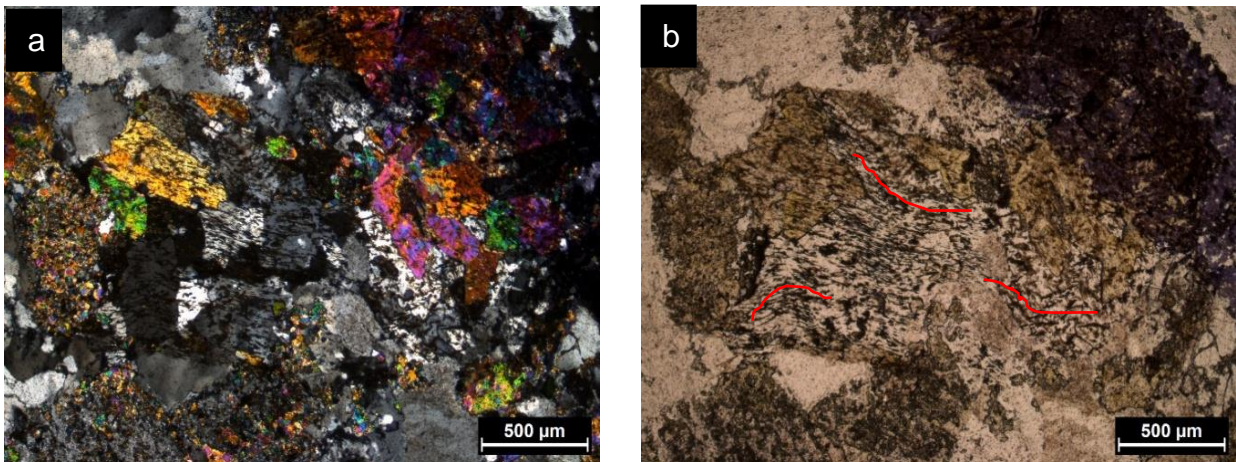


Figura 18. Microforografía donde se evidencian agujas dentro de cristales de epidota y cuarzo. Conjunto de cristales de epidota y cuarzo con inclusiones en forma de agujas que presentan sinuosidad, como se observa en la Figura b

Los cuarzos generados por la alteración se muestran por lo general en menor proporción a comparación de las epidotas y de menor tamaño a estas, anhedrales a subhedrales.

Las plagioclasas muestran la mayor afectación a esta alteración, las plagioclasas que están levemente alteradas muestran pequeños cristales de epidotas que por lo general siguen la dirección del maclado, también se encuentran pequeños cristales de epidota en sus bordes. Las que han

sufrido una mayor alteración generar agregados microcristalinos de epidota que no presentan gran tamaño (por lo general menores a $100\mu\text{m}$). Figura 19.

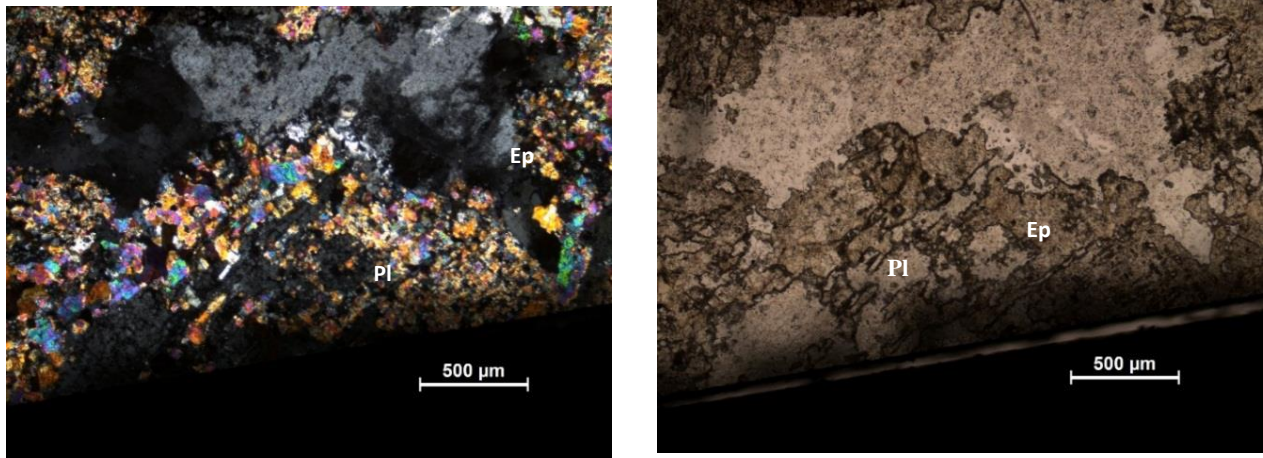


Figura 19. Microfotografía de un cristal de plagioclasa reemplazado por epidota.

Algunas muestras (JC03) presentan plagioclasas casi intactas que no han sufrido epidotización, solamente algunas presentan unos pequeños cristales en sus bordes o dentro de ellas, estas plagioclasas presentan una leve alteración a sericita la cuál es un poco más marcada. Cabe resaltar que en esta muestra la epidotización que se observa corresponde únicamente a una vetilla principal y en las zonas cercanas a ella. Allí donde las plagioclasas muestran una alteración a sericita se presentan también clorita en contacto con epidota, estas parecen estar de forma intersticial, pero afectando poco a las plagioclasas.

Los cristales de feldespato potásico son menos susceptibles a este tipo de alteración pero sin embargo se ven afectados ya que presentan una albitización irregular (generalmente), con esto anterior se descarta que un proceso deutérico haya sido el causante de la albitización ya que la albita no se presenta en lamelas como ocurriría normalmente en la última fase de enfriamiento de

la roca, y no solo se descarta esta idea por su forma irregular sino también porque parece estar ligada a las epidotas debido a que esta albitización parece originarse en las vetillas y alrededor de los cristales de epidota como se observa en la Figura 20 , no solo se presenta de manera irregular en los cristales de feldespato, también existe albita con textura tablero de ajedrez o albita tipo chessboard, esta se genera a partir de un reemplazamiento de feldespato potásico que generalmente es microclina.

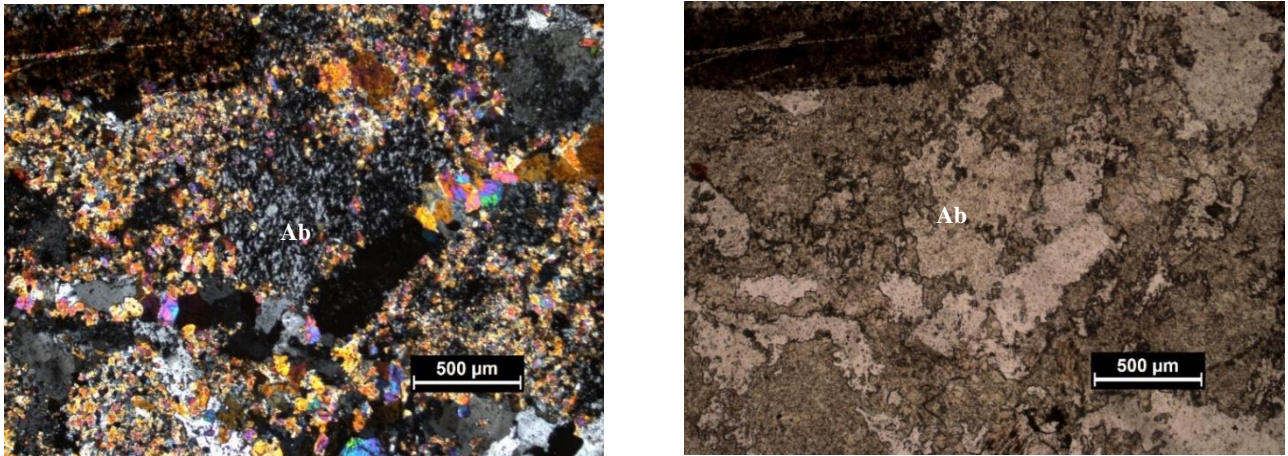


Figura 20. Microfotografía de cristal de Albita tipo chessboard en contacto con cristales de epidota y cuarzo.

Finalmente, se encuentran anfíboles metaestables los cuales presentan unos colores de interferencia que varían entre amarillos pardos, amarillos claros-crema, café-verdoso y café claro, en sus bordes presentan una leve alteración a unas micas claras (posiblemente illita), estas micas pueden observarse en algunos casos con tonalidades café pero esto es debido a la oxidación del mismo anfíbol y en algunas partes alterándose a epidota, las características de los anfíboles aún se aprecian claramente pero estos muestran un pleocroísmo verdoso que es bastante débil

posiblemente por causa de los fluidos causantes de la alteración, se muestran aglomerados en un solo sector. La roca de esta muestra corresponde a una cuarzomonzonita.

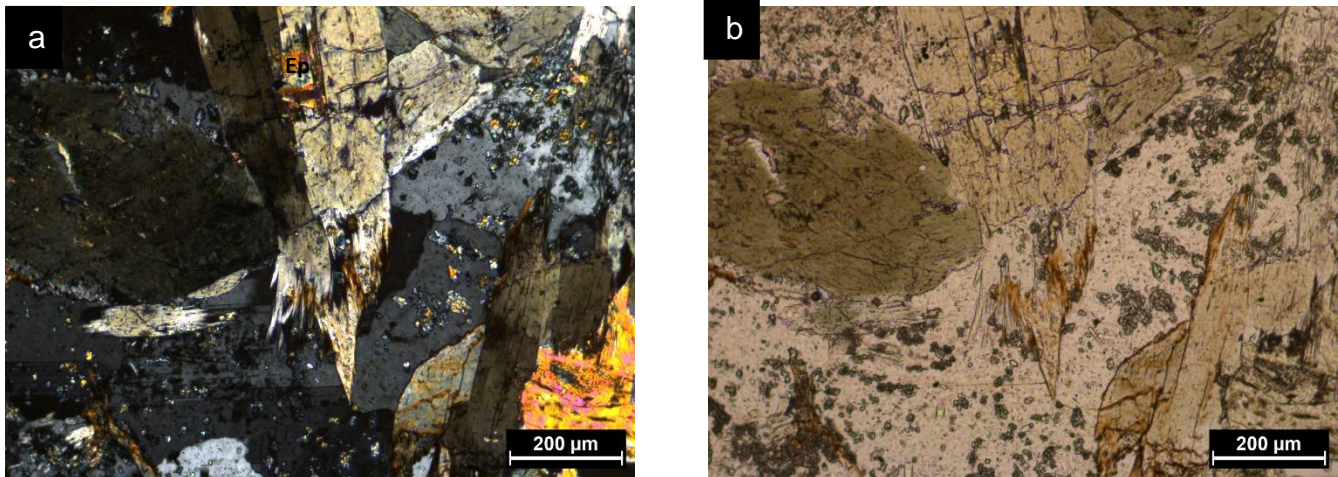


Figura 21. Microfotografía de anfíboles alterándose a micas blancas (borde del cristal) y epidotas. a) nicoles cruzados, b) nicoles paralelos.

6.1.3. Evento de Cloritización. Es un evento que se diferenció únicamente a escala microscópica, el cual se caracteriza por una marcada cloritización co-orientada de manera parcial y total de la biotita y un cloritización-epidotización parcial de los cristales de anfíboles. Figura 13. Este evento afecta a los diversos cuerpos diferenciados del Batolito de Mogotes. El reemplazamiento co-orientado de biotita – clorita es explicado por (Rong & Wang, 2016), donde el K_2O es completamente eliminado, SiO_2 y TiO_2 son evidentemente disminuidos

mientras que MgO, FeO y el componente volátil son aumentados a medida que sus cantidades totales han disminuido.

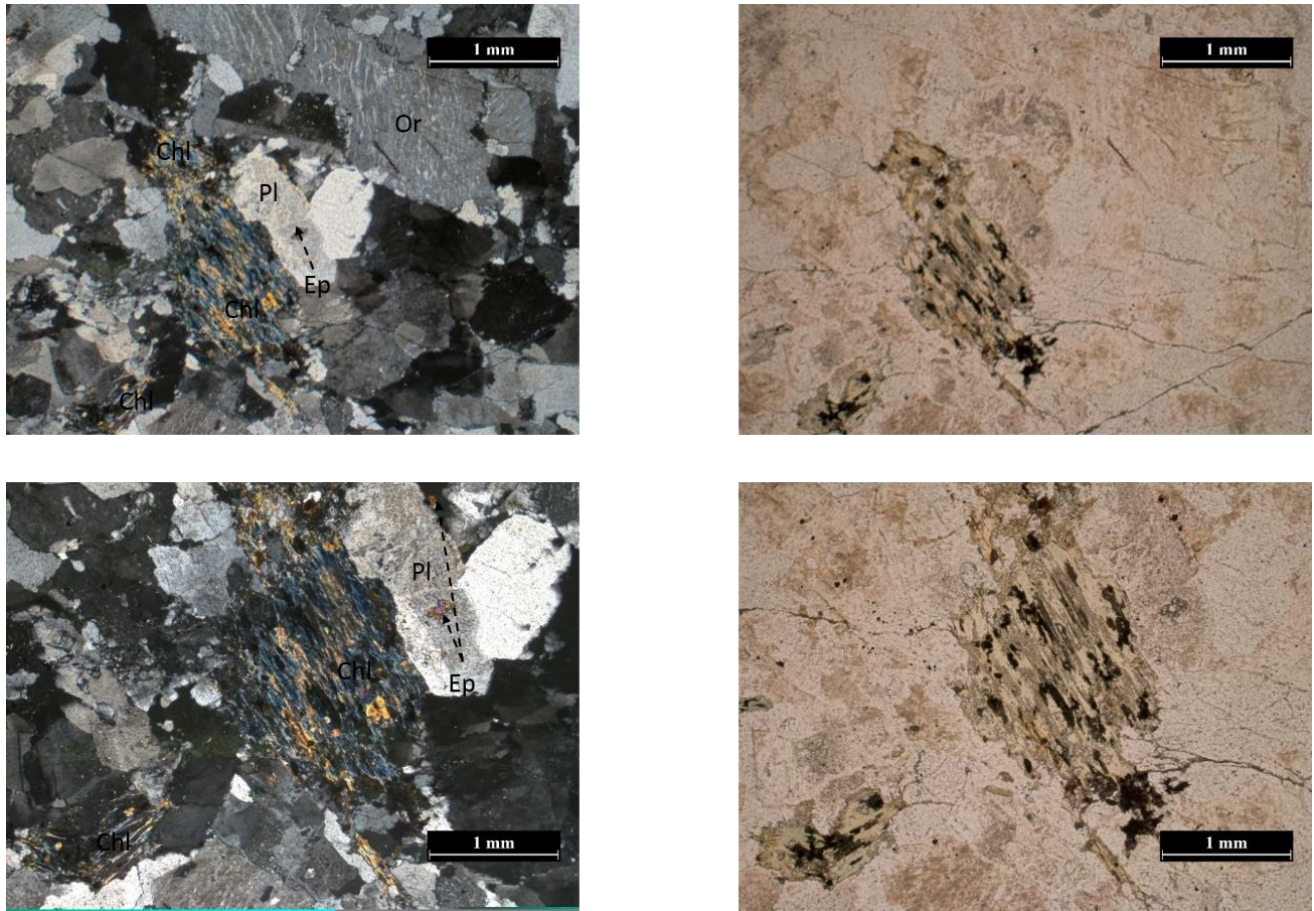


Figura 22. Microfotografía que exhibe cloritización parcial y total de biotita, epidotización diseminada que se encuentra incluyendo cristales de plagioclasa que presentan poca y moderada sericitización

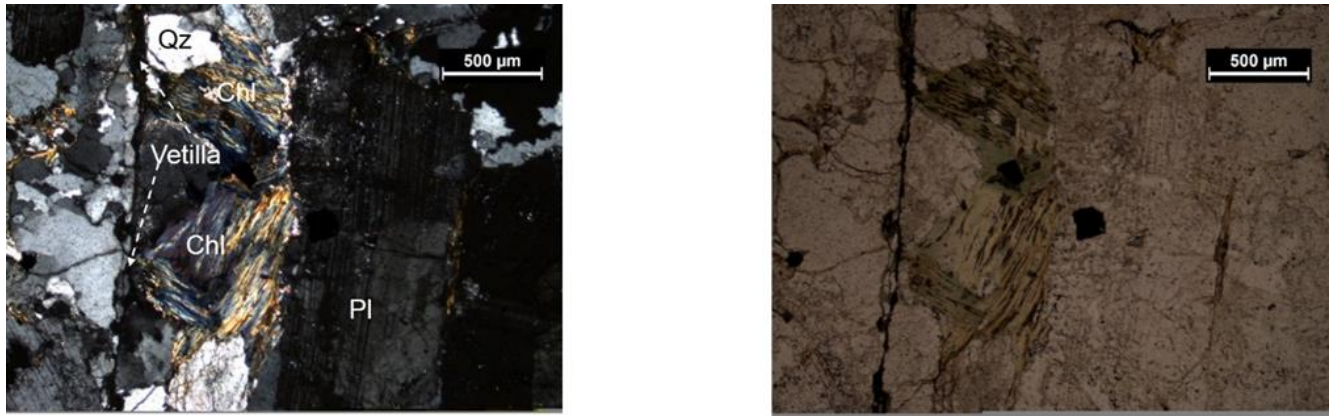


Figura 23. Microfotografía de cloritización parcial y total de Biotita. Esta se puede evidenciar en las rocas ígneas del Batolito de Mogotes y se puede apreciar junto a las diferentes alteraciones reconocidas.

El proceso de alteración parcial y total de anfíboles se encuentra asociado al evento de epidotización, ya que esta fase únicamente ocurre o aparece durante este proceso (en sus diferentes patrones de alteración) que sufren las rocas ígneas del batolito de Mogotes. Figura 24. También, porque la clorita aparece casi siempre junto con la epidota producto de alteración de los cristales de anfíbol.

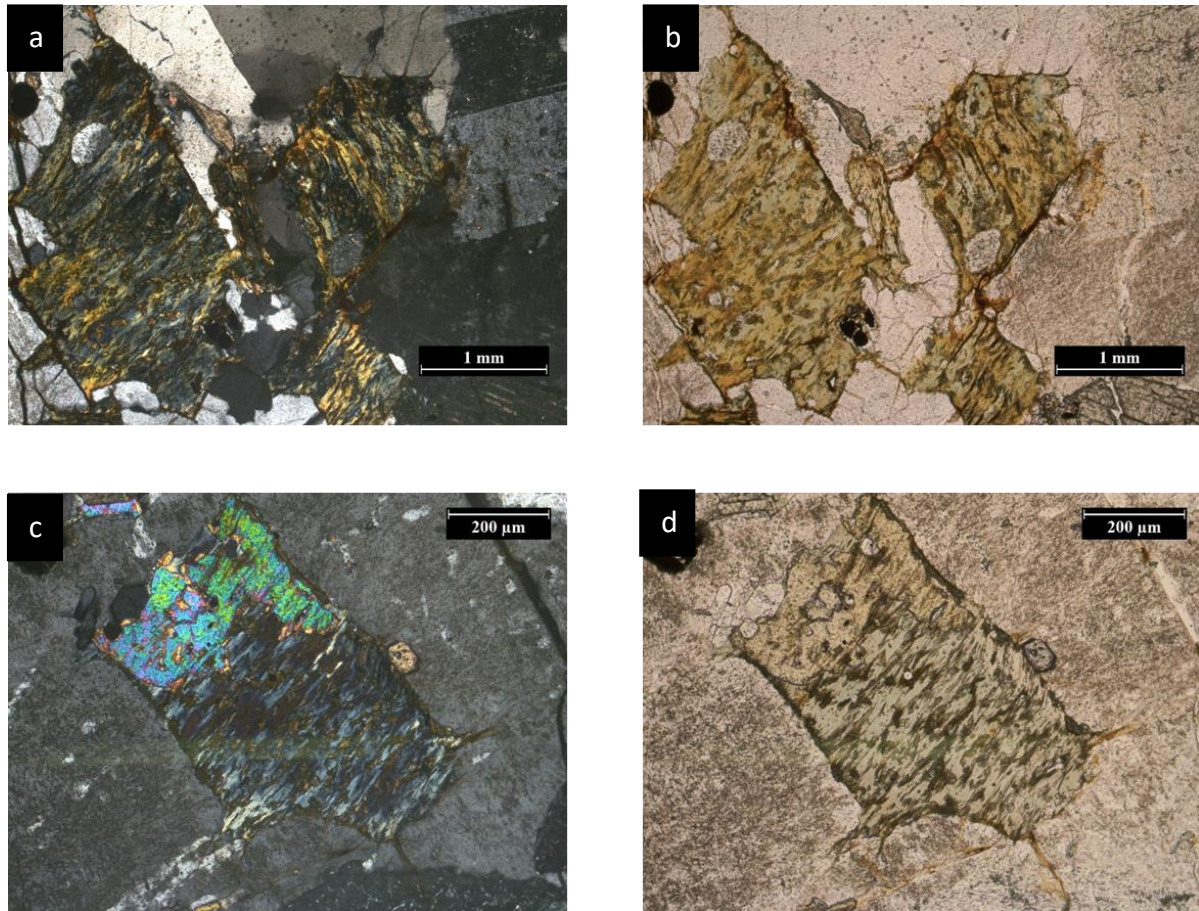


Figura 24. Microfotografía en nicols paralelos y cruzados donde se muestra el evento de cloritización de anfíboles. (a y b) y cloritización y epidotización (c y d) de antiguos anfíboles de la roca pre-existente. Antiguos anfíboles asociados con cristales de feldespato, plagioclasa y cuarzo.

6.1.4 Evento de muscovitización. Se diferenció a escala microscópica de manera local, en la que ocurre un reemplazamiento co-orientado de muscovita a partir de biotita. La explicación de este evento se basa en que el fluido hidrotermal, el cual contiene Si y Al puede penetrar a lo largo de la exfoliación de la biotita, desplazando Fe, Mg y Ti, en lo que resulta la transformación de biotita a moscovita. (Rong & Wang, 2016).

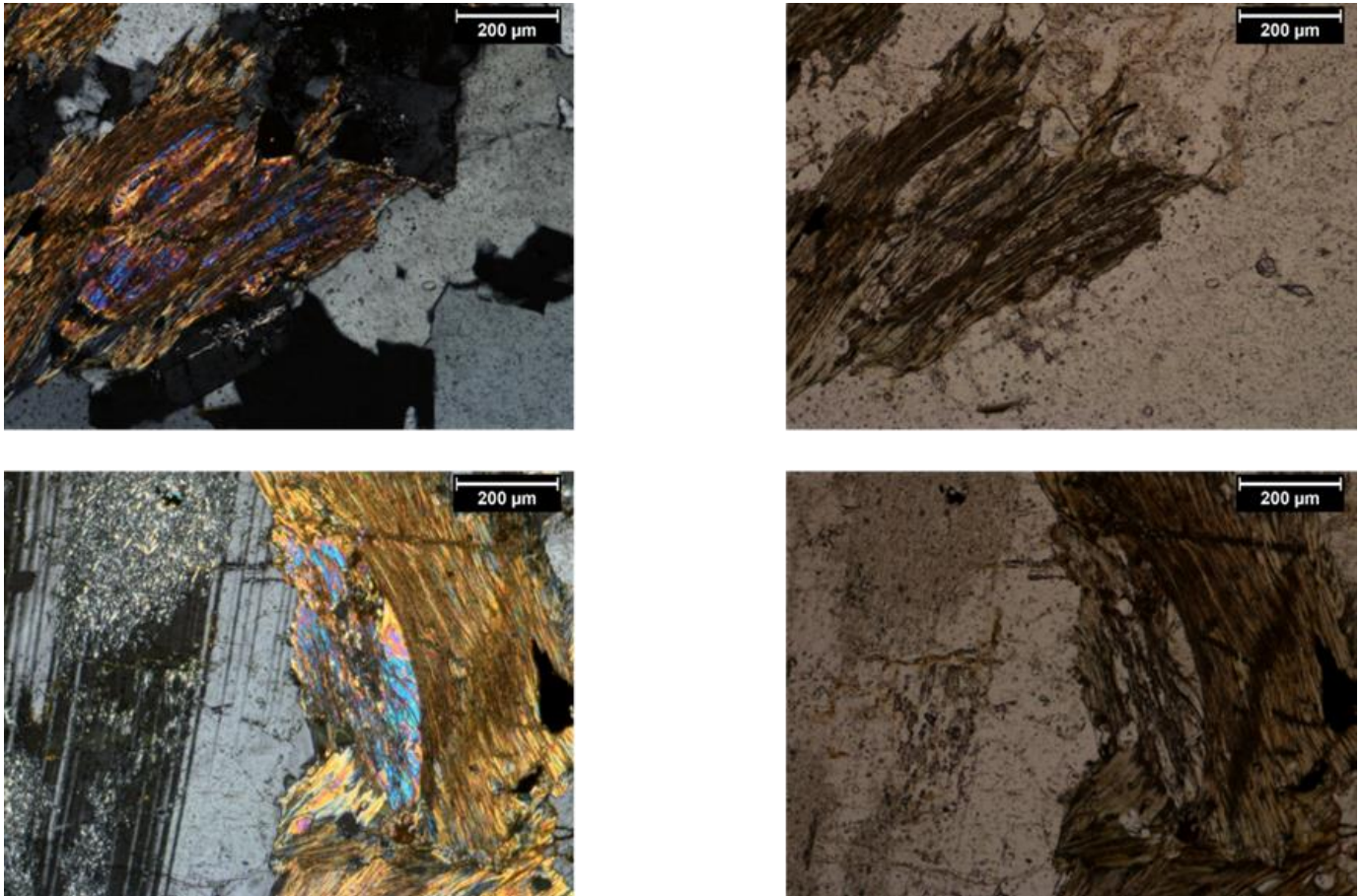


Figura 25. Microfotografía de biotitas en nicoles paralelos y cruzados, donde localmente presentan un proceso de Muscovitización. Se muestran cristales de plagioclasas moderadamente alterados a sericita.

6.1.5 Silicificación. Proceso reconocido por la aparición de una vetilla de aproximadamente 8-10 mm de cuarzo calcedónico, la cual se encuentra cortando un cuerpo de composición leucogranítica (Tonalita) y vetillas de epidota (Reconocido a escala macroscópica). Petrográficamente la muestra presenta epidotización diseminada y cloritización parcial y total de biotita.

Este cuarzo generalmente se forma a temperaturas entre 100-200°C, en zonas epitermales, donde el pH es alto y poca temperatura (Corbett y Leach, 1998). Figura 26.

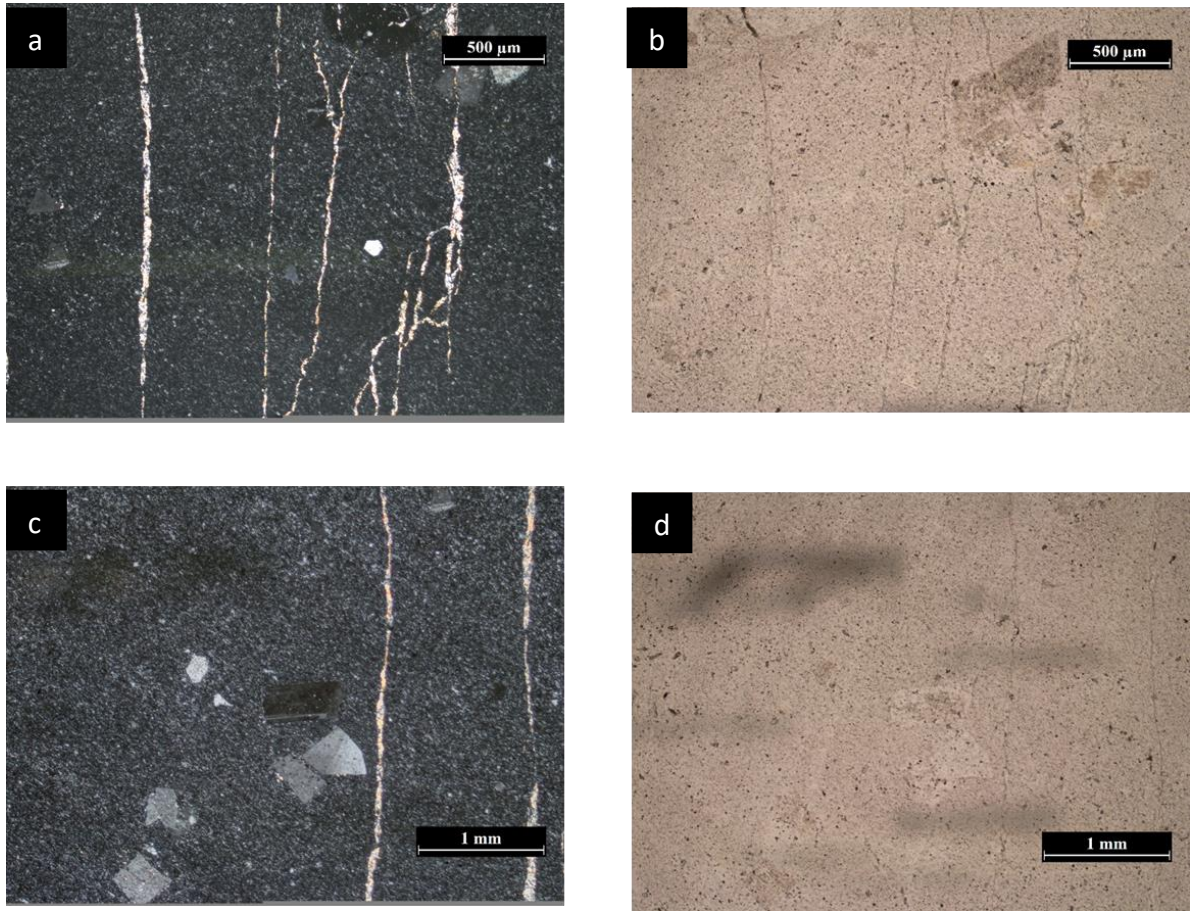


Figura 26. Microfotografías del cuarzo calcedónico. Este se encuentra englobando cristales de cuarzo y plagioclasa, cortado de manera perpendicular por vetillas irregulares de poco espesor que contienen caolinita?.

El cuarzo calcedónico aparece en forma de agregados esferulíticos, de relieve bajo cortando la muestra, englobando cristales de plagioclasas y cuarzoes cristalinos. A su vez, es cortado perpendicularmente en dirección de la vetilla por venas de poco espesor de caolinita?. Figura 27.

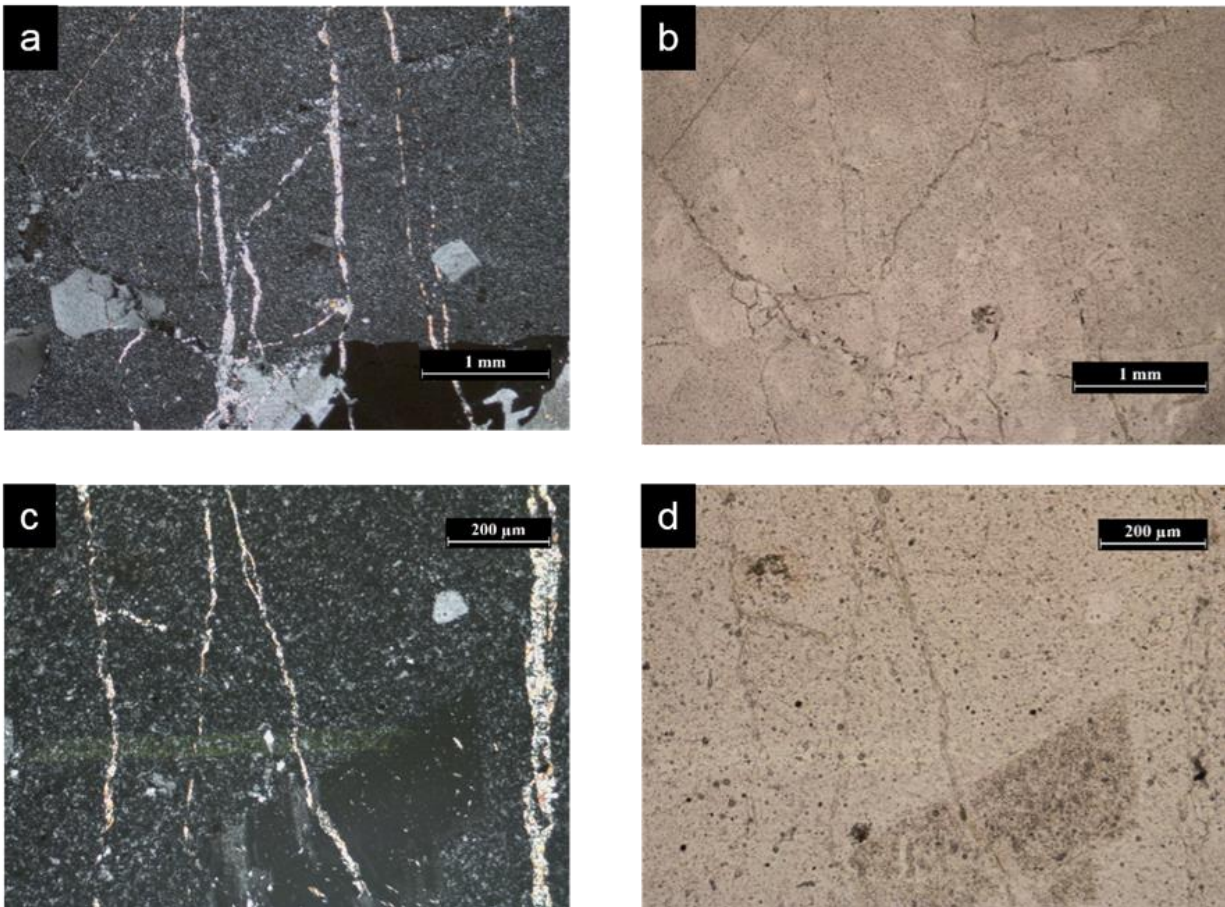


Figura 27. Microfotografías de la vetilla de cuarzo calcedónico en relación con venas de caolinita?. (a y b) Muestran la relación vetilla – Roca caja, la cual es de manera irregular. Se logra observar las venas de caolinita? y una vetilla irregular, de poca continuidad de cuarzo microcristalino. (c y d). Cuarzo calcedónico y venas irregulares, perpendiculares a la dirección de caolinita?.

6.2. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM-EDS):

El SEM-EDS fue realizado para 6 muestras, las cuales fueron previamente escogidas mediante análisis petrográfico, en la que se determinó la composición química semi-cuantitativa de los minerales de interés, en este caso principalmente las variedades de epidotas mostradas a escala microscópica en las que se reflejaban diferencias en el tamaño de los cristales, su variedad

composicional debido a la variación en su pleocroísmo, su asociación mineral, ya que algunas se encontraban asociadas a clorita producto de alteración de anfíboles de la roca hospedadora y finalmente, de manera local se logró identificar unas agujas muy particulares tanto en las epidotas como en los cuarzos.

Algunas muestras analizadas, estas presentan cuarzos con agujas de titanita, e evidenciando una removilización de fluidos ricos en este mineral para que estas agujas se presentaran en epidotas y en cuarzos, que probablemente su génesis por alteración de cristales de titanita de la roca hospedadora. (Figura 28). En la figura 33, se pueden observar esas agujas en cristales de epidota.

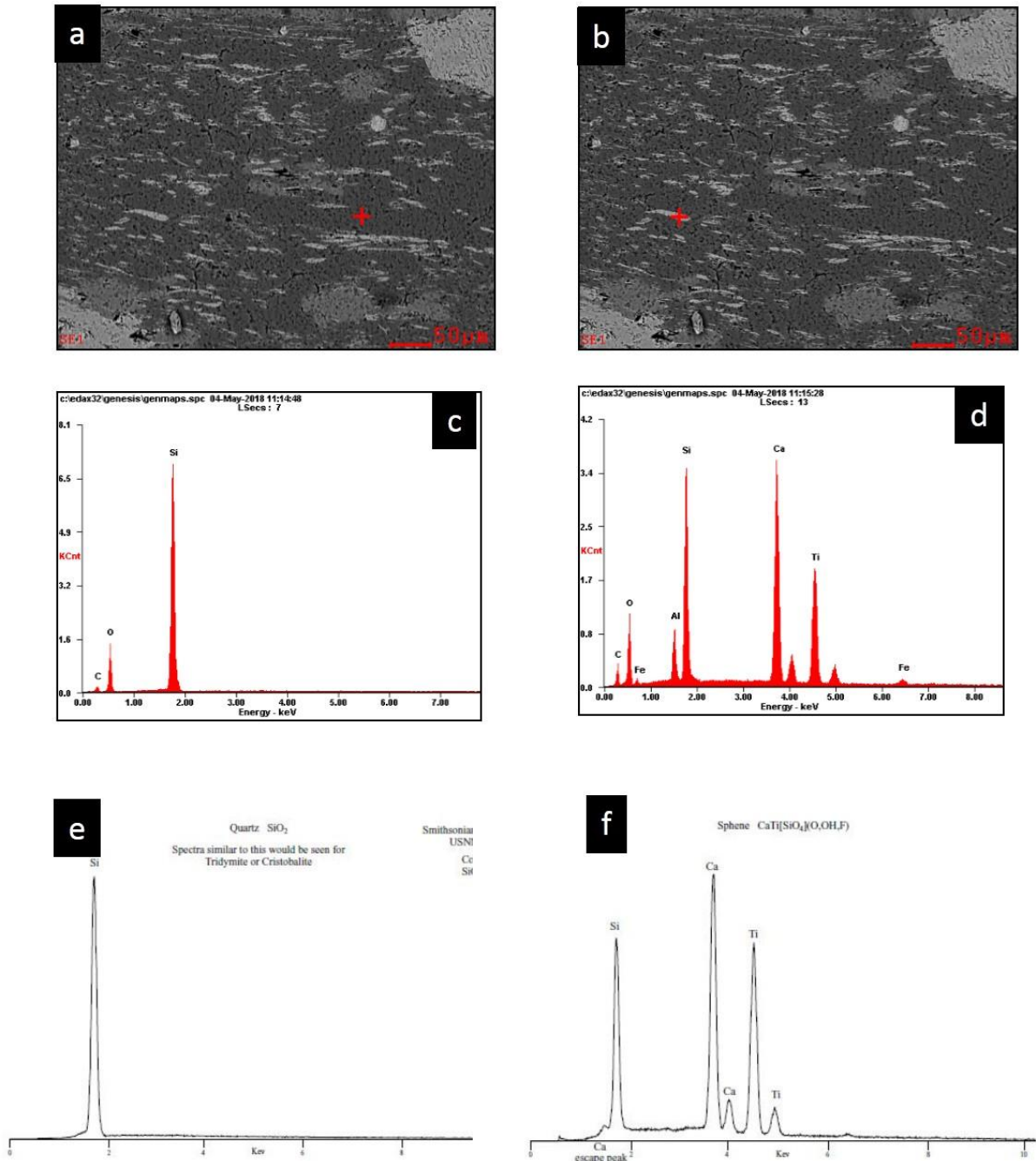


Figura 28. Resultados SEM-EDS obtenido de la muestra JC05. (a) y (b). Imágenes de los cristales para su análisis. (c) y (d). Espectros de dispersión de los cristales analizados de la muestra. (e) y (f). Espectros de dispersión ilustrados en Severin, 2004.

Los datos obtenidos del SEM-EDS mostrados en las Figuras 29 y 30, se logran apreciar los espectros de los minerales de interés que comparados con los ilustrados por Severin,2004, se identifica la presencia de Epidota y su primera variedad , lo que corrobora lo identificado en las observaciones realizadas en campo y en la petrografía.

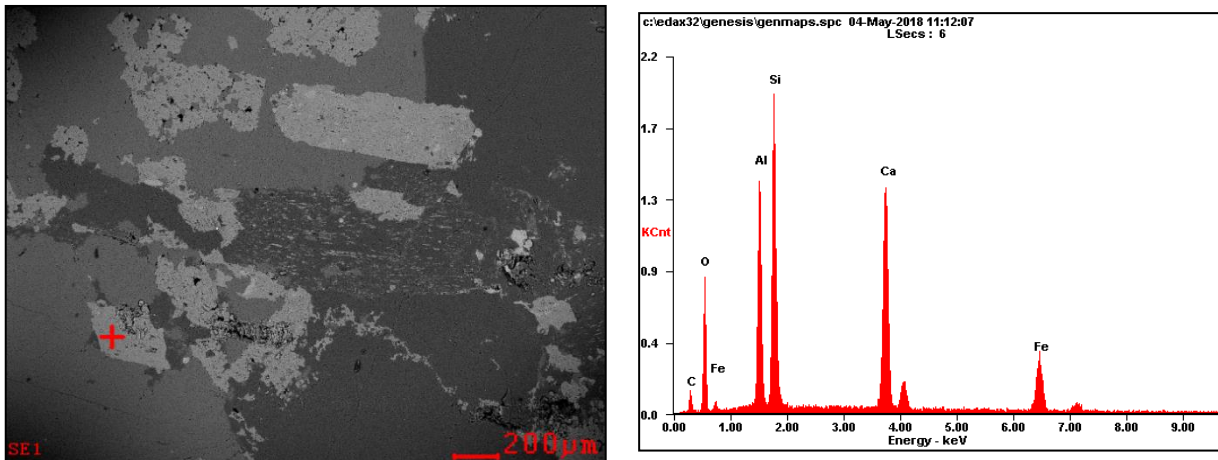


Figura 29. Resultados SEM – EDS obtenido de la muestra JC05. Se muestran los espectros de dispersión característicos de una epidota.

En la Figura 31, se muestran los espectros realizados a dos cristales, que posteriormente se compararon con las firmas espectrales ilustradas por Severin, 2004 identificando la Epidota que se encuentra en paragénesis con Apatito

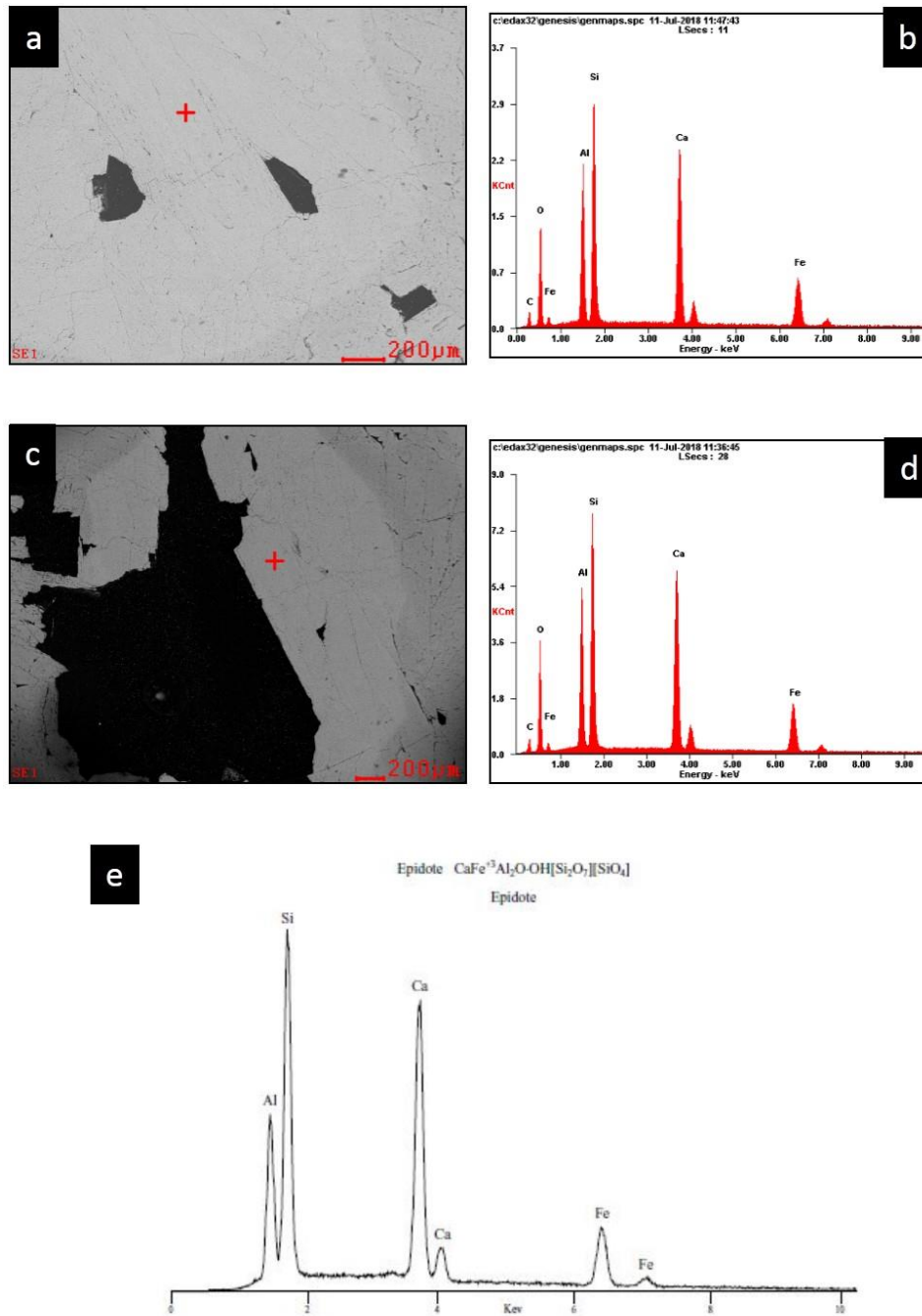


Figura 30. Resultados SEM-EDS de la muestra JC03. (a) y (c). Imágenes de los cristales de epidota. (b) y (d). Espectros de dispersión de los cristales analizados de la muestra. (e). Espectro de dispersión ilustrado en Severin, 2004.

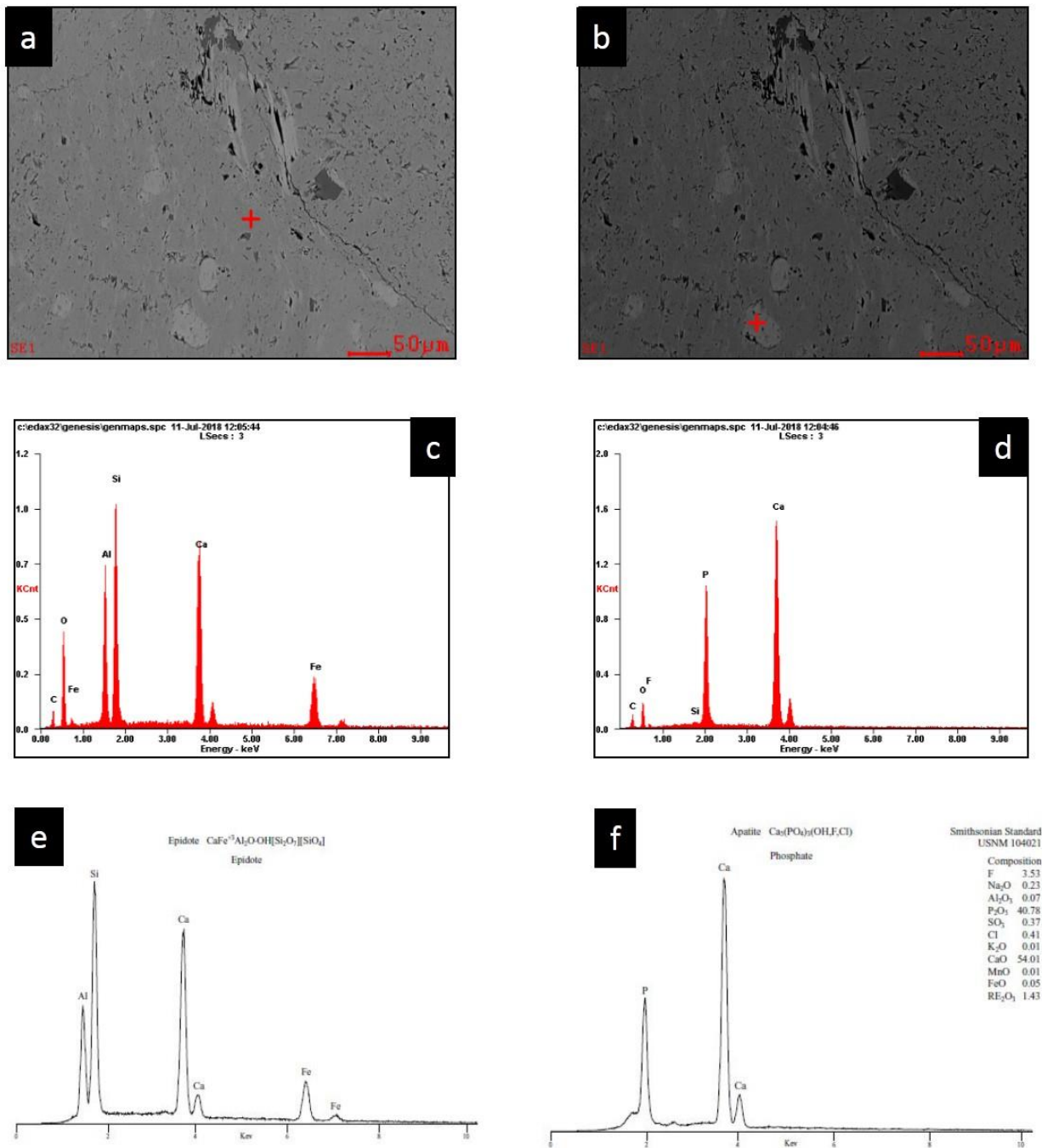


Figura 31. Resultados SEM-EDS de la muestra JC-01. (a) y (b). Imágenes de cristales de Epidota y Apatito. (c) y (d). Espectros de dispersión para los cristales analizados. (e) y (f) Espectros de dispersión ilustrados en Severin, 2004.

Los espectros de dispersión obtenidos de la muestra JC-01 mostrados en la Figura 32, en comparación con los espectros ilustrados por Severin, 2004, se identifica así la presencia de epidota de variedad Piemontita. A diferencia de los mostrados en las Figuras 29, 31 y 32, donde el manganeso no hace presencia, evidenciando así la aparición de la segunda variedad de epidota en la zona de estudio.

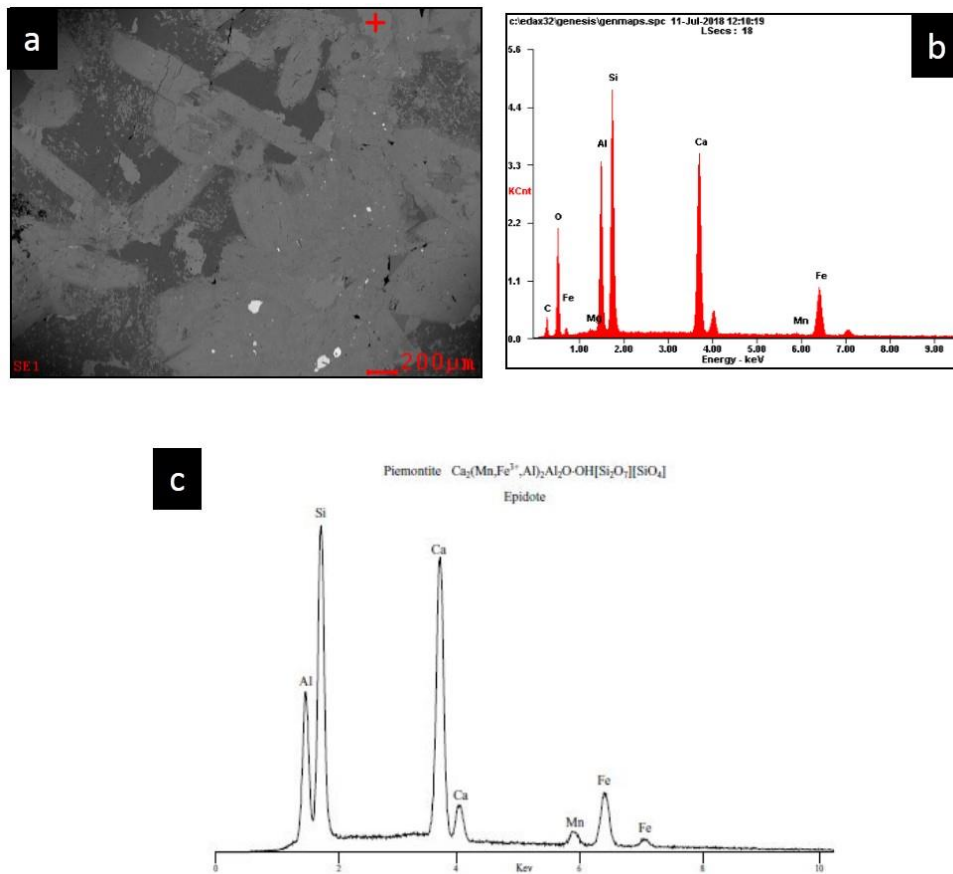


Figura 32. Resultados SEM-EDS muestra JC-01. (a). Imagen de los cristales de epidota. (b). Espectro de dispersión del cristal analizado de la muestra. (c). Espectro de dispersión ilustrado en Severin, 2004.

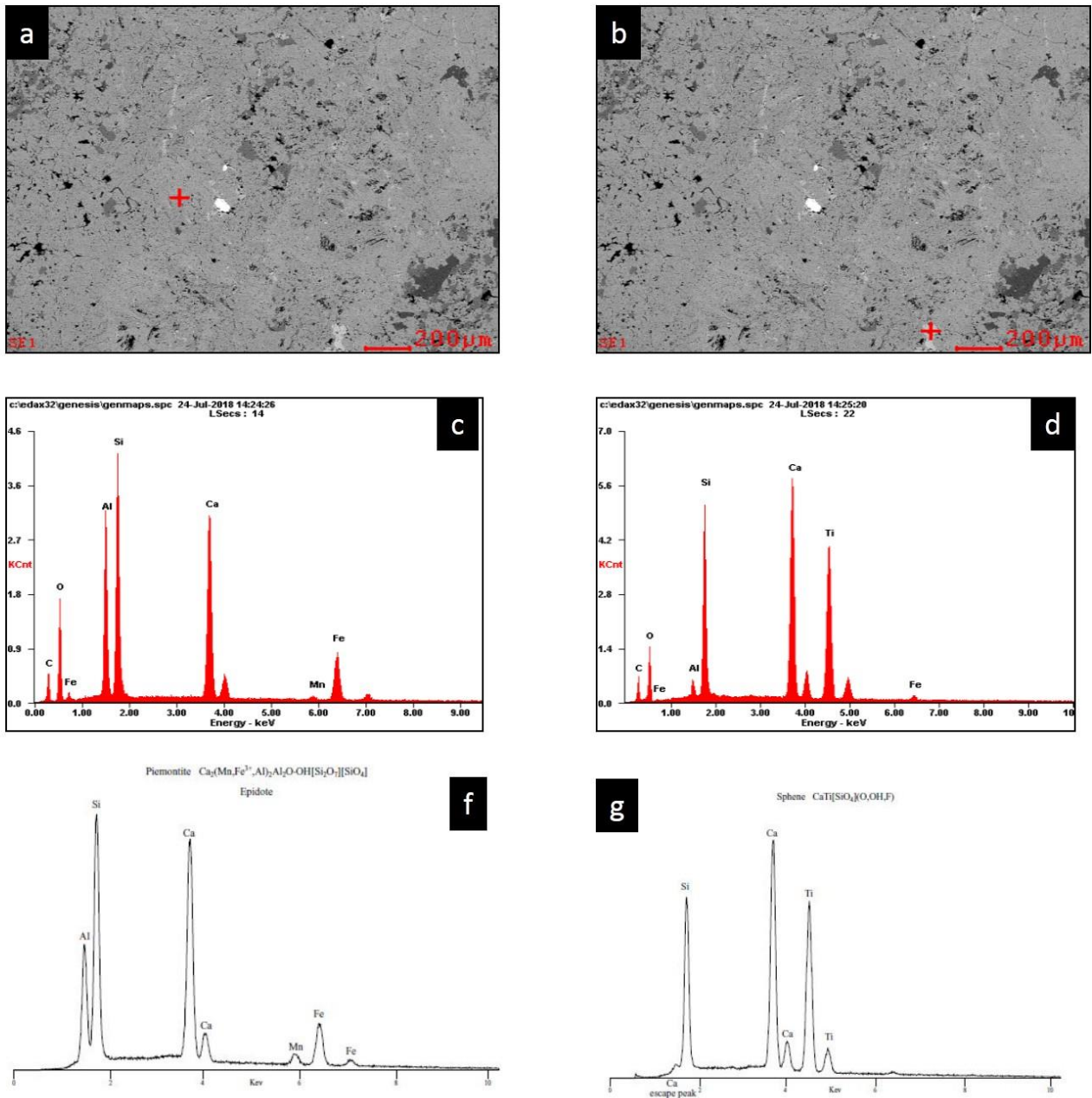


Figura 33. Resultados SEM-EDS de la muestra JC05. (a) y (b). Imágenes de cristales de epidota y agujas con contenido de titanio. (c) y (d). Espectro de dispersión de los cristales analizados. (f) y (g). Espectros de dispersión ilustrados en Severin, 2004.

Los espectros de dispersión obtenidos de la muestra JC05 mostrados en la figura 33, se identifica la presencia de epidota de variedad Piemontita, la cual presenta agujas de Titanita.

Complementando, que la presencia de estas agujas se presentan localmente pero en las variedades de epidotas que se manifiestan en la zona. (Figura 33). Cabe resaltar, que la Titanita petrográficamente también se evidenció haciendo parte de la roca hospedadora y en cercanía a vetillas y/o epidotización levemente pervasiva, se encuentra parcial y moderadamente alterada. La presencia de las agujas con alto contenido de Titanio dentro de cristales tales como Cuarzo, Epidota y Piemontita.

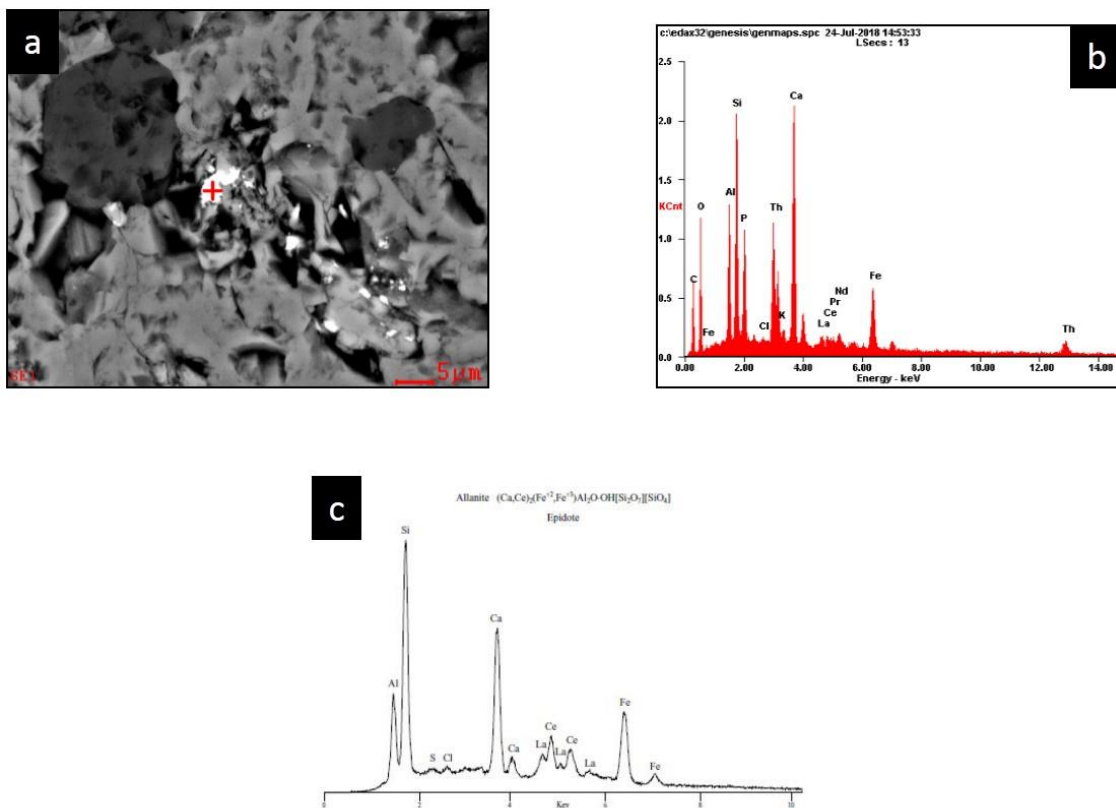


Figura 34. **Resultados SEM-EDS de la muestra JC03.** (a). Imagen de los cristales de epidota. (b). Espectros de dispersión del cristal. (c). Espectros de dispersión ilustrados en Severin, 2004.

Los espectros de dispersión obtenidos de la muestra JC03 (Figura 34), en comparación con los espectros ilustrados por Severin, 2004, se identifica así la presencia de epidota de variedad

Allanita. A diferencia de las Figuras 31 y 32, donde estos elementos o tierras raras tales como La, Ce, Pr, Nd no se presentan. De acuerdo a este análisis se identificaron varios tipos del grupo de la Epidota: Epidota, Piemontita y Allanita.

6.3. Paragénesis.

El primer evento hidrotermal reconocido es la formación de texturas metasomáticas, entre ellas las texturas mirmequítica y pertítica; la textura pertítica, la cual se presenta de manera débil a manera similar del característico reemplazamiento co-orientado de feldespato por plagioclasa (Rong & Wang, 2016) o un posible sobrecrecimiento de albita en los bordes de plagioclasa. Este evento junto con la cloritización co-orientada parcial y total de las biotitas, fueron catalogados como leves y de escala regional. La alteración cuarzo-sericita es el segundo evento, que presenta fases: La primera fase es una alteración pervasiva, que reemplaza totalmente los feldespatos de la roca original por cuarzo y sericita, esta sericita se presenta en agregados tanto granulares como escamosos y es debido a la interacción de los feldespatos con fluidos en presencia de H⁺, OH⁻, K y S (Pirajno, 2009), esta fase no coexiste con ninguna de los eventos mencionados. La segunda fase es la desestabilización leve a moderada de los cristales de feldespatos y esta coexiste tanto con eventos de cloritización como de epidotización y de Silicificación.

Seguidamente, el evento de epidotización, que afecta a las rocas del Batolito de Mogotes aledañas a la Falla de Onzaga. Formados por fluidos enriquecidos en Ca y algo de Fe (Datos inferidos del análisis del SEM), las cuales presentan variedades del grupo de la epidota: Epidota, Piemontita y se muestra mediante el SEM-EDS tierras raras formando la variedad de epidota Allanita. Tanto las epidotas como los cristales de cuarzo presentan inclusiones en forma de aguja

que presentan un alto contenido en Ti. Como evento final, se tiene la Silicificación o formación de cuarzo calcedónico, que presenta como característica macro y microscópica que corta el evento epidotización. La epidotización, cuyo evento es el de interés se encuentra caracterizada por los siguientes minerales: Epidota-Cuarzo±Albita±Apatito,

Tabla 3.

Paragénesis de las alteraciones hidrotermales.

Minerales	Alteraciones			
	Epidotización	Cuarzo-Sericita	Cloritización	Silicificación
Albita				
Cuarzo 1				
Cuarzo 2				
Cuarzo Calcedonico				
Sericita				
Epidota				
Epidota 2				
Clorita				
Apatito				
Pirita				

7. Modelo Evolutivo.

Las diferentes fases ígneas del Batolito de Mogotes (Cuarzomonzonitas, granodioritas, monzogranitos), las cuales se encuentran afectadas por alteraciones hidrotermales fueron formadas bajo condiciones de arco magmático en una zona de subducción, producto de magmas calcoalcalinos ricos en K de edad Jura-Triásico. Posteriormente, el desarrollo de texturas metasomáticas de carácter débil que involucran reemplazamiento ya sea K-Na, Na-Ca o Ca-K y es muy probable que se hayan desarrollado durante la etapa deuterica y asociada a fluidos magmáticos residuales tardíos. (Rong & Wang, 2016). Seguidamente un evento de alteración

Cuarzo-Sericita, datado por Ardila y Ayala, 2017, de 184 ± 1 Ma, que concuerda con el contexto de la geología regional, ya que Mantilla, 2013 y Van der Lelij, 2015, sugieren que el magmatismo del Jura-Triásico finaliza a los ± 194 y rocas sedimentarias (Cretácicas) han sido reportadas a comienzos del colapso del arco magmático. Por su asociación a estructuras, ya que la alteración cuarzo-sericita, que se encuentra asociada a la Falla el Gaital y el evento de epidotización asociado a la Falla de Onzaga, se plantea una posible concordancia de estos eventos, que corresponden al inicio del colapso del arco magmático, donde predomina el régimen extensivo y la formación de fallas normales que permiten la circulación y escape de fluidos. Aunque no fue posible identificar la génesis del evento de epidotización se plantean dos teorías: Producto de un sistema geotermal donde las aguas formadoras provienen de un cuerpo plutónico alcalino o por infiltración de aguas meteóricas. (Ambos dados a su pH neutro)

Posteriormente, se generó un evento de Silicificación identificado a partir de la aparición de vetillas de cuarzo calcedónico hospedadas en un cuerpo leucogranítico, cortando el evento de epidotización. Este cuarzo generalmente se forma a temperaturas entre $100-200^{\circ}\text{C}$, en zonas epitermales, donde el pH es alto y poca temperatura (Corbett y Leach, 1998).

Finalmente, el evento supérgeno y/o superposición de manera local sobre las rocas aflorantes, caracterizado por la aparición de venas de caolinita? reconocidas a escala microscópica que cortan perpendicularmente al cuarzo calcedónico y a la roca hospedadora.

8. Discusión

La superposición de alteraciones hidrotermales en las rocas diferenciadas tales como monzogranitos, granodioritas y diques de composición riolítica concuerda perfectamente con lo observado tanto en la campaña de campo como en los análisis petrográficos. Al igual que Ardila y Ayala, 2017, se evidenciaron alteraciones regionales y locales. Las alteraciones regionales, que afectan el Batolito de Mogotes fueron identificadas a escala microscópica y se encuentran ya sea superpuestas o contiguas con las alteraciones de carácter local. Las regionales fueron identificadas como: Sericitización leve y moderada de plagioclasas y cloritización parcial y total de biotitas, concordando con Ardila y Ayala, 2017. Cabe resaltar que la cloritización parcial y epidotización parcial de anfíboles pueden estar relacionados con el evento de epidotización. La cloritización se evidenció producto de alteración co-orientada parcial y total de la biotita y parcial junto con epidota, ambos productos de alteración de la hornblenda. Este evento de alteración se encontró asociado en las rocas que presentan epidotización. Ya más localmente, por microscopía se reconoció otra textura: Muscovitización co-orientada de la biotita, nombrada por (Rong & Wang, 2016), la cual es producto de la interacción fluidos que contienen Si y Al por los planos de exfoliación de las biotitas, desplazando minerales originales de este y transformando la biotita en muscovita. (Figura 25). Otras alteraciones y/o texturas superpuestas por alteraciones locales son las que evidencian metasomatismo Na-Ca, texturas gráficas, pertíticas y anti-pertíticas; concordando con Ardila y Ayala, 2017), y Almanzar y Pinilla, 2017.

En cuanto a los patrones de fallamiento reconocidos en la zona de estudio, Las Fallas Onzaga y el Gaital son las de mayor importancia. La Falla Onzaga, reconocida como falla satélite del Sistema de Fallas Bucaramanga-Santa Marta, la cual presenta un alineamiento Norte – Sur (Vargas H, Arias T, Jaramillo C, & Tellez I, 1981). Esta falla adquiere importancia, ya que alrededor de ella se encuentra con mayor intensidad el evento de epidotización sobre las rocas del Batolito de Mogotes. La Falla El Gaital, en inmediaciones a esta aparece la alteración Cuarzo-Sericita, concordando con Ardila y Ayala, 2017; y un posible control de esta falla para la aparición de vetillas de Cuarzo Calcedónico en la zona.

La primera alteración local, de acuerdo a su importancia es el evento de epidotización. Estas epidotas hidrotermales pueden variar según distintos parámetros tales como la presión, temperatura, la fugacidad de oxígeno, fugacidad de CO₂, asociación mineral de la roca caja y química del fluido alterante. De estos anteriores, la temperatura, la fugacidad de CO₂ y la fugacidad de O son las de mayor importancia a la hora de determinar la composición de las epidotas. (Arnason, Bird, & Liou, 1993). Generalmente las epidotas cristalizan gracias a fluidos de alto PH y que poseen un bajo contenido en CO₂, sin embargo, puede ocurrir una asociación con minerales que se han formado bajo unas condiciones de un PH más bajo y mayor CO₂ como calcita y algunos minerales arcilla lo cual sugiere un desequilibrio y da lugar a la posibilidad de que hayan ocurrido más de un evento hidrotermal tal y como lo menciona Absar (1991).

Según lo anterior, se infiere que el fluido causante de la epidotización no presentó un desequilibrio o variaciones significativas que dieran paso a la formación de calcita y minerales arcillosos, aunque cabe resaltar que algunas muestras exhiben una asociación de filosilicatos generados a partir de la alteración de anfíboles que a su vez también se están alterando a epidota;

con estos datos se podría deducir un posible cambio en las propiedades del fluido. Por consecuente es posible que las diferencias entre los tamaños de cristales en las epidotas (ya sea en vetillas, bolsas pegmatíticas y de manera diseminada) estén ligadas a diferentes eventos sin que el fluido haya sufrido algún tipo de cambio que permitiera la formación de otros cristales.

El evento de epidotización, se caracteriza por su paragénesis mineral Epidota-Cuarzo±Albita±Apatito, por sus características texturales y espaciales dentro de las rocas del batolito y en relación también con las demás alteraciones presentes, este evento no es posible definirlo como una alteración propilítica ya que para afirmar con certeza tal argumento sería ideal la presencia tanto de clorita como de calcita y piritita (Cooke, Pacey, Wilkinson, & Boyce, 2016), sobretodo de esta primera, pero estos minerales no se encuentran presentes en la paragénesis de esta alteración, la clorita parece estar asociada a otro evento como ya se ha mencionado el cual también involucra sericitización de las plagioclasas.

En algunos sistemas hidrotermales pueden generarse variaciones en las propiedades termodinámicas de los fluidos cuando estos se encuentran cercanos a la zona de punto crítico del agua lo que causa reacciones químicas y propagación de fracturas así como menciona Norton & Dutrow (2001) y las epidotas presentan un rango amplio de formación en cuanto a la temperatura, puede generarse en sistemas geotermales a una temperatura menor a los 200°C sin embargo puede presentarse en temperaturas mayores a los 260°C (Seki, 1972) e inclusive alcanzar los 400°C (Pandit, Panigrahib, & Moriyama, 2014), estas son estables en escenarios que abarcan valores de presión y temperatura entre los cuales está el punto crítico del agua. Esto podría explicar la vetilla de textura brechoide que se presenta en la muestra JC-03 ya que posiblemente los fluidos causantes de la alteración abarcaron rangos en los cuales se cumplen lo mencionado por Norton & Dutrow

(2001) y el fluido eventualmente generaría un hidrofracturamiento en la roca el cual da lugar a tal vetilla (figura 9), No obstante las epidotas muestran una relación Tamaño-Temperatura, a medida que aumenta la temperatura los cristales de epidota son más grandes, Partier et al. (1990) muestra un análisis en epidotas euhedrales en anteriores espacios abiertos como vetillas o vesículas, de un paleosistema geotermal en donde los cristales de estas muestran un aumento en su longitud (lado más largo del cristal) desde aproximadamente $44\mu\text{m}$, a 225°C hasta $1117\mu\text{m}$, a una temperatura de 340°C .

Con relación a lo anterior, la característica principal de las muestras que pueden sugerir una diferenciación de posibles distintos episodios es el tamaño de los cristales de epidota y cómo estas se encuentran en relación a los cristales de las rocas originales, sin embargo en la descripción petrográfica de las muestras se observa que aquellos cristales de epidota generados a partir de la alteración de plagioclasas muestran los tamaños más pequeños y el color de interferencia de estos pequeños cristales tiende a ser en su mayoría amarillo y no se aprecia un cambio de colores en el mismo cristal (manto de arlequín), estas características son apreciables en los cristales de mayor tamaño.

Epidota en borde de vetillas: estos cristales son los de menor tamaño, muestran un pleocroísmo bastante marcado que se observa un poco turbio o más opaco (café amarilloso, café verdoso) (Ver apéndice A, muestra JC03)

Epidota en vetillas: los cristales tienden a ser más grandes en donde las vetillas presentan mayor grosor, no obstante, es posible apreciar vetillas de un grosor que no superan los 0.5mm los cuales presentan cristales de mayor tamaño (entre 0.3 a 0.6mm) pero estos tienen su forma pobremente

desarrollada a diferencia de aquellos en las vetillas principales los cuales tienden a ser subhedrales generalmente y suelen cortar las vetillas principales de mayor grosor (Figura 14).

Epidota intersticial: estas aunque pueden ser de un tamaño muy pequeño (desde 100 μ m) también presenta cristales de epidota con tamaños que superan los 0.6mm.

Las pequeñas inclusiones que se presentan en algunos conjuntos de cristales de epidota y cuarzo como se observa en los resultados del SEM, la composición principal de estos consiste en Si, Ca y Ti principalmente, con pequeñas cantidades de Al y Fe. Aparecen abundantemente en las muestras que presentan epidotización, pero están se muestran relacionadas a los cristales de mayor tamaño que tienden a ser subhedrales, muestran cierta sinuosidad (Figura 18) dentro de los cristales de epidota y cuarzo, sin embargo, los cristales de cuarzo no exhiben extinción ondulosa u otra característica que permita inferir que hubo actividad tectónica que causó tal sinuosidad en esas inclusiones.

Para el evento de epidotización, se plantean posibles sub-eventos que formarían esta epidotización: El primer evento producto de un sistema geotermal generado gracias un cuerpo alcalino, por medio de estructuras como la Falla de Onzaga y el Gaital, sirvan de canales para que estos fluidos circulen y afecten las rocas del Batolito o simplemente por percolación de aguas meteóricas, que por gradiente geotérmico se calentaron y generaron este evento. El estudio de esta epidotización es de importancia para lograr discriminar el origen de esta, ya sea producto de un fluido de un cuerpo alcalino o de aguas meteóricas por percolación; junto con análisis químicos para conocer la composición de las epidotas, ya que son de significativa ayuda en la geología económica como vector de exploración de minerales. (Cooke, y otros, 2014) (Wilkinson, Harman, & Wilkinson, 2015) En dado caso que el fluido haya sido originado por un cuerpo ígneo que

posiblemente de pie a la formación de un depósito David Cooke (2014) menciona que en las zonas más proximales a un depósito (zonas cercanas a la alteración potásica) la epidota muestra enriquecimiento en Cu, Mo, Au, Sn y en las zonas que se encuentran a una distancia mayor a 1.5km, las epidotas muestran un enriquecimiento en As, Sb, Pb, Zn, Mn para sistemas de depósitos porfíricos y estos análisis han sido realizados por medio de Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente, sin embargo las características de esta alteración como ya se mencionó no concuerdan con un tipo de alteración propilítica que es justamente la cual se genera en estos tipos de depósitos.

En cuanto a texturas metasomáticas, las cuales se encuentran asociadas al evento de epidotización, la albita presente aparece de manera completamente irregular como ya se mencionó en los resultados petrográficos, su aparición casi siempre se encuentra relacionada o está próxima a las epidotas (Ver apéndice A, muestras JC02 y JC04), las características que presenta esta albitización permiten inferir un reemplazamiento hetero-orientado del feldespató potásico por albita (Rong & Wang, 2016). En donde la epidotización es más fuerte (Ver apéndice A, muestras JC02 y JC04) aparece albita tipo chessboard la cual se asocia a un reemplazamiento de feldespató potásico gracias a metamorfismo o metasomatismo, presentando un maclado con un patrón de alternancias en blanco y negro (Moore & Liou, 1979). Debido a que esta albita chessboard presenta unos bordes muy irregulares en contacto con la epidota (Figura 18) es difícil conocer su relación con el evento de epidotización. Al oeste de la zona hay reportes de un metasomatismo Na-Ca por fluidos enriquecidos principalmente en Na evidenciado en los feldespatos y por la generación de cuarzo vermicular (Ardila & Ayala, 2017). Otras texturas de metasomatismo identificadas se asocian principalmente en los leucogranitos que presentan cuarzo calcedónico, donde se evidencia

textura mirmequítica y en menor proporción textura pertítica. Estas texturas implican un reemplazamiento de carácter leve sobre estas rocas, lo que implica que es muy probable que el desarrollo de estas texturas se haya dado por reacciones sub-solidus durante la etapa deuterica y se encuentren ligadas con fluidos magmáticos residuales tardíos; al igual que lo concluido por Ardila y Ayala, 2017 en su tesis de grado.

La alteración presente en los bordes de los anfíboles no es clara ya que la composición en los datos arrojados por el SEM no concuerdan con la composición esencial de algún filosilicato, posiblemente se pueda correlacionar con illita. Ya que esta es una alteración que se presenta junto con la formación de epidota tal y como se muestra en la Figura 21, podría atribuirse al mismo evento, estos dos tipos de alteración pueden presentarse en una misma zona afectada por fluidos hidrotermales (Larson, Cunningham, & Naeser, 1994).

Como segundo evento y/o alteración se encuentra la alteración cuarzo-sericita se encuentra ubicada en la zona occidental del área de estudio, la cual es la más pervasiva de todas, ya que destruye en su totalidad la roca original (La roca original es de composición riolítica) y aflora sobre las quebradas Panamá y La Leona, y en el desvío hacia la vereda San Cayetano. (Figuras 12 y 13).

La aparición local de esta alteración concuerda con los estudios de (Ardila y Ayala, 2017), y (Almanzar y Pinilla, 2017), ya que encontrada principalmente en diques riolíticos. La pervasividad de ella varía, ya que fue reportada de manera leve a moderada mientras que en el área de estudio afecta los diques en su totalidad, no dejando remanentes de la roca original. Petrográficamente se evidencia y corrobora que esta alteración es la de mayor intensidad en la zona este del área de estudio y posiblemente formado producto del escape de fluidos de fallas adyacentes, ya que fue

datado y sus edades arrojan 184 ± 1 Ma. (Ardila y Alvarez, 2017). Lo que concuerda totalmente con lo planteado, ya que La Falla el Gaital es la principal estructura para el escape de fluidos y como ya se mencionó, los afloramientos encontrados fueron en inmediaciones a esta estructura.

La última alteración o evento reconocido a escala macroscópica, que, a su vez, corta el evento de epidotización es la aparición de vetilla de cuarzo calcedónico. El cual fue encontrado cortando un cuerpo de composición leucogranítica, que presenta epidotización tanto en vetillas y diseminada, las cuales son cortadas por este evento. (Figura 26 y 27). Este cuarzo generalmente se forma a temperaturas entre $100-200^{\circ}\text{C}$, en zonas epitermales, donde el pH es alto y poca temperatura (Corbett y Leach, 1998). Este cuarzo es cortado de manera perpendicular por venas de caolinita?. Otras texturas de metasomatismo identificadas se asocian principalmente en los leucogranitos que presentan cuarzo calcedónico, donde se evidencia textura mirmequítica y en menor proporción textura perítica.

El último aspecto a discutir es la cartografía. Fue levantada a escala 1:25000 en la que se tuvo en cuenta trabajos realizados como la plancha 136-Málaga (Escala 1:100000). Los rasgos y aspectos geológicos más determinantes son: El reconocimiento de un patrón de fallamiento con dirección NW/W-SE/E en la zona, diferentes en dirección a los que aparecen en el mapa base aunque si se indica la Falla de Onzaga, la cual tampoco se encuentra cartografiada en la plancha. Estas estructuras afectan principalmente, el Batolito de Mogotes, cuerpo donde se encontraron evidencias de alteraciones hidrotermales, ya reportadas en zonas aledañas al área de estudio por Ardila y Ayala, 2017, y Almanzar y Pinilla, 2017. (Figura 3). También se diferencian áreas específicas donde aflora tanto los Esquistos de Silgará hacia la parte noreste del área y la Formación Floresta hacia la parte Suroeste.

9. Conclusiones

Se identificaron las diferentes alteraciones hidrotermales en el área de estudio, las cuales afectan las rocas ígneas del Batolito de Mogotes. La siguiente caracterización se establece de mayor a menor intensidad y extensión en la zona de estudio:

- Epidotización
- Alteración cuarzo-sericítica
- Cloritización co-orientada y parcial de biotitas
- Muscovitización de biotitas

Se determinó que las Fallas Onzaga y el Gaital presentan una estrecha relación con la alteración tipo Epidotización, ya que en cercanías a estas estructuras se reconocieron las diferentes apariciones de epidota en la zona: En Vetillas, en bolsas de pegmatita y diseminadas.

Se reconoció que la alteración cuarzo-sericítica se encuentra relacionada principalmente con los cuerpos riolíticos asociados al Batolito de Mogotes en cercanía al municipio de San Joaquín y al bloque sur de la Falla el Gaital.

Se descarta que el evento de epidotización sea una alteración propilítica debido a la ausencia de minerales tales como Clorita, Calcita y Pirita, las únicas cloritas que se pueden apreciar en algunas muestras no presentan una relación directa con este evento. La presencia de pirita se asocia a la alteración cuarzo-sericítica que presentan los cuerpos riolíticos del bloque sur de la falla El Gaital.

Los cambios en la temperatura del fluido que generó el evento de epidotización se ven evidenciados en los tamaños de los cristales de epidota y la relación entre las vetillas. Teniendo en cuenta lo anterior se caracterizaron las distintas apariciones de los cristales de epidota en distintos subeventos, cada uno representando un cambio en la temperatura del paleofluido, ya que esta por medio de los análisis realizados no es posible determinar. Los subeventos son:

- Generación de vetillas principales con agregados microcristalinos menores a 100 μ m
- Generación de vetillas de menor grosor que cortan las vetillas gruesas principales
- Formación de epidotas presentes de manera intersticial en relación a los cristales de la roca original
- Epidotas idiomorfas.

Mediante los análisis petrográficos y SEM-EDS se lograron identificar los distintos minerales pertenecientes al grupo de la epidota que se encuentran en las rocas de la zona de estudio como resultado de la epidotización, estos minerales son: Epidota, Piemontita y Allanita.

Por medio de SEM-EDS y petrografía se determinó la paragénesis perteneciente al evento de epidotización, la cual es Epidota-Cuarzo \pm Albita \pm Apatito.

Las inclusiones en forma de agujas asociadas a los cristales de Cuarzo y Epidota son cristales de Titanita, según los datos arrojados por el SEM-EDS.

Se logró identificar por medio de relaciones de campo que el evento de Silicificación (cuarzo calcedónico) es posterior al evento de epidotización.

Por medio de los análisis realizados no se logró identificar un cambio en las propiedades químicas del fluido que ha generado la epidotización ya que no se evidencia una variación composicional significativa en los resultados arrojados por el SEM-EDS.

10. Recomendaciones.

Realizar análisis isotópicos y de inclusiones fluidas para con ellos determinar la temporalidad del evento de epidotización y caracterizar las propiedades físico-químicas del fluido que originó esta alteración.

Determinar una variación composicional más precisa de las epidotas y cloritas hidrotermales por medio de LA-ICP-MS, el cuál proporcionaría una base fundamental para determinar la génesis de estas dos alteraciones y posibles implicaciones.

Continuar con el análisis de la epidotización siguiendo las trazas de las fallas principales de la zona (Onzaga, El Gaital y San Cayetano) para establecer su extensión y relación con los demás cuerpos rocosos del macizo ya que en este trabajo se evidenció que estas fallas y la alteración de tipo epidotización están asociadas.

Referencias Bibliográficas

- Absar, A. (1991). Hydrothermal Epidote - An Indicator of Temperature and Fluid Composition. *Journal of Geological Society of India*, vol. 38, issue 6.
- Arnason, J., Bird, D., & Liou, J. (1993). Variables Controlling Epidote Composition in Hydrothermal and Low-Pressure Regional Metamorphic Rocks. *Abh.Geol.B.-A*, p:17-25.
- Bird, D. K., & Spieler, A. R. (2004). Epidote in Geothermal Systems. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, vol. 53., pag: 235-300.
- Castro Dorado, A. (2015). *Petrografía de Rocas Ígneas y Metamórficas*. Madrid-España: Paraninfo SA.
- Cooke, D. R., Baker, M., Hollings, P., Sweet, G., Chang, Z., Danyushevsky, L., . . . Inglis, S. (2014). New advances in detecting the distal geochemical footprints of porphyry systems-Epidote mineral chemistry as a tool for vectoring and fertility assessments . *Society Economic Geologists* , 127-152.
- Cooke, D., Pacey, A., Wilkinson, J., & Boyce, A. (2016). Propylitic alteration and metal mobility in porphyry systems: a case study of the Northparkes Cu-Au deposits, NSW, Australia. *Applied Earth Science. Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy: Section B*.
- Galvis Niño, A. N., & Briceño Pinzón , A. (2016). *Estudio petrográfico, geoquímico y geocronológico de las rocas riolíticas aflorantes en inmediaciones al municipio de Onzaga (Dpto de Santander, Cordillera Oriental, Colombia)*. Bucaramanga.

Mantilla Figueroa, L. C., & García Ramírez, C. A. (2018). Geología y geocronología de las litologías aflorantes en el tramo Mogotes-San Joaquín (Sector SW del Macizo de Santander). *Boletín de Geología*, 123-144.

Mantilla, L. C. (2011). Mioceno en el Distrito Minero de Vetas-California (Macizo de Santander). *Boletín de Geología* 33, 43-58.

Mantilla, L., García, C., & Valencia, V. (2016a). Propuesta de escisión de la denominada 'Formación Silgará (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en zircones detríticos. *Boletín de Geología* 38, 33-47.

Mantilla, L., García, C., & Valencia, V. (2016b). Nuevas evidencias que soportan la escisión de la formación Silgará y propuesta de un nuevo marco estratigráfico para el basamento metamórfico del Macizo de Santander (Cordillera Oriental de Colombia). *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.*, 40 (155):, 320-336.

Martin, W. (1956). Thorium-bearing minerals in New Zealand. *International journal of science*.

Mckenzie, W., & Guilford, C. (s.f.). *Atlas de Petrografía. Minerales formadores de rocas en laminas delgadas*. . MASON S.A.

Moore, D., & Liou, J. (1979). Chessboard-twinned albite from Franciscan metaconglomerates of the Diablo Range, California. *American Mineralogist*. vol. 64., pag: 329-336.

Moreno-Sánchez, M., Gómez-Cruz, A., & y Castillo-González, H. (2005). La Formación Floresta Metamorfoseada (sensu Ward et al., 1973) no es la Formación Floresta sin metamorfosear. *Memorias X Congreso Colombiano de Geología*. Bogotá, 1-7.

Norton, D., & Dutrow, B. (2001). Complex behavior of magma-hydrothermal processes: role of supercritical fluid. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. vol. 65. No 21., pag: 4009-4017.

Pandit, D., Panigrahi, M., & Moriyama, T. (2014). Constrains from magmatic and hydrothermal epidotes on crystallization of granitic magma and sulfide mineralization in Paleoproterozoic Malanjkhand Granitoid, Central India. *Chemie der Erde* , 715-733.

Patrier, P., Daniel, B., Touchard, G., & Fouillac, A. M. (1990). Crystal size of epidotes: A potentially exploitable geothermometer in geothermal fields? *Geology*. vol 18. No 11., pag: 1126-1129.

Pirajno, F. (2009). *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Perth-Australia: Springer.

Robb, L. (2005). *Introduction to ore-forming processes* . Blackwell.

Rong, J., & Wang, F. (2016). *Metasomatic Textures in Granites. Evidence from Petrographic Observation*. Beijing-China: Springer.

Royero Gutiérrez , J. M., & Clavijo, J. (1999). Geología del Departamento de Santander. *Ingeominas*.

Royero Gutiérrez, J. M., & Clavijo, J. (2001). Mapa Geológico Generalizado Departamento de Santander. *Ingeominas*.

Seki, Y. (1972). Lower-grade stability limit of epidote in light of natural occurrences. *Journal of the Geological Society of Japan*. vol. 78. No 8., pag: 405-413.

Severin, K. P. (2004). *Energy Dispersive Spectrometry of common rock forming minerals* . Kluwer Academic Publishers .

Van der Lelij, R., Spikings, R., Ulianov, A., Chiaradia, M., & y Mora, A. (2016). Paleozoic to Early Jurassic history of the northwestern corner of Gondwana and implications for the evolution of the Iapetus, Rheic and Pacific Oceans. *Gondwana Research* 31, 271-294.

Vargas H, R., Arias T, A., Jaramillo C, L., & Tellez I, N. (1976). Plancha 136-Málaga. Escala 1:100.000. Versión digital 2009. *Ingeominas*.

Vargas H, R., Arias T, A., Jaramillo C, L., & Tellez I, N. (1981). Geología de las planchas 136 Málaga y 152 Soatá cuadrángulo I-13,. *Ingeominas Informe 1712*, 83p.

Vargas H, R., Arias T, A., Jaramillo C, L., & Tellez I, N. (1987). Plancha 152-Soatá. Escala 1:100.000. Versión digital 2009. *Ingeominas*.

Vlach, S. (2012). Micro-structural and compositional variations of hydrothermal epidote-group minerals from a peralkaline granite, Corupá Pluton, Graciosa Province, South Brazil, and their petrological implications . *Anais da Academia Brasileira de Ciencias* , 405-423.

Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, B., Jaramillo, C., & Restrepo, H. (1973). Geología de los cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander. *US Geological Survey e Ingeominas. Boletín Geológico*, 21, 1-132.

Wilkinson, C., Harman, E., & Wilkinson, J. (2015). Epidote Chemistry in contrasting hydrothermal and metamorphic Environments . *Imperial College London*.