

ESTUDIO MINERALÓGICO-PETROGRÁFICO Y GEOQUÍMICO DE LAS ROCAS
PORFIRÍICAS Y SUS ALTERACIONES HIDROTERMALES ASOCIADAS,
AFLORES AL NORTE DEL MUNICIPIO DE PIJAO
(DEPARTAMENTO DE QUINDIO)

MARIA FERNANDA RAMÍREZ SERRANO
YURLEY ANDREA RINCÓN GARCÍA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO – QUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA

2017

ESTUDIO MINERALÓGICO-PETROGRAFICO Y GEOQUÍMICO DE LAS ROCAS
PORFIRÍTICAS Y SUS ALTERACIONES HIDROTERMALES ASOCIADAS,
AFLORES AL NORTE DEL MUNICIPIO DE PIJAO
(DEPARTAMENTO DE QUINDIO)

MARIA FERNANDA RAMÍREZ SERRANO
YURLEY ANDREA RINCÓN GARCÍA

Trabajo de grado para optar al título de Geólogo

Director

LUIS CARLOS MANTILLA FIGUEROA
Geólogo PhD en Petrología y Geoquímica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO – QUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA

2017

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander junto con la Escuela de Geología, por promover espacios que velan por una formación integral de calidad.

Al profesor Luis Carlo Mantilla Figueroa, director del presente trabajo, por confiar en nosotras y compartir su conocimiento a lo largo, tanto del desarrollo de este proyecto como en nuestra carrera profesional.

Agradecemos al Laboratorio de Microscopía de la Universidad Industrial de Santander – Parque Tecnológico de Guatiguará y su personal, por el servicio de microscopía suministrado para la adquisición de datos.

A Luis Eduardo Garrido, encargado del laboratorio de preparación de muestras, por su acompañamiento y apoyo incondicional en el proceso de elaboración de las secciones delgadas utilizadas en este trabajo.

A nuestras familias, porque es en su seno donde radican la inspiración y motivación, necesarias para trazarnos mentas y llegar a ellas.

A las personas que hemos encontrado a lo largo de este camino de formación, a ellas gracias por crecer con nosotras; sin ellas esta aventura no habría sido igual.

A Dios.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	17
1 OBJETIVOS.....	19
1.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2 GENERALIDADES	20
2.1 LOCALIZACIÓN	20
2.2 FISIOGRAFIA	21
3 METODOLOGIA	22
3.1 ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO	22
3.2 TRABAJO DE CAMPO	23
3.3 DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA	23
3.4 PREPARACIÓN DE MUESTRAS.....	23
3.5 CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA	24
3.6 ANÁLISIS LITOGEOQUÍMICOS.....	24
3.7 INTERPRETACIÓN DE DATOS Y ELABORACIÓN INFORME FINAL	24
4 ANTECEDENTES.....	25
4.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	25
4.2 MARCO GEOLÓGICO LOCAL.....	27
5 RESULTADOS	30
5.1 RELACIÓN DE CAMPO	30
5.1.1 Litologías aflorantes en el área de estudio.....	30
5.1.2 Petrografía	31
5.1.3 Petrografía de minerales opacos.....	54

5.1.4	Microscopia electrónica de barrido (SEM).....	58
5.2	GEOQUÍMICA	60
5.2.1	Clasificación de la roca muestras ARQ-1 Y ARQ-2.....	60
5.2.2	Elementos menores y trazas ARQ-1 Y ARQ-2.....	61
5.2.3	Ambiente tectónico ARQ-1 Y ARQ-2.....	62
5.2.4	Clasificación de las rocas de las muestras ARQ-3 Y ARQ-4	64
5.2.5	Elementos menores y traza de las muestras ARQ-3 Y ARQ-4	65
5.2.6	Ambiente tectónico de las muestras ARQ-3 Y ARQ-4	66
5.3	INTERPRETACION DE RESULTADOS	68
6.	CONCLUSIONES.....	73
7.	RECOMENDACIONES.....	74
	BIBLIOGRAFIA	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio, municipio de Pijao (Quindío). _____	20
Figura 2. Organigrama de la metodología utilizada. _____	22
Figura 3. Mapa litodémico y morfoestructural del noroeste de Suramérica. ____	26
Figura 4. Esquema de la distribución de unidades litológicas y sistemas de fallamiento en la Cordillera Central _____	29
Figura 5 Esquema geológico en 3D de la zona de estudio. _____	31
Figura 6. Mapa Geológico de la zona de estudio. _____	32
Figura 7. Muestras de mano correspondientes al cuerpo 1. A Dacita. B. Andesita porfídica. _____	33
Figura 8. Fotografía tomada en N// (A) y NX (B) con objetivo de 4X mostrando “escamas” de biotita hidrotermal y contenido importante de minerales opacos__	34
Figura 9. A y B Fotografía en N// y NX con objetivo 10X, cristal de Epidota (Hidrotermal). C y D Fotografía en N// y NX con objetivo 10X , fractura llenada por minerales opacos además de oxidación de minerales, esto asociado a alteración supergénica. _____	34
Figura 10. A Y B. Cristal de ortoclasa (esquina superior derecha), Biotita primaria y secundaria. C Y D. Intercrecimiento de cristales de plagioclasas alterando a sericita. _____	36
Figura 11. A y B cristal de cuarzo con embabiamiento, el cual está siendo llenado por la matriz. C y D Vena de minerales opacos bordeada por óxidos y sericita. _	37
Figura 12. Muestra de mano de las rocas andesíticas aflorantes en el stock 2 __	38
Figura 13. A. Fenocristales de plagioclasas alterándose a sericita concéntricamente, en una matriz de grano fino compuesta mayormente por plagioclasas. B. Cristales de anfíbol presentes a manera de inclusiones en fenocristales de plagioclasas, en una matriz de grano fino. Nicoles cruzados, objetivo 4X _____	39

Figura 14. Intercrecimiento de cristales de augita y plagioclasas. Textura Simplectita _____	39
Figura 15. A Augita fracturada alterándose a clorita b. vetilla de plagioclasas con bordes oxidados _____	40
Figura 16. Muestra de mano de una roca dacítica aflorante en el stock 3 _____	40
Figura 17. A. Cristales de plagioclasas alteradas y algunos opacos, embebidos en una matriz de plagioclasas y biotita. B. Plagioclasas con macla albita, biotita hidrotermal. _____	41
Figura 18. Plagioclasa con cristales de biotita a manera de inclusiones. _____	42
Figura 19. Anfíbol alterado a biotita secundaria. _____	42
Figura 20. Muestras de mano correspondientes a las litologías vistas en el cuerpo 4. A Basalto. B Dacita. C. Andesita. _____	43
Figura 21 Fotografías en N// y NX con objetivo de 4X en las que se muestran textura glomeroporfírica donde plagioclasas y cuarzo están siendo bordeados por biotita hidrotermal y sericita. _____	44
Figura 22. Fotografía mostrando en N// y NX con objetivo 4X: A Vetilla tipo D. B Vetilla tipo B _____	45
Figura 23. A Textura afánítica, plagioclasas exhibiendo macla tipo albita, alteración de minerales de la matriz a Bt, Cl y Sericita principalmente B Fenocristal de horblenda alterado completamente a clorita y biotita. _____	46
Figura 24. Fotografía en N// y NX con objetivo 4X mostrando fractura con minerales opacos y clorita en algunos sectores. Centro, plagioclasa alterada a epidota. Esquina superior izquierda fenocristal de feldespato alterando a sericita.. _____	47
Figura 25. Andesita, matriz de grano fino, textura porfírica, fenocristales de plagioclasas (centro hacia abajo) macla polisintética en intercrecimiento. _____	47
Figura 26. Fotografías N// y NX con objetivo 4X donde A y B muestran matriz de grano fino con critales de piroxenos y fenocristal de mayor tamaño de cuarzo con textura de embaimiento y fracturado. C y D En el centro vetilla de cuarzo y biotita	

cortando la matriz de grano fino, fenocristal de feldespato (microclina) esquina izquierda inferior. _____	49
Figura 27. A Dacita B. Andesita _____	50
Figura 28. Plagioclasa albitizandose en la parte inferior derecha de la sección, se encuentra en una matriz de plagioclasas y algunos feldespatos potásicos. Las fracturas de la roca están rellenas de biotita y algunos sulfuros _____	51
Figura 29. En el centro de la fotografía se observa biotita alterándose en los bordes a clorita. Esta se encuentra rodeada de Biotita hidrotermal y algunas plagioclasas y feldespatos potásicos. (La imagen de la izquierda corresponde a nicoles paralelos y la imagen de la derecha a nicoles cruzados) _____	51
Figura 30. Vetilla de cuarzo y sulfuros (Pirita y calcopirita) cortando fenocristales de plagioclasas alterándose a sericita. A la derecha fotografía en nicoles cruzados 4X (B) y a la izquierda nicoles paralelos 4x (A) _____	52
Figura 31. Vetilla rellena de biotita secundaria y algunos cuarzos, rodeada por biotita secundaria, plagioclasas. Se encuentra cortando una vetilla perpendicular de biotita _____	52
Figura 32. Hacia la parte superior de la fotografía se observa plagioclasas ligeramente zonada, fracturada con vermiculita relleno de las mismas. _____	53
Figura 33. A. Vetilla de cuarzo, biotita y plagioclasa. B) Vetilla sinuosa de cuarzo y sulfuros con borde de biotita. Fotografías en nicoles cruzados, 4X _____	54
Figura 34. Difractomas indicando la presencia de calcopirita y magnetita respectivamente _____	58
Figura 35. Aspecto de la pirita en electrones retrodispersados y espectro con los picos principales de Fe y S. _____	59
Figura 36. Difractograma mostrando la presencia de un óxido de titanio _____	59
Figura 37. Diagrama SiO ₂ Vs Zr/TiO ₂ para la clasificación de rocas ígneas basado en Winchester y Floyd 1977. _____	61
Figura 38. Diagrama de tierras raras, normalizado a condrito (Izquierda) y normalizado a Manto primitivo (derecha) _____	62

Figura 39. Diagramas considerando las relaciones Ta vs Yb y Rb Vs (Y+Nb) según Pearce (1987)	63
Figura 40. Diagrama de la relación entre el contenido de K ₂ O y SiO ₂ . Clasificando las rocas como rocas sub-alcalinas y medias en K. según Le Maitre 1989.	64
Figura 41. (a) Diagrama de discriminación Zr/TiO ₂ Vs SiO ₂ (Winchester y Floyd, 1977) (b) Diagrama de discriminación Nb/Y Vs Zr/TiO ₂	65
Figura 42. Elementos traza normalizados a manto primitivo de las muestras ARQ-3 Y ARQ-4	66
Figura 43. (a) Discriminación Ti-Zr-Y, (b) Discriminación basaltos Zr Vs Zr/Y	67
Figura 44. Diagrama de REE normalizado a Condrito (Nakamura, 1974), modificado de (Toro, 2014)	68
Figura 45 Evolución del fluido magmático	70
Figura 46 Zonación de las diferentes alteraciones presentes en un sistema tipo pórfido	71

ANEXOS

- ANEXO A. Geoquímica Arquía
- ANEXO B. Resultados SEM
- ANEXO C. Mapa zona de estudio
- ANEXO D. Listado de muestras recolectadas.

NOTA: Estos anexos pueden ser visualizados en el CD ubicado en base de datos de la biblioteca central UIS.

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO MINERALÓGICO-PETROGRAFICO Y GEOQUÍMICO DE LAS ROCAS PORFIRÍTICAS Y SUS ALTERACIONES HIDROTERMALES ASOCIADAS, AFLORANTES AL NORTE DEL MUNICIPIO DE PIJAO (DEPARTAMENTO DE QUINDIO) ¹

AUTORES: MARÍA FERNANDA RAMÍREZ SERRANO & YURLEY ANDREA RINCÓN GARCÍA²

PALABRAS CLAVE: Complejo Arquía, Porfidos, Alteración hidrotermal, geoquímica, petrografía

DESCRIPCION

El Complejo Arquia aflorante en el sector de Pijao del Departamento Quindío, sobre la Cordillera Central de los Andes Colombianos, se encuentra compuesto por el Grupo Bugalagrande y el Grupo Rosario, los cuales están intruidos por el Stock Granodiorítico de Córdoba, y a su vez por los cuerpos intrusivos identificados en este estudio, cuyo emplazamiento se halla controlado por las fracturas asociadas al sistema de fallas Cauca-Romeral y Silvia Pijao. Estos cuerpos de composición dacítica y andesítica compuestos principalmente por fenocristales de plagioclasas, piroxénos, anfíboles. Además, muestran un enriquecimiento en sulfuros y exhiben alteraciones hidrotermales, de las cuales la alteración potásica es evidenciada por vetillas de biotita, plagioclasas cuarzo sinuosas (Tipo A) y de composición cuarzo-pirita (Tipo B). La alteración clorita/sericita está acompañada de vetillas con halo de sericita (Tipo D) y una transformación parcial de algunos minerales, por ejemplo: la horblenda. Finalmente la alteración argílica favorece la formación de óxidos en la roca. Por otra parte, los elementos de tierras raras normalizados a condrito y elementos traza presentan un leve enriquecimiento en LREE y un empobrecimiento en HREE, con anomalías negativas en Nb. La relación de Ta-Yb asocia las rocas a un ambiente de arco volcánico, sugiriendo una serie calco-alcalina alta en potasio. Basados en los resultados obtenidos, los cuerpos de interés cumplen con características afines a la mineralización vista en las rocas del cinturón del Valle del Cauca Medio (Formación Marmato).

¹ Proyecto de grado

² Facultad de Ingenierías Físico-químicas. Escuela: Geología. Director: Luis Carlos Mantilla Figueroa Geol. PhD

ABSTRACT

TITLE: MINERALOGIC, PETROGRAFIC AND GEOCHEMICAL STUDY OF THE PORFIRITIC ROCKS AND ITS HYDROTHERMAL ALTERATIONS, OUTCROPING NORTH OF PIJAO (QUINDIO) ³

AUTHORS: MARIA FERNANDA RAMIREZ SERRANO & YURLEY ANDREA RINCON GARCIA. ⁴

KEYWORDS: Arquia Complex, porphyry, hidrotermal alteration, geochemical, petrography.

DESCRIPTION:

The Arquia Complex outcropping on Pijao (Quindio) on the Central Cordillera of the Colombian Andes, is composed by the Bugalagrande Group and the Rosario Group. This groups are intruded by the Granodioritic Stock of Cordoba and by the intrusive bodies identified on this paper, which emplacement is controlled by the Cauca-Romeral and Silvia-Pijao Fault systems. These dacitic and andesitic porfiritic bodies, are mainly composed by phenocrysts of plagioclase, pyroxenes, amphiboles. Besides that, they also show a sulfur enrichment and exhibit hydrothermal alterations, in which the Potassic alteration is evidenced by the biotite, plagioclasic sinuous (Type A) and Quartz-pyrite composition (Type B) veinlets. The Chlorite/Sericite alteration is accompanied by veinlets with sericite halo (Type D) and the parcial transformation of some minerals such as the hornblende. Finally an argillic alteration favors the formation of oxides in the rock. On the other hand, the rare earth elements normalized to the chondrite and traced elements displays a level of enrichment in LREE and an impoverishment in HREE, with negative anomalies in Nb. Also the relation Ta-Yb links the rocks to a volcanic arc environment, suggesting a Calc-alkaline series high in potassium. Based on the results obtained, the bodies of interest on this paper are likely to be related to the rock on the Middle Cauca Valley (Marmato Formation).

³ Proyecto de grado

⁴ Facultad de Ingenierías Físico-químicas. Escuela: Geología. Director: Luis Carlos Mantilla Figueroa Geol. PhD

INTRODUCCION

La mineralogía, petrografía y geoquímica son disciplinas de gran importancia en el ámbito de las geociencias, ya que por medio de la implementación y análisis de las mismas, permiten entender y conocer tanto el comportamiento como los procesos que dieron lugar a la formación de determinada roca. Debido a procesos que tienen lugar después de su formación, las rocas pueden sufrir cambios en su composición; un ejemplo de estos procesos son los asociados a alteraciones hidrotermales, donde la interacción de fluidos con la roca, sumado a las condiciones de temperatura, presión y composición del fluido, dan como resultado la formación de nuevos minerales a partir de los preexistentes en la roca primaria.

Las rocas del Complejo Arquía en inmediaciones del municipio de Pijao, Quindío, se encuentran intruídas por cuerpos porfídíticos que despertaron el interés a realizar el presente trabajo. Dichos cuerpos fueron observados principalmente en la carretera intermunicipal que de Pijao conduce a Buenavista y según la literatura existente del área, “estas rocas ígneas intrusivas de composición intermedia pertenecen al Complejo Ígneo de Córdoba”⁵.

El Complejo Ígneo de Córdoba se encuentra hospedado por la Formación Quebrada Grande y el Grupo Bugalagrande; los cuerpos a estudiar localmente se encuentran intruyendo una franja de dirección NE de esquistos grafitosos-micáceos con lentes de anfibolita pertenecientes al Grupo Bugalagrande, “cabe resaltar que junto con Complejo el Rosario hacen parte del previamente mencionado Complejo Arquía”⁶. Los tamaños de las rocas de estudio varían desde dimensiones de diques a stock, sus composiciones varían entre andesíticas y dacíticas de texturas porfiríticas.

⁵ MCCOURT, William J. The Geology of the Central Cordillera in the Department of Valle del Cauca, Quindío and NW Tolima: British Geological Survey Report, V. Series 84, 1984 pp. 8-49

⁶ *Ibíd.*, p. 17

Este trabajo de proyecto de grado, tiene por objetivo principal el estudio mineralógico-petrográfico y geoquímico de las rocas porfíricas aflorantes en cercanías al municipio de Pijao (Dpto de Quindío), para fines de su clasificación, caracterización de sus alteraciones hidrotermales y, para fines de contribuir de manera preliminar al conocimiento de su petrogénesis y su eventual potencial metalogénico.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio mineralógico-petrográfico y geoquímico de las rocas porfiríticas y sus alteraciones hidrotermales asociadas, aflorantes al norte del municipio de Pijao (Departamento de Quindío).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un trabajo de campo, en aras de coleccionar muestras y datos, relacionados con las litologías aflorantes en el área de estudio, y para fines de establecer relaciones litológicas.
- Estudiar las características mineralógico-petrográficas de las rocas porfiríticas aflorantes en el área de estudio y sus posibles alteraciones hidrotermales asociadas mediante análisis macroscópicos y microscópicos (microscopía óptica).
- Realizar análisis litogeoquímicos de las rocas porfiríticas para fines de apoyar su clasificación y para contribuir al conocimiento del ambiente tectónico del emplazamiento de los magmas silicatados relacionados con su formación.

2 GENERALIDADES

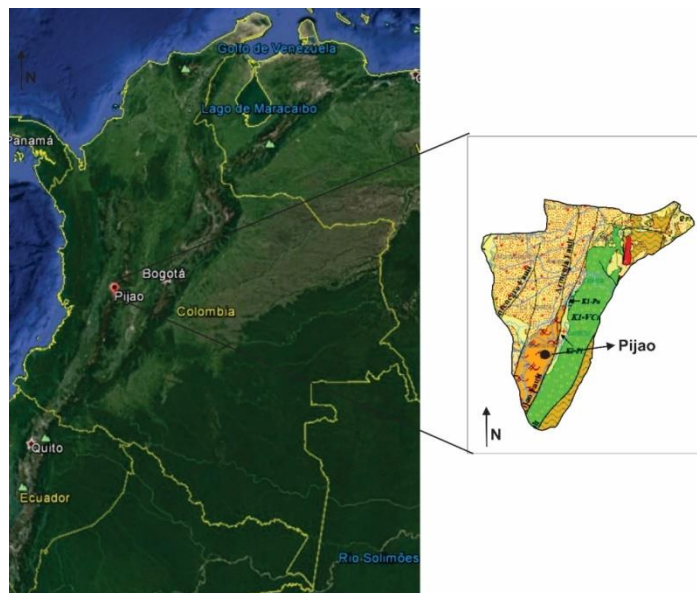
2.1 LOCALIZACIÓN

El municipio de Pijao, se encuentra ubicado en el departamento del Quindío Figura 1), en el borde occidental de la Cordillera Central. La zona de interés para el presente trabajo de investigación, se encuentra sobre la carretera intermunicipal que comunica dicho municipio con el municipio de Córdoba; como sector de referencia se considera la vereda Margarita. Teniendo en cuenta la información de la plancha 243-IV-A a escala 1:25000, la zona de estudio está delimitada por coordenadas planas así:

$$X_1 = 1150000 - X_2 = 1154000$$

$$Y_1 = 970000 - Y_2 = 978000$$

Figura 1. Localización del área de estudio, municipio de Pijao (Quindío).



Fuentes: Tomado y modificado de INGEOMINAS, 2007, Google Earth

El acceso al municipio de Pijao y su cabecera municipal, se hace principalmente desde Armenia, por la vía Armenia -Calarcá; luego por la vía Calarcá-Caicedonia se parte por un desvío localizado aproximadamente 2 km más adelante del casco urbano del Corregimiento de Barcelona, hasta llegar al municipio de Pijao aproximadamente a 8 km desde la bifurcación.

2.2 FISIOGRAFIA

Al estar ubicado en el flanco Oeste de la Cordillera Central, el paisaje visto en la zona es principalmente montañoso con pendientes moderadas a fuertes (Figura 2), “donde la acción de la Falla San Jerónimo produce plegamientos y continuos procesos de erosión. Adicionalmente se encuentran relacionados de igual forma a factores antrópicos y flujos de agua, regidos por quebradas que desembocan en el Rio Anaime (Cuenca Hídrica del Rio Lejos)”.⁷

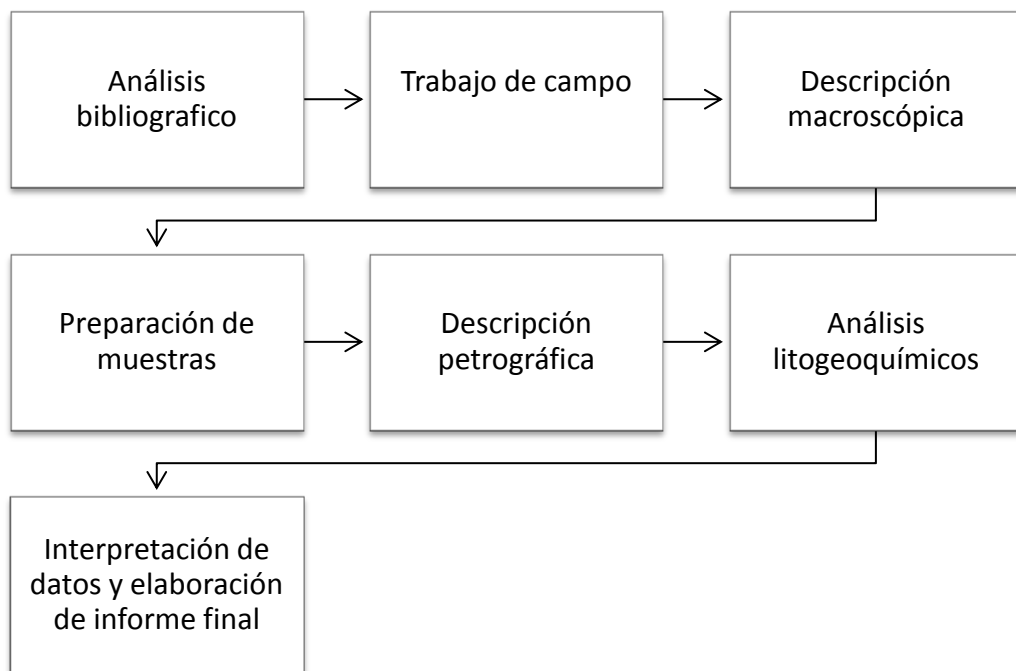
La topografía observada es variable, aunque el paisaje sea principalmente montañoso, también presenta valles y piedemonte hacia el oeste del municipio, así se tienen elevaciones que varían desde los 1150 msnm hasta 2200 msnm.

⁷ MCCOURT, William .J, *et al.* Reseña explicativa del mapa geológico preliminar Plancha 243 Armenia. INGEOMINAS,1985. P. 5.

3 METODOLOGIA

Con el fin de lograr los objetivos anteriormente mencionados, se siguieron 7 etapas o fases siguiendo un método deductivo. teniendo una premisa general se realizan procesos que llevan a obtener conclusiones de un caso particular, con énfasis en la teoría y modelos. Estas fases son enunciadas y descritas brevemente a continuación:

Figura 2. Organigrama de la metodología utilizada.



3.1 ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

Este trabajo de oficina permitió realizar una recopilación de la información existente sobre el área de estudio, tal como topografía, cartografía geológica,

informes y publicaciones geológicas, todo esto para conocer la geología regional y demás aspectos determinantes al momento de realizar la fase de campo.

3.2 TRABAJO DE CAMPO

La fase de campo se realizó en un total de 20 días, en los cuales fue posible reconocer estructuras, litologías y demás manifestaciones de las rocas ígneas de principal interés. Durante la etapa de campo fueron tomadas 30 muestras de las cuales se pre-seleccionaron 10 para análisis de laboratorio posteriores.

3.3 DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Esta se llevó acabo en las instalaciones del Laboratorio de lupas de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander (UIS), utilizando estereoscopios marca Nikon Inc. NI-150 modelo C-PS. El producto final de la descripción macroscópica fue un catálogo de muestras en el cual se destacan: Tipo de roca, contenido mineral, alteraciones y vetillas presentes en la roca, con esto se escogieron 10 muestras características para elaborar secciones delgadas para ser analizadas posteriormente en con microscopía óptica de luz transmitida.

3.4 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

La elaboración de las secciones delgadas fue llevada a cabo utilizando la instrumentación del laboratorio de preparación de muestras a cargo de la escuela de Geología, donde cada una de las muestras elegidas pasó por el proceso de corte, secado y pulido hasta tener las secciones para realizar la caracterización petrográfica.

3.5 CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA

Realizada en los laboratorios de microscopía óptica a cargo de la escuela de geología y del grupo de investigación en geología básica y aplicada (GIGBA). Se analizaron 10 muestras de las cuales fue posible identificar las fases minerales presentes en las muestras, microestructuras y alteraciones hidrotermales, todo esto para diferenciar minerales formados durante la etapa ígnea y minerales formados por procesos de alteración hidrotermal principalmente. Igualmente gracias a esto se seleccionaron 6 muestras características para un análisis más detallado enfocado en minerales opacos utilizando microscopio de luz reflejada en las instalaciones del laboratorio del grupo GIGBA en el parque tecnológico Guatiguará.

3.6 ANÁLISIS LITOGEOQUÍMICOS

Los análisis geoquímicos de roca total, se realizaron para cuantificar el contenido en éstas, de elementos mayores, menores y trazas (MMT), los cuales son de gran ayuda para clasificar la roca y poder establecer ambientes tectónicos de emplazamiento de sus magmas genéticamente relacionados, entre otros aspectos.

Las muestras seleccionadas para los análisis geoquímicos de roca total fueron enviadas para su preparación a la sede del laboratorio '**ALS Laboratory**', localizada en la ciudad de Bogotá.

3.7 INTERPRETACIÓN DE DATOS Y ELABORACIÓN INFORME FINAL

Una vez finalizados los análisis anteriores, se recopiló el total de los resultados obtenidos para ser interpretados y junto a la bibliografía existente, tener como resultado de este proceso el presente informe final (trabajo de tesis de pregrado).

4 ANTECEDENTES

4.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La Cordillera de los Andes es la cadena montañosa más larga del mundo; su comportamiento y naturaleza a lo largo de todo su dominio varía considerablemente de la parte sur y central con respecto a los andes del norte, específicamente Colombia; así el sistema orogénico andino colombiano es considerado como el resultado de varios eventos de acreción de terrenos.⁸

Colombia se encuentra ubicada en el bloque de los andes del norte. El área objeto del presente estudio, hace parte de un sector de los Andes del Norte, afectado principalmente por la subducción de la Placa Nazca (de naturaleza oceánica), por debajo de la Placa Suramericana.⁹

En el sur de Colombia los andes forman tres ramificaciones diferentes, las Cordilleras Oriental, Central y Occidental. El área al oeste de la Falla Romeral, es decir, el Bloque Choco, la Cordillera Occidental y parte de la Cordillera Central está compuesta por rocas acrecionadas desde mediados del Cretácico.

Según la clasificación de terrenos propuesta por Cediel¹⁰ el Complejo Arquía se encuentra localizado en el Terreno Romeral, el cual se encuentra delimitado hacia el este por el Sistema de Fallas Romeral y al Oeste por la Falla Cauca - Patía, este mismo está definido por un complejo de rocas máficas y ultramáficas, secuencias ofiolíticas y sedimentos oceánicos probablemente del Cretácico, el

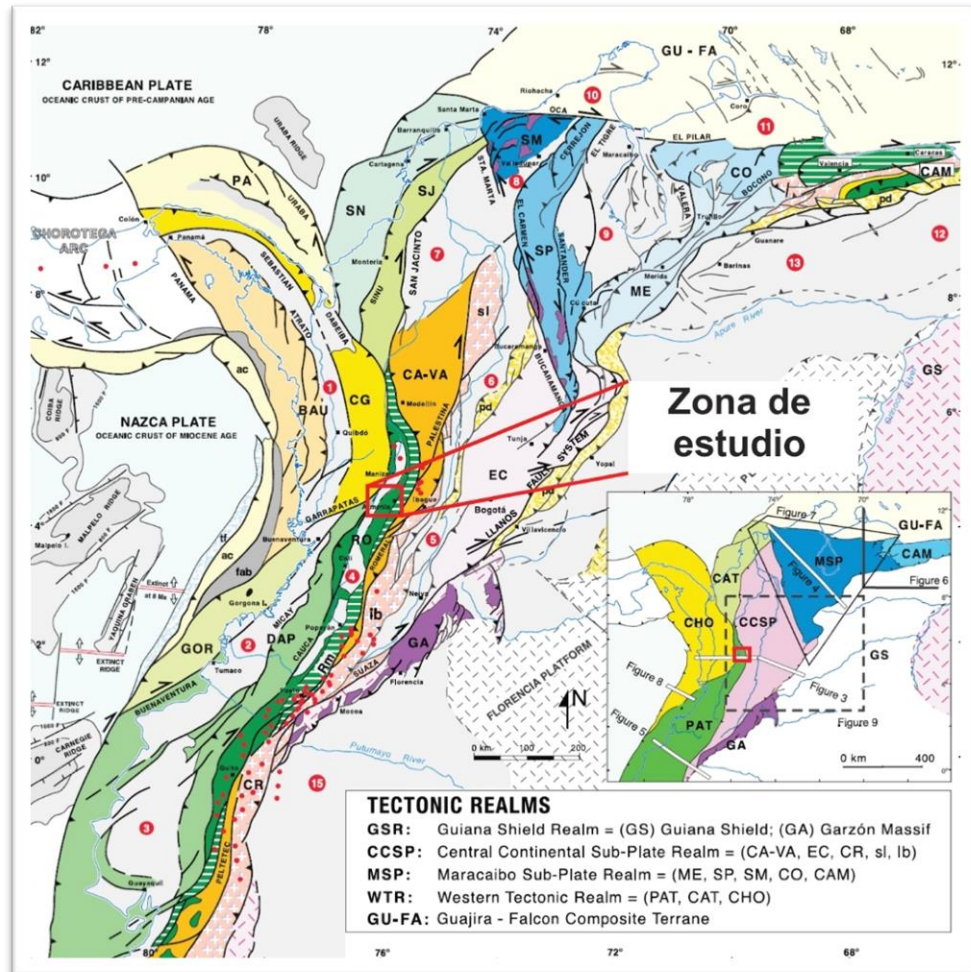
⁸ RESTREPO, Jorge Julian, *et al.* Triassic metamorphism in the northern part of the Tahamí Terrane of the central cordillera of Colombia. *Journal of South America Earth Sciences*, 3022, Vol. 34., p.503

⁹ CEDIEL, Fabio; SHAW, Robert; CÁCERES, Carlos. Tectonic Assembly of the Northern Andean Block. *AAPG memory* 79, 2003. p. 815-848.

¹⁰ *Ibíd.*, p. 829.

cual colisionó con el margen continental de Sur América durante el Cretácico – Cenozoico¹¹ (Figura 4).

Figura 3. Mapa litodémico y morfoestructural del noroeste de Suramérica.



Tomado de Cediel *et al.*, (2003)

Para el Complejo Arquía se han reportado edades entre 127 – 163 m.a.¹², el cual fue probablemente parte de un *ridge* oceánico, el cual posteriormente sufrió “metamorfismo con condiciones de temperatura y presión medias a altas, el cual

¹¹ *Ibíd.*, p.23.

¹² RESTREPO, Julian. Obducción y metamorfismo de ofiolitas Triásicas en el flanco occidental del terreno Tahamí, Cordillera Central de Colombia. Boletín de Ciencias de La Tierra, 2008, Vol. 22., p. 52.

fue exhumado y acrecionado al margen continental durante la fase compresional entre los 117 – 107 m.a.”¹³.

4.2 MARCO GEOLÓGICO LOCAL

La zona del presente estudio, está constituida principalmente al Oeste por rocas del Complejo Arquía (Grupo Bugalagrande y Rosario) y al Este por el Complejo Quebradagrande. El contacto entre estas dos unidades es tectónico y está definido por la Falla Silvia-Pijao la cual tiene una orientación N 25° E. Ambas unidades son intruídas por el Stock Granodiorítico de Córdoba. Cuerpos ultramáficos serpentinizados y fuertemente milonitizados se localizan a lo largo de la Falla Silvia-Pijao¹⁴.

El Grupo Bugalagrande aflora en la mayor parte de la zona de estudio y “está conformado principalmente por esquistos actinolíticos, cuarzo-actinolíticos, cloríticos, grafiticos, y hornbléndicos, de composición básica y con edad de 123 ± 12 M.a”¹⁵. Al Oeste se presenta limitado por la Falla Cauca - Almaguer que lo separa de la Formación Amaime y al Este se presenta en contacto fallado con las anfibolitas localmente granatíferas de edad 117-107 M.a¹⁶ del Complejo Rosario por medio de fallas menores pertenecientes al Sistema de Fallas Silvia-Pijao.

El Complejo Quebradagrande está conformado por un litodema volcánico y un litodema sedimentario afectados por un metamorfismo de bajo grado, cuyo límite tectónico occidental es la Falla Silvia-Pijao que lo pone en contacto con las rocas del Complejo Arquía y el límite tectónico oriental es la Falla San Jerónimo,

¹³ VILLAGOMEZ, Diego, *et al.* Geochronology, geochemistry and tectonic evolution of the Western and Central cordilleras of Colombia. Lithos magazine, 2011. p. 887.

¹⁴ *Ibíd.*, p.878.

¹⁵ MCCOURT. *Op. cit.*, p. 6.

¹⁶ VILLAGOMEZ. *Op. cit.*, p. 887.

esta vez poniéndolo en contacto con las rocas del Complejo Cajamarca¹⁷(Figura 4). “Cuerpos ultramáficos serpentinizados, de forma lenticular se presentan asociados a los sistemas de fallas principales a lo largo de toda la zona de estudio”¹⁸.

“El Stock Granodiorítico de Córdoba de edad Cretácea” con $79,7 \pm 2,5$ M.a.”¹⁹, se ubica entre las poblaciones de Génova y Pijao y está constituido por rocas que varían desde granodioritas hasta cuarzdioritas. Este cuerpo se presenta alargado e intruye rocas del Complejo Rosario y del Complejo Quebradagrande con el cual se presenta en contacto intrusivo hacia el Sureste y fallado al Este (Falla Córdoba), mientras al occidente una falla vertical con rumbo N50°E y una amplia zona de deformación, es quien las pone en contacto.

Se establecen principalmente tres sistemas de fallas para la zona de estudio: una dominante con orientación N25°E, otra con rumbo N20°W y un tercero y menos dominante con dirección cercana a E-W. La foliación con rumbo NE-SW y buzamiento SE, además la orientación de los estratos de rocas sedimentarias con rumbo NE-SW y buzamiento 30° a 70° SE, hacen parte de los datos estructurales tomados en rocas de la zona.²⁰

Debido a la presencia de varios patrones estructurales en el área de estudio, se presentan rocas de falla con textura cataclástica y deformación plástica. Estos parámetros deformacionales se relacionan a sistemas de fallas inversas con un azimut principalmente de 0°-45° en dirección este. Igualmente los contactos

¹⁷ MAYA, Mario; GONZALEZ, Humberto. Lithodemic units in the Central cordillera of Colombia. Geologic bulletin, Ingeominas 35, 1995. p. 49.

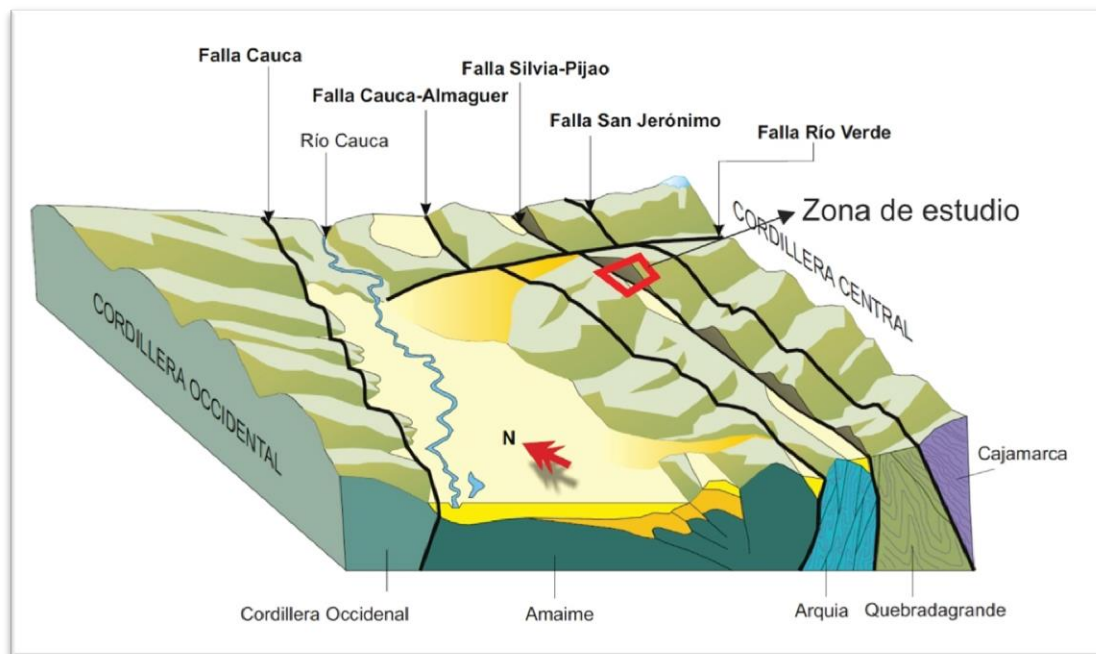
¹⁸ MCCOURT. Op. cit., p. 10.

¹⁹ VILLAGOMEZ. Op. cit. p. 881.

²⁰ AREVALO, Oscar; MOJICA, Jairo y PATARROYO, Pedro. Sedimentitas del Aptiano Tardío al sur de Pijao, Quebrada La Maizena, Flanco occidental de la Cordillera Central, Departamento del Quindío, Colombia.- GEOLOGIA COLOMBIANA, 26, 2001. p. 32.

subparalelos entre las diferentes litologías tienen un azimut 10° - 35° . Así pues, todas estas características estructurales además de evidenciar una fuerte actividad deformativa también evidencian la reactivación de algunas zonas de falla presentes en la zona de estudio²¹.

Figura 4. Esquema de la distribución de unidades litológicas y sistemas de fallamiento en la Cordillera Central



Tomado y modificado de López, (2006)

²¹ CAMARGO, Guillermo y MOJICA, Jairo. Reactivation (long-term evolution) of the Silvia Pijao Fault along the “Quebrada la Maizena”, western flank of central Cordillera, Quindio-Colombia. Geologic Colombiana, 2004. p. 14.

5 RESULTADOS

5.1 RELACIÓN DE CAMPO

En este capítulo se presentan rasgos macroscópicos y microscópicos de las litologías de interés reconocidas en la zona de estudio. Esto fue realizado mediante la implementación de microscopía de luz transmitida y reflejada.

5.1.1 Litologías aflorantes en el área de estudio

Ubicada en el flanco oeste de la cordillera central de Colombia, la zona de interés está controlada por 5 litologías diferentes entre las cuales priman las rocas metamórficas pertenecientes a los Complejos Rosario y Bugalagrande. De Oeste a Este las litologías aflorantes se disponen así:

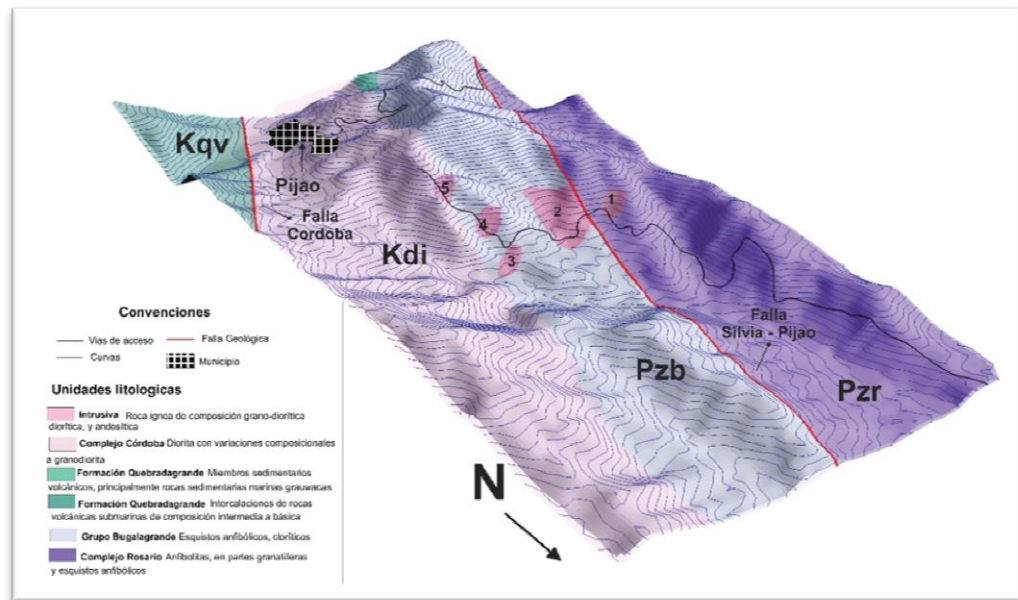
Anfibolitas con estructura masiva que constituyen franjas en sentido SW – NE, color gris verdoso, su composición anfibolítica se encuentra también caracterizada por la presencia de granates y algunos sulfuros diseminados. Esta litología se encuentra en contacto con franjas de esquistos que exhiben una foliación bien desarrollada; dichos esquistos son grafitosos, micáceos y anfibólicos con una orientación similar a la unidad mencionada anteriormente, de color gris oscuro las cuales están siendo intruídas por las rocas ígneas objeto de estudio.

Hacia el Este de esta litología se encuentra aflorando una franja intrusiva de composición diorítica – cuarzdiorítica, poco fracturada y altamente meteorizada, la cual se observa en la vía que conduce de Pijao hacia Armenia, y algunos sectores donde se encuentra moderadamente meteorizada. Debido al alto grado de meteorización no fue posible su caracterización litológica y textural detallada,

sin embargo se hizo su reconocimiento en campo y posteriormente en la fase de oficina.

Por último se identificaron rocas intrusivas de composición intermedia (Andesitas, Dacitas), las cuales se encuentran distribuidas espacialmente en los alrededores de las veredas Santa Cecilia, Coralito y Carnicero, asociados a 5 cuerpos magmáticos (Figura 5). A continuación se describirán cada uno de los 5 cuerpos ígneos de interés, junto con sus características petrológicas y geoquímicas.

Figura 5 Esquema geológico en 3D de la zona de estudio.



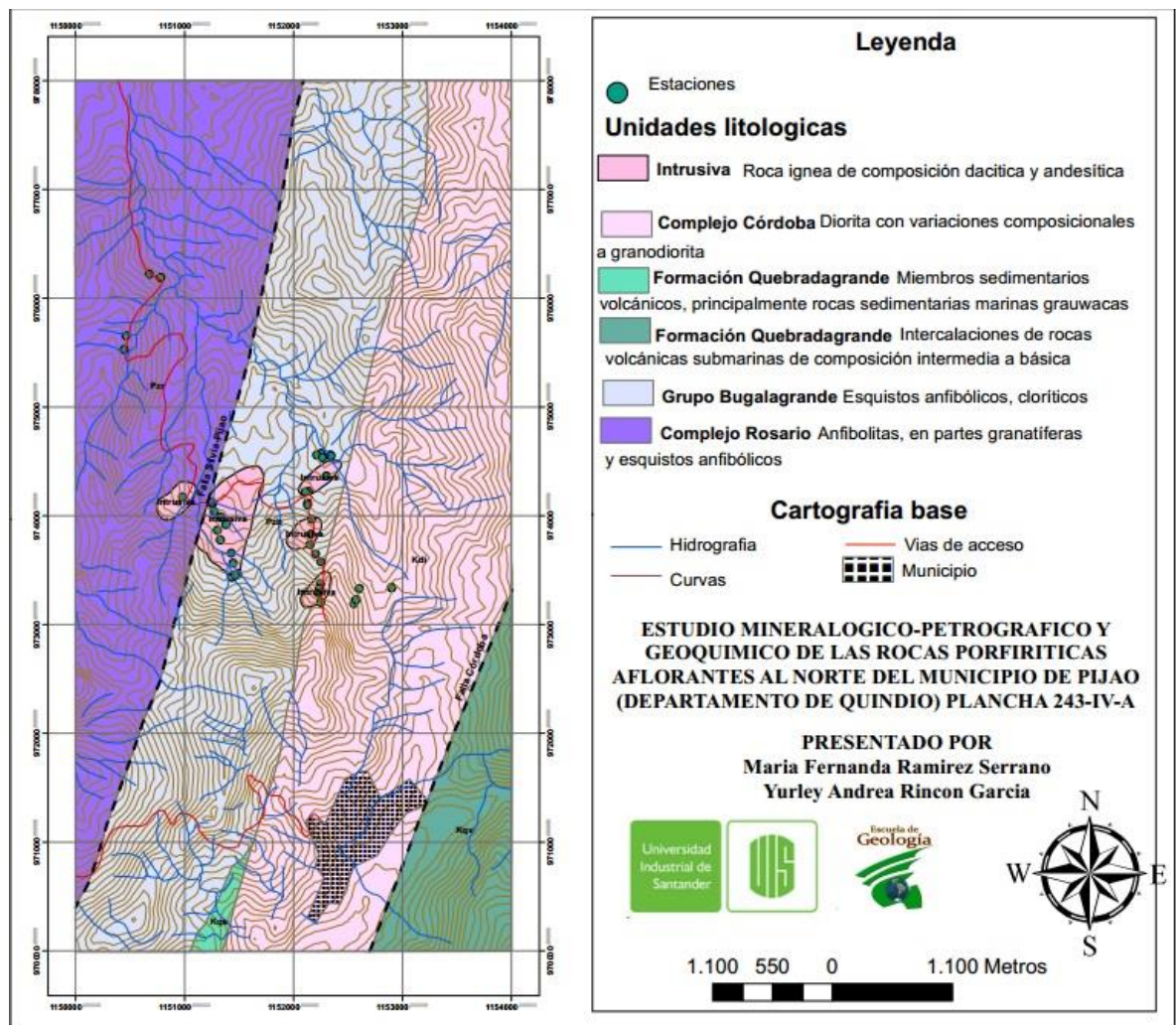
5.1.2 Petrografía

Gracias al trabajo realizado en campo se recolectaron 42 muestras de las cuales 10 fueron elegidas en base a sus características para análisis petrográficos posteriores (Anexo D)

Las litologías intrusivas reconocidas se agrupan en 5 cuerpos porfíricos diferentes en cuanto a su composición y características petrográficas; de igual forma en algunos cuerpos fue posible reconocer 1 o más pulsos. Estas litologías se encuentran afectadas por procesos de alteración hidrotermal, por lo que se indican los minerales correspondientes a la etapa ígnea y a las diferentes alteraciones hidrotermales.

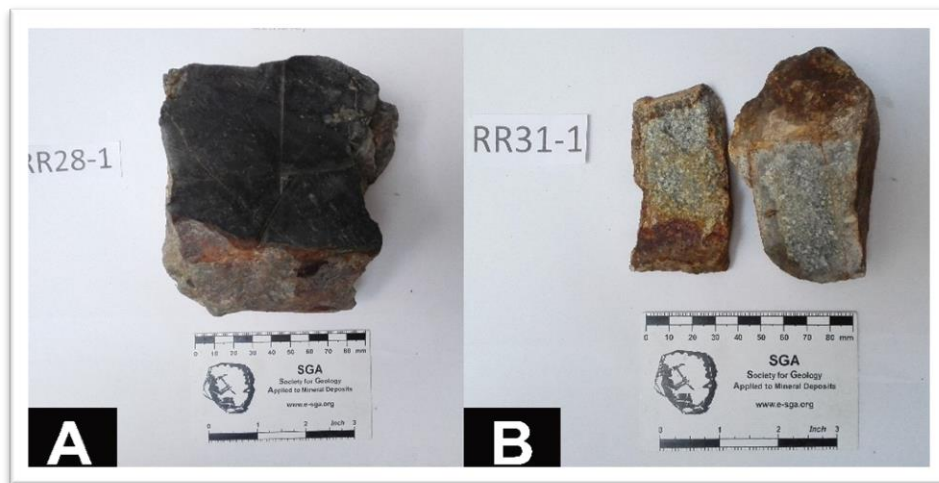
Los cuerpos porfíricos se encuentran descritos de NW a SE de la zona de estudio.

Figura 6. Mapa Geológico de la zona de estudio.



5.1.2.1 Cuerpo 1: Siendo el cuerpo ubicado más al norte de la cabecera municipal de Pijao y el de mayor área según la cartografía realizada se diferenciaron claramente dos pulsos correspondientes a dacita y andesita (Figura 6). A continuación relacionamos las características petrográficas de cada uno de ellos.

Figura 7. Muestras de mano correspondientes al cuerpo 1. A Dacita. B. Andesita porfídica.



5.1.2.1.1 Dacita: Roca de color gris oscuro, caracterizada por ser una roca holocristalina, inequigranular, tamaño de grano fino característico menor a 1 mm correspondiente a una textura afánitica, los minerales primarios presentes son: Cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico, piroxenos y biotitas. Se encuentra enriquecida en sulfuros que serán descritos en la petrografía de minerales opacos; dichos sulfuros están dispuestos principalmente en pequeñas bandas y vetillas de espesores menores a 0,2 cm que además de sulfuros están compuestas por óxidos y cuarzo (Figura 7A).

Fueron reconocidas dos clases de biotita, una primaria y otra producto a procesos de alteración hidrotermal (alteración potásica), esta biotita hidrotermal se encuentra reemplazando principalmente plagioclasas además, se encuentra llenando espacios intersticiales entre los contactos de los granos y llenando fracturas entre ellos (Figura 8). Como minerales provenientes de alteraciones hidrotermales sobresalen: Sericita, (Alteración sericitica), clorita y epidota (Alteración Propilitica), óxidos dispuestos principalmente en fracturas y venas (Alteración Supergena) (Figura 9).

Figura 8. Fotografía tomada en N// (A) y NX (B) con objetivo de 4X mostrando “escamas” de biotita hidrotermal y contenido importante de minerales opacos

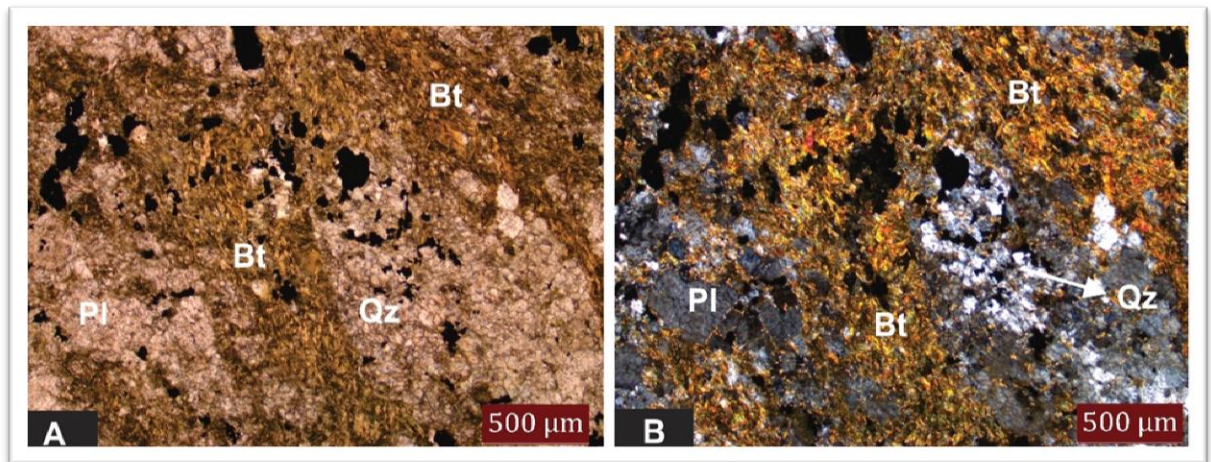
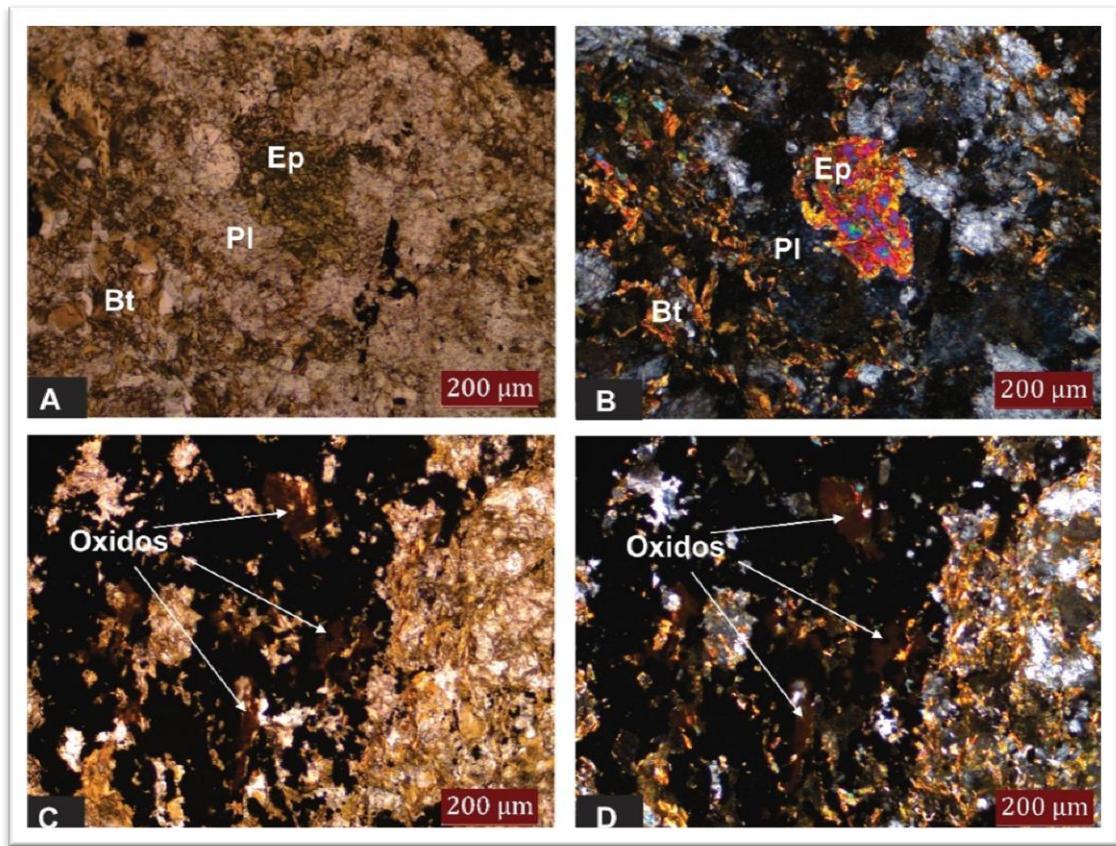


Figura 9. A y B Fotografía en N// y NX con objetivo 10X, cristal de Epidota (Hidrotermal). C y D Fotografía en N// y NX con objetivo 10X , fractura llenada por minerales opacos además de oxidación de minerales, esto asociado a alteración supergénica.



5.1.2.1.2 Andesita: Corresponde a una roca de color gris claro, equigranular, holocristalina con textura fanerítica con tamaño de grano fino a medio, caracterizada entre otras cosas, por presencia de magnetita diseminada en la muestra así como presencia de vetillas de Cuarzo y Pirita; está compuesta principalmente por plagioclasas, feldespato potásico, biotita, horblenda, augita, epidota y en menor proporción cuarzo (Figura 7B).

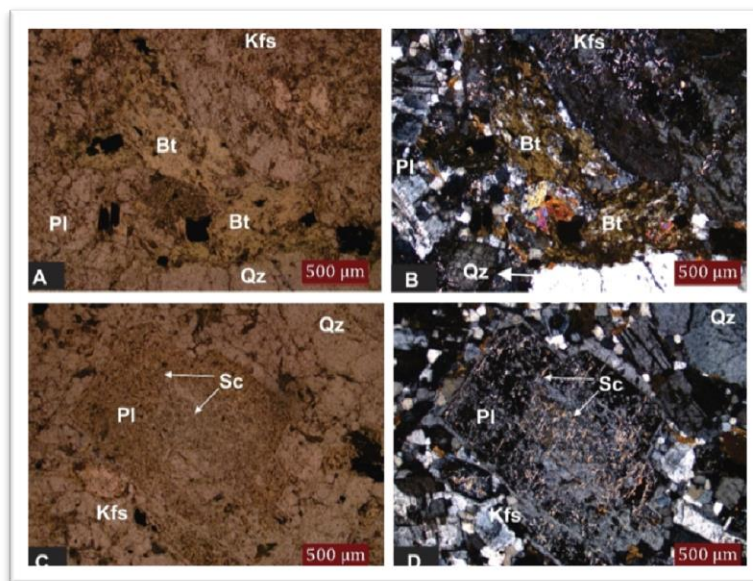
Las plagioclasas se disponen como individuos incoloros con bajo relieve y formas homeoblasticas y subidioblasticas, colores de interferencia grises de primer orden, con zonación normal y maclado polisintético característico en su mayoría, además de las características ya mencionadas se observa en algunos sectores

reemplazamiento total o parcial por minerales correspondientes a la epidota y a la sericita (Figura 10).

En relación con la anterior muestra, los procesos de alteración hidrotermal tales como: Calco-sódica, potásica, clorítica y supergena, muestran junto con las relaciones de corte que esta roca es posterior a la Dacita previamente descrita.

Se evidencian también otros rasgos importantes relacionados a eventos de alteración hidrotermal en esta roca, vemos biotita llenando espacios intersticiales (Figura 10) entre granos, también se ve en escamas (biotita) y como cristales correspondientes al evento magmático. El cuarzo fue posible reconocerlo bajo diferentes estados, cristales incoloros, bien formados, y en algunos sectores de la muestra se reconocieron cristales con embaiamiento; también textura poiquilitica.

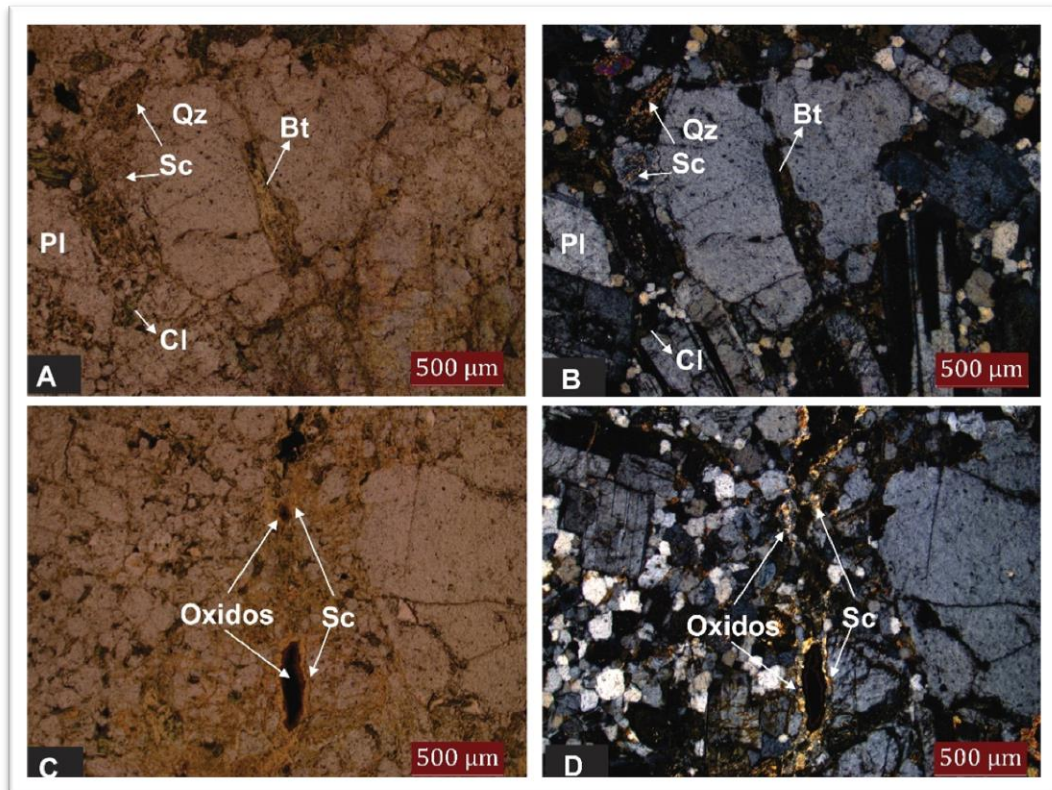
Figura 10. A Y B. Cristal de ortoclasa (esquina superior derecha), Biotita primaria y secundaria. C Y D. Intercrecimiento de cristales de plagioclasas alterando a sericita.



Finalmente, microfracturamiento está relacionado a la intensa actividad tectónica en el área de estudio; algunos de estos microfracturamientos se encuentran

rellenos por una posterior mineralización creando según sea el caso vetillas de las cuales se pudieron observar cuarzo y magnetita, con halo de sericita (Figura 11)

Figura 11. A y B cristal de cuarzo con embabiamiento, el cual está siendo llenado por la matriz. **C y D** Vena de minerales opacos bordeada por óxidos y sericita.



5.1.2.2 Cuerpo 2: Los fenocristales de plagioclasas con composiciones intermedias, y zonación normal concéntrica sódico-cálcica, donde se reconocen maclas polisintéticas tipo albita. Algunas plagioclasas presentan textura poiquilitica encerrando pequeños cristales de anfíboles embebidos y algunos feldespatos (Figura 13). Otras plagioclasas se encuentran en intercrecimiento con piroxenos (augita) formando una textura simplectita (Figura 14).

Figura 12. Muestra de mano de las rocas andesíticas aflorantes en el stock 2



La biotita presenta altos colores de interferencia, y se presenta diseminada en la sección, reemplazando algunos feldespatos de la matriz

Los fenocristales de piroxenos, algunas augitas se encuentran fracturados y en algunos sectores se está alterando a clorita (Figura 15) Se observan algunas vetillas de plagioclasas, con bordes de oxidación algo sinuosas (Figura 15)

Figura 13. A. Fenocristales de plagioclasas alterándose a sericita concéntricamente, en una matriz de grano fino compuesta mayormente por plagioclasas. B. Cristales de anfíbol presentes a manera de inclusiones en fenocristales de plagioclasas, en una matriz de grano fino. Nícoles cruzados, objetivo 4X

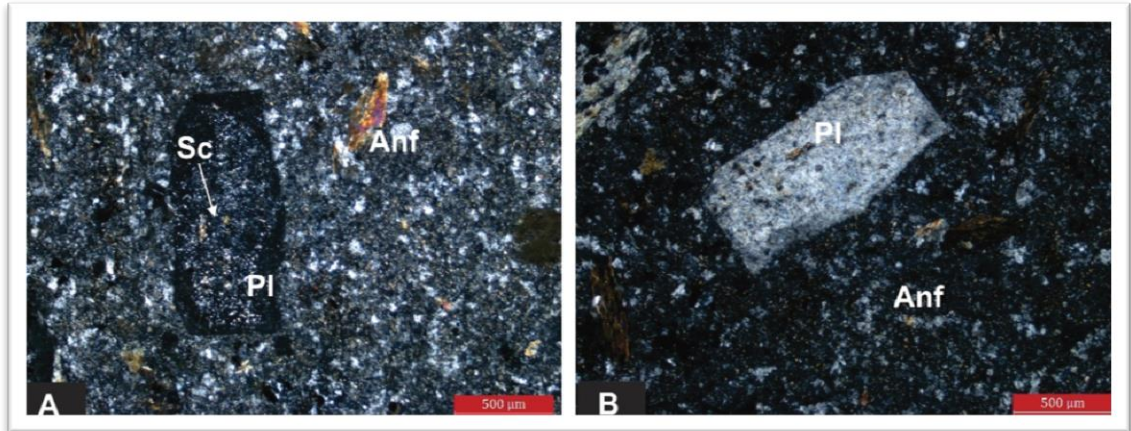


Figura 14. Intercrecimiento de cristales de augita y plagioclasas. Textura Simplectita

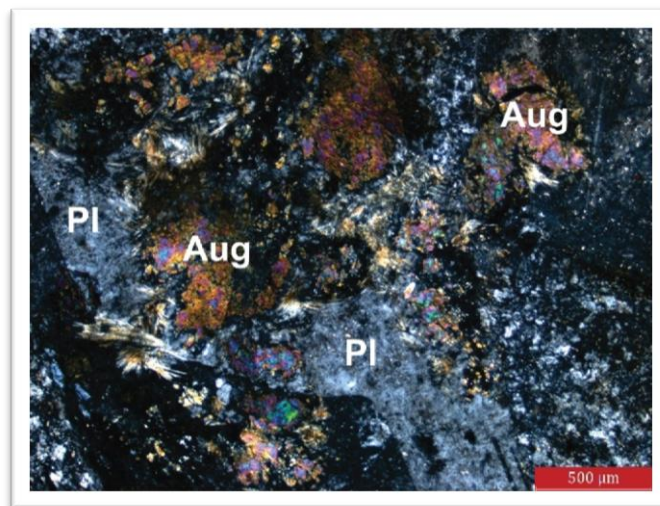
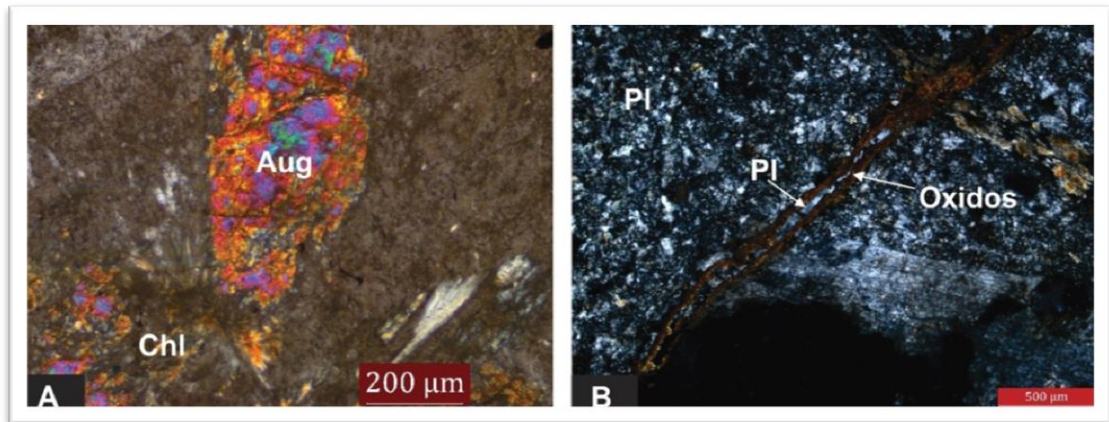


Figura 15. A Augita fracturada alterándose a clorita b. vetilla de plagioclasas con bordes oxidados



5.1.2.3 Cuerpo 3: Se exhibe una textura porfiritica, inequigranular con fenocristales de plagioclasas, piroxenos y anfíboles. En mayor porcentaje se encuentran los fenocristales de plagioclasas, y en menor porcentaje los anfíboles. Estos se encuentran dentro de una matriz holocristalina compuesta similarmente, además de algunos minerales opacos y otros de alteración, tales como la biotita (Figura 15).

Figura 16. Muestra de mano de una roca dacítica aflorante en el stock 3



Los fenocristales de plagioclasas, son los de mayor tamaño, con composiciones intermedias, reconociéndose macla de albita y cálcica. La zonación de las plagioclasas no es tan evidente, y se presenta en su mayoría idiomorfa. En algunos sectores las plagioclasas se encuentra casi totalmente reemplazada por biotita y vermiculita (Figura 17A), o con los bordes alterados igualmente a biotita (Figura 17B). Además, se observan algunas plagioclasas de mayor tamaño con inclusiones de cristales de biotita magmática (

Figura 18). Los anfíboles están alterándose en su mayoría a biotita (

Figura 19).

Figura 17. A. Cristales de plagioclasas alteradas y algunos opacos, embebidos en una matriz de plagioclasas y biotita. B. Plagioclasas con macla albita, biotita hidrotermal.

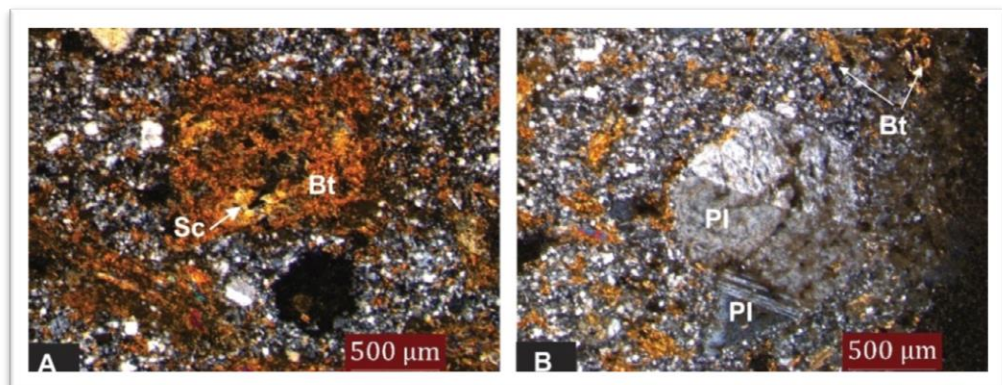


Figura 18. Plagioclasa con cristales de biotita a manera de inclusiones.

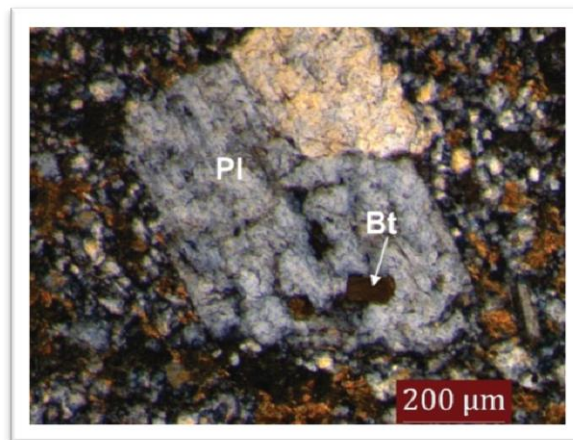
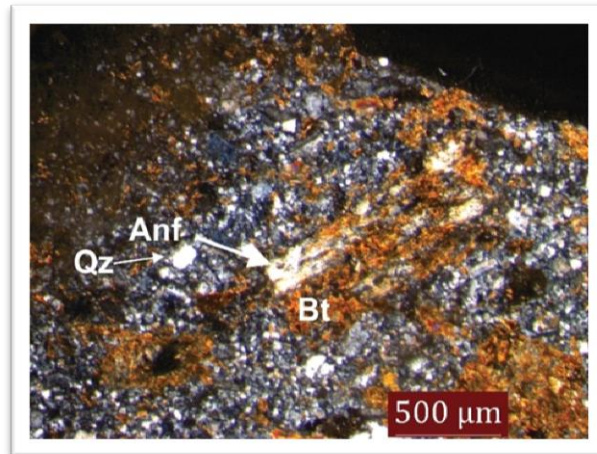


Figura 19. Anfíbol alterado a biotita secundaria.



Presencia de vetillas de plagioclasas con halos de pirita (vetillas EB) (Figura 18), las cuales se encuentran cortadas por vetillas de sinuosas de cuarzo con halos de pirita (Figura 17B).

5.1.2.4 Cuerpo 4: Este cuerpo se encuentra ubicado al sureste de la zona de estudio, fue posible reconocer y caracterizar 3 pulsos de composiciones diferentes, dichos pulsos en orden de ocurrencia corresponde a basaltos, diorita, andesitas.

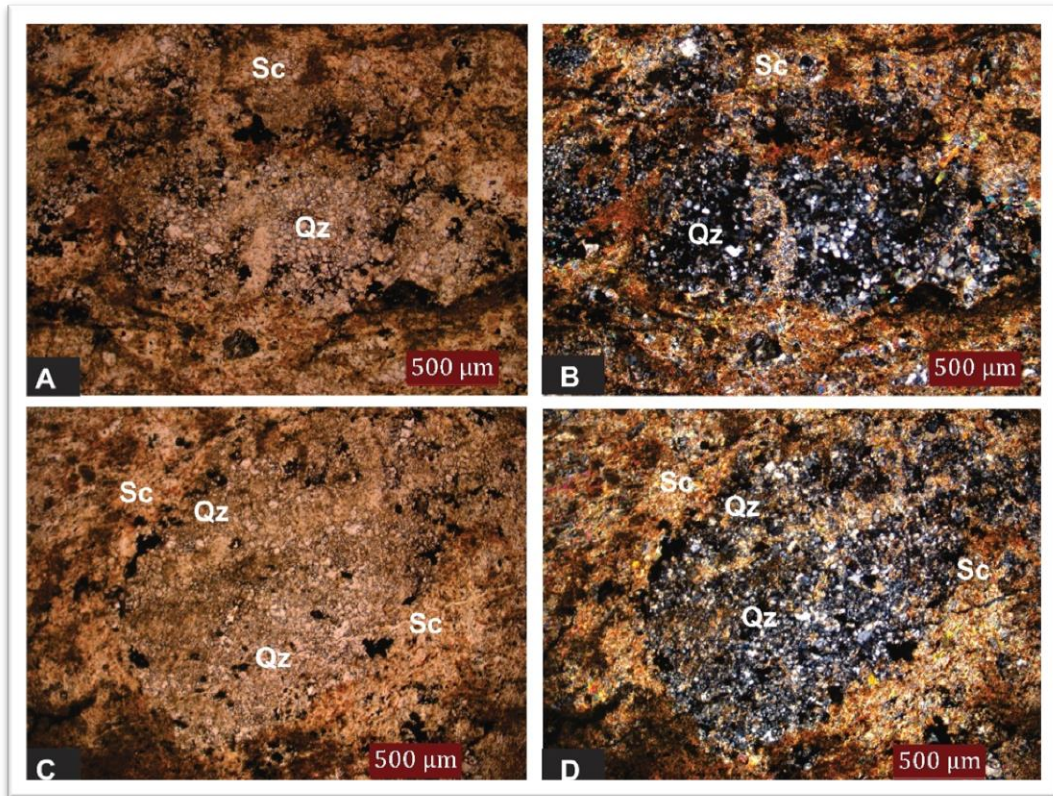
Figura 20. Muestras de mano correspondientes a las litologías vistas en el cuerpo 4. A Basalto. B Dacita. C Andesita.



5.1.2.4.1 Basalto: Roca de color gris oscuro, textura afánitica/ porfídica, matriz microcristalina, tamaño de grano fino, con cristales que se presentan anhedrales, presenta fenocristales (cuerpos blancos) que al mirarlos en sección delgada muestran estar conformados como un agrupamiento de micro cristales de plagioclasas principalmente ubicados en diferentes zonas en la muestra; dichos agrupamientos se encuentran bordeados por bandas sericita, biotita (secundaria) y clorita. Está compuesta principalmente por plagioclasas, hornblenda, Biotita, Bt secundaria, óxidos, minerales opacos y Cuarzo en menor proporción 15% (Figura 20A)

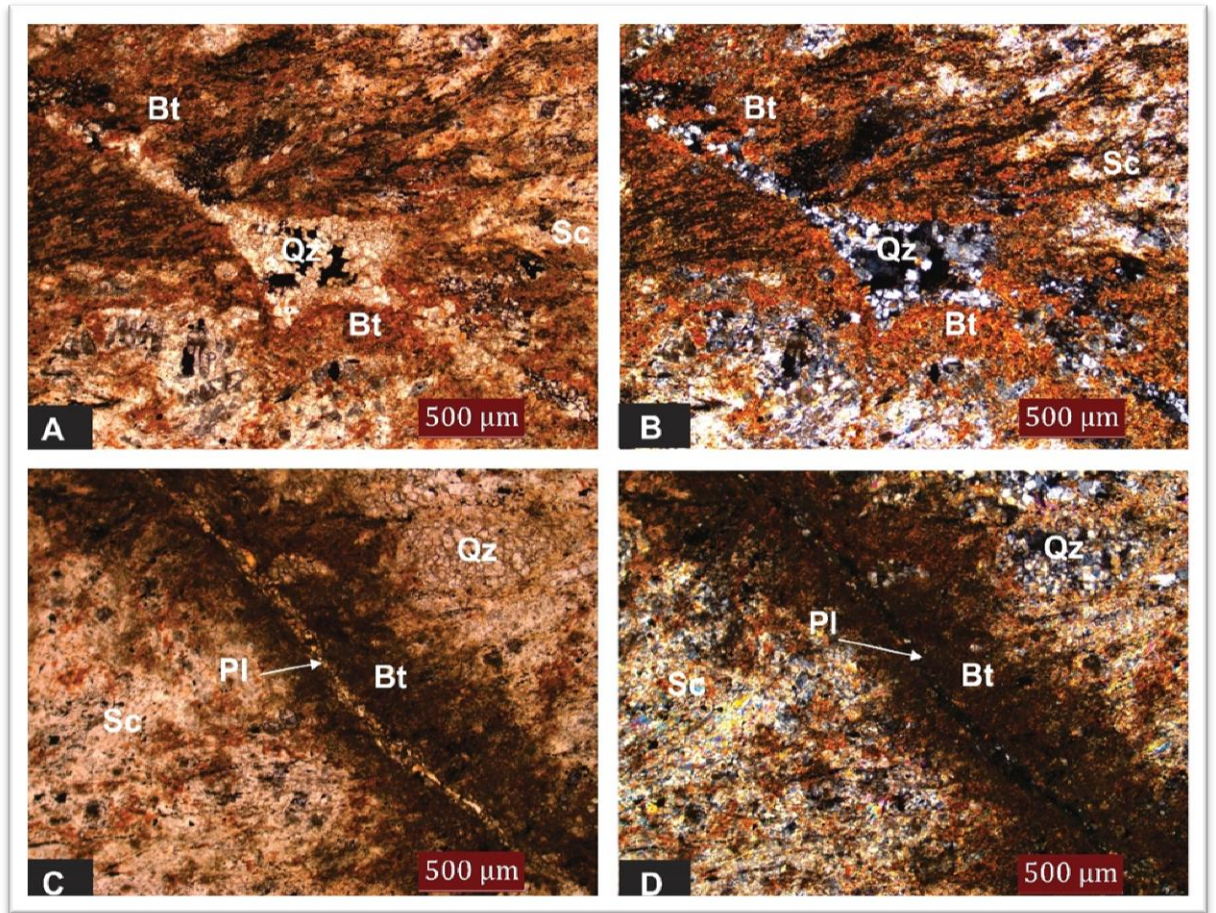
Eventos de alteración hidrotermal han afectado en gran medida a la roca, esto fue posible apreciarlo en sección delgada, donde los componentes de la matriz están alterados en gran medida. Dichos eventos de alteración hidrotermal tienen como minerales principales: Biotita que se observa formando bandas cafés que recubren la matriz y llena en algunos casos microfracturamientos (Alteración potásica)(Figura 21), la sericita y clorita presentes también en la muestra, afectan ensamblajes potásicos preexistentes en la muestra (Alteración Clorita-Sericita). Se evidencian también, embebidos en la matriz, agrupamientos de cuarzo (amígdalas?) de geometrías alargadas a circulares. (Figura 21)

Figura 21 Fotografías en N// y NX con objetivo de 4X en las que se muestran textura glomeroporfírica donde plagioclasas y cuarzo están siendo bordeados por biotita hidrotermal y sericita.



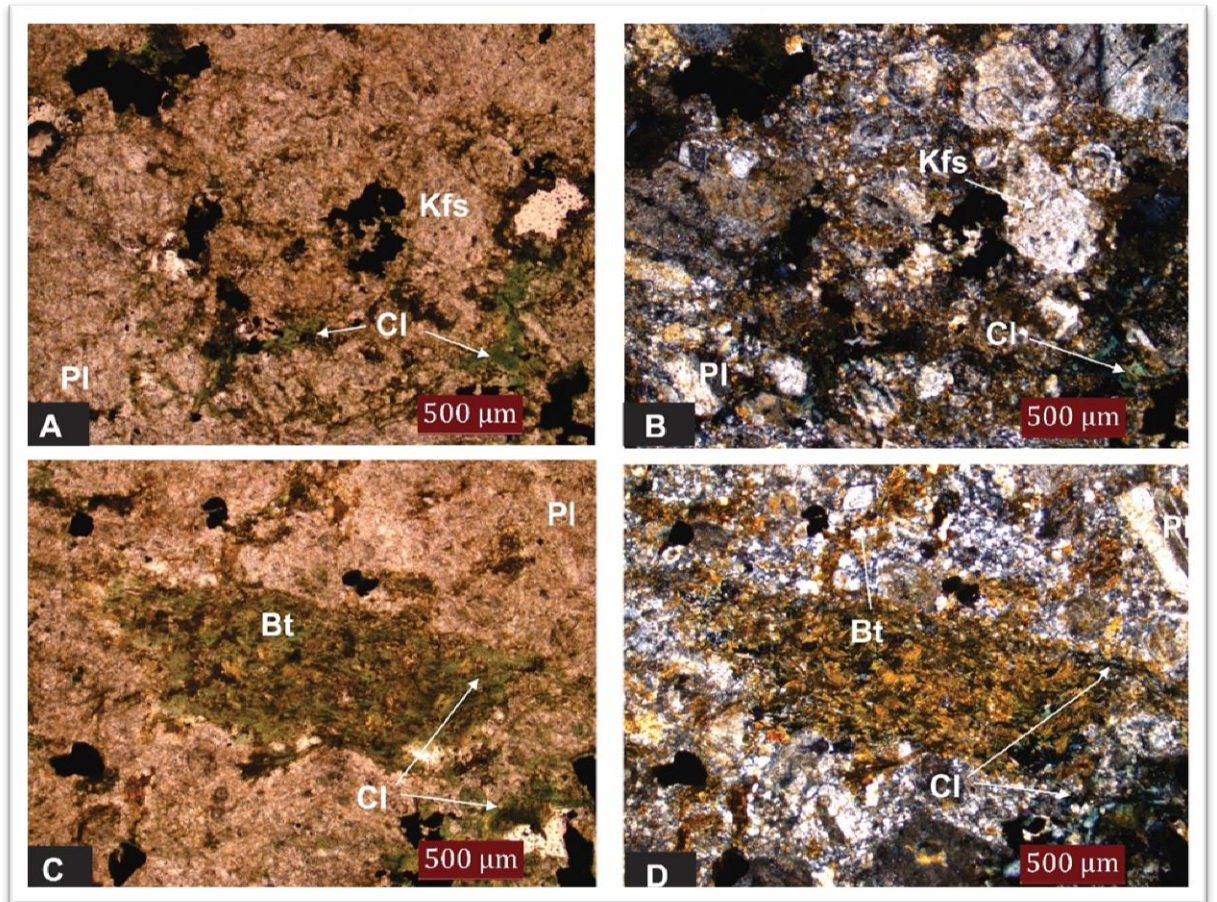
La roca además, presenta una serie de vetillas importantes, dichas vetillas están compuestas principalmente por material cuarzo-feldespático, con contenido de minerales opacos en algunos casos y minerales de oxidación. Estas vetillas se asocian con vellitas tipo B y D además de su composición, están bordeadas por halos de biotita y sericita. (Figura 22)

Figura 22. Fotografía mostrando en N// y NX con objetivo 4X: A Vetilla tipo D. B Vetilla tipo B



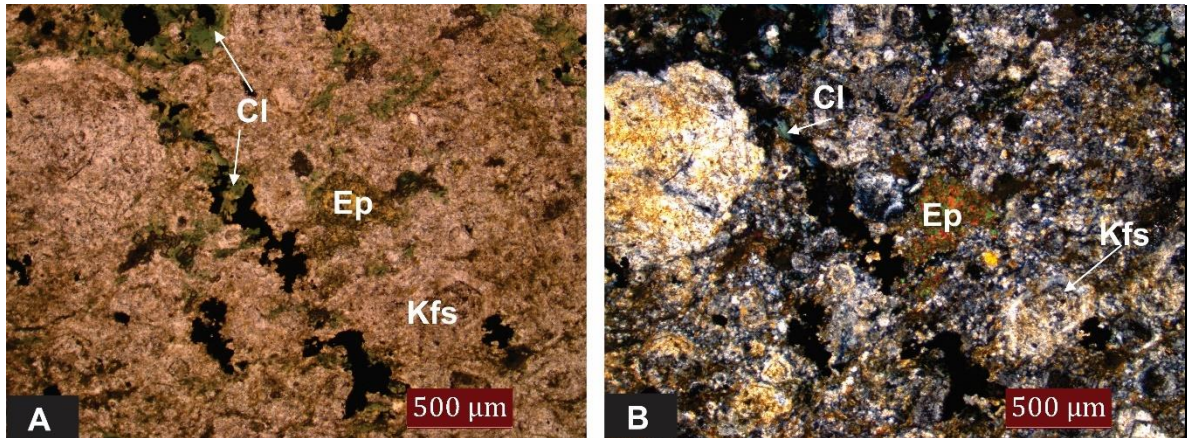
5.1.2.4.2 Dacita: Roca de color gris oscuro, caracterizada por ser una roca holocristalina, inequigranular, tamaño de grano fino característico menor a 1 mm correspondiente a una textura afánitica, compuesta principalmente por plagioclasas, feldespato potásico y minerales máficos como hornblenda y biotita (Figura 20C). Se encuentra enriquecida en sulfuros (minerales opacos) diseminados y en otros casos se encuentran agrupados o concentrados en un sector determinados de la muestra.

Figura 23. A Textura afánitica, plagioclasas exhibiendo macla tipo albita, alteración de minerales de la matriz a Bt, Cl y Sericita principalmente B Fenocrystal de hornblenda alterado completamente a clorita y biotita.



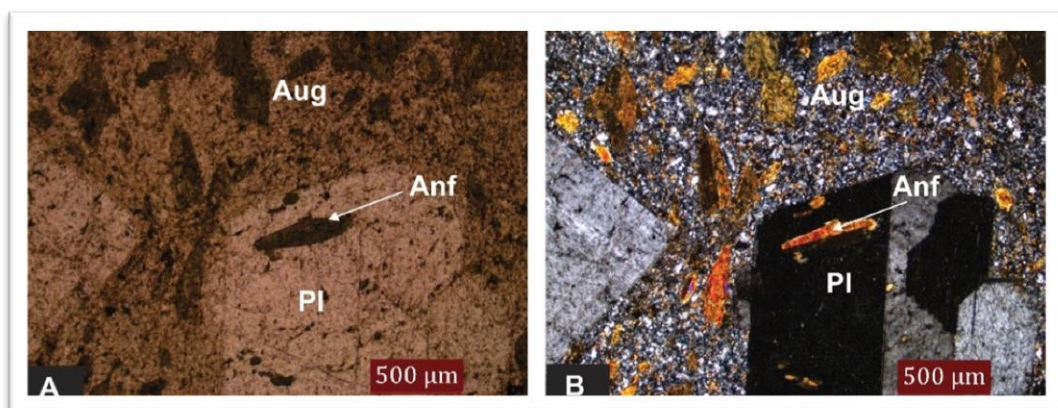
Procesos de alteración hidrotermal propios de este tipo de depósitos han dejado huella en la roca, permitiendo reconocer características propias de cada uno de ellos. La alteración potásica se encuentra representada por alteración de minerales a feldespato potásico y biotita secundaria, la alteración clorita/sericita exhibe minerales alterando a clorita, dentro de los cuales la alteración de hornblenda a clorita es la principal (Figura 23B y C), esta alteración también muestra como característica el enriquecimiento en sulfuros y vetillas también de dichos minerales, en las cuales se distingue un halo de sericita, estas vetillas corresponde principalmente a vetillas tipo D; por último la alteración supergena se distingue por la oxidación de la roca.

Figura 24. Fotografía en N// y NX con objetivo 4X mostrando fractura con minerales opacos y clorita en algunos sectores. Centro, plagioclasa alterada a epidota. Esquina superior izquierda fenocristal de feldespato alterando a sericita..



5.1.2.4.3 Andesita: Roca de color gris oscuro, presenta textura porfiritica holocristalina, la matriz está compuesta por cristales de tamaño fino de plagioclasas, feldespato, algunos anfíboles, biotita, piroxeno y un bajo contenido de cuarzo; los fenocristales son principalmente plagioclasas que pueden ser reconocidos en la muestra de mano, (Figura 20C).

Figura 25. Andesita, matriz de grano fino, textura porfiritica, fenocristales de plagioclasas (centro hacia abajo) macla polisintética en intercrecimiento.

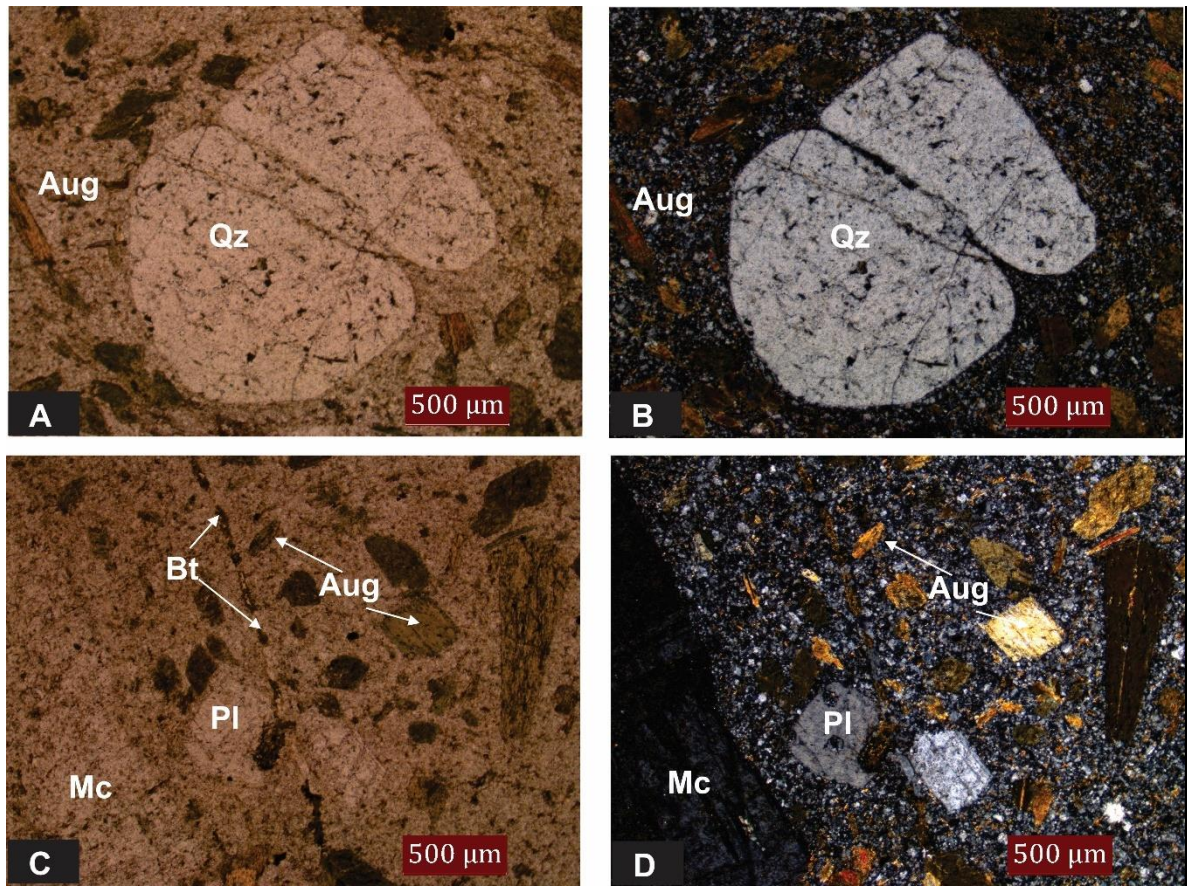


Los fenocristales de plagioclasas tienen una composición intermedia, exhiben zonación normal y macla polisintética. Algunos de estos fenocristales de plagioclasas se encuentran incluidos por epidota y augita (Figura 25). En otros

casos debido a los procesos de alteración hidrotermal, dichos fenocristales se encuentran corroídos y alterados en bordes y centros, estas alteraciones principalmente son a biotita secundaria como producto de alteración potásica.

Las alteraciones hidrotermales han afectado esta muestra con menor intensidad, con respecto a las demás litologías encontradas en este cuerpo, esto y las relaciones de campo observadas llevan a indicar que esta litología es más reciente en contraste con las anteriormente descritas. Es posible reconocer los diferentes eventos de alteración hidrotermal, la alteración potásica se encuentra caracterizada por reemplazo de minerales de la matriz a feldespato y biotita secundaria, además de vetillas tipo A compuestas por cuarzo y vetillas de biotita (EB); la alteración sericitica caracterizada por seritización de la matriz y algunos fenocristales de plagioclasas, la alteración súpergena caracterizada por oxidación de la muestra (Figura 26).

Figura 26. Fotografías N// y NX con objetivo 4X donde A y B muestran matriz de grano fino con cristales de piroxenos y fenocristal de mayor tamaño de cuarzo con textura de embaimiento y fracturado. C y D En el centro vetilla de cuarzo y biotita cortando la matriz de grano fino, fenocristal de feldespato (microclina) esquina izquierda inferior.



5.1.2.5 Cuerpo 5: Este cuerpo se encuentra situado al sur de la zona de estudio compuesto por tres litologías diferentes y afectadas por procesos tectónicos intensos debido a su proximidad con la zona de falla.

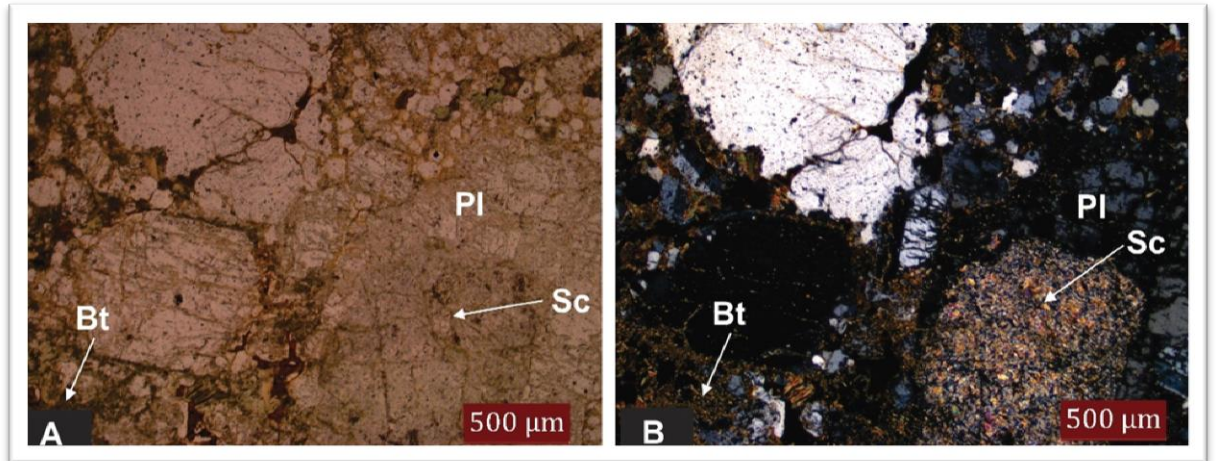
Figura 27. A Dacita B. Andesita



5.1.2.5.1 Dacita: La muestra presenta textura porfírica, con un tamaño de grano que oscila entre 5 mm y 20 mm. Los fenocristales varían desde plagioclasas, algunos feldspatos potásicos, y en menor porcentaje biotita primaria.

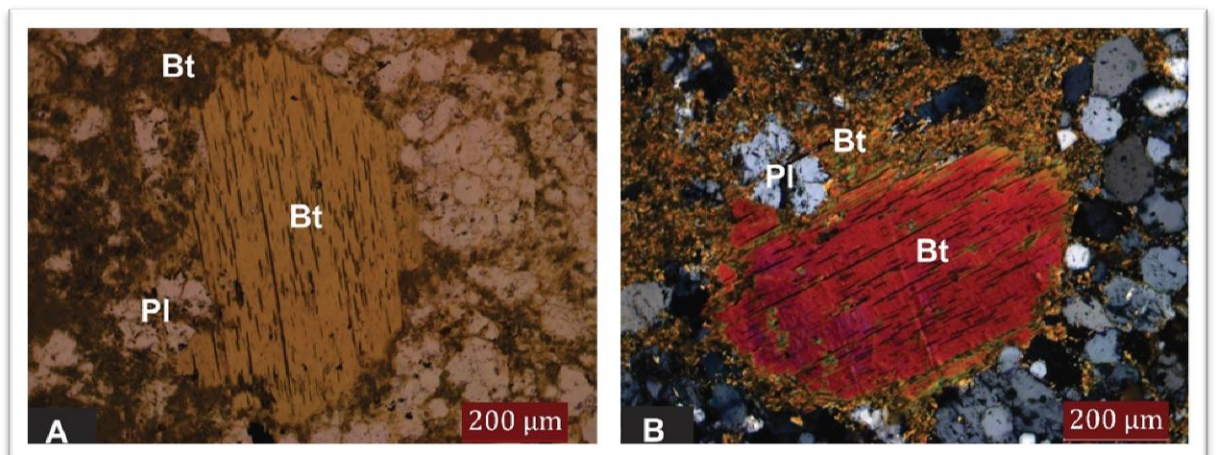
Los fenocristales de plagioclasa, tienen una mayor variabilidad de tamaño, con composiciones intermedias, en algunas se puede reconocer la macla polisintética tipo albita. Unas cuantas plagioclasas se encuentran albitizándose (Figura 28) como muestra de una alteración potásica presente en la roca. Algunas plagioclasas se encuentran levemente zonadas, y reemplazadas en su mayor parte por Biotita y vermiculita.

Figura 28. Plagioclasa albitizándose en la parte inferior derecha de la sección, se encuentra en una matriz de plagioclasas y algunos feldespatos potásicos. Las fracturas de la roca están rellenas de biotita y algunos sulfuros



Se observan algunos cristales de biotita de origen magmático, alterándose a clorita, rodeada por biotita hidrotermal(Figura 29), la cual se encuentra en algunos sectores relleno de fracturas y vetillas.

Figura 29. En el centro de la fotografía se observa biotita alterándose en los bordes a clorita. Esta se encuentra rodeada de Biotita hidrotermal y algunas plagioclasas y feldespatos potásicos. (La imagen de la izquierda corresponde a nicols paralelos y la imagen de la derecha a nicols cruzados)



Algunos cristales de epidota se encuentran rodeados por plagioclasas, las cuales a su vez se están alterando a sericita.

Figura 30. Vetilla de cuarzo y sulfuros (Pirita y calcopirita) cortando fenocristales de plagioclasas alterándose a sericita. A la derecha fotografía en nicoles cruzados 4X (B) y a la izquierda nicoles paralelos 4x (A)

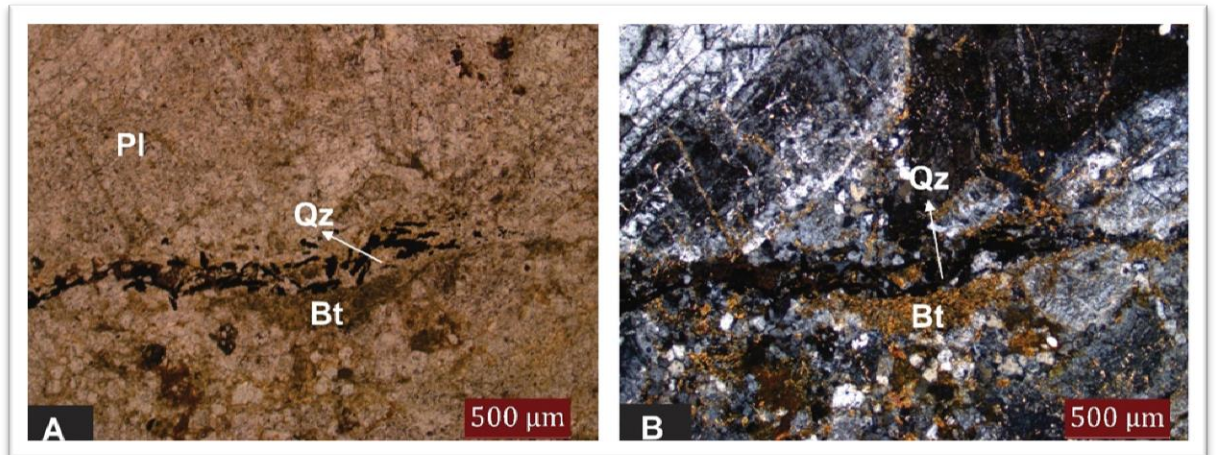
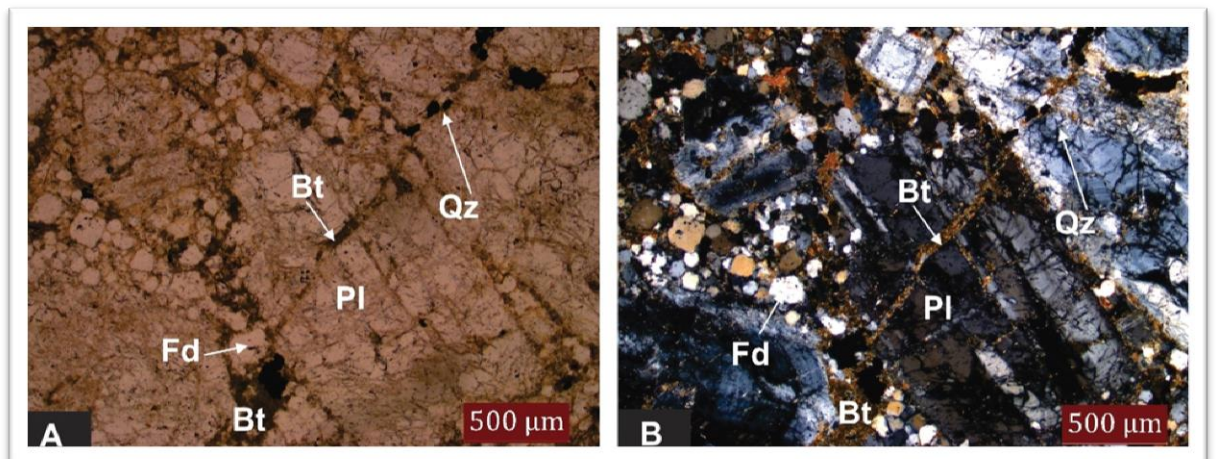
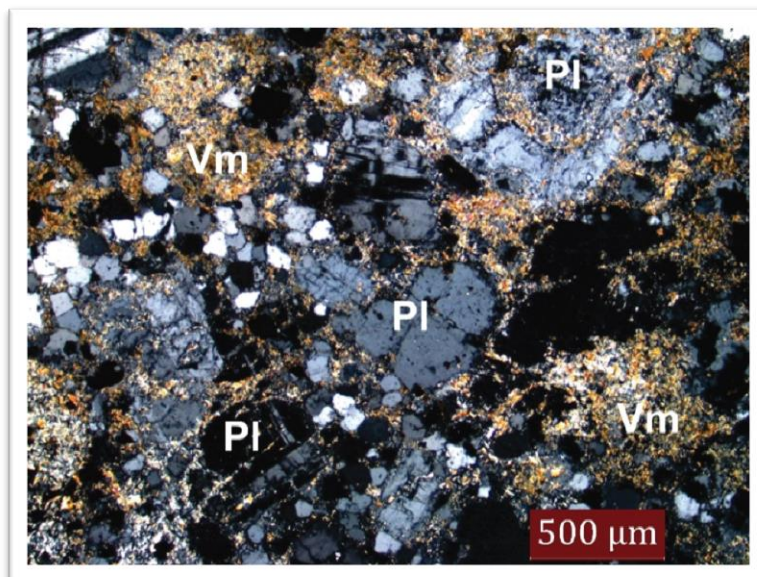


Figura 31. Vetilla rellena de biotita secundaria y algunos cuarzos, rodeada por biotita secundaria, plagioclasas. Se encuentra cortando una vetilla perpendicular de biotita



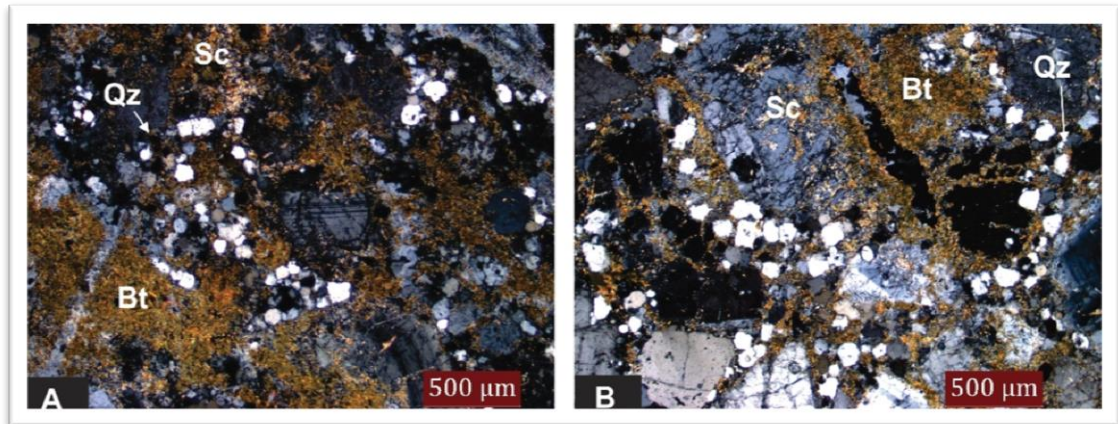
5.1.2.5.2 Andesita: La sección muestra una textura porfiritica, con fenocristales de plagioclasa intermedia embebidos en una matriz de cuarzo y ortosa. Los fenocristales de anortita y albita se encuentran fracturados, en su mayoría con zonación normal, y alterándose (Figura 32), algunas plagioclasas tienen maclas polisintéticas en forma acuñada. Igualmente se hallan fenocristales de microclina, los cuales hacia los bordes se encuentran alterados a vermiculita. Esta última se encuentra rellenando la mayor parte de las fracturas, y algunas vetillas.

Figura 32. Hacia la parte superior de la fotografía se observa plagioclasas ligeramente zonada, fracturada con vermiculita rellenando las mismas.



La biotita presente de origen hidrotermal, se encuentra en agregados escamosos bordeando los cristales de cuarzo y plagioclasa, la exfoliación de la misma no es apreciable. Se observa un fuerte vetilleo, algunas compuestas por cuarzo, biotita y plagioclasas (Figura 33A), las cuales son cortadas por vetillas de cuarzo sinuosas con bordes de biotita (Figura 33B)

Figura 33. A. Vetilla de cuarzo, biotita y plagioclasa. B) Vetilla sinuosa de cuarzo y sulfuros con borde de biotita. Fotografías en nicoles cruzados, 4X



5.1.3 Petrografía de minerales opacos: Con base a la petrografía realizada en sección delgada, se procedió a seleccionar las muestras con mayor presencia de minerales “opacos” para por medio de la microscopia de luz reflejada identificar dichos minerales. Esto fue realizado en las instalaciones del laboratorio del grupo de investigación GIBBA en las sede Guatiguará-Universidad Industrial de Santander.

5.1.3.1 Cuerpo 1

5.1.3.1.1 Dacita

Pirita: Mineral poco abundante en la roca, de color blanco amarillento y con alta reflectividad, no presenta pleocroísmo, isotrópico y con maclado ausente. Se presentan dos generaciones de pirita:

Primera generación: Se desarrollaron granos subhedrales de medianos tamaños, y de un color pálido, estos cristales se encuentran distribuidos uniformemente alrededor de toda la muestra

Segunda generación: Estos cristales poseen un color más amarillento y apariencia masiva, se encuentran rellenando las vetillas presentes, acompañando al Cuarzo

Calcopirita: Este mineral se encuentra en menor proporción que la Pirita, color amarillo más intenso que la misma y una reflectividad media a alta, sin pleocroísmo y sin maclas presentes. Sólo se presenta una generación de la misma, la cual se da de forma masiva rellenando las fracturas más recientes de la muestra, es posterior a la Pirita presente.

5.1.3.2 Cuerpo 2

5.1.3.2.1 Andesita

Calcopirita: Este sulfuro se presenta en individuos subhedrales y algunos anhedrales en una distribución uniforme en la roca, se dan dos generaciones, de calcopirita masiva a calcopirita subhedral casi anhedral, donde sus propiedades ópticas son similares, presentando una reflectividad media-alta, color amarillo intenso, sin pleocroísmo ni maclado presente

Primera generación: Estos individuos presentan formas más subhedrales, y se encuentran rellenando vetillas, junto a la pirita.

Primera generación: Se da una calcopirita masiva, la cual se encuentra bordeando a los minerales presentes en la roca y a la pirita en algunos sectores.

Pirita: Este mineral se presenta en forma de cristales muy pequeños anhedrales a subhedrales, de un color amarillo pálido sin pleocroísmo, de baja reflectividad y sin maclas, se dan dos generaciones

Primera generación: Esta pirita se da en agregados de cristales anhedrales y algunos subhedrales, se encuentra en las vetillas de la sección, acompañada por la calcopirita.

Segunda generación: Esta se da de una forma más fina y masiva, rellenando algunas fracturas de la roca

5.1.3.3 Cuerpo 4

5.1.3.3.1 Dacita

Esfalerita: Mineral con menor abundancia en la roca, presenta un color gris claro a plateado, de muy baja reflectividad y sin maclado ni pleocroísmo, isotrópico. Esta esfalerita se encuentra rellenando las fracturas presentes en la muestra, de forma subhedral y de muy pequeño tamaño.

Calcopirita: Igualmente es escaso en la muestra, y se observa más como reemplazo de la Pirita presente en la misma, posee un color amarillo intenso con una reflectividad alta a media, sin pleocroísmo ni maclado. Se da con un agregado mineral masivo, producto de alteración.

Pirita: De color amarillo claro, alta reflectividad, sin pleocroísmo y sin maclas presentes, isotrópico. En su mayoría se encuentra alterándose a calcopirita. Sin embargo en algunos sectores se pueden observar vetillas rellenas de pirita, la cual se encuentra oxidada y fracturada, estas vetillas se encuentran cortando otras más delgadas de pirita y plagioclasa también presentes en la muestra

5.1.3.4 Cuerpo 5

5.1.3.4.1 Dacita

Pirita: Es el único sulfuro presente en la sección, con propiedades ópticas características del mismo, como su color amarillento pálido sin pleocroísmo, baja reflectividad y ausencia de maclas. Se pueden observar dos generaciones

Primera generación: Esta se da en las vetillas de la muestra, acompañada por plagioclasas y cuarzo, se observan agregados de individuos anhedrales y algunos subhedrales, de un mediano tamaño

Segunda generación: Esta pirita se da de una forma más fina y masiva, asociada en su mayoría a los anfíboles, bordeándolos o rellenando fracturas.

5.1.3.4.2 Andesita

Calcopirita: Se encuentra distribuida en toda la muestra, en su mayoría rellenando fracturas de la misma, presenta un color amarillo intenso, reflectividad media, sin pleocroísmo ni maclas, isotrópico. Presenta agregados de granos subhedrales, de tamaño medio, en algunos sectores estos se encuentran oxidados y fracturados

Pirita: La pirita presente muestra colores amarillentos claros sin pleocroísmo, de baja reflectividad, y sin maclas. Luego de la calcopirita es el sulfuro con mayor abundancia en la muestra, se dan dos generaciones:

Primera generación: Se da en granos subhedrales y algunos anhedrales, presenta un mayor fracturamiento, y un color amarillo más pálido.

Segunda generación: Esta pirita se encuentra en las vetillas, individuos subhedrales, de un color plateado a simple vista, se encuentran bordeados por Biotita y acompañados por algunos individuos de calcopirita, más subhedral y amarillenta.

Bornita: Este se da en menor proporción que los anteriores sulfuros, su origen es debido en su mayor parte a la exposición de los sulfuros. Presenta multicolor, con

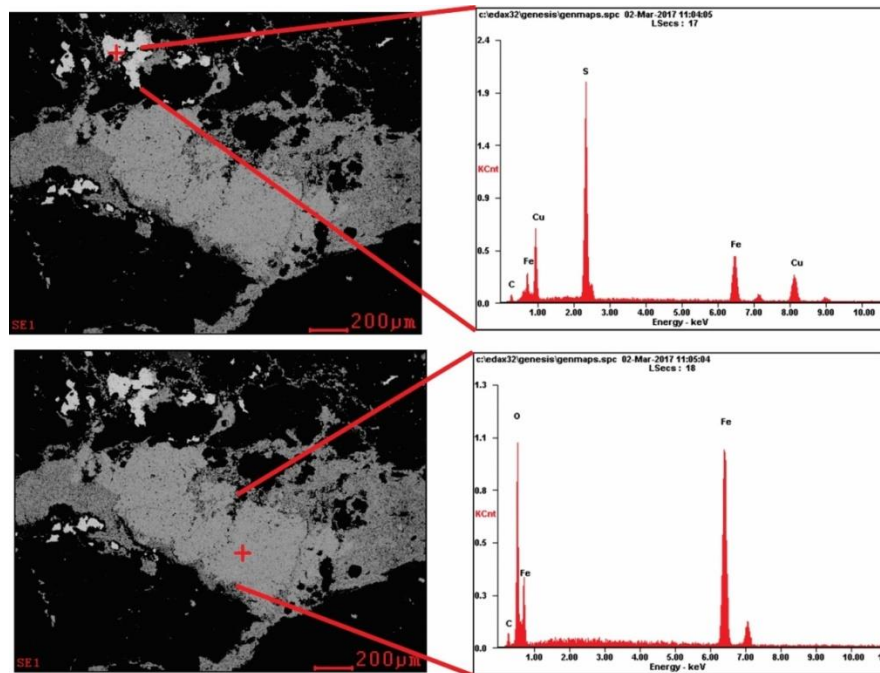
pleocroísmo y alta reflectividad, sin maclas. Se observa como una pátina sobre la calcopirita y pirita de la sección.

5.1.4 Microscopia electrónica de barrido (SEM): Se realizó este análisis para comprobar la composición química de algunas fases minerales, para fines de su identificación.

Sulfuros

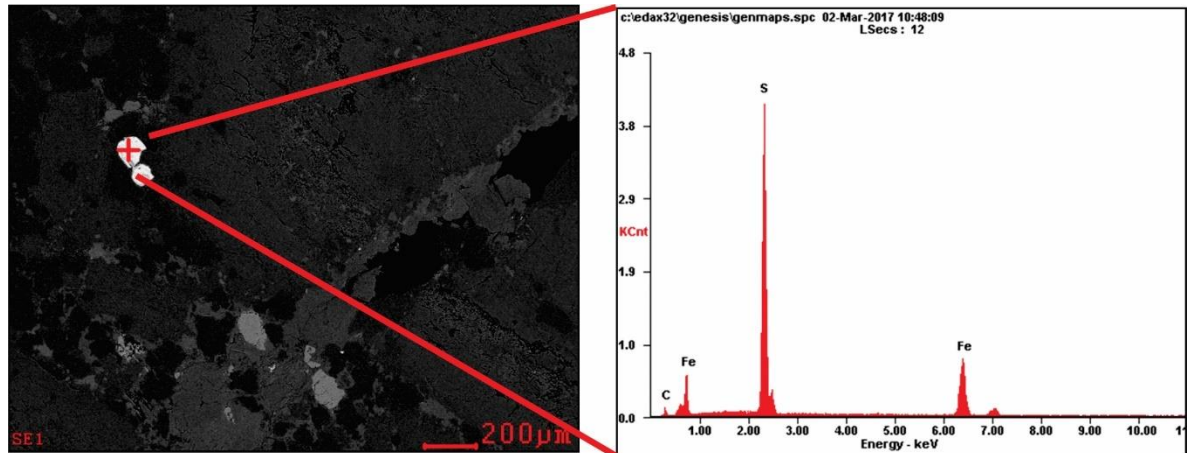
Por medio del EDS se observa la composición química en la figura 34 de un sulfuro de hierro y cobre el cual según sus características químicas podría ser calcopirita. La imagen 34B muestra el aspecto y composición de un oxido ferroso que en este caso es magnetita, ambos minerales formados en el proceso de alteración hidrotermal del cuerpo intrusivo.

Figura 34. Difractomas indicando la presencia de calcopirita y magnetita respectivamente



Se identifica pirita en algunos sectores de la muestra, con altos contenidos de azufre (S) lo cual me corrobora la presencia de alteración hidrotermal en el cuerpo.

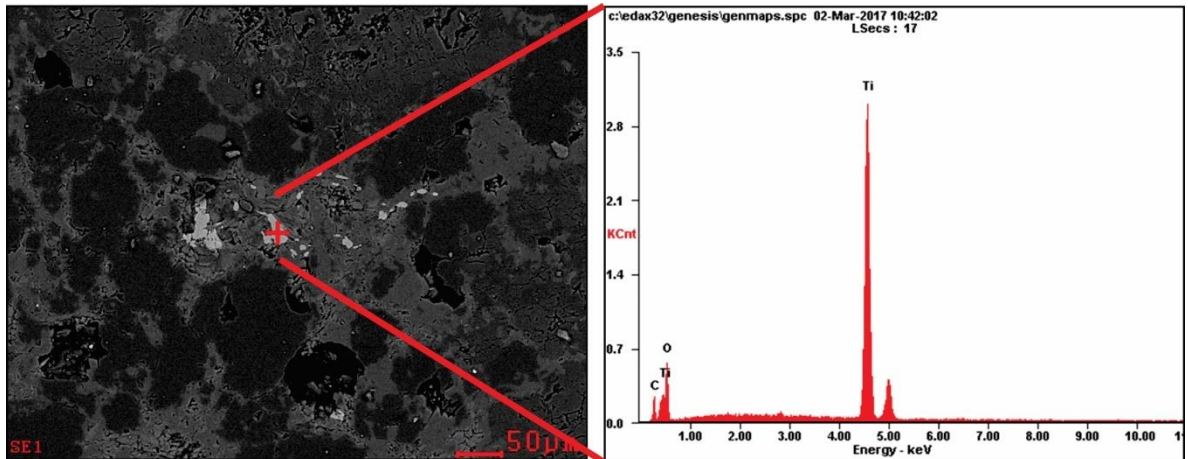
Figura 35. Aspecto de la pirita en electrones retrodispersados y espectro con los picos principales de Fe y S.



Óxidos de titanio (Brookita? Rutilo?)

La Brookita (TiO_2), según el análisis cuantitativo del EDS presenta altos contenidos de Ti (65.91 %), el cual se encuentra dentro del grupo de minerales hidrotermales, el cual es formado por procesos de disolución relacionados con la solidificación del magma, lo que hace posible que sea encontrado en vetillas o fisuras de la roca.

Figura 36. Difractograma mostrando la presencia de un oxido de titanio



5.2 GEOQUÍMICA

5.2.1 Clasificación de la roca muestras ARQ-1 Y ARQ-2: De acuerdo a los diagramas de clasificación de la roca propuestos por Winchester²², estos diagramas muestran sistemáticamente la variación de las relaciones entre los elementos inmóviles para los elementos seleccionados y la abundancia respectiva para grupos de roca²³.

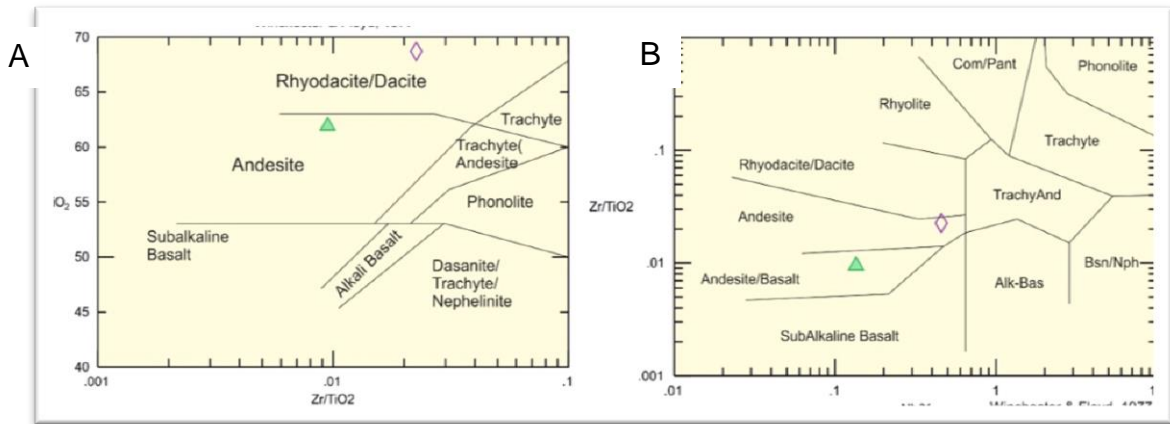
En la figura (Figura 37) vemos los diagramas seleccionados para realizar la clasificación de la roca; - A relaciona SiO₂ vs Zr/TiO₂ presente en la muestra, según esta relación las rocas corresponden a dacita y andesita, además un alto incremento en la relación Zr/TiO₂ se observa en las series de magmas alcalinas reflejando la alta concentración de Zr en las rocas alcalinas²⁴; por otro lado la figura – b clasifica las muestras en los campos de Andesita y Andesita/ Basalto ambas correspondientes a series sub alcalinas que se caracterizan por una relación de Zr/TiO₂ baja con respecto a la relación Nb/Y.

²² WINCHESTER, Jhon y FLOYD, Peter. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chemical Geology, 1976, vol. 20., p. 326.

²³ *Ibid.*, p.327.

²⁴ *Ibid.*, p.333.

Figura 37. Diagrama SiO₂ Vs Zr/TiO₂ para la clasificación de rocas ígneas basado en Winchester y Floyd 1977.

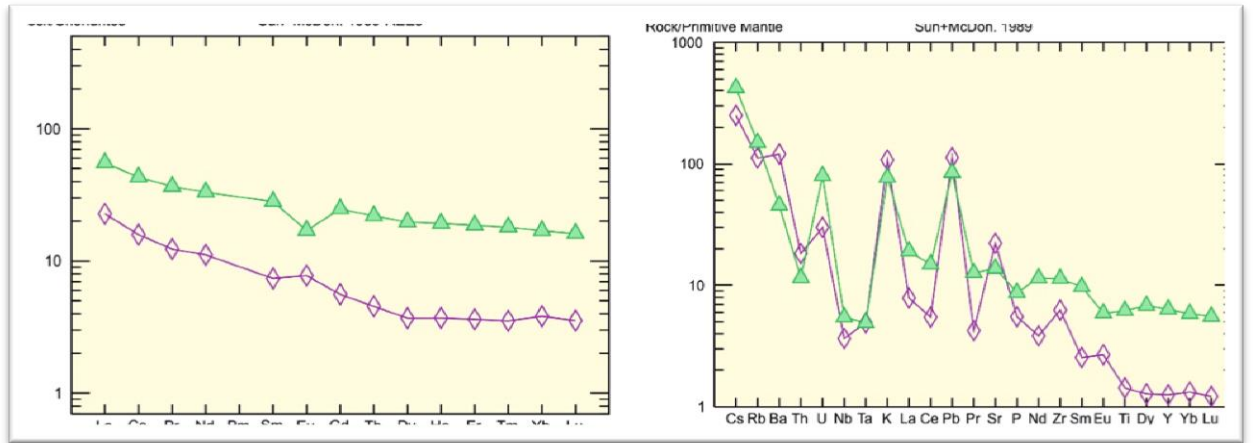


5.2.2 Elementos menores y trazas ARQ-1 Y ARQ-2: Los análisis referentes a elementos menores y trazas, brindan mayores conocimientos sobre la petrogénesis de la roca, es así que la figura (Figura 38) nos permite observar un leve enriquecimiento en LREE (*Light rare earth elements*) así como un empobrecimiento en HREE (*High Rare Earth Elements*), otro dato importante es el referente a las anomalías presentes en las gráficas de las cuales las anomalías positivas en K, Pb, Sr y negativa en Nb me indican las rocas provienen a un ambiente de arco magmático²⁵; así mismo las anomalías negativas en Ba, Nb, P y Ti representan un fraccionamiento en las fases minerales asociadas a estos elementos²⁶.

²⁵ MCDONOUGH William y WEIDONG, Sun. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition. Geological Society, London, Special Publication, 1989, vol. 42., p. 330.

²⁶ TARNEY, John y JONES, Charles. Trace element geochemistry of orogenic igneous rocks and crustal growth models. Journal of the Geological Society, 1994, Vol 151., p. 857.

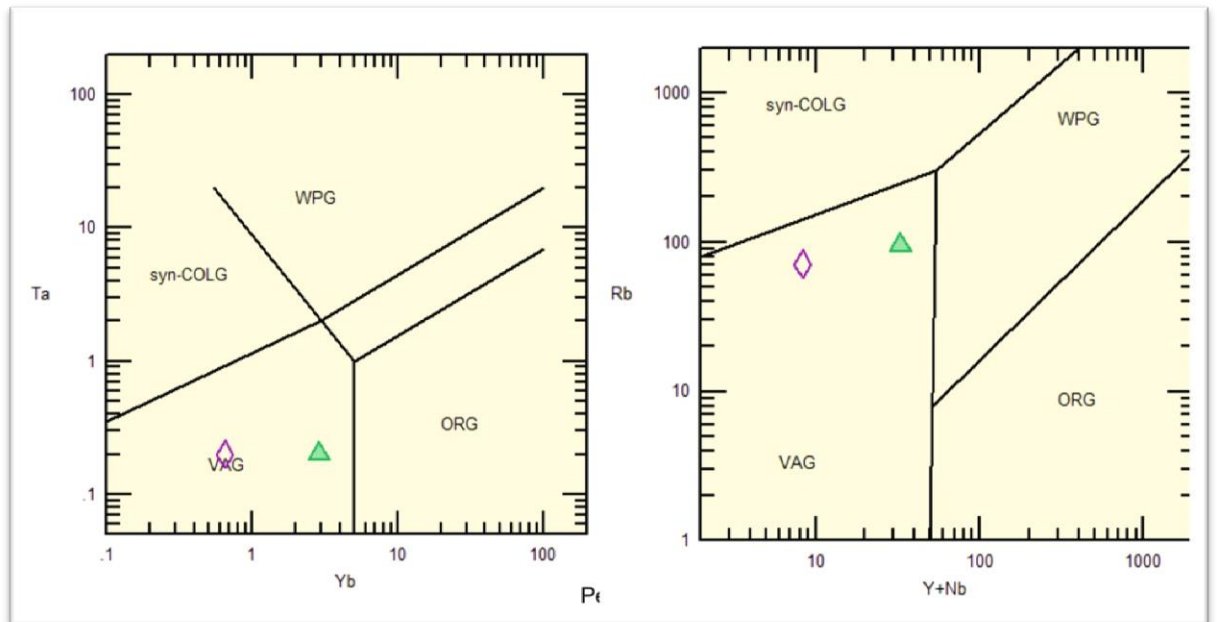
Figura 38. Diagrama de tierras raras, normalizado a condrito (Izquierda) y normalizado a Manto primitivo (derecha)



5.2.3 Ambiente tectónico ARQ-1 Y ARQ-2: La elaboración de diagramas considerando las relaciones Ta vs Yb y Rb Vs (Y+Nb) según ²⁷Pearce permiten tener un conocimiento acertado del ambiente de formación de la roca producto de estudio, en este caso según los datos utilizados las rocas pertenecen a un ambiente tectónico correspondiente a un arco de volcánico (VAG) como se muestra en el la figura (Figura 39). Un arco volcánico tiene lugar cuando la corteza oceánica subduce por debajo de corteza continental (en nuestro caso esta subducción se presenta entre la placa Nazca subduciendo la placa suramericana).

²⁷ PEARCE, Julian y HARRIS, Niguel y TINDLE, Andrew. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses: Earth and Planetary Science Letters, 1984, vol. 19., p. 969

Figura 39. Diagramas considerando las relaciones Ta vs Yb y Rb Vs (Y+Nb) según Pearce (1987)



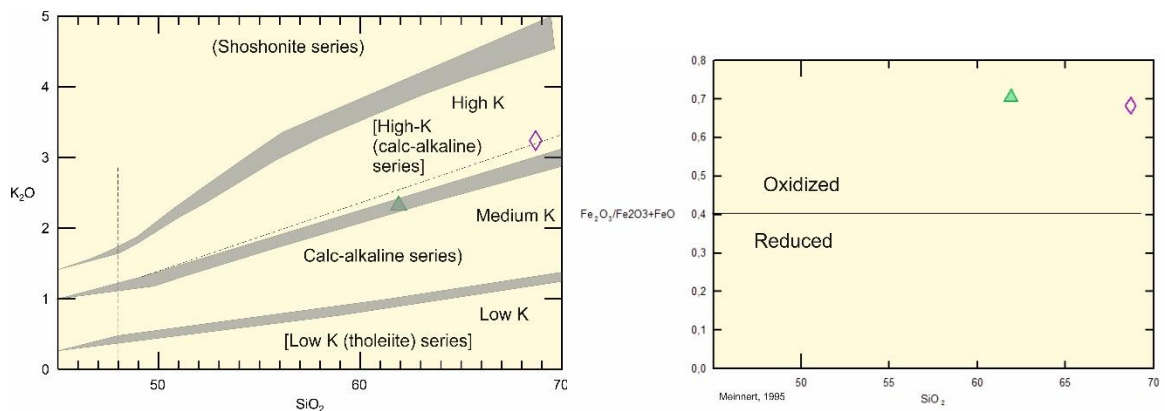
Teniendo en cuenta un criterio geoquímico podemos determinar la serie magmática de la cual proceden las rocas en la zona, es decir si pertenecen a series Toleíticas, calco – alcalinas o shoshoníticas; apoyados en la elaboración de los diagramas propuestos por Rollinson²⁸ fue posible determinar una serie calco alcalina rica en potasio para las muestras analizadas, los granitos provenientes de este tipo de series en márgenes continentales activos, tienen Bt ± Hb como mineral ferromagnesiano dominante, esto de igual forma se ve reflejado en la petrografía realizada (Figura 40). Es posible también determinar el estado de oxidación del magma mediante lo propuesto por Meinert²⁹; el estado de oxidación

²⁸ ROLLINSON, Hugh. Using Geochemical Data: Evaluation, presentation, interpretation, 1993. p. 19.

²⁹ MEINERT, Lawrence. Compositional variation of igneous rocks associated with skarn deposits - Chemical evidence for a genetic connection between petrogenesis and mineralization: in Thompson, J.F.H., ed., Magmas, fluids, and ore deposits, Min. Assoc. Can. Short Course Series, 1995, vol. 23., p. 406.

del magma es influyente en el contenido de metales y de sulfuros. Se determinó un estado de alta oxidación el cual favorece la concentración de metales (Au), además el estado de oxidación controla las tendencias evolutivas de los magmas, en los toleíticos (condiciones reductoras) y en los calco-alcalinos (condiciones oxidantes).

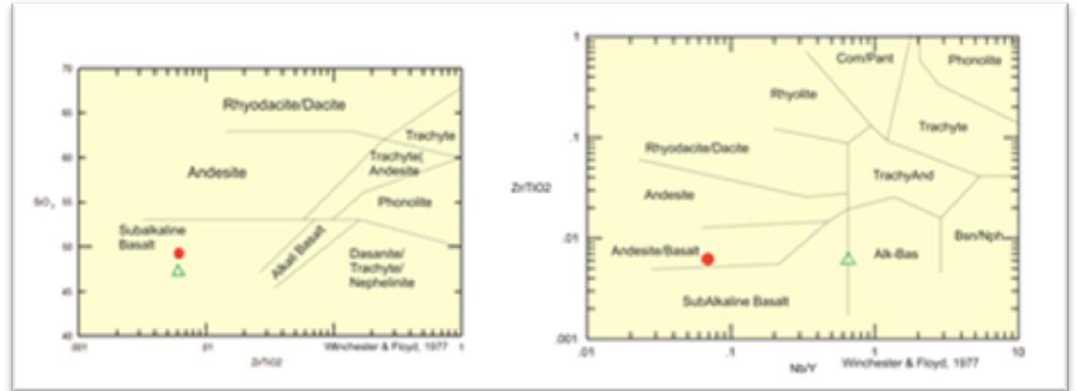
Figura 40. Diagrama de la relación entre el contenido de K₂O y SiO₂. Clasificando las rocas como rocas sub-alcálinas y medias en K, según Le Maitre 1989.



5.2.4 Clasificación de las rocas de las muestras ARQ-3 Y ARQ-4: Teniendo en cuenta los diagramas de clasificación de Winchester³⁰, en los cuales se muestra una variación de radios de los elementos inmóviles que presentan una evolución magmática de manera similar a los elementos mayores; la roca se plotea en el rango de Basalto sub alcalino (Figura 41), reflejando una baja concentración en la relación del radio Zr/TiO₂, indicando un basalto no diferenciado y un ambiente sub alcalino. Estos basaltos, a su vez tienen bajos radios de Nb/Y, característicos de la serie subalcalina, y de basaltos no diferenciados (Figura 41)

³⁰ WINCHESTER. Op. cit., p.3399.

Figura 41. (a) Diagrama de discriminación Zr/TiO₂ Vs SiO₂ (Winchester y Floyd, 1977) (b) Diagrama de discriminación Nb/Y Vs Zr/TiO₂



5.2.5 **Elementos menores y traza de las muestras ARQ-3 Y ARQ-4:** Según los diagramas de tierras raras normalizados a manto primitivo³¹, se puede observar un ligero empobrecimiento en LREE (Light rare earth elements) (Figura 42), y un leve enriquecimiento en HREE (High rare earth elements) característico de magmas tipo MORB. A su vez se presenta una relación baja de los radios La/Nb < 1.0 y una anomalía positiva en Nb(

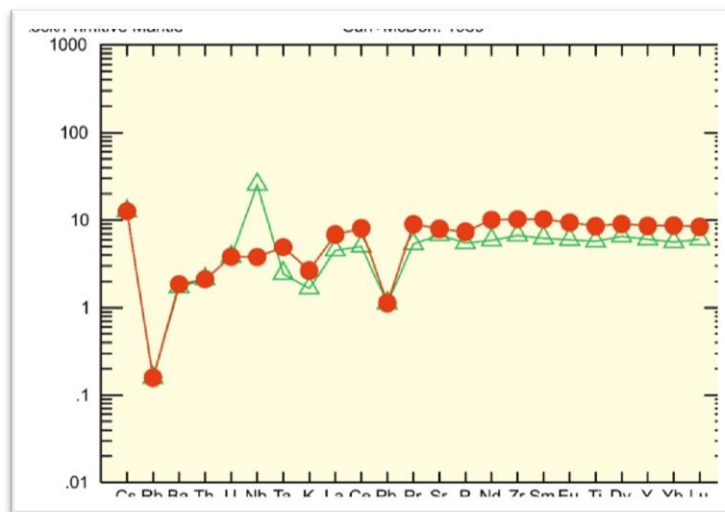
5.2.6

5.2.7

³¹ MCDONOUGH. Op. cit. p. 318.

5.2.8 **Figura 42)**, indicando magmas tipo E-MORB ³², este empobrecimiento y baja relación de radios es representativo de un bajo porcentaje de fusión parcial proveniente del manto superior. Además las anomalías negativas de Rb y Pb, indican una retención de la flogopita, y una leve anomalía negativa en P, una adición de sedimentos en su formación³³.

Figura 42. Elementos traza normalizados a manto primitivo de las muestras ARQ-3 Y ARQ-4

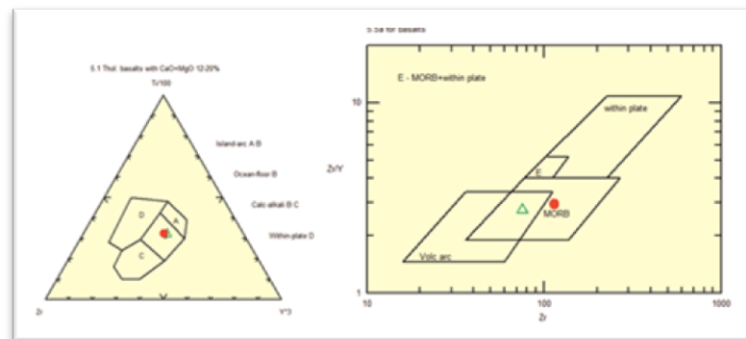


³² *Ibíd.*, p.319.

³³ *Ibíd.*, p.338.

5.2.9 Ambiente tectónico de las muestras ARQ-3 Y ARQ-4: La relación de los radios Y/Nb es característica de basaltos de piso oceánico³⁴. Se emplean los diagramas de discriminación Ti-Zr-Y³⁵ debido a que estos elementos son los menos afectados y generalmente estables en la roca por procesos de desgaste y metamorfismo³⁶. Según estos diagramas, las muestras se encuentran en el rango de basaltos de piso oceánico, los cuales debido a los anteriores diagramas coinciden con basaltos sub-alcálinos (Figura 43) En los cuales se observan altos valores de Zr y bajos en la relación Zr/Y.

Figura 43. (a) Discriminación Ti-Zr-Y, (b) Discriminación basaltos Zr Vs Zr/Y



Estos basaltos se pueden correlacionar con basaltos provenientes del LIP del Caribe, debido a su serie sub-alcálica, y a su comportamiento similar en los

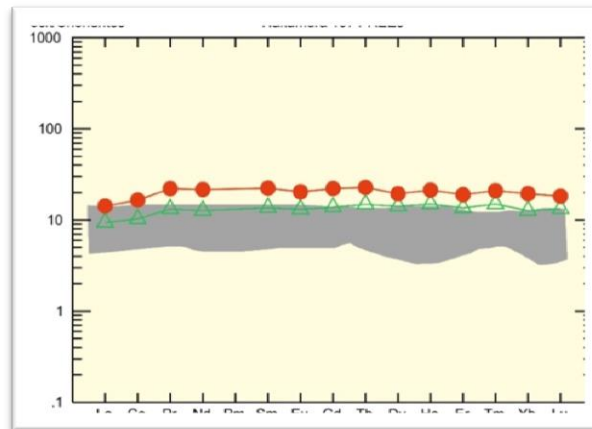
³⁴ ROLLINSON. Op. cit. p. 158.

³⁵ PEARCE. Op. cit. p. 975.

³⁶ *Ibíd.*, p.978.

diagramas de REE normalizados respecto a condrito³⁷, y al manto primitivo³⁸, presentando anomalías negativa en Rb y K, un leve empobrecimiento en LREE³⁹, contrario a análisis previos de basaltos presentes en Quebradagrande, donde se observan anomalías negativas en Nb y Th, y anomalías positivas en Sr⁴⁰. Teniendo en cuenta lo anterior se plotearon las muestras normalizadas a condrito, comparándolas con el rango establecido por Toro⁴¹, para basaltos provenientes del LIP del caribe (Figura 44)

Figura 44. Diagrama de REE normalizado a Condrito (Nakamura, 1974), modificado de (Toro, 2014)



³⁷ NAKAMURA, Noboru. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochemica et Cosmochimica, Acta* 38, 1974. p. 761.

³⁸ MCDONOUGH. Op. cit. p. 318.

³⁹ TORO, Jaime, *et al.* Thermal and kinematic evolution of the Eastern Cordillera fold-and thrust belt, Colombia. *AAPG Hedberg*, 2004, Vol.1., p. 83.

⁴⁰ NIVIA, Alavaro, *et al.* The Quebradagrande Complex: A Lower Cretaceous marginal basin in the Central Cordillera of the Colombian Andes. *Journal of South American earth sciences*, 2006, Vol. 21., p. 429.

⁴¹ TORO. Op. cit., p. 100.

5.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS

En base a los resultados petrográficos se identificaron 3 tipos de alteración correspondientes a la alteración potásica, propilitica y filica; las cuales se encuentran superponiéndose una sobre otra. La alteración potásica tiene lugar en el sistema, donde alteraciones como plagioclasas/ biotita (hidrotermales) son predominantes y favorecidas por fluidos de altas temperaturas ricos en agua. Esta alteración se caracteriza por presentar vetillas de biotita (EB), plagioclasas, cuarzo sinuosas (tipo A) y compuestas por cuarzo con inclusiones de pirita (tipo B) (Tabla 1), la alteración potásica se hace menos intensa de las fases porfídicas más antiguas a las más jóvenes⁴²; sobre esta alteración se encuentra reemplazando total y parcialmente el ensamblaje, la alteración filica, esta alteración está tipificada por una transformación parcial y/o completa en algunos casos de minerales máficos como la hornblenda y piroxenos a clorita, las plagioclasas a sericita, así mismo tiene lugar la pirita y calcopirita. Esta alteración está acompañada también de la formación de vetillas de cuarzo que exhiben un halo de sericita (tipo D) que cortan tanto la mineralización dada en la alteración potásica como sus vetillas características. Igualmente se presenta una alteración propilitica, caracterizada por la presencia de clorita, epidota y plagioclasa albitizada, la cual genera un halo o una zonación gradacional y distal de la alteración potásica, generada a temperaturas aproximadamente de 200° - 150° C.

Tabla 1 Relación de las vetillas presentes en los cuerpos y sus respectivas alteraciones hidrotermales

Vetilla	Alteración asociada
Tipo EB	Alt. Potásica

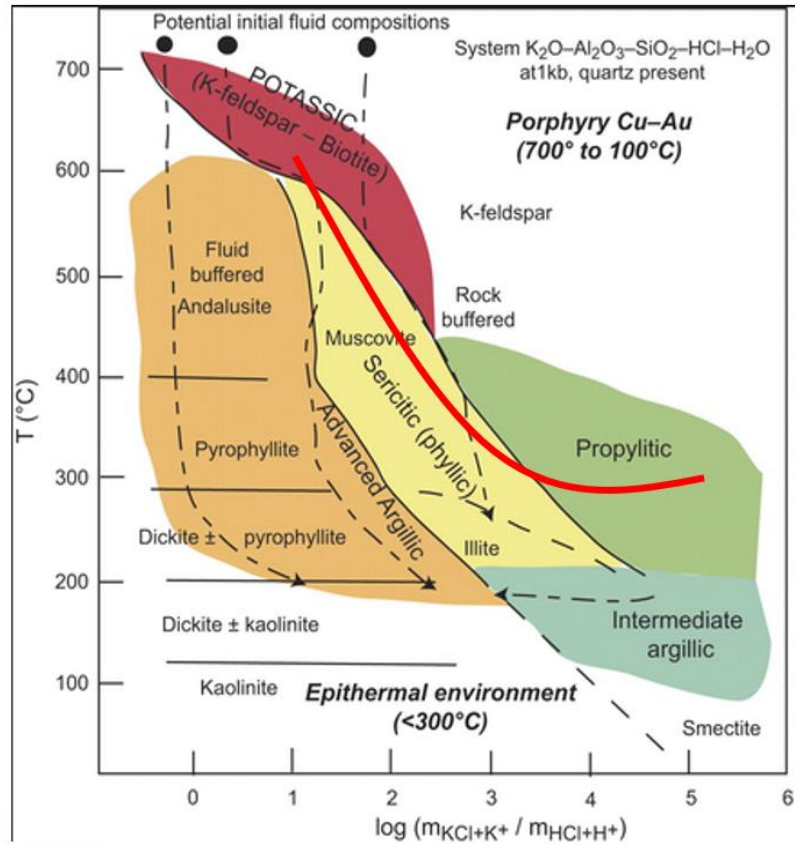
⁴² SILLITOE, Richard. Porphyry Copper Systems. Society of Economic Geologist, inc. Economic Geology, 2010, vol. 105., p. 8.

Tipo A	Alt. Potásica
Tipo D	Alt. Filíca
PI borde de Óxidos	Alt. Argílica Intermedia

Las alteraciones encontradas en los cuerpos, muestran una evolución del fluido magmático

Figura 45), la cual inicia en una alteración potásica, pasando por una filíca y finalmente se da una alteración propilítica, evidenciando a su vez una neutralización del sistema porfirítico a medida que la temperatura va disminuyendo.

Figura 45 Evolución del fluido magmático

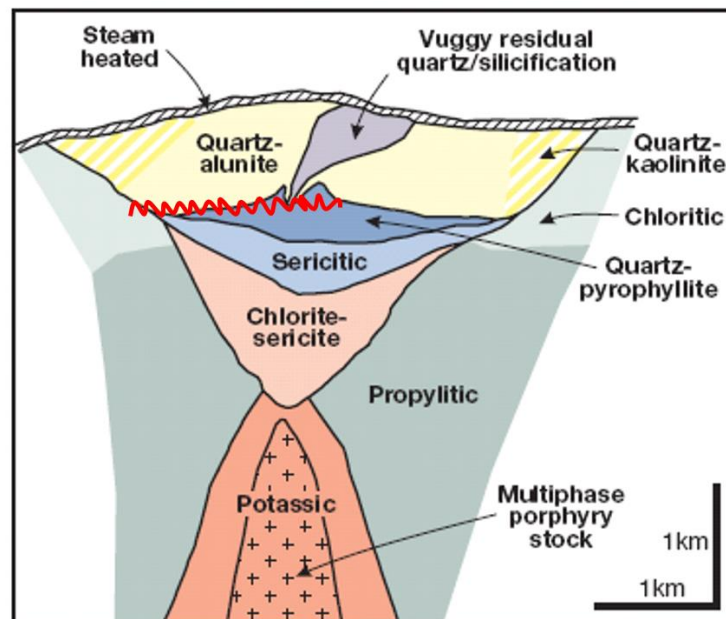


Tomado y modificado de Seedfrod *et al.*, (2005)

En la zona de estudio se observa el ensamblaje mineral y la tipificación de alteraciones características de un pórfido de Au – Cu, las alteraciones más superficiales de este sistema se han erodado y han permitido la exhumación de las alteraciones que encontramos en la zona (

Figura 46).

Figura 46 Zonación de las diferentes alteraciones presentes en un sistema tipo pórfido



Tomado y modificado de Silitoe, (2010)

La edad de estos cuerpos es asociada según McCourt⁴³ a un evento del Cretácico temprano, en el cual tuvo lugar un periodo de acreción en el que la secuencia de piso oceánico del Mesozoico inferior fue acrecionado la Cordillera Central a lo largo de la zona de Falla Romeral⁴⁴, los diferentes pulsos magmáticos como el Complejo Ígneo de Córdoba son asociados a este evento, junto con el pulso que generó los cuerpos de estudio, de ser así estos tendrían un fuerte interés

⁴³ MCCOURT. Op. cit., p. 14.

⁴⁴ Ibíd., p.14.

metalogénico producto de un arco magmático relacionado por Spikings⁴⁵, el cual no se ha estudiado a fondo actualmente.

Igualmente debido a su composición adakítica y a sus anomalías positivas en Eu, lo cual indica la presencia de magmas hidratados, estos cuerpos podrían asociarse a al Mioceno inferior, donde hubo una reorientación en el movimiento relativo de las Placas Oceánica y Suramericana⁴⁶. Esta reorientación afectó el comportamiento del Sistema de Fallas Cauca – Romeral, que durante el Cretácico tuvo un componente lateral-destal y pasó a buzarse al este exhibiendo componentes lateral-sinistral y reversa en el Noroeste de Colombia⁴⁷. En respuesta a este nuevo régimen de subducción un nuevo ciclo magmático Neógeno fue iniciado, al cual se encuentra asociado el cinturón del Cauca medio⁴⁸, y al cual se podrían relacionar estos mismos.

⁴⁵ SPIKINGS Richard, *et al.* The geological history of northwestern South America: from Pangaea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290–75 Ma), *Gondwana Research*, 2015. p. 134.

⁴⁶ MCCOURT. *Op. cit.*, p.15.

⁴⁷ TASSINARI, Colombo; DIAZ, Fabio; BUENA VENTURA, Juaquin. Age and sources of gold mineralization in the Marmato mining district, NW Colombia: A Miocene-Pliocene epizonal gold deposit. *Ore Geology Reviews*, 2007, vol. 33., p. 3.

⁴⁸ SILLITOE, Richard. Major Gold Deposits and Belts of the North and South American Cordillera Distribution, Tectonomagmatic Settings, and Metallogenic Considerations. *Society of Economic Geologist, Economic Geology*, 2008, vol. 103., p. 670.

6. CONCLUSIONES

- Al norte del municipio de Pijao, se reconocen cuerpos porfídricos correspondientes a andesitas y dacitas intruyendo esquistos grafiticos y anfibolitas del complejo Arquía (DE EDAD k). Dichos emplazamientos se hicieron favorables, posiblemente, gracias al sistema de Fallas Cauca-Romeral y la Falla Silvia –Pijao, subparalela a esta, las cuales delimitan el área de estudio.
- Las rocas profiríficas presentan alteraciones potásicas, Argilica Intermedia ; Propilitica, y vetillas tipo A, EB, y D propias de un sistema magmático-hidrotermal tipo pórfido
- La geoquímica de elementos mayores, elementos traza y tierras raras indica que los magmas que dieron origen a las rocas objeto de estudio fueron magmas hidratados (oxidados) y adakíticos, propios de un sistema tipo pórfido*.
- Los cuerpos porfíticos aflorantes pueden o no corresponder a edades cretácicas reportadas por el Ingeominas ó, una edad más reciente, del Mioceno concordantes con el magmatismo del cinturón metalogénico del Valle del Cauca Meido.
- Estos cuerpos en caso de ser del Mioceno, implicarían una extensión al suroeste del cinturón metalogénico del cauca medio; pero en caso de ser del Cretácico superior, se tendría un arco magmático de interés metalogénico, comparativamente poco estudiado al occidente de Colombia.
- Teniendo en cuenta un criterio geoquímico se determinó que las rocas presentes en los cuerpos porfídricos proceden a las series magmáticas: Toleíticas, calco – alcalinas ricas en K; además de un ambiente de arco volcánico.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios geocronológicos en las rocas de estudio para tener una mejor aproximación a su edad y verificar la relación de dichas rocas con las presente en el cinturón del Cauca Medio
- Realizar estudios geocronológicos de los basaltos aflorantes para confirmar la relación establecida en el presente trabajo, con el LIP del caribe
- Realizar análisis de inclusiones fluidas para determinar temperatura del magma del cual provienen estos cuerpo porfídicos; enfocándose en las brechas y vetillas para determinar con mayor veracidad las composiciones químicas y temperaturas del magma y paleofluidos responsables de la mineralización.

BIBLIOGRAFIA

AREVALO, Oscar; MOJICA, Jairo y PATARROYO, Pedro. Sedimentitas del Aptiano Tardío al sur de Pijao, Quebrada La Maizena, Flanco occidental de la Cordillera Central, Departamento del Quindío, Colombia.- GEOLOGIA COLOMBIANA, 2001, vol. 26., p. 29-43.

CAMARGO, Guillermo y MOJICA, Jairo. Reactivation (long-term evolution) of the Silvia Pijao Fault along the "Quebrada la Maizena", western flank of central Cordillera, Quindío-Colombia. Geologic Colombiana, 2004, vol. 29. p. 11-22

CEDIEL, Fabio; SHAW, Robert; CÁCERES, Carlos. Tectonic Assembly of the Northern Andean Block. AAPG, 2003, p. 815-848.

LOPEZ, M. Análisis de deformación tectónica en los piedemontes de las Cordilleras Central y Occidental, Valle del Cauca, Colombia – Contribuciones paleosísmicas. Universidad EAFIT, 2006.

MAYA, Mario; GONZALEZ, Humberto. Lithodemic units in the Central cordillera of Colombia. Geologic bulletin, Ingeominas 35, 1995. p. 49.

MCCOURT, William J. The Geology of the Central Cordillera in the Department of Valle del Cauca, Quindío and NW Tolima: British Geological Survey Report, V. Series 84, 1984 pp. 8-49

MCCOURT, William J., et al. Reseña explicativa del mapa geológico preliminar Plancha 243 Armenia. INGEOMINAS, 1985.

MCDONOUGH William y WEIDONG, Sun. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition. Geological Society, London, Special Publication, 1989, vol. 42., p. 313-345

MEINERT, Lawrence. Compositional variation of igneous rocks associated with skarn deposits - Chemical evidence for a genetic connection between petrogenesis and mineralization: in Thompson, J.F.H., ed., Magmas, fluids, and ore deposits, Min. Assoc. Can. Short Course Series, 1995, vol. 23., p. 401-418.

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

NIVIA, Alvaro, *et al.* The Quebradagrande Complex: A Lower Cretaceous marginal basin in the Central Cordillera of the Colombian Andes. *Journal of South American earth sciences*, 2006, Vol. 21., p. 423-436.

PEARCE, Julian y HARRIS, Niguel y TINDLE, Andrew. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses: *Earth and Planetary Science Letters*, 1984, Vol. 73, p. 237-249.

RESTREPO, Julian. Obducción y metamorfismo de ofiolitas Triásicas en el flanco occidental del terreno Tahamí, Cordillera Central de Colombia. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 2008, Vol. 22., p. 49-100.

RESTREPO, Jorge Julian, *et al.* Triassic metamorphism in the northern part of the Tahamí Terrane of the central cordillera of Colombia. *Journal of South America Earth Sciences*, 2012, Vol. 34.

ROLLINSON, Hugh. *Using Geochemical Data: Evaluation, presentation, interpretation*, 1993

SEEDORFF E, *et al.* Porphyry-related deposits: Characteristics and origin of hypogene features. *Economic Geology*, 2005, vol. 100th Anniversary., p. 251-298.

SILLITOE, Richard. Major Gold Deposits and Belts of the North and South American Cordillera Distribution, Tectonomagmatic Settings, and Metallogenic Considerations. *Society of Economic Geologist, Economic Geology*, 2008, vol. 103., p. 663-687.

SILLITOE, Richard. Porphyry Copper Systems. *Society of Economic Geologist, inc. Economic Geology*, 2010, vol. 105., p. 3-11.

SPIKINGS Richard, *et al.* The geological history of northwestern South America: from Pangaea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290–75 Ma), *Gondwana Research*, 2015.

TARNEY, John y JONES, Charles. Trace element geochemistry of orogenic igneous rocks and crustal growth models. *Journal of the Geological Society*, 1994, Vol 151., p.855-868.

TASSINARI, Colombo; DIAZ, Fabio; BUENA VENTURA, Juaquin. Age and sources of gold mineralization in the Marmato mining district, NW Colombia: A Miocene-Pliocene epizonal gold deposit. *Ore Geology Reviews*, 2007, vol. 33, p. 505-518.

TORO, Jaime, *et al.* Thermal and kinematic evolution of the Eastern Cordillera fold-and thrust belt, Colombia. *AAPG Hedberg*, 2004, Vol.1., p.79-115.

TOUSSAINT, J. & RESTREPO, J. 1978B. Edad cretácea de una anfibolita granatífera de PijaoQuindío. Boletín Ciencia de la Tierra N°17. Universidad Nacional de Colombia. Medellín

VILLAGOMEZ, Diego, et al. Geochronology, geochemistry and tectonic evolution of the Western and Central cordilleras of Colombia. Lithos magazine, 2011. p. 875-895.

WINCHESTER, Jhon y FLOYD, Peter. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chemical Geology, 1976, vol. 20., p. 325-343.