

ESTUDIO MINERALÓGICO, PETROGRÁFICO Y GEOQUÍMICO DE LAS ROCAS
ÍGNEAS AFLORANTES EN EL CERRO EL MIRADOR (VIA MOGOTES-SAN
JOAQUÍN, DEPARTAMENTO DE SANTANDER)

CARLOS ANDRES HERNANDEZ MUÑOZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA
2011

ESTUDIO MINERALÓGICO, PETROGRÁFICO Y GEOQUÍMICO DE LAS ROCAS
ÍGNEAS AFLORANTES EN EL CERRO EL MIRADOR (VIA MOGOTES-SAN
JOAQUÍN, DEPARTAMENTO DE SANTANDER)

CARLOS ANDRES HERNANDEZ MUÑOZ

Trabajo de Grado para optar al Título de Geólogo

Director
LUIS CARLOS MANTILLA FIGUEROA
GEÓLOGO Ph.D.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA
2011

DEDICATORIA

*A Dios por brindarme su respaldo en cada instante de mi vida.
A mi mamá por brindarme su confianza, su amistad incondicional, y sobre todo su amor que fue la base de mi formación.
A mi papá por la confianza que depositó en mí y por sus esfuerzos constantes para brindarme lo mejor.
A mi hermano menor Julián Felipe por su gran apoyo y amistad, además por verme como un ejemplo a seguir, por esta razón doy lo mejor de mí en cada meta que me trazo.
A la memoria de mi nonito Crisanto Hernández quien me enseñó a no rendirme en los momentos difíciles de la vida.
Y con todo mi amor a mamorchis por su paciencia, comprensión, por su incondicional y sincero amor y a su familia por su gran apoyo.*

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Luis Carlos Mantilla Figueroa por la confianza depositada en mí para realizar este proyecto.

A Jorge Arley Meza Ortiz mi codirector por su gran apoyo en todo momento, por sus aportes y consejos desde mi formación como semillero del GIE.

A mis padres Carlos y Esperanza por creer en mí y por la formación que me brindaron gracias a ustedes estoy donde estoy, LOS AMO.

A mi hermano porque es una de las principales razones para yo querer seguir luchando y así ser un buen ejemplo para él, y por todos los momentos agradables que hemos vivido.

A los geólogos Freddy Gallo, Cesar Tarazona, Jaime Gelvez y Alexandra Ulloa porque siempre estuvieron dispuestos a colaborarme con mis inquietudes.

A mis amigos de infancia Victor Moreno y Christian Salcedo por los momentos agradables que hemos vivido a lo largo de nuestras vidas.

A mis compañeros de estudio y amigos incondicionales Adriana Herrera, Lizeth Gómez, Yudi Cepeda, Mónica Mendoza, Jenny Ramírez, Daren Rodríguez y Aldemar Gómez (los Juanchos).

A Anggie mi novia por su gran amor, por su confianza, pero sobre todo por la incondicionalidad y apoyo que he recibido de su parte en estos últimos tres años de mi vida.

A doña Argenida García por sus consejos y su gran apoyo.

A los docentes Fernando Muñoz, Jorge Rubiano, Carlos García, Luis Carlos Mantilla, Jorge Pinto, Ricardo Mier, Luis Eduardo Moreno, Carlos Alberto Ríos y Edwin Mendoza por su carisma y aporte a mi conocimiento durante las clases que tuve la oportunidad de recibir por parte de ellos.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	14
1. OBJETIVOS.....	15
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2. METODOLOGIA DE ESTUDIO.....	16
2.1 FASE DE PRE-CAMPO.....	16
2.2 FASE DE CAMPO.....	16
2.3 FASE DE OFICINA Y LABORATORIO.....	16
2.3.1 Descripción Macroscópica de Muestras.....	16
2.3.2 Elaboración de Láminas Delgadas.....	17
2.3.3 La descripción petrográfica.....	18
3. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	21
3.1 LOCALIZACIÓN.....	21
3.2 VIAS DE ACCESO.....	22
3.3 CLIMA.....	24
3.4 VEGETACION.....	25
3.4.1 FORMACIONES VEGETALES PRESENTES EN LA ZONA.....	25
3.4.2 SELVA INFERIOR TROPICAL SECA (enclave xerofítico).....	25
3.4.3 SELVA SUBANDINA.....	25
3.4.4 SELVA ANDINA.....	25
4. ANTECEDENTES.....	27
4.1 ESTRATIGRAFIA.....	28
4.1.2 Formación Floresta.....	29
4.1.3 El Batolito de Mogotes.....	29
5. RESULTADOS.....	31
5.1 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y RASGOS MACROSCOPICOS GENERALES DE LAS ROCAS ÍGNEAS OBJETO DE ESTUDIO.....	31
6. PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS IGNEAS RIOLITICAS.....	40
6.1 RIOLITAS PORFIRITICAS.....	40
6.1.1 CONSIDERACIONES TEORICAS.....	47
6.2 FILITAS CUARCITICAS.....	48
7. IDENTIFICACIÓN DE FASES MINERALES MEDIANTE DIFRACCION DE RAYOS X.....	49
7.1 Rocas Riolíticas Porfíricas.....	49
7.2 Filitas Cuarcíticas.....	56
8. CLASIFICACIÓN MODAL DE LAS ROCAS ESTUDIADAS.....	61
9. DATOS GEOQUIMICOS DE ROCA TOTAL.....	62
9.1 ANALISIS GEOQUIMICO DE OXIDOS MAYORES.....	62
9.1.1 Clasificación de las rocas Igneas usando cationes.....	64
9.1.2 Concentración absoluta de Sílice.....	66
9.1.3 Saturación de Alúmina.....	67
9.1.4 Composición Normativa CIPW.....	68

9.1.5 Clasificación TAS.....	68
9.1.6 Oxidación del magma	69
9.1.7 Series Magmáticas	70
9.1.8 Diagramas de Variación	72
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES.....	81
BIBLIOGRAFÍA.....	82
ANEXOS.....	83

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Condiciones a las cuales se utilizo el difractómetro para análisis de DRX	20
Tabla 2. Analítos y porcentaje de rangos arrojado por análisis de roca total por fusión con metaborato de litio seguido de XRF con LOI (Perdida por ignición).	21
Tabla 3. Muestras colectadas en campo	33
Tabla 4. Clasificación de muestras por petrografía.	41
Tabla 5. Fases minerales presentes en la muestra CT-6-M2	51
Tabla 6. Fases minerales presentes en la muestra CT-6-M4	54
Tabla 7. Fases minerales presentes en la muestra CT-7-M1	55
Tabla 8. Fases minerales presentes en la muestra CT-8-M1	57
Tabla 9. Fases minerales presentes en la muestra CT-4-M1	60
Tabla 10. Fases minerales presentes en la muestra CT-7-M2	61
Tabla 11. Resultados de Fluorescencia de Rayos X (FRX) de elementos mayores presentados en % peso.	65
Tabla 12. Relación del índice químico de meteorización (CIW), para las rocas analizadas.	66
Tabla 13. Calculo cationico de las muestra objeto de estudio.	67
Tabla 14: Clasificación de las rocas analizadas por medio del % peso de SiO ₂ presente.	69
Tabla 15: Clasificación de las rocas analizadas por medio del % peso de SiO ₂ presente.	70
Tabla 16: Composición normativa de las riolitas porfiríticas.	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del cerro El Mirador	14
Figura 2. Lupa binocular NIKON N1-150, modelo C-PS, utilizada en la descripción macroscópica de las muestras. Laboratorio de lupas, Escuela de Geología, (UIS).....	17
Figura 3. Cortadora, mufla y pulidoras utilizadas en la elaboración de las láminas delgadas.	17
Figura 4. Microscopio de luz transmitida <i>NIKON ECLIPSE E200 50/POL</i> con cámara y pantalla incorporada: Digital Sight DS-SM y Digital Sight DS-L1. Laboratorio de microscopía óptica, escuela de Geología, (UIS).....	18
Figura 5. Equipos de laboratorio utilizados en la pulverización de muestras.	19
Figura 6. Difractómetro <i>Rigaku</i> modelo <i>DMAX IIIB</i>	19
Figura 7. Localización geográfica de la zona de estudio.....	21
Figura 8. Zona de estudio, vista en 3D.	22
Figura 9. Mapa de infraestructura vial y acceso al municipio de Mogotes	23
Figura 10. Panorámica del cerro el mirador	26
Figura 11. Mapa geológico de la zona objeto de estudio (rectángulo rojo) escala 1:35.000.....	30
Figura 12. Esquemas topográfico y geológico en los cuales se indica la localización geográfica de las muestras objeto de estudio.	32
Figura 13. Afloramiento de las rocas ígneas aflorantes en el cerro El mirador.	33
Figura 14. Afloramiento de las filitas cuarcíticas aflorantes en el cerro El mirador.	33
Figura 15. Dirección de la foliación regional.	34
Figura 16. Contacto entre las rocas ígneas y metamórficas.	35
Figura 17. Afloramiento de las rocas ígneas las cuales se caracterizan por su facilidad de meteorizarse.	36
Figura 18. Fractura entre el contacto ígneo-metamórfico.	37
Figura 19. Muestra de mano colectada en campo correspondiente a una riolita porfirítica.....	38
Figura 20. Muestra de mano de las filitas cuarcíticas.	38
Figura 21. Muestra de mano de las filitas ricas en filosilicatos.....	39
Figura 22. Fenocristales de cuarzo presente en las rocas ígneas objeto de estudio.	41
Figura 23. Fenocristales de cuarzo con embahiamiento presentes en las rocas ígneas objeto de estudio.	41
Figura 24. Cuarzo en intercrecimiento en cristales de feldespato potásico presentes en las rocas ígneas objeto de estudio.	42
Figura 25. Fenocristales de feldespato potásico presentes en las rocas ígneas objeto de estudio.....	43
Figura 26. Fenocristales de feldespato potásico que contienen intercrecimiento de cuarzo, presentes en las rocas ígneas objeto de estudio.	43

Figura 27. Fenocristales de feldespato plagioclasa presentes en las rocas ígneas objeto de estudio.....	44
Figura 28. Fenocristales de clorita presentes en las rocas ígneas objeto de estudio.	45
Figura 29. Matriz de las Riolitas porfíricas. Microfotografías tomadas con objetivos de 10 X y 40 X respectivamente.	46
Figura 32. Difractograma para la muestra CT-6-M2 (riolita porfírica)	50
Figura 33. Difractograma para la muestra CT-6-M4 (riolita porfírica)	52
Figura 34. Difractograma para la muestra CT-7-M1 (riolita porfírica)	54
Figura 35. Difractograma para la muestra CT-8-M1 (riolita porfírica)	56
Figura 35. Difractograma para la muestra CT-4-M1.....	58
Figura 37. Difractograma para la muestra CT-7-M2.....	60
Figura 38. Diagrama de clasificación de rocas riolíticas porfíricas según el contenido mineralógico modal, usando el diagrama QAPF.	61
Figura 39. Diagrama Al, Fe+Ti, Mg para la clasificación de las muestras objeto de estudio según sus porcentajes cationicos, donde se muestran los campos correspondientes a las series Toleítica, Komatiítica y Calco-alcalina.	66
Figura 40. Diagrama de clasificación de rocas ígneas volcánicas $Na_2O + K_2O$ versus SiO_2	69
Figura 41. Diagrama de caracterización del magma (oxidante o reductor).....	70
Figura 42. Diagrama de composición de los álcalis vs. porcentaje en peso del sílice.....	71
Figura 43. Diagrama AFM, el cual se empleó para determinar que la serie de las muestras objeto de estudio corresponden a calco-alcalinias.....	71
Figura 44. Diagrama de proyección de K_2O vs. SiO_2	72
Figura 45. Diagrama de Variación de Al_2O_3 vs. SiO_2	72
Figura 46. Diagrama de Variación de MgO vs. SiO_2	73
Figura 47. Diagrama de Variación de Fe_2O_3 vs. SiO_2	73
Figura 48. Diagrama de Varición de CaO vs. SiO_2	74
Figura 49. Diagrama de Varición de Na_2O vs. SiO_2	74
Figura 50. Diagrama de Varición de TiO_2 vs. SiO_2	75
Figura 51. Diagrama de Varición de K_2O vs. SiO_2	75
Figura 52. Elementos traza normalizados con respecto a la corteza superior.	76
Figura 53. Elementos traza normalizados con respecto al MORB.	77
Figura 54. Elementos traza normalizados con respecto al condrito.	77

RESUMEN

TITULO:

ESTUDIO MINERALÓGICO, PETROGRÁFICO Y GEOQUÍMICO DE LAS ROCAS ÍGNEAS AFLORANTES EN EL CERRO EL MIRADOR (VIA MOGOTES-SAN JOAQUÍN, DEPARTAMENTO DE SANTANDER)*

AUTORES

HERNÁNDEZ MUÑOZ Carlos Andrés **

PALABRAS CLAVE:

Petrografía, geoquímica, riolitas porfíricas, texturas de intercrecimiento.

DESCRIPCIÓN

En la vía que comunica los municipios de Mogotes y San Joaquín, en el departamento de Santander se encuentra el Cerro El Mirador, el cual está conformado por unos diques de composición riolítico porfírico, los cuales se encuentran instruyendo unas filitas cuarcíticas.

El objetivo principal del proyecto es caracterizar mineralógica, petrográfica y geoquímicamente las Riolitas porfíricas. Por medio de análisis geoquímicos de elementos mayores, menores y trazas, usando los respectivos diagramas como son los diagramas de Harker, diagramas multielementos, determinando también series magmáticas, etc, análisis de fases minerales por medio de difracción de rayos x (DRX), realización de secciones delgadas para determinar su petrografía.

Estas rocas corresponden a una serie calco-alcalina alta en potasio, por lo cual se puede afirmar que corresponden a una zona de margen de placa convergente subducción, que Las texturas de intercrecimiento allí presentes (gráfica y mirmekítica), junto con las texturas esferulíticas y afanítica, evidencian un proceso de cristalización progresivo del magma félsico (fundido+volátiles), en el cual parte núcleo y otra parte en un ambiente propio de la desgasificación del mismo,(subenfriamiento cund coorig) las texturas de estas rocas ígneas indican condiciones de comportamiento muy someros pero estos magmas. Estas Riolitas se llevo a cabo a profundidades muy someras.

* Proyecto de grado

** Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-químicas. Escuela de Geología. Director Ph D. MANTILLA FIGUEROA Luis Carlos.

ABSTRACT

TITLE

MINERALOGICAL STUDIES, PETROGRAPHIC AND GEOCHEMISTRY OF IGNEOUS ROCKS EXPOSED IN THE EL CERRO MIRADOR (ROAD MOGOTES-SAN JOAQUIN DEPARTMENT OF SANTANDER)*

AUTHORS

Carlos Andrés Hernández Muñoz**

KEY WORDS

Petrography, geochemistry, porphyritic rhyolite, intergrowing textures.

DESCRIPTION

On the road between the towns of San Joaquin-Mogotes and in the department of Santander is the Cerro El Mirador, which consist of a porphyritic rhyolitic dykes, which are intruding a quartzitic phyllites.

The project's main objective is to characterize the mineralogy, petrography, petrography and geochemistry of porphyritic rhyolite. Through geochemical analysis of major elements, minor and trace, using the respective diagrams such as Harker diagrams, charts, multielement, also determining magmatic series, etc, mineral phase analysis using x ray diffraction (XRD), performance thin sections to determine their petrography.

These rocks belong to calc-alkaline series high in potassium, which can be said to correspond to a subduction zone of convergent plate margin calc-alkaline magmas, which intergrowth textures inside (graphics and mirmekítica), together with the spherulites and aphanitic textures, show a progressive crystallization processes felsic magma (molten + volatile), in which the innermost part of the phenocrysts, forces in an environment in which the magma had reached saturation of the water. Then, and after reaching the saturation of water in the magma (molten and volatile form separate phases) and the subsequent escape of these volatile residual magma (molten non-volatile), is an indicator that the formation of these rhyolite was out at very shallow depths.

*graduation Project

** Universidad Industrial de Santander. Faculty of Physical and Chemical Engineering. Geology School. Director Ph D. Luis Carlos Mantilla Figueroa.

INTRODUCCION

Las rocas ígneas componen aproximadamente, el noventa y cinco por ciento de la parte superior de la corteza terrestre, esto las convierte en objetivo de diversos estudios ya que en circunstancias especiales se encuentran asociadas a mineralizaciones que generan un interés económico como el caso puntual del Oro, Cobre, Platino, etc. Uno de los principales inconvenientes para la exploración y explotación de estos recursos es el poco conocimiento de la cartografía geológica de nuestro territorio, por esta razón el aporte más importante de este trabajo será estudiar en detalle las rocas ígneas del cerro El Mirador (ubicado en la vía que comunica los municipios de Mogotes y San Joaquín en el departamento de Santander) identificando las características texturales y composicionales de estas rocas y a la vez establecer la serie y el contexto tectónico del emplazamiento, por medio de análisis geoquímico. Ver **Figura 1**.

El presente documento es el resultado de un trabajo de un proyecto de grado llevado a cabo en la modalidad de Investigación, desarrollado por iniciativa del grupo de Investigación en Mineralogía, Petrología y Geoquímica (MINPETGEO), adscrito a la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander (UIS).

Figura 1. Localización del cerro El Mirador



FUENTE: Google Earth

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar mineralógica y geoquímicamente las rocas ígneas aflorantes en el Cerro el Mirador (vía Mogotes – San Joaquín, Departamento de Santander).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un esquema geológico del área de estudio, apoyados en la cartografía geológica existente (mapa H-12, informes ingeominas-uis, etc.) y demás información geológica disponible.
- Identificar las características texturales y composicionales de las rocas ígneas y su encajante, presentes en la zona de estudio, mediante análisis mineralógico y petrográfico.
- Establecer la serie y el contexto tectónico del emplazamiento, por medio de análisis geoquímicos de elementos mayores, menores y trazas, apoyados en diagramas geoquímicos propuestos para tal fin.

2. METODOLOGIA DE ESTUDIO

La ejecución del actual proyecto se puede planear y resumir de una manera esquemática en seis Etapas o Fases, las cuales se enuncian y se describen a continuación brevemente:

2.1 FASE DE PRE-CAMPO

El trabajo de precampo comienza con la recopilación y análisis de la información existente para el área de estudio como: topográfica y cartografía geológica, además de informes y publicaciones geológicas; esto con el fin de tener una idea de la geología regional entre otros aspectos menos importantes pero que igualmente deben ser tenidos en cuenta, los cuales pueden ser de carácter climatológico y topográfico de la zona de estudio. La búsqueda de esta información se desarrollo en las bibliotecas de la UIS, el INGEOMINAS (sedes de Bucaramanga y Bogotá) del ICP (Instituto Colombiano del Petróleo) y en la Base de Datos GEOREF de la Biblioteca UIS.

2.2 FASE DE CAMPO

Esta fase se inicia con el reconocimiento de campo, de las rocas ígneas intrusivas de la zona y demás manifestaciones ígneas de nuestro interés. Fueron tomadas 17 muestras de las cuales se obtendrá la información que se requiere, por medio de los diferentes estudios y análisis a realizar

2.3 FASE DE OFICINA Y LABORATORIO

La fase de oficina está representada entonces por la interpretación de los datos obtenidos durante el reconocimiento de campo, teniendo por objetivo la elaboración de los productos finales: como Catálogo de Muestras, el Catálogo Fotográfico, la Elaboración y Descripción de Secciones Delgadas, análisis de DRX, Análisis de elementos mayores, menores y trazas, entre otros.

2.3.1 Descripción Macroscópica de Muestras. La descripción de las muestras de mano se desarrollará en el Laboratorio de lupas de la escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander utilizando un estéreo-microscopio marca Nikon Inc. NI-150 modelo C-PS (**Figura 2**).

Figura 2. Lupa binocular NIKON N1-150, modelo C-PS, utilizada en la descripción macroscópica de las muestras. Laboratorio de lupas, Escuela de Geología, (UIS).



Fuente: Fotografía tomada por el autor

2.3.2 Elaboración de Láminas Delgadas. La preparación de muestras fue realizada en las instalaciones del Laboratorio de Preparación de Muestras de la UIS donde se hicieron los respectivos cortes y secado.

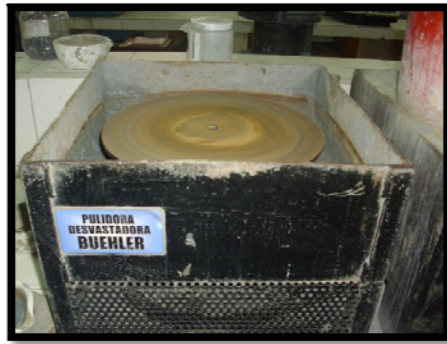
Figura 3. Cortadora, mufla y pulidoras utilizadas en la elaboración de las láminas delgadas.



a.



b.



c.



d.

Fuente: Fotografías tomadas por el autor

2.3.3 La descripción petrográfica fue realizada en el laboratorio de microscopía óptica, con la ayuda del microscopio de luz transmitida *NIKON ECLIPSE E200 50/POL* con cámara y pantalla incorporada: Digital Sight DS-SM y Digital Sight DS-L1 respectivamente (**Figura 4**), la práctica se llevó a cabo en las instalaciones de la escuela de Geología en la Universidad Industrial de Santander; las respectivas descripciones se encuentran en el catalogo petrográfico. El análisis modal de las secciones delgadas se realizó mediante el método de rejilla con conteo de ± 300 puntos. La clasificación composicional de las rocas ígneas es la propuesta por Streckeisen (1979).

Figura 4. Microscopio de luz transmitida *NIKON ECLIPSE E200 50/POL* con cámara y pantalla incorporada: Digital Sight DS-SM y Digital Sight DS-L1. Laboratorio de microscopía óptica, escuela de Geología, (UIS).



Fuente: Fotografía tomada por el autor

Para apoyar los trabajos de identificación de los diferentes minerales presentes en las rocas objeto de estudio por medio de Difracción de Rayos X (DRX), se pulverizaron muestras de rocas hasta un tamaño de $-53\mu\text{m}$, utilizando una

trituradora de mandíbula RETSCH tipo BB200 SCHWERMETALLFREI (**Figura 5a**), el mortero de Agatha RM 100 RETSCH durante 10 min (**Figura 5b**), posteriormente se tamizó en una maya de 250. Las muestra fueron pulverizadas en el laboratorio de Triturado, el tamizado y pulverizado de muestras fue llevado a cabo en la escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander.

Figura 5. Equipos de laboratorio utilizados en la pulverización de muestras.

a. trituradora de mandíbula RETSCH tipo BB200 SCHWERMETALLFREI **b.** mortero de Agatha RM 100 RETSCH.



a.

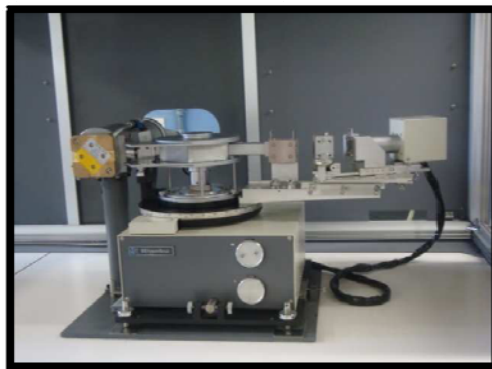


b.

Fuente: Fotografía tomada por el autor

La difracción propiamente dicha se llevó a cabo utilizando un difractómetro marca *Rigaku* modelo *DMAX III B*, en el laboratorio de difracción de rayos X (DRX) de la Escuela de Química de la Universidad Industrial de Santander. El difractómetro se operó bajo las condiciones que se muestran en la **Tabla 1**.

Figura 6. Difractómetro *Rigaku* modelo *DMAX III B*.



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Tabla 1. Condiciones a las cuales se utilizó el difractómetro para análisis de DRX

VOLTAJE	45(KV)
CORRIENTE	40 (mA.)
RENDIJAS SOLLER	0,04 rad (incidencia y difracción)
RENDIJAS FIJAS	1/4 y 1/8 (incidencia) y 1/4 (difracción)
MUESTREO	0,013° 2 theta
RANGO DE MEDICION	4-70° 2 theta
RADIACION	CuK α 1
FILTRO	Ni
DETECTOR	Estado sólido, PIX con 225 canales activos
TIPO DE BARRIDO	Continuo
TIEMPO DE PASO	59 s

Fuente: Elaboración propia, teniendo en cuenta el informe recibido del análisis de DRX.

Los análisis geoquímicos de las muestras seleccionadas (elementos mayores, menores y trazas), fueron realizados en el laboratorio ALS Chemix, Funza, Cundinamarca.

En términos generales, los elementos mayores y menores fueron analizados mediante espectroscopia por fluorescencia de rayos X, y los elementos traza mediante espectroscopia de masas (ICP- MS). Los analitos y porcentaje de rangos arrojado por cada análisis, se encuentran especificados en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Analitos y porcentaje de rangos arrojado por análisis de roca total por fusión con metaborato de litio seguido de XRF con LOI (Perdida por ignición).

Elemento	Símbolo	Unidades	Limite Inferior	Limite Superior
Oxido de Aluminio	Al ₂ O ₃	%	0,01	60
Oxido de Bario	BaO	%	0,001	6
Oxido de Calcio	CaO	%	0,01	50
Oxido de Cromo	Cr ₂ O ₃	%	0,001	10
Oxido Férrico	Fe ₂ O ₃	%	0,01	100
Oxido de Potasio	K ₂ O	%	0,001	15
Oxido de Magnesio	MgO	%	0,01	50
Oxido de Manganeso	MnO	%	0,001	75
Oxido de Sodio	Na ₂ O	%	0,001	10
Oxido de Fosforo	P ₂ O ₅	%	0,001	35
Oxido de Silicio	SiO ₂	%	0,01	100
Oxido de Estroncio	SrO	%	0,001	1
Oxido de Titanio	TiO ₂	%	0,01	100
Perdida ppor Ignición	LOI	%	0,01	100

3. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 LOCALIZACIÓN

La zona objeto de estudio del presente trabajo está localizada en El Macizo de Santander, situado sobre el flanco oriental de la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos.

La zona de interés, es decir El Cerro el Mirador se encuentra en la vía que comunica los municipios de Mogotes y San Joaquín, están comprendidos dentro de las coordenadas planas:

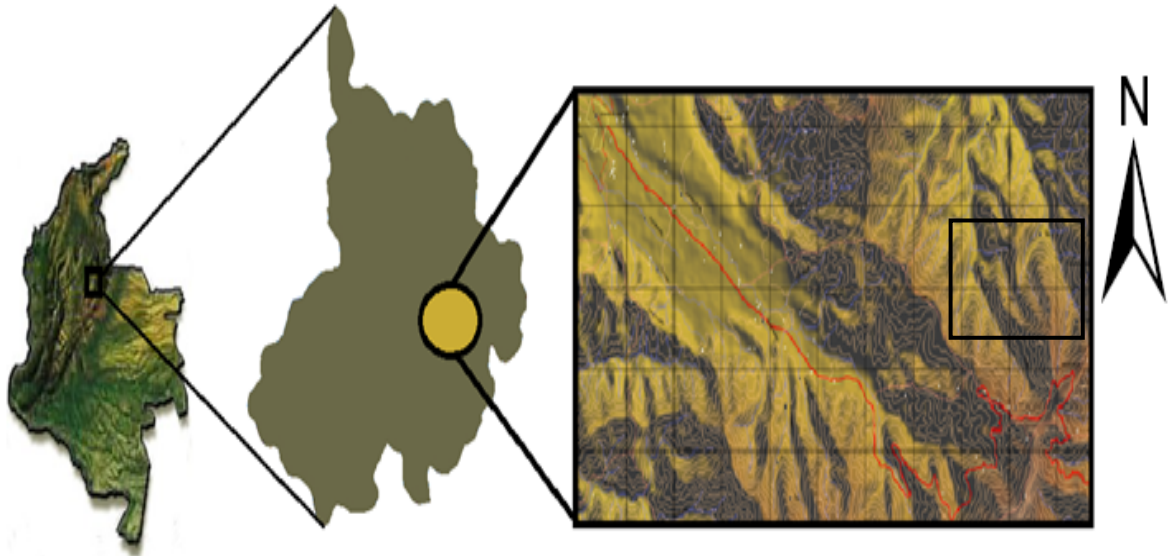
$$X_1= 1.2043.980 - X_2= 1.204.801$$

$$Y_1= 1.128.783 - Y_2= 1.131.966$$

Cartografiadas en la plancha, 136-III-C de la base cartográfica del IGAC a escala 1:25.000. Se ubica en la vía que comunica los municipios de Mogotes y San Joaquín. Ver **Figura 7**.

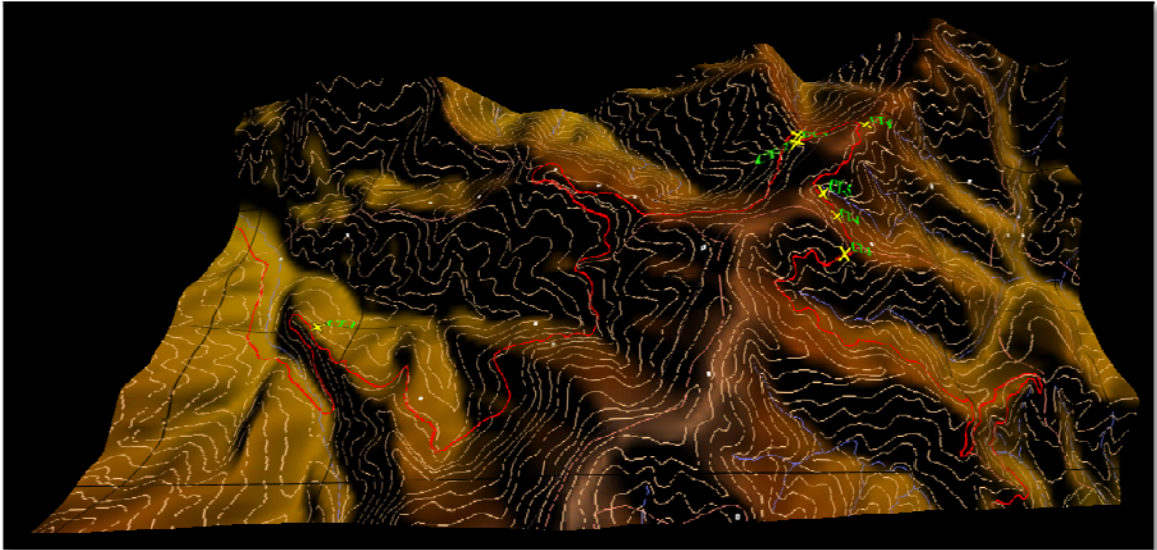
Estas coordenadas corresponden a las adoptadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, según el cual se toma como origen un punto en la ciudad de Bogotá de coordenadas planas: $X = 1'000.000$; $Y = 1'000.000$ y la intersección del paralelo de latitud $4^{\circ} 35' 56,57''$ Norte, con el meridiano de longitud $74^{\circ}04' 51,30''$ W, de Greenwich (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1967).

Figura 7. Localización geográfica de la zona de estudio.



Fuente: Plancha 136 III C, modificación realizada en paint

Figura 8. Zona de estudio, vista en 3D.



Fuente: Plancha 136 III C, Global Mapper

3.2 VIAS DE ACCESO

El acceso al Municipio de Mogotes y su cabecera municipal, se realiza principalmente a través de una ruta, que se origina sobre la Vía Troncal Central Nacional que comunica a la capital del departamento (Bucaramanga) y la capital de la República (Bogotá), así:

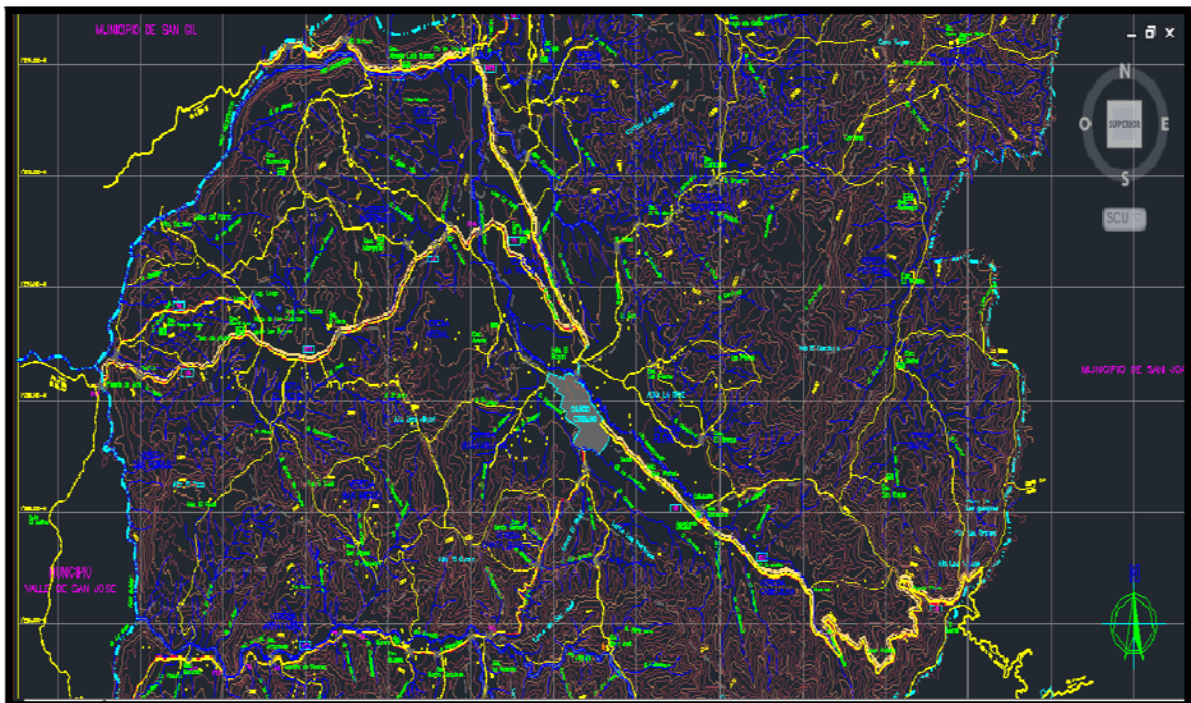
- En la Troncal Central Nacional, partiendo de un desvío localizado 2 kilómetros, antes de llegar al casco urbano del municipio de San Gil, a través de la vía denominada “Transversal” de 33 kilómetros de extensión para llegar al municipio de Mogotes, con afirmado en tierra y tramos cortos de pavimento que en la actualidad han cumplido su servicio presentando deterioro severo. La administración de la vía está a cargo del Instituto Nacional de Vías INVIAS y de los municipios de San Gil y Mogotes en cuanto a 20,6 Km de jurisdicción correspondiente al primero y 12,4 Km al segundo respectivamente. **(Figura 9)**.

De otra parte el municipio cuenta con otras vías de acceso, que lo integran a otros municipios, así:

- La vía Hoyo – Peña blanca – Puente de Arco comunica al municipio de Mogotes con el municipio de Valle de San José consolidando una región de relevante importancia a nivel económico en cuanto a los altos niveles de productividad y riquezas ecoturísticas que ofrece al municipio.

- La vía Mogotes – Guaure – Valle de san José, proyecto de consolidación comercial y de fortalecimiento de la vocación que define al municipio como prestador de servicios sociales a nivel subregional, pues su terminación y mejoramiento beneficiaría la región de mayor riqueza hídrica del municipio.
- La vía Mogotes – San Joaquín permite el desarrollo de las actividades comerciales con los municipios vecinos de San Joaquín , Onzaga y el departamento de Boyacá pues esta transversal comunica la Troncal Central con la denominada "Troncal del Norte".
- La vía Guamo – Pitiguao – Manchadores se bifurca de la vía que conduce a San Gil y comunica a Mogotes con el municipio de Curití, fortaleciendo el desarrollo de la agroindustria del fique, actividad productiva de primer orden a nivel municipal.
- El municipio de Mogotes presenta conflictos de accesibilidad regional entre la cabecera municipal y los municipios de San Gil, Valle de San José, San Joaquín, Onzaga y Curití, debido a las deficientes características y condiciones técnicas que presentan las diferentes vías del territorio, dificultando los vínculos e intercambios comerciales y con ello desmejorando la calidad de vida de los Mogotanos.

Figura 9. Mapa de infraestructura vial y acceso al municipio de Mogotes



Fuente: Documento del Plan de Ordenamiento Territorial, Municipio de Mogotes.



3.3 CLIMA

El municipio de Mogotes según la gobernación del departamento de Santander (POT del municipio de Mogotes 2002). La precipitación a lo largo del año no se distribuye uniformemente, presentándose un ciclo bimodal con dos periodos secos y dos húmedos denominados invierno y verano. La precipitación en el municipio de Mogotes se comporta de una manera similar a la mayor parte de la región andina Colombiana, con un periodo seco en Diciembre, Enero y Febrero; Marzo es de transición puesto que da paso a los meses lluviosos que van desde mediados de Marzo hasta Mayo; a continuación se presenta un periodo semi-seco que cubre Junio, Julio y Agosto; luego se presenta el segundo periodo de lluvias en los meses de septiembre, Octubre y parte del mes de Noviembre.

La temperatura media anual del municipio de Mogotes es de 18.6 °C.

3.4 VEGETACION

3.4.1 FORMACIONES VEGETALES PRESENTES EN LA ZONA

Las tres subdivisiones de esta formación son la selva Inferior, Subandina y Andina, que son reguladas principalmente por el factor temperatura y en menor grado por la humedad.

Para el área del municipio de Mogotes se identificaron las tres sub-formaciones:

3.4.2 SELVA INFERIOR TROPICAL SECA (enclave xerofítico).

Se encuentra localizada al noreste del municipio entre las cotas 800 y 1000 msnm. Estas áreas por lo general no poseen cobertura vegetal arbórea, los suelos permanecen desarbolados de origen abrupto seco, suelos con material rocoso aflorante, temperaturas mayores a 24 °C, con alto grado de erosión.

3.4.3 SELVA SUBANDINA.

Se extiende desde los 1000 a 2400 msnm, la fisionomía de esta selva se caracteriza por presentar especies con estribos, pocas lianas y epífitas leñosas. La característica de esta formación se establece sobre fuertes pendientes.

Esta vegetación se compone de parches principalmente no conectados por corredores con especies florísticas de los diferentes estratos y zonas en recuperación que alberga especies faunísticas de gran importancia ecológica. Cumple funciones de protección, conservación de drenajes naturales que es el lugar que más se conserva de esta formación debido a su difícil acceso.

3.4.4 SELVA ANDINA

También se denomina Bosque Nublado. Su distribución altitudinal oscila entre los 2400 hasta unos 3000 msnm. Se caracterizan por una gran nubosidad y por el aprovechamiento del espacio por parte de grupos con un alto grado de epifitismo, conformando un estrato epífita exuberante y por bromelieaceas y orquídeas, sobresalen las pteridofitas, musgos y hepáticas que cubren las ramas y troncos de los árboles (Pérez - Arbeláez, 1986).

Figura 10. Panorámica del cerro el mirador



Fuente: Fotografías tomadas por el autor

4. ANTECEDENTES

Con el fin de contextualizar geológicamente la zona de estudio, a continuación se describen las unidades presentes en la zona basado en estudios anteriores destacando los rasgos estratigráficos y tectónicos más importantes.

A mediados del Proterozoico, el territorio de Santander formaba parte de un “megaterreno” cuyo basamento se encontraba conectado probablemente al Escudo de Guayana (Irving, 1971; Tschanz, CH. *et al.*, 1974; Kroonenberg, 1982; en POT del municipio de Mogotes departamento de Santander 2002) durante diversas orogenias o bien existía como “terreno alóctono” con respecto a dicho escudo (Etayo., *et al.*, 1986; GONZALEZ, H. *et al.*, 1988; Toussaint y RESTREPO, 1989). En este tiempo se desarrolla una cuenca marina en la que se depositan sedimentos clásticos con importantes aportes ígneos alcalinos. A finales del Proterozoico (945-680 m.a.) esta secuencia es deformada, intruida por cuerpos de composición granodiorítica - cuarzomonzonítica y es sometida a metamorfismo de alto grado como es el caso del Neis de Bucaramanga y el Ortoneis de Berlín que constituyen el basamento continental. El basamento del precámbrico en el Macizo de Santander, representa el zócalo más antiguo de todo el Oriente Colombiano, lo que explica las características andinas o intracontinentales de las orogenias que afectaron esta región.

Durante el Paleozoico inferior se depositó, sobre paleorelieves erosionados del Proterozoico, una megasecuencia grano - decreciente cíclica de ambientes de talud submarino (Etayo., *et al.*, 1985). La Orogenia Caledoniana afectó los depósitos cambro - ordovícicos, produciendo fuertes plegamientos y un metamorfismo de muy bajo y localmente bajo grado hasta la facies esquisto verde, conformándose la Formación Silgará y la unidad de la secuencia metasedimentaria en el Macizo de Santander. Intrusiones sin o postectónicas datadas entre 417 y 371 m.a., según Cordani (en Etayo., *et al.*, 1986 en monzonitas del Batolito de Onzaga, correspondientes al Macizo de Santander), acompañaron la Orogenia Caledoniana.

A mediados del Devónico se reanuda la sedimentación pericontinental sobre la margen oriental del Océano Proto-Atlántico (Iapetus), según Etayo, F. *et al.* (1989) y sedimentación marina epicontinental (Formación Floresta).

Después del hiato estratigráfico en el intervalo Devónico superior-Carbonífero inferior, se sucede el avance de un mar transgresivo (Pensilvaniano-Pérmico). Se inicia una tectónica de fallamiento en respuesta a movimientos epirogénicos que forman relieves de mesas y valles; los avances y retrocesos del mar se suceden en un paisaje árido como lo evidencia la alternancia de sedimentitas rojas y calizas. A comienzos del Triásico se inicia la apertura del Paleocaribe por formación de fosa tectónica de hundimiento (graben), con actividad volcánica más o menos intensa que separa a Norte y Suramérica. El “megaterreno ancestral” comienza a

fraccionarse, algunas áreas empiezan a hundirse y en las cuales sólo se depositaron algunos abanicos aluviales pero por este tiempo el “megaterreno ancestral” se solda al “megaterreno autóctono” (Toussaint y Restrepo, 1989).

En las fases finales del Triásico y comienzos del Jurásico, se inicia la ruptura de La Pangea mediante un proceso de formación de cuenca intercontinental, cuyas ramificaciones afectan gran parte del Cratón Suramericano (se forman aulacógenos, cuencas de tracción), según Maze (1984).

A principios del Jurásico se inicia un proceso de formación de cuencas en lo que hoy son los valles Medio del Magdalena y el del Cesar (Estrada, 1972; Macia, C. *et al.*, 1985; Mojica y Herrera, 1986; Mojica y Franco, 1990). Este proceso se inicia en una franja estrecha dando origen a sedimentitas jurásicas que por esfuerzos distensivos, empieza a hundirse en bloques escalonados, provocado por un fallamiento normal, formándose de esta manera el graben primario.

En lo referente al actual Nororiente Colombiano se forman algunas cuencas (Valle Medio del Magdalena, Cesar, Perijá, Mérida, Maracaibo), que fraccionan el “megaterreno ancestral” por hundimiento en bloques escalonados siguiendo un patrón en zig-zag, limitado por dos sistemas de falla N-NE y otro NW-SE que lo desplaza, cuyo elemento principal es la Falla de Bucaramanga-Santa Marta. Se suceden breves incursiones marinas, seguidas de una sedimentación fluviolacustre, acompañada de un incipiente vulcanismo explosivo que aporta en parte material de relleno de estas cuencas; simultáneamente ocurre la intrusión de cuerpos granodioríticos en el Macizo de Santander (190-160 m.a). A finales del Jurásico y comienzos del Cretácico se deposita la potente secuencia fluvial de la formación Girón.

En el Cretácico inferior la sedimentación continental da paso de manera gradual a la ingresión marina, que inicialmente inunda las entradas de las ramificaciones del Paleorift del Magdalena y luego invade áreas mayores (Etayo., *et al.*, 1989), depositándose una espesa secuencia de areniscas, lutitas y calizas de las formaciones cretácicas en las provincias del Valle Medio del Magdalena, Maracaibo y áreas menores en las provincias de Santander y Mérida.

En el Cretácico superior y comienzos del Terciario, se produce el retiro del mar, acompañado de un levantamiento diferencial. En este tiempo termina la larga etapa distensiva y se produce una inversión de esfuerzos, que desde el Paleoceno da inicio a la etapa compresiva. En el Paleoceno medio ocurre el levantamiento de la provincia del Macizo de Santander. Durante este lapso la erosión remueve gran parte de la megasecuencia cretácica, aportando el material que forma las diversas y potentes unidades terciarias.

4.1 ESTRATIGRAFIA.

A continuación se describen las formaciones de las más antiguas a las más recientes presentes en la zona objeto de estudio, tomando como base la información referenciada en las memorias del departamento de Santander.

4.1.2 Formación Floresta

El término Floresta originalmente fue creado por A. Olsson y T. Ramírez (en Hubach, 1957); luego fue estudiado como Formación Floresta por Botero (1950). Posteriormente fue redefinido como miembro Floresta por Cediel (1969) y últimamente elevado al rango de Formación Floresta (Mojica y Villarroel, 1984). La unidad aflora en pequeñas áreas al Norte de Bucaramanga y en jurisdicción de los municipios de Cerrito, San Joaquín, Onzaga y Encino al Oriente y Sur Oriente del Departamento de Santander formando una faja norte-sur que se extiende al este ocupando gran parte del cuadrángulo I-13, en el cual Vargas et al. (1976) la denomina faja Mogotes-San Joaquín. El espesor varía entre 600 y 700 m (Botero, 1950).

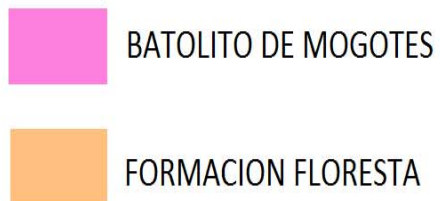
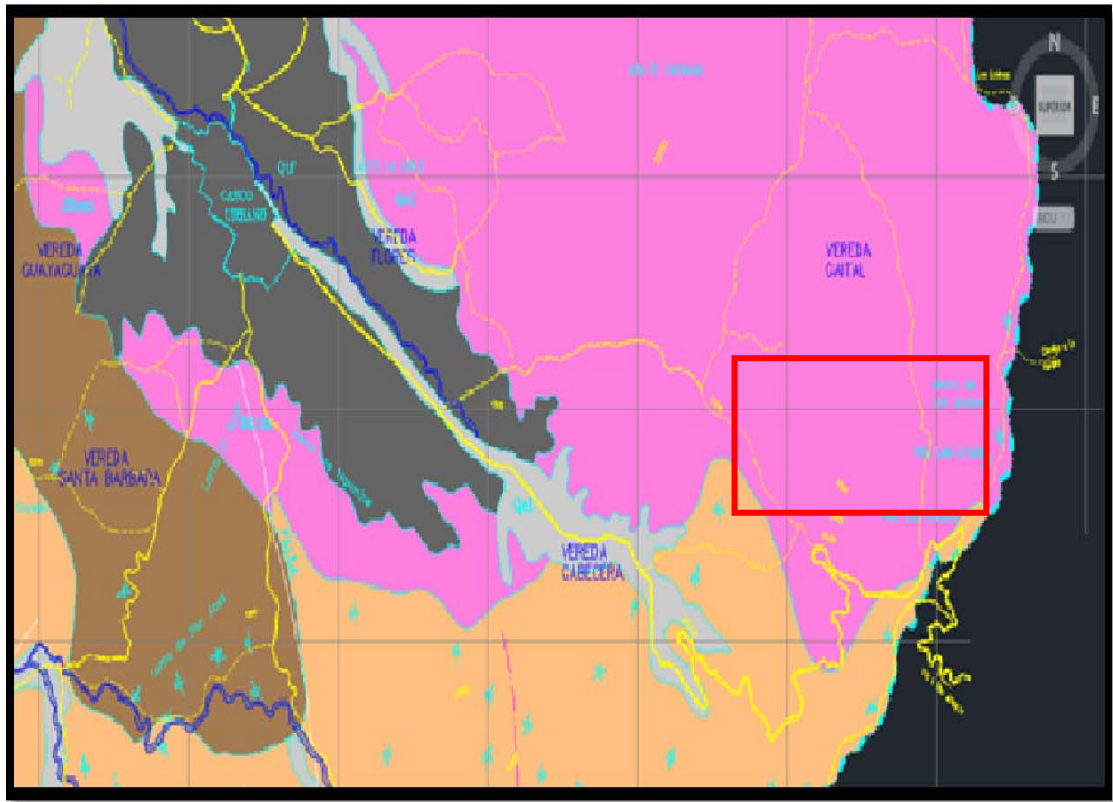
Se localiza en la franja Sur Occidental y se prolonga hasta el cerro del alto de los Cacaos, y toda la zona montañosa sur de Mogotes que se prolonga y amplía hasta llegar al río Blanco y continua a Coromoro lo cual corresponde a una extensa área de la zona.

El cambio de grado de metamorfismo dentro de las fajas del Floresta sugiere condiciones cambiantes de presión y temperatura. En general se nota un incremento de metamorfismo hacia la parte central del macizo en inmediaciones de los cuerpos graníticos lo cual sugiere posibles efectos térmicos sobre las rocas del Floresta. Las asociaciones mineralógicas corresponden a la parte más baja de la facies de esquistos verdes, subfacies moscovita-clorita, con un metamorfismo del tipo Abukuma.

4.1.3 El Batolito de Mogotes

Consiste de varias rocas características, de composición diferente, que ha sido cartografiada como una sola unidad ya que microscópicamente es difícil de diferenciar. La masa principal la constituye una Cuarzo-monzonita biotítica blanca y rosado a veces naranja gris rosácea o blanca rosácea equigranular a subporfírica con un tamaño de grano de 1 – 3 mm. La de grano grueso semejante a la cuarzo-monzonita de Santa Bárbara y la de grano fino y rosado, muy parecida a la del Pescadero. Las rocas subporfíricas tienen grano de feldespato potásico solo ligeramente mayores que el tamaño del grano medio de la roca. Esta meteoriza fácilmente y origina un suelo color crema a pardo que se vuelve naranja rosado cuando se deriva de rocas más biotíticas, La roca típica es leucocrática y contiene cantidades casi iguales de oligoclasas, feldespato potásico y Cuarzo, y presenta menos del 3% de biotita. Se encuentra en el 73 % del Municipio de San Joaquín, y el 65 % del Municipio de Mogotes. Ver **Figura 11**.

Figura 11. Mapa geológico de la zona objeto de estudio (rectángulo rojo) escala 1:35.000.



Fuente: Documento del Plan de Ordenamiento Territorial, Municipio de Mogotes.

5. RESULTADOS

5.1 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y RASGOS MACROSCOPICOS GENERALES DE LAS ROCAS ÍGNEAS OBJETO DE ESTUDIO.

El área de estudio se localiza en el sector del Cerro El Mirador ubicado en la vía que comunica los municipios de Mogotes y San Joaquín. En este sector afloran las rocas ígneas objeto de estudio las cuales están intruyendo unas filitas.

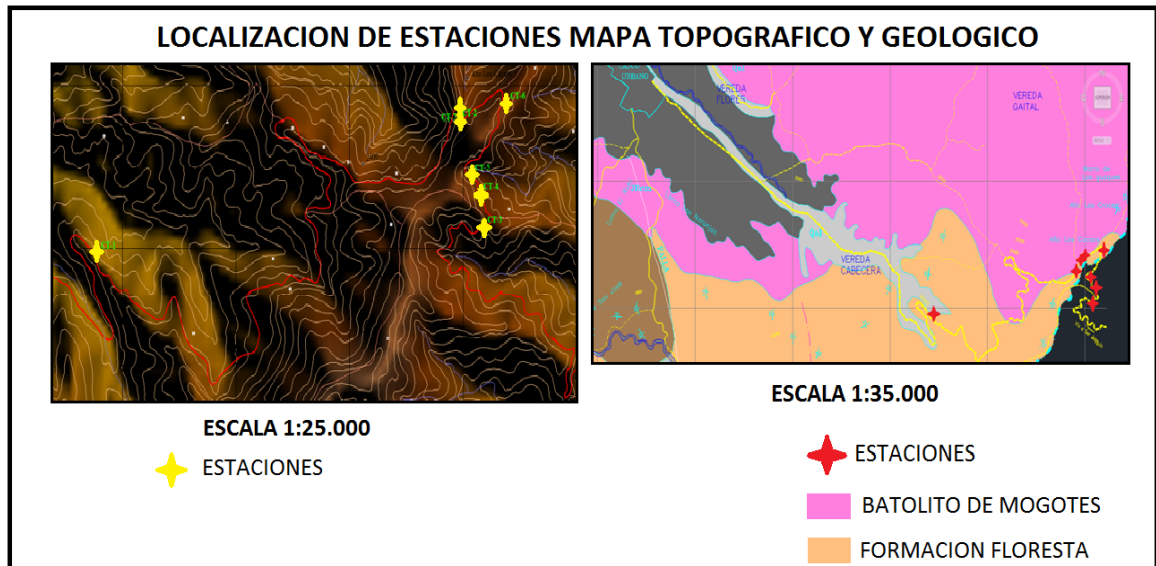
En la salida al campo se realizaron ocho estaciones donde se recorrió la zona del cerro El Mirador y el Alto Los Cacaos los cuales se encuentran en la vía que comunica los municipios Mogotes y San Joaquín. Las muestras colectadas en campo se referencian en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Muestras colectadas en campo

ESTACION	MUESTRA
3	CT – 3 – M1 Filita
	CT – 3 – M2 Filita
	CT – 3 – M3 Filita
4	CT – 4 – M1 Filita
5	CT – 5 – M1 Filita
6	CT – 6 – M1 Filita
	CT – 6 – M2 Base de riolita porfirítica
	CT – 6 – M3 Riolita porfirítica
	CT – 6 – M4 Techo riolita porfirítica
	CT – 6 – M5 Filita
7	CT – 7 – M1 Riolita porfirítica
	CT – 7 – M2
	CT – 7 – M3
8	CT – 8 – M1 Riolita porfirítica
	CT – 8 – M2 Riolita
	CT – 8 – M3
	CT – 8 – M4 Vena

Fuente: Elaboración propia, muestras de campo

Figura 12. Esquemas topográfico y geológico en los cuales se indica la localización geográfica de las muestras objeto de estudio.



Fuente: Elaboración propia, imágenes modificadas. Tomadas de: Plan de Ordenamiento Territorial, Municipio de Mogotes.

En el sector del cerro El Mirador, se observa cuerpos intrusivos de color rosado grisáceo claro los cuales se correlacionan con el granito de Pescadero (**Figura 13**). En estudios anteriores (Ward *et al*, 1973) propone que la cuarzomonzonita del Batolito de Mogotes, está probablemente relacionada al granito de Pescadero y la cuarzomonzonita de Santa Bárbara, basados en la semejanza general de la litología de las tres rocas, sus facies gradacionales y sus relaciones estratigráficas y estructurales con las rocas sedimentarias más jóvenes y más antiguas. Se obtuvo de una muestra del granito de Pescadero la edad radiométrica K/Ar Jura – Triásico, es litológicamente muy parecida al Batolito de Mogotes. Esta entonces se considera de edad Jura – Triásico. Se consideran de la misma edad porque parece ser una fase del mismo batolito.

Figura 13. Afloramiento de las rocas ígneas aflorantes en el cerro El mirador.



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Al iniciar el reconocimiento de la zona de interés se identificaron rocas metamórficas tipo filitas cuarcíticas (**Figura 14**) con disposición espacial de su foliación $140^{\circ}-170^{\circ}/50^{\circ}$ (**Figura 15**). Estas rocas están siendo inyectadas por un Sill de composición riolítica (denominado Sill debido a que se dispone de manera paralela a los planos de la foliación metamórfica regional).

Figura 14. Afloramiento de las filitas cuarcíticas aflorantes en el cerro El mirador.



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Figura 15. Dirección de la foliación regional.



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

El contacto entre el Sill riolítico porfirítico con las rocas metamórficas es compacto y no muestra efecto destructivo causal de los procesos de alteración supergénica (**Figura 16**).

Figura 16. Contacto entre las rocas ígneas y metamórficas.



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

En otro sector de la zona de estudio, se observa que estas rocas se meteorizan con facilidad en fragmentos y originando suelos de color ocre como lo muestra la **Figura 17.**

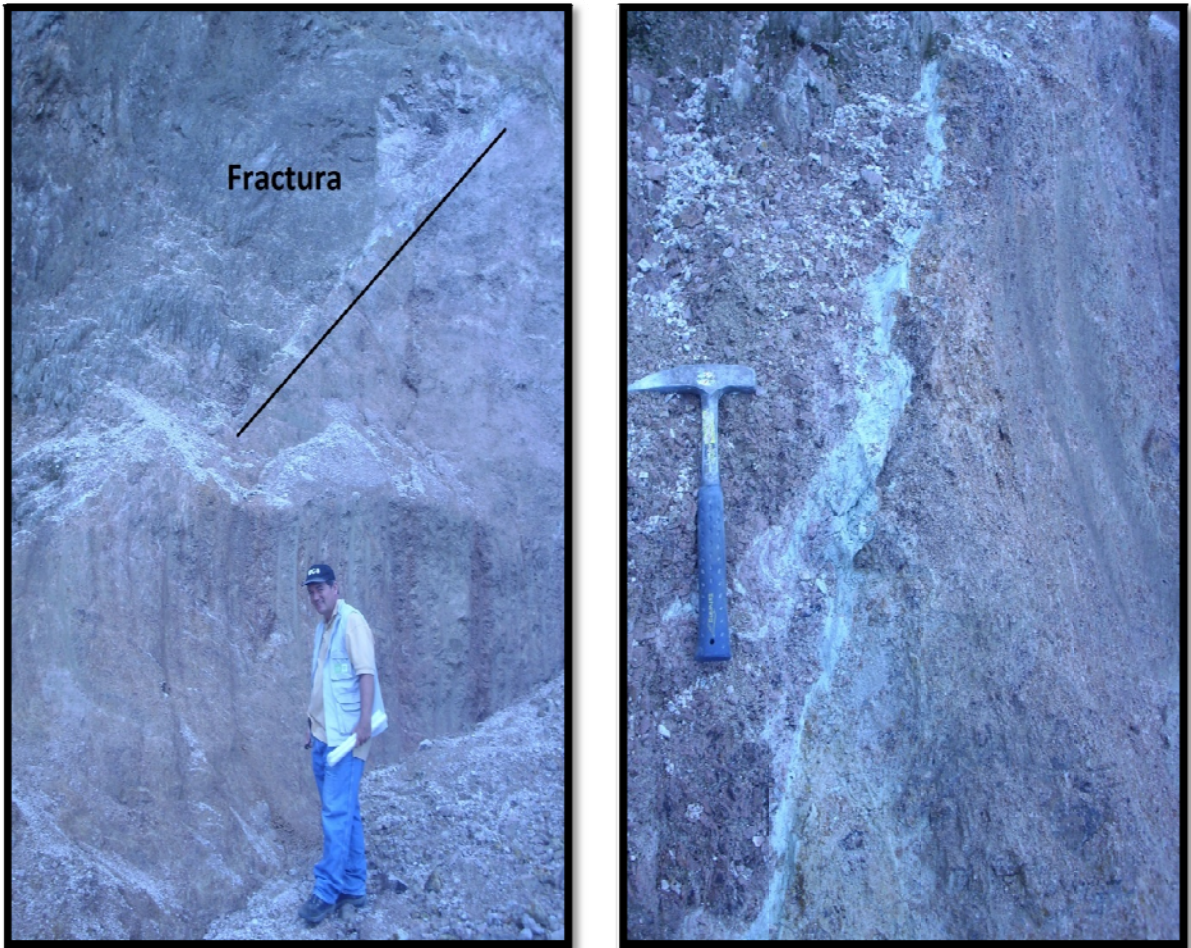
Figura 17. Afloramiento de las rocas ígneas las cuales se caracterizan por su facilidad de meteorizarse.



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Puntualmente se presentan algunas fisuras en la roca que facilitan el descenso de aguas meteóricas, produciendo un efecto de alteración sobre la riolita. Como producto de esta alteración supergénica se desarrolla un material verdoso claro confinado a las fracturas, probablemente se trate de una mezcla de filosilicatos según análisis de difracción de rayos X (DRX), ver **Figura 18**.

Figura 18. Fractura entre el contacto ígneo-metamórfico.

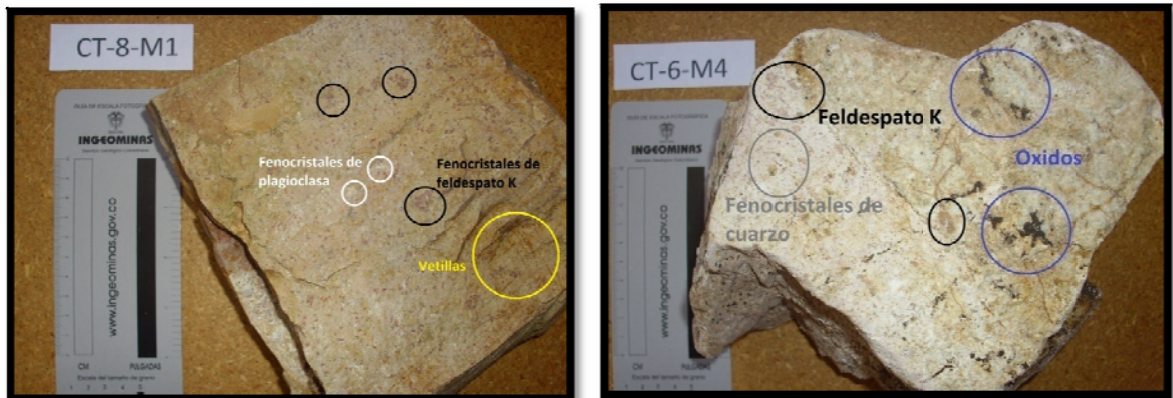


Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Las muestras colectadas en campo fueron posteriormente descritas a nivel macroscópico para realizar su respectiva clasificación.

Las riolitas presentan textura porfirítica con una matriz afanítica. Estas rocas están compuestas principalmente por fenocristales de feldespato potásico, cuarzo, en menor proporción plagioclasa, como accesorios se encuentra biotita, moscovita y sericita, caolinita y clorita como secundarios; estas riolitas presenta ocasionalmente unas vetillas de cuarzo en tamaño milimétrico las cuales se asocian también a algunos óxidos y sulfuros. Ver **Figura 19**.

Figura 19. Muestra de mano colectada en campo correspondiente a una riolita porfírica.



Fuente: Fotografía tomada por el autor

Las filitas cuarcíticas son de color verde oliva en ellas se observan algunos porfidoblastos de cuarzo y minerales máficos puntuales, con aspecto budinado embebidos en una matriz de grano muy fino. Es de resaltar la presencia de rellenos milimétricos de un material negro a lo largo de las fracturas (**Figura 20**).

Figura 20. Muestra de mano de las filitas cuarcíticas.



Fuente: Fotografía tomada por el autor

Asimismo se manifiestan filitas ricas en filosilicatos de aspecto gris verdoso (**Figura 21**).

Figura 21. Muestra de mano de las filitas ricas en filosilicatos.



Fuente: Fotografía tomada por el autor

6. PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS IGNEAS RIOLITICAS.

Se realiza un análisis petrográfico de siete secciones delgadas; cuatro de ellas corresponden a rocas ígneas (rocas objeto de estudio) y las tres restantes a las rocas metamórficas encajantes, con el fin de determinar las características texturales y mineralógicas de las rocas allí presentes (**Tabla 4**).

Tabla 4. Clasificación de muestras por petrografía.

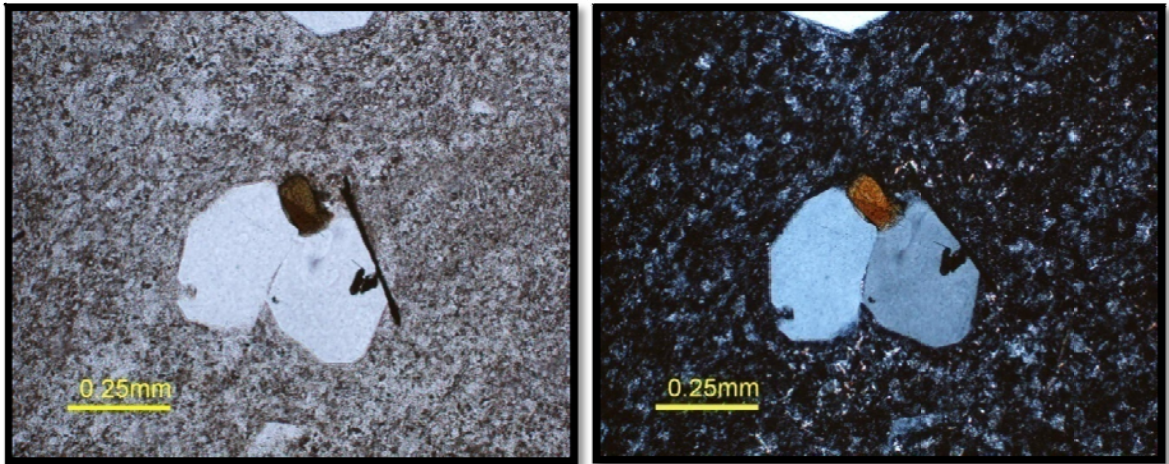
Roca	Muestra
Riolita	CT-6-M2 CT-6-M4 CT-7-M1 CT-8-M1
Filitas Cuarcíticas	CT-3-M3 CT-4-M1

6.1 RIOLITAS PORFIRITICAS

Estas rocas presentan textura porfirítica. El mayor contenido de fenocristales está dado por el cuarzo, seguido del feldespato potásico, plagioclasa y en menor proporción la clorita. Los minerales secundarios son la sericita y la caolinita como producto de alteraciones de las plagioclasas y los feldespatos potásicos respectivamente. Las características de las rocas son similares aunque en algunas varíe un poco el porcentaje de fenocristales o abundancia en las fases minerales.

Los fenocristales de cuarzo se presenta en tres formas diferentes, la primera de ellas en a nivel de fenocristales (**Figura 22**).

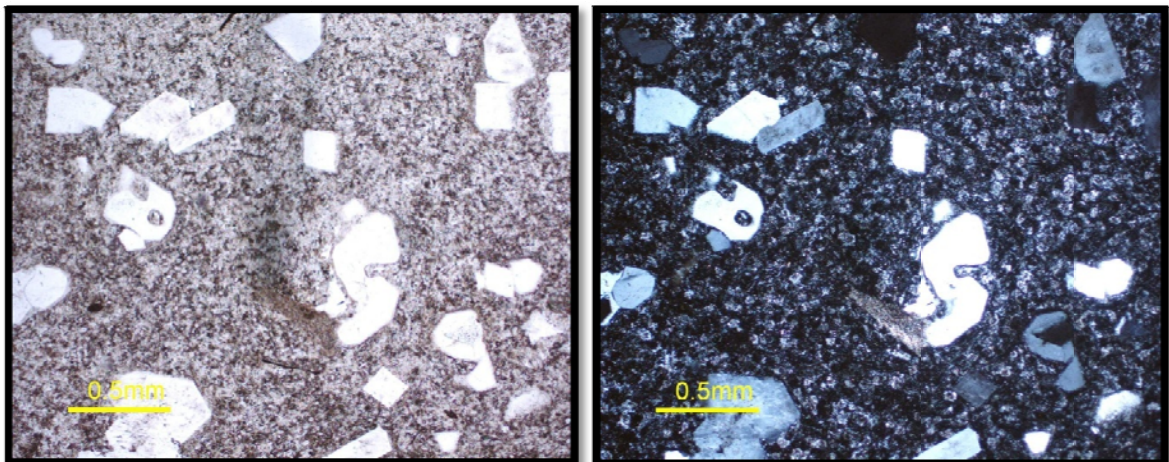
Figura 22. Fenocristales de cuarzo presente en las rocas ígneas objeto de estudio.



Fuente: Fotografía tomada por el autor

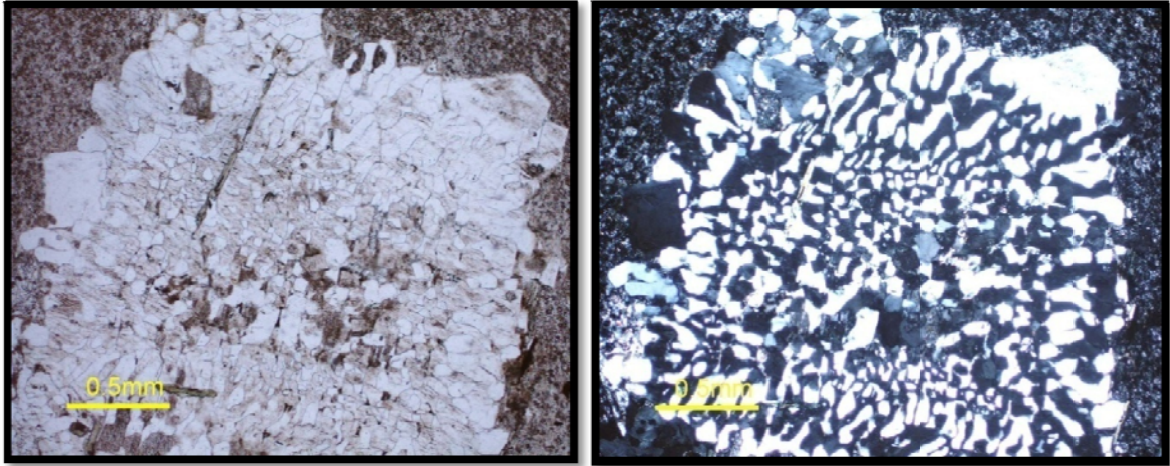
La segunda presenta embahamiento posiblemente por la reacción del cuarzo con la matriz (**Figura 23**), y la tercera se manifiesta en forma de intercrecimiento en los fenocristales de feldespato potásico dando origen a texturas localizadas como la textura gráfica, micrográfica y mirmekítica (**Figura 24**).

Figura 23. Fenocristales de cuarzo con embahamiento presentes en las rocas ígneas objeto de estudio.



Fuente: Fotografía tomada por el autor

Figura 24. Cuarzo en intercrecimiento en cristales de feldespato potásico presentes en las rocas ígneas objeto de estudio.

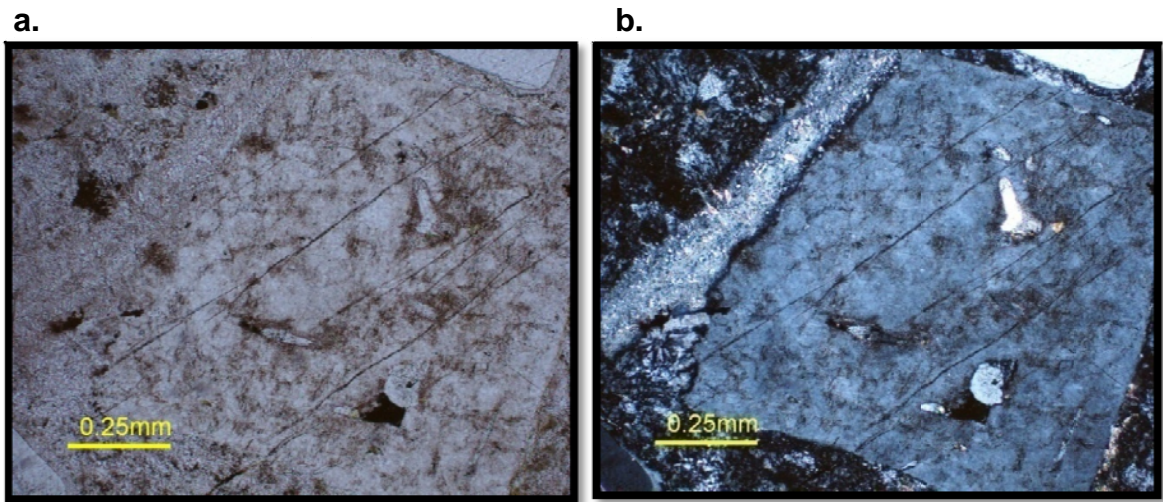


Fuente: Fotografía tomada por el autor

Según (López y Bellos, 2006), la composición en la textura gráfica es frecuentemente más rica en feldespato que en cuarzo, como consecuencia de que el feldespato comienza a cristalizar antes y también debido a la influencia de la cinética del sistema Q-Ab-Or. Así, el feldespato se nuclea más fácilmente que el cuarzo y esto causa que el líquido se sobresature en SiO₂ a la vez que se enriquece en H₂O y se origina un sobreenfriamiento. Como consecuencia de ello, comienza la cristalización del cuarzo simultáneamente con la del feldespato, que había comenzado antes y continúa haciéndolo, dando lugar a la formación de la textura gráfica. La textura gráfica es entonces un producto de una cristalización subsolvus a alta presión de H₂O que se produce en presencia de abundantes fluido.

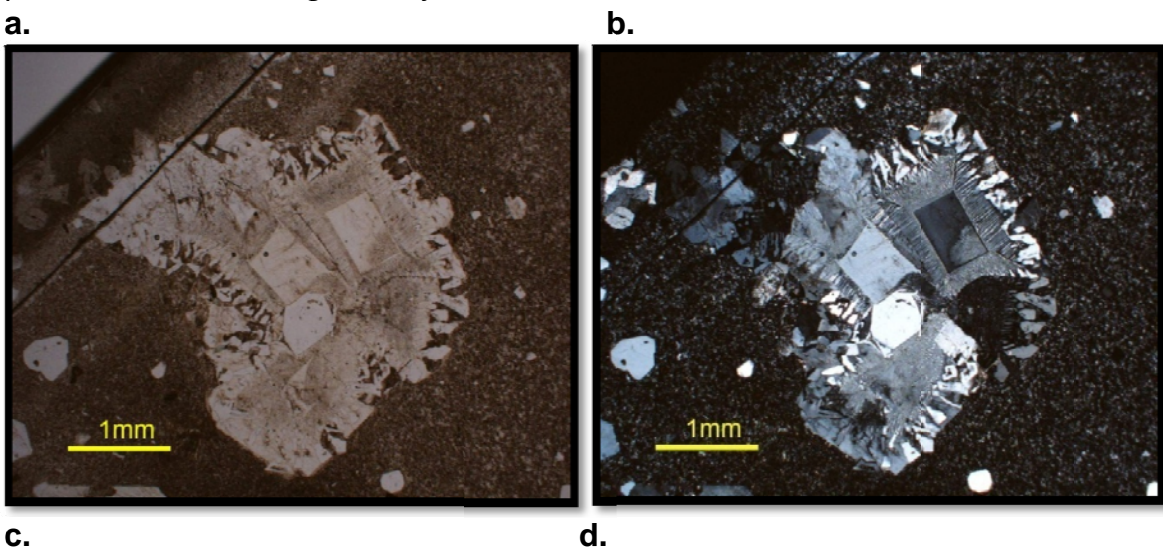
Los fenocristales de feldespato potásico se dan como individuos de tamaño de entre 2.5-3 mm, ocasionalmente estos fenocristales presentan diferentes niveles de alteración a caolinita y se encuentran distribuidos homogéneamente en toda la sección (**Figura 25**) y también se presentan a nivel de intercrecimiento con el cuarzo como ya se mencionó anteriormente (**Figura 26**).

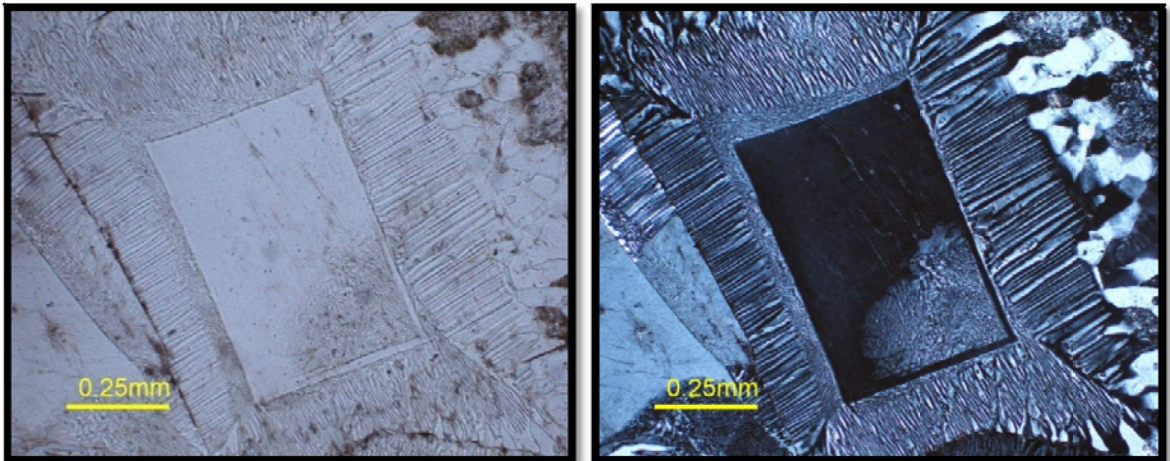
Figura 25. Fenocristales de feldespato potásico presentes en las rocas ígneas objeto de estudio.



Fuente: Fotografía tomada por el autor

Figura 26. Fenocristales de feldespato potásico que contienen intercrecimiento de cuarzo, presentes en las rocas ígneas objeto de estudio.

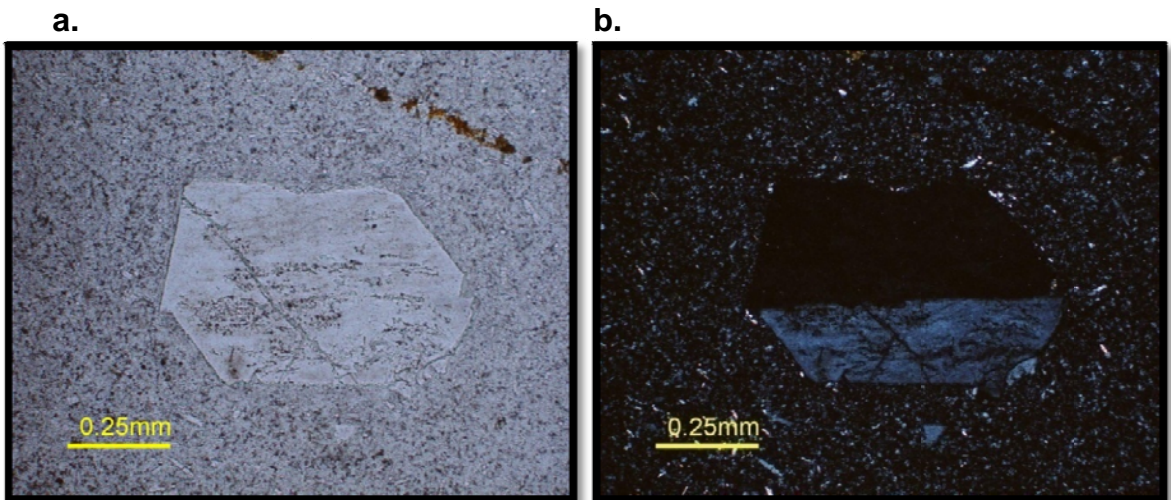




Fuente: Fotografía tomada por el autor

Los fenocristales de plagioclasa son los menos abundantes en las secciones sin embargo presentan el maclado característico tipo albita. Estos fenocristales de plagioclasa se encuentra distribuidos en toda la sección y en su gran mayoría presentan un alto grado de sericitización (**Figura 27**).

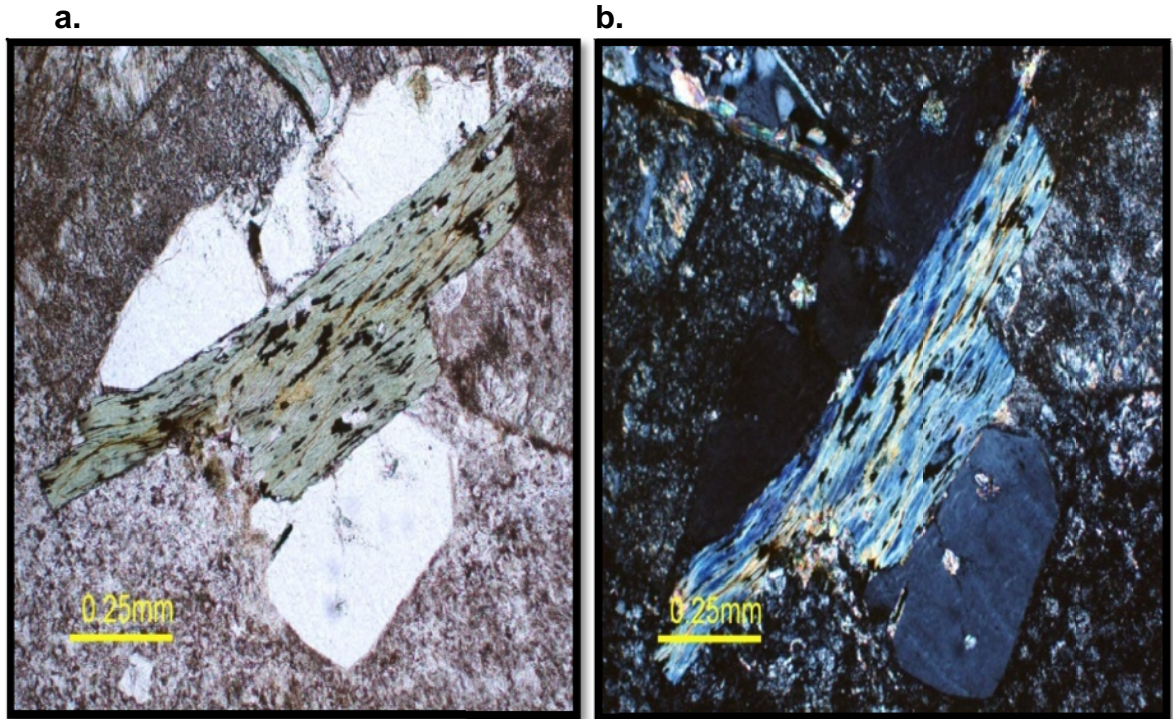
Figura 27. Fenocristales de feldespato plagioclasa presentes en las rocas ígneas objeto de estudio.



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Los fenocristales de clorita corresponden al producto de la posible alteración de las biotitas u hornblendas, presentan un suave pleocroísmo y una birrefringencia alta con tonos violáceos y coloridos, estas cloritas presentan fenómenos de opaquización que sufren las hornblendas debido a la oxidación que estas sufren cuando hay enriquecimiento de hierro. **(Figura 28)**.

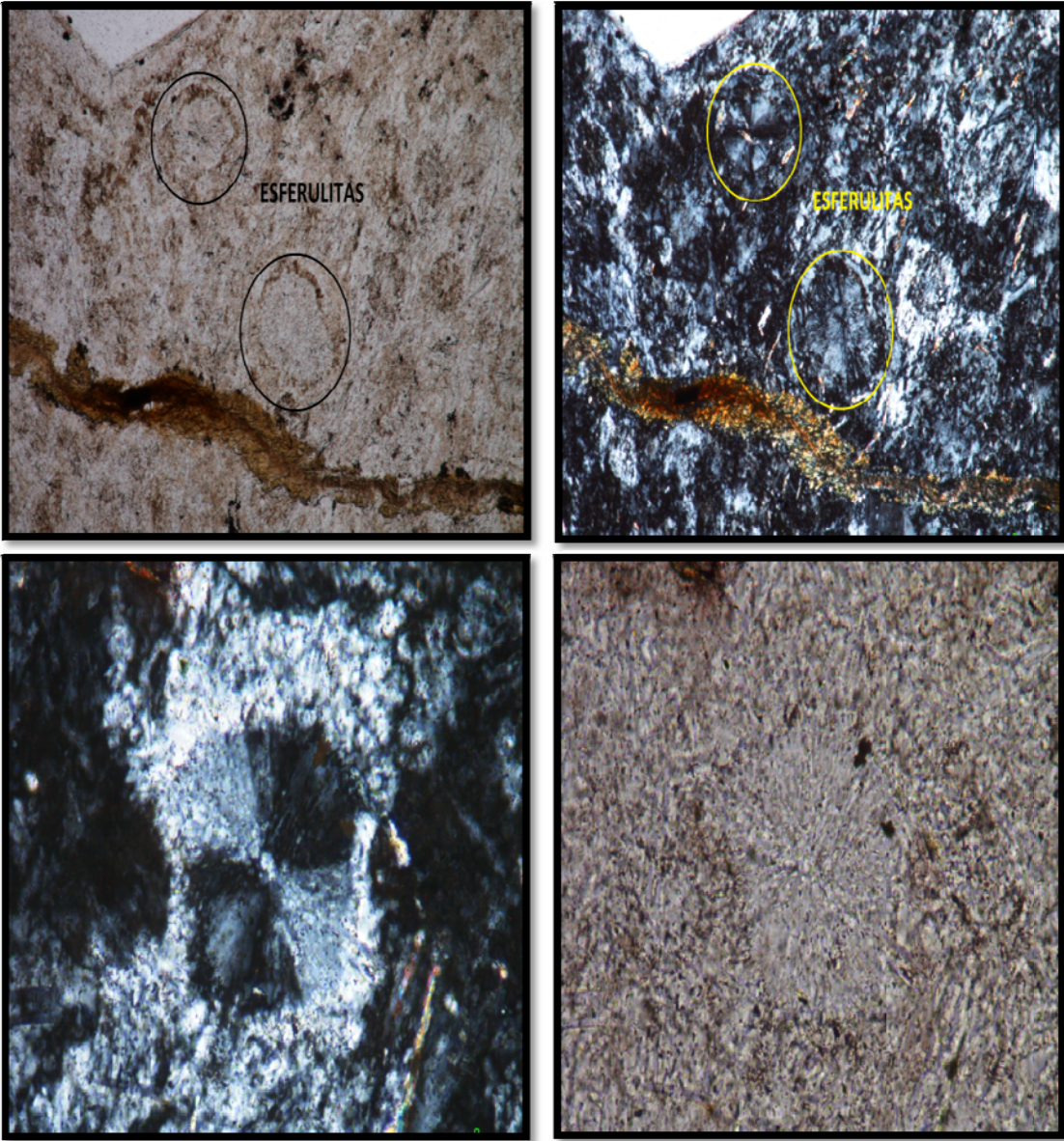
Figura 28. Fenocristales de clorita presentes en las rocas ígneas objeto de estudio.



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

La matriz de estas rocas muestra una textura afanítica cuya composición es similar a la de los fenocristales dado que no se identificaron especies mineralógicas diferentes en los análisis de difracción de rayos x DRX, además presentan esferulitas posiblemente de calcedonia, con su típica extinción en forma de cruz, las cuales pueden ser producto de alteración supergénica de los cuarzos o por recristalizaciones a bajas temperaturas. Ver **(Figura 29)**.

Figura 29. Matriz de las Riolitas porfíricas. Microfotografías tomadas con objetivos de 10 X y 40 X respectivamente.

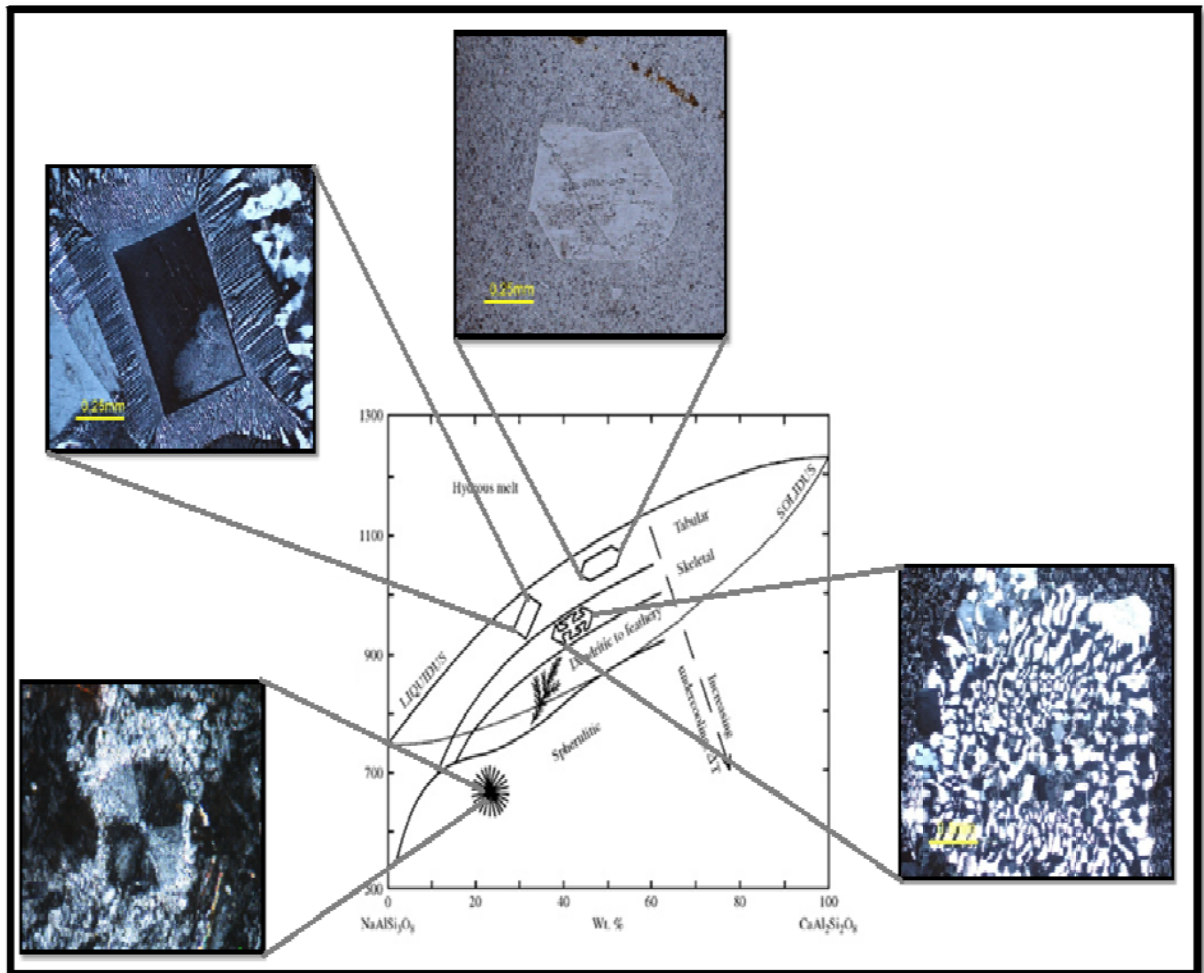


Fuente: Fotografía tomada por el autor

6.1.1 CONSIDERACIONES TEORICAS

Las Riolitas porfíricas pertenecen a un dique el cual muestra una secuencia progresiva de un subenfriamiento (undercooling) de un magma félsico durante su ascenso, este fenómeno podría ser a causa de la deshidratación del magma; generando un enfriamiento progresivo y más rápido del magma generando así una serie de fases en la cristalización manifestadas en la **Figura 30**.

Figura 30. Esquema del proceso de cristalización del magma a medida que asciende.



Fuente:

Candela y Piccoli (2005) sugieren que los cuarzos nuclean más fácilmente que los feldespatos, explicando la existencia de los fenocristales de cuarzo debido a un superenfriamiento en las riolitas estudiadas. Esto también puede ser un factor en el caso de rocas graníticas asociadas con depósitos de menas hidrotermales.

6.2 FILITAS CUARCITICAS

Son rocas de cristales de tamaño muy fino, compuestas principalmente de moscovita, cuarzo y biotita. Las filitas cuarcíticas se observan como roca hospedante de las riolitas porfíricas.

En general presentan textura porfidoblástica y lepidoblástica. Los porfidoblastos corresponden a cristales de cuarzo embebidos en una matriz lepidoblástica compuesta de minerales micáceos, principalmente moscovita, biotita, minerales opacos y algunos minerales secundarios como la clorita dando lugar a la textura porfidolepidoblástica como lo muestra la **Figura 31**.

Figura 31. Filitas cuarcíticas, en la microfotografía se muestra la textura porfidolepidoblástica. Microfotografía tomada con objetivo de 2.5 X.



Fuente: Fotografía tomada por el autor

7. IDENTIFICACIÓN DE FASES MINERALES MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

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

Estos análisis se llevaron a cabo con el fin de identificar las fases minerales presentes en cada muestra y también obtener una semicuantificación de estos, los cuales se encuentran referenciados en las Tablas 5 y 6. A continuación se presentan primero los resultados de las rocas que se denominaron anteriormente como riolitas porfíricas, posteriormente a las filitas y finalmente los resultados de una fractura que se encuentra presente en las riolitas porfíricas.

7.1 Rocas Riolíticas Porfíricas

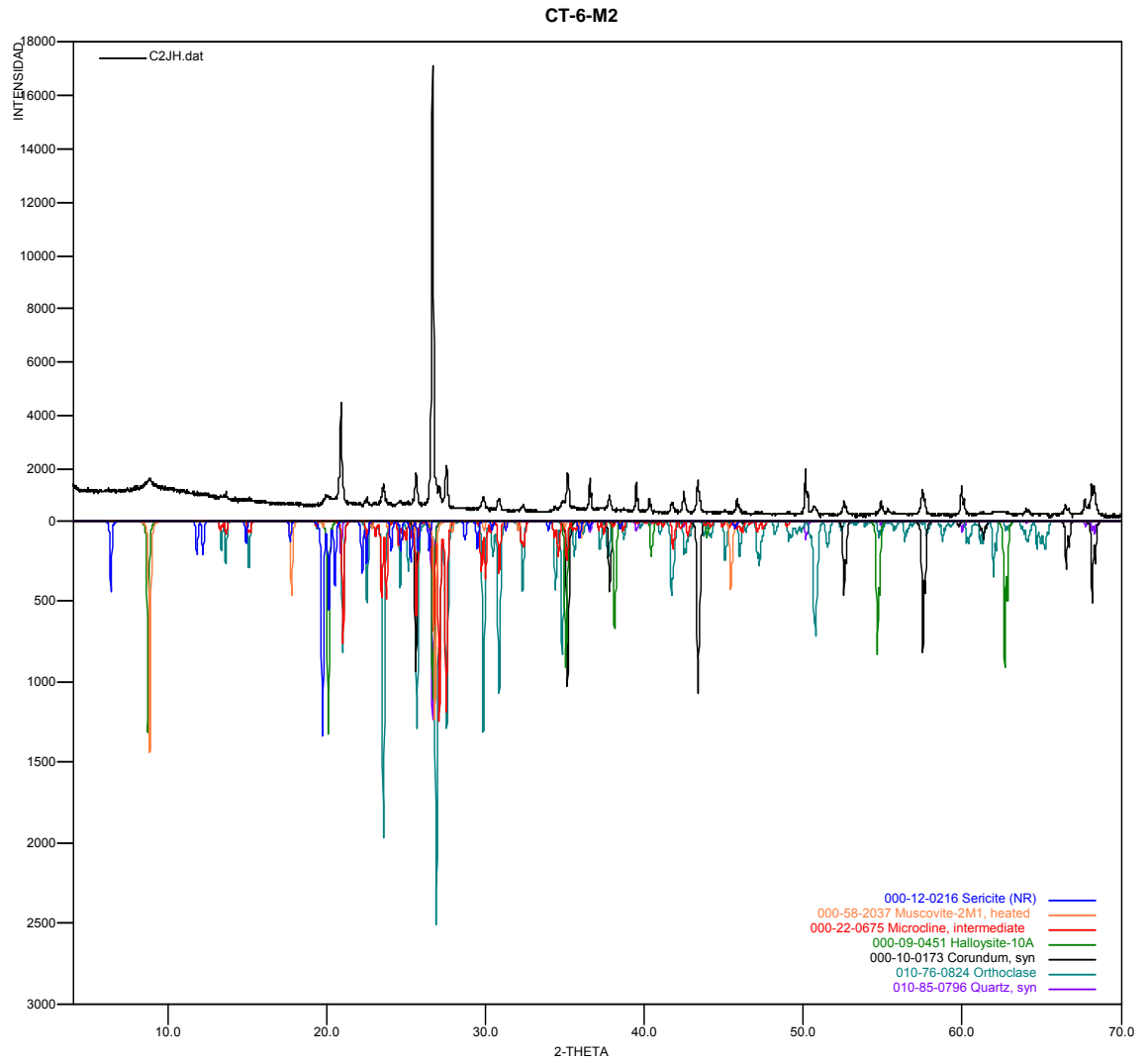
Para este grupo de rocas se analizaron cuatro muestras (CT-6 –M2, CT-6–M4, CT-7–M1, CT-8–M1). Los resultados detallados se relacionan en el anexo B (Resultados Análisis de Difracción de Rayos X) y a continuación se presenta un resumen de estos resultados para las cuatro muestras analizadas. Se observa que los minerales de mayor a menor concentración en la roca son Cuarzo, Ortoclasa, Microclina ver Tablas 7 y 8.

Tabla 5. Fases minerales presentes en la muestra CT-6-M2

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-85-0796	Cuarzo	47.0 % (D.E = 0.3)
	(K _{0.931} Na _{0.055}) (Al _{0.97} Si _{3.03} O ₈)	010-76-0824	Ortoclasa	25.6 % (D.E = 0.2)
	Al ₂ (Si ₂ O ₅) (OH) ₄	000-09-0451	Halloysita	-
	K Al ₂ (Si ₃ Al) O ₁₀ (OH) ₂	000-12-0216	Sericita	-
	K Al Si ₃ O ₈	000-22-0675	Microclina	6.8 % (D.E = 0.2)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	000-58-2037	Moscovita	14.0 % (D.E = 0.2)
Total Cristalino				93.4 %
Amorfos y otros				6.6 %

Fuente: Informe recibido por el laboratorio de Difracción de Rayos X.

Figura 32. Difractograma para la muestra CT-6-M2 (riolita porfírica)



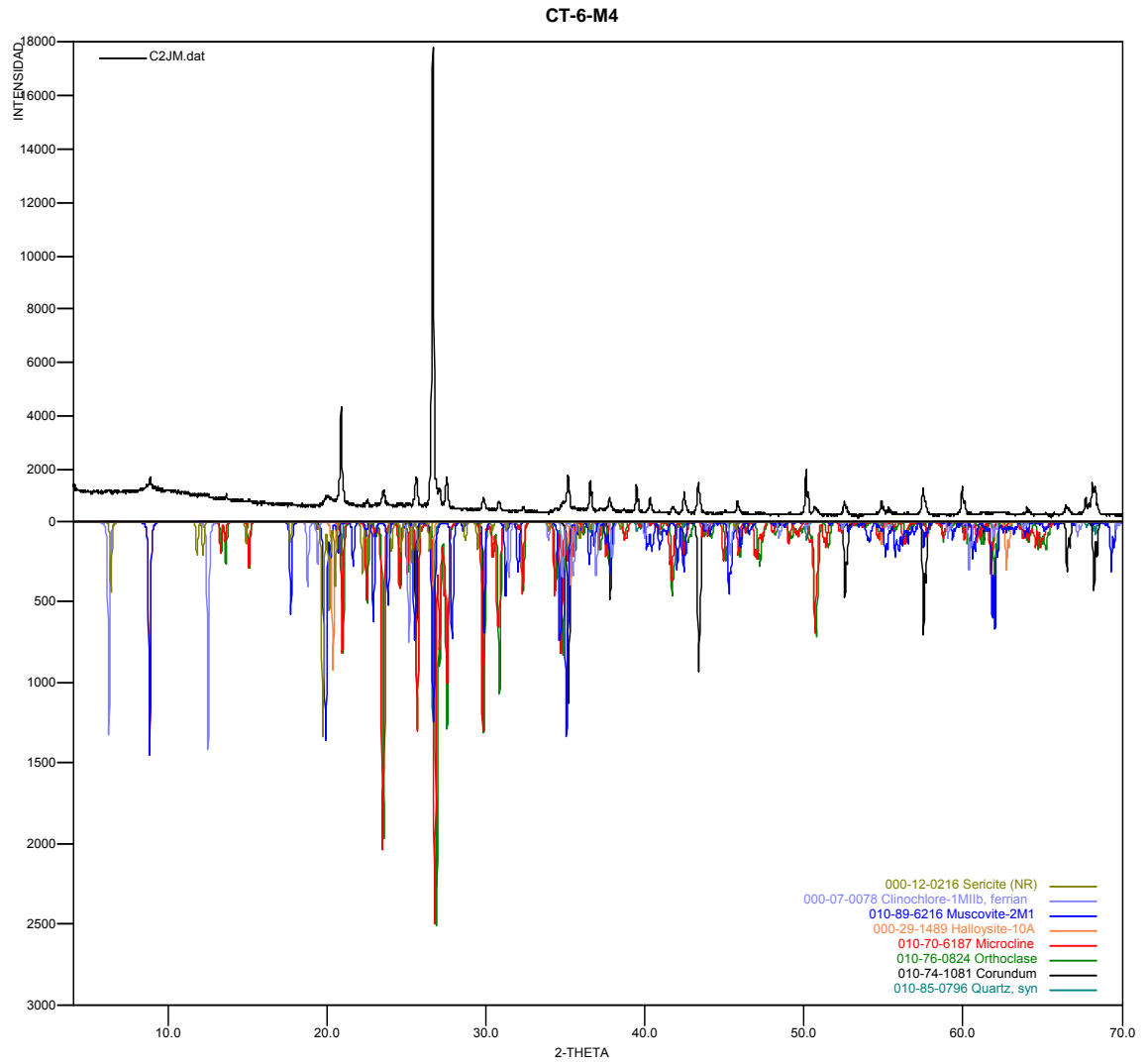
Fuente: Informe recibido por el laboratorio de Difracción de Rayos X.

Tabla 6. Fases minerales presentes en la muestra CT-6-M4

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	010-85-0796	Cuarzo	52.1 % (D.E = 0.2)
	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	000-29-1489	Halloysita	-
	$(\text{K}_{0.931} \text{Na}_{0.055}) (\text{Al}_{0.97} \text{Si}_{3.03} \text{O}_8)$	010-76-0824	Ortoclasa	21.3 % (D.E = 0.1)
	$\text{K Al}_2 (\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	010-89-6216	Moscovita	14.3 % (D.E = 0.3)
	$\text{K Al}_2 (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	000-12-0216	Sericita	-
	$\text{K} (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	010-70-6187	Microclina	5.9 % (D.E = 0.1)
	$(\text{Mg, Fe, Al})_6 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	000-07-0078	Clinocloro	3.2 % (D.E = 0.1)
Total Cristalino				96.8 %
Amorfos y otros				3.2 %

Fuente: Informe recibido por el laboratorio de Difracción de Rayos X

Figura 33. Difractograma para la muestra CT-6-M4 (riolita porfírica)



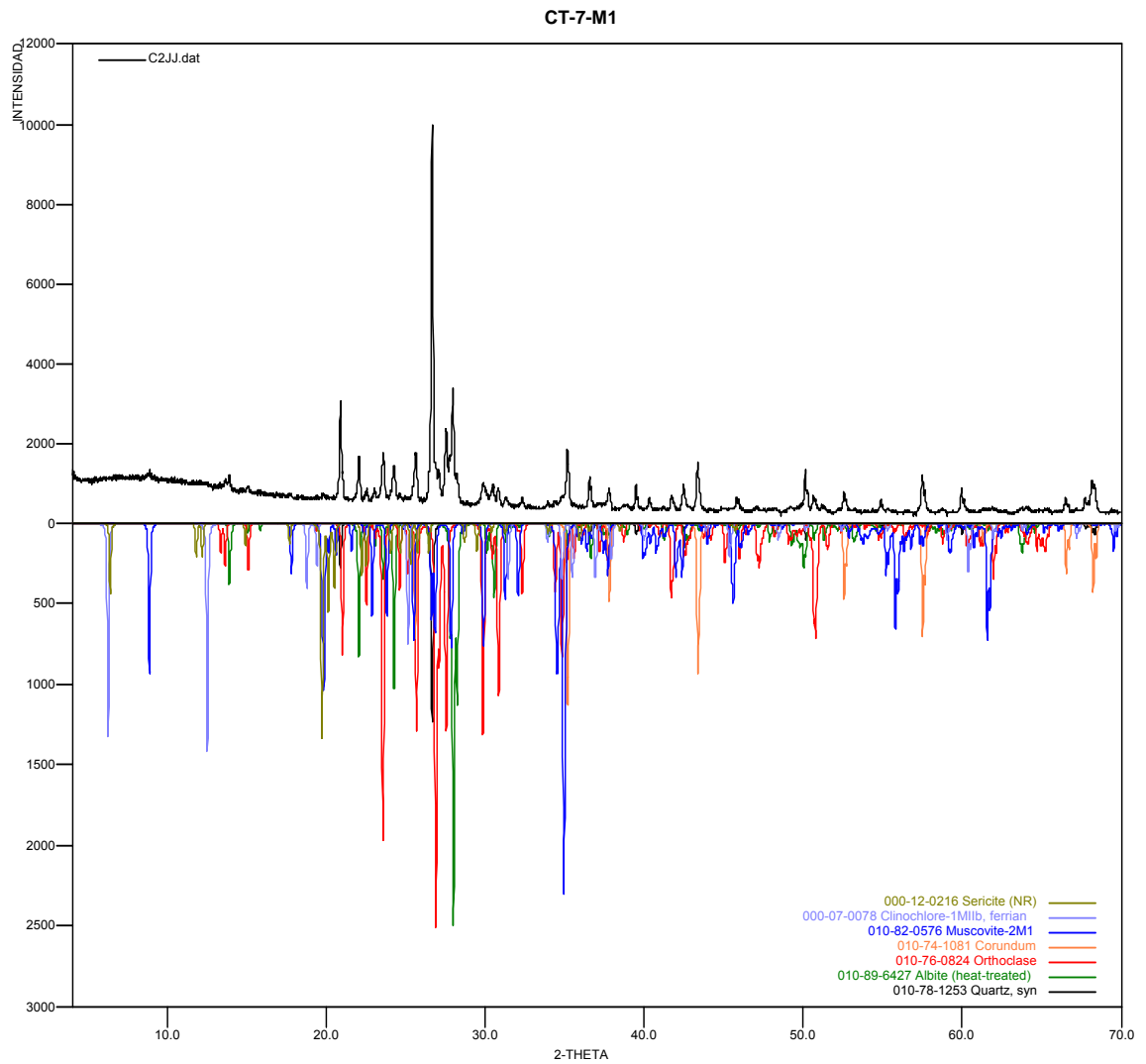
Fuente: Informe recibido por el laboratorio de Difracción de Rayos X

Tabla 7. Fases minerales presentes en la muestra CT-7-M1

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	010-78-1253	Cuarzo	24.4 % (D.E = 0.1)
	$(\text{K}_{0.931} \text{Na}_{0.055}) (\text{Al}_{0.97} \text{Si}_{3.03} \text{O}_8)$	010-76-0824	Ortoclasa	24.0 % (D.E = 0.3)
	$\text{K Al}_2 (\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	010-82-0576	Moscovita	6.1 % (D.E = 0.3)
	$(\text{Mg, Fe, Al})_6 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	000-07-0078	Clinocloro	1.7 % (D.E = 0.1)
	$\text{K Al}_2 (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	000-12-0216	Sericita	-
	$\text{Na} (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	010-89-6427	Albita	33.4 % (D.E = 0.3)
Total Cristalino				89.6 %
Amorfos y otros				10.4 %

Fuente: Informe recibido por el laboratorio de Difracción de Rayos X

Figura 34. Difractograma para la muestra CT-7-M1 (riolita porfírica)



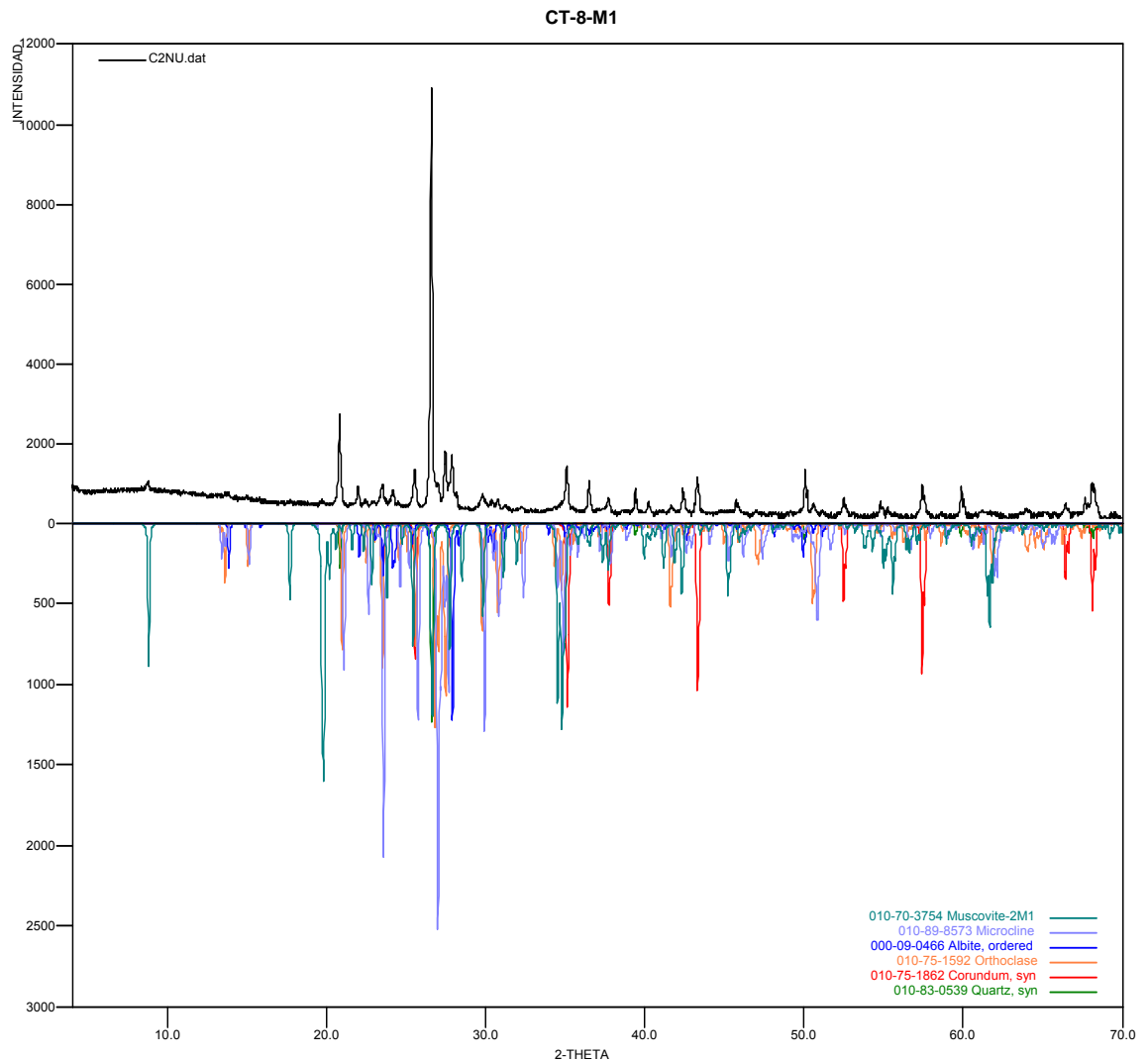
Fuente: Informe recibido por el laboratorio de Difracción de Rayos X

Tabla 8. Fases minerales presentes en la muestra CT-8-M1

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	010-83-0539	Cuarzo	38.6 % (D.E = 0.2)
	$\text{K Al Si}_3 \text{ O}_8$	010-75-1592	Ortoclasa	25.1 % (D.E = 0.1)
	$\text{Na Al Si}_3 \text{ O}_8$	000-09-0466	Albita	21.1 % (D.E = 0.3)
	$\text{K (Al}_4 \text{ Si}_2 \text{ O}_9 \text{ (OH)}_3 \text{)}$	010-70-3754	Moscovita	9.4 % (D.E = 0.3)
	$\text{K (Al Si}_3 \text{ O}_8 \text{)}$	010-89-8573	Microclina	N.C
Total Cristalino				94.2 %
Amorfos y otros				5.8 %

Fuente: Informe recibido por el laboratorio de Difracción de Rayos X

Figura 35. Difractograma para la muestra CT-8-M1 (riolita porfírica)



Fuente: Informe recibido por el laboratorio de Difracción de Rayos X

6.2 Filitas Cuarcíticas

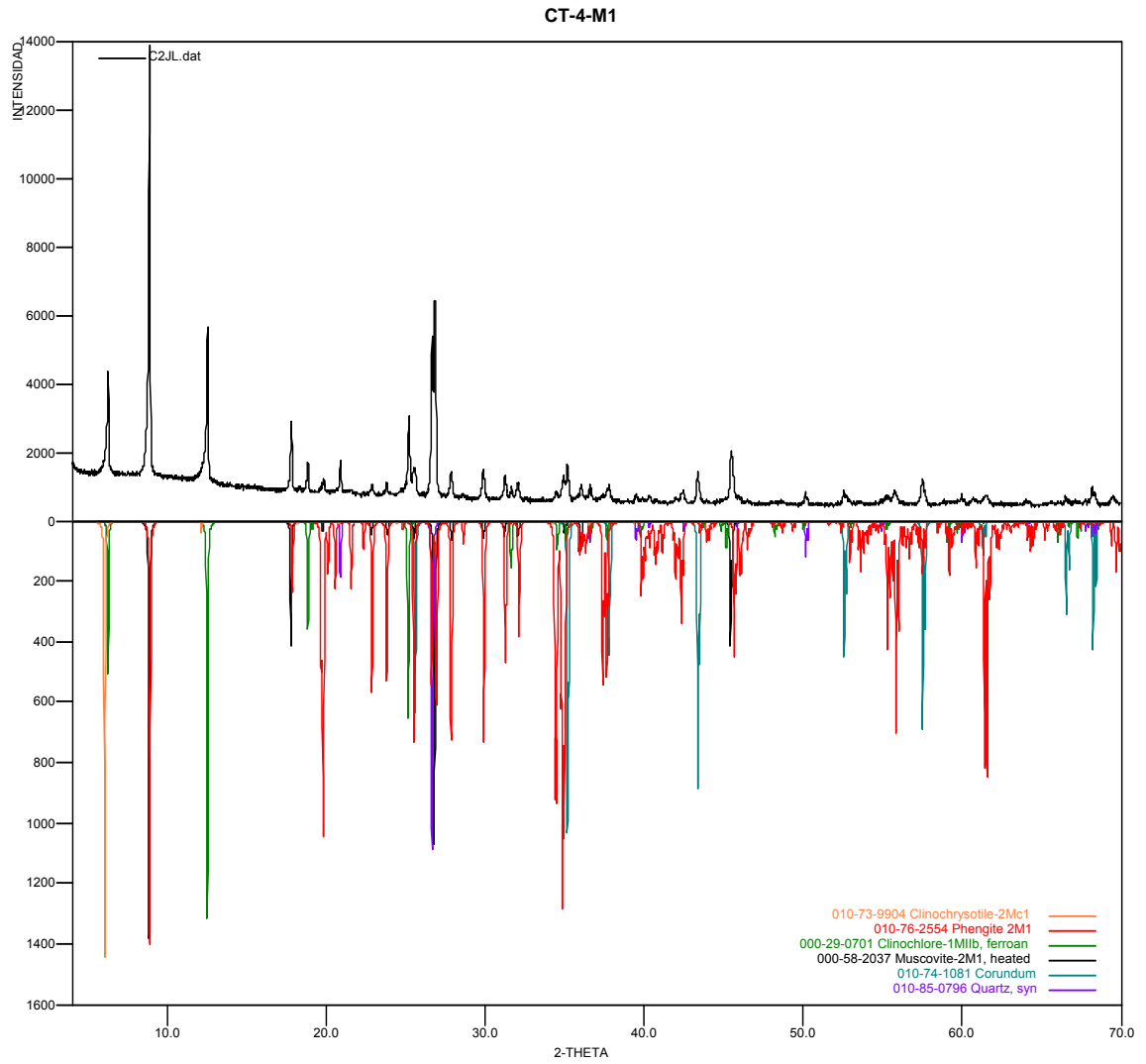
Para el grupo de las filitas se analizaron dos muestras (CT-4-M1 y CT-7-M2). Los resultados detallados se relacionan en el anexo B (Resultados Análisis de Difracción de Rayos X) y a continuación se presenta un resumen de estos resultados para las cuatro muestras analizadas. Se observa que los minerales de mayor a menor concentración son Cuarzo, Albite, moscovita ver Tablas 9 y 10.

Tabla 9. Fases minerales presentes en la muestra CT-4-M1

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	010-85-0796	Cuarzo	16.0 % (D.E = 0.1)
	$\text{Mg}_3 (\text{Si}_2 \text{O}_5) (\text{OH})_4$	010-73-9904	Clinocristil o	1.0 % (D.E = 0.1)
	$\text{K Al}_2 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	000-58-2037	Moscovita	52.1 % (D.E = 0.5)
	$(\text{Mg, Fe})_6 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	000-29-0701	Clinocloro	6.6 % (D.E = 0.2)
	$(\text{K}_{0.99} \text{Na}_{0.02}) (\text{Al}_{1.42} \text{Mg}_{0.33} \text{Fe}_{0.24} \text{Ti}_{0.04}) ((\text{Si}_{3.45} \text{Al}_{0.55}) \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	010-76-2554	Phengita	7.5 % (D.E = 0.3)
Total Cristalino				83.2 %
Amorfos y otros				16.8 %

Fuente: Informe recibido por el laboratorio de Difracción de Rayos X

Figura 35. Difractograma para la muestra CT-4-M1



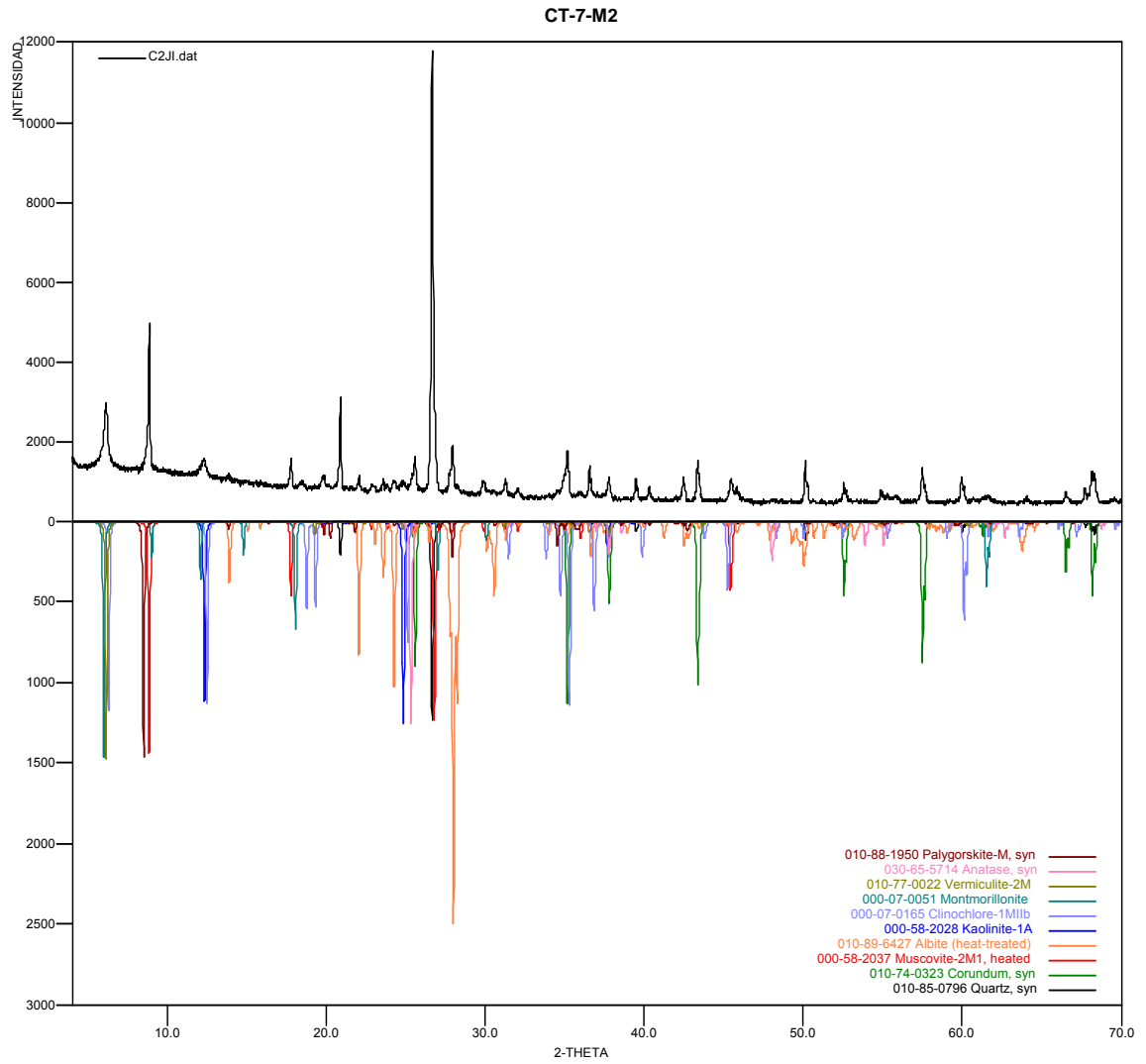
Fuente: Informe recibido por el laboratorio de Difracción de Rayos X

Tabla 10. Fases minerales presentes en la muestra CT-7-M2

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	010-85-0796	Cuarzo	36.2 % (D.E = 0.2)
	$\text{Na (Al Si}_3 \text{ O}_8 \text{)}$	010-89-6427	Albita	11.4 % (D.E = 0.1)
	$\text{Mg}_5 \text{ (Si}_4 \text{ O}_{10} \text{)}_2 \text{ (OH)}_2 \text{ (H}_2\text{O)}_8$	010-88-1950	Paligorskita	N.C
	$\text{K Al}_2 \text{ (Al Si}_3 \text{ O}_{10} \text{) (OH)}_2$	000-58-2037	Moscovita	33.4 % (D.E = 0.3)
	Ti O_2	030-65-5714	Anatasa	N.C
	$\text{Al}_2 \text{ (Si}_2 \text{ O}_5 \text{) (OH)}_4$	000-58-2028	Caolinita	5.4 % (D.E = 0.3)
	$\text{(Mg, Fe, Al)}_6 \text{ (Si, Al)}_4 \text{ O}_{10} \text{ (OH)}_8$	000-07-0165	Clinocloro	N.C
	$\text{(Na, Ca)}_{0.3} \text{ (Al, Mg)}_2 \text{ Si}_2 \text{ O}_{10} \text{ (OH)}_2 \cdot n \text{ H}_2\text{O}$	000-07-0051	Montmorillonita	N.C
	$\text{(Mg}_{2.36} \text{ Fe}_{0.48} \text{ Al}_{0.16} \text{) Mg}_{0.32} \text{ (Al}_{1.28} \text{ Si}_{2.72} \text{) O}_{10} \text{ (OH)}_2 \text{ (H}_2\text{O)}_{4.32} \text{ Mg}_{0.32}$	010-77-0022	Vermiculita	8.1 % (D.E = 0.1)
	Total Cristalino			94.5 %
Amorfos y otros			5.5 %	

Fuente: Informe recibido por el laboratorio de Difracción de Rayos X

Figura 37. Difractograma para la muestra CT-7-M2



Fuente: Informe recibido por el laboratorio de Difracción de Rayos X

9. DATOS GEOQUIMICOS DE ROCA TOTAL

En este capítulo se presentan las características geoquímicas de las muestras representativas de la zona objeto de estudio. El objetivo principal del estudio es realizar la clasificación de las riolitas, según la serie y establecer su contexto tectónico de formación. El estudio se basa en análisis de elementos mayores, menores y trazas. Los análisis químicos de las muestras, fueron realizados por ALS Laboratory Group, ubicado en Fuza, Cundinamarca, por los métodos de Fluorescencia de rayos X (FRX) y Espectroscopia de masa (ICP-MS), los resultados de los análisis químicos se relacionan en el Anexo C. Para el análisis de los datos se utilizó el software Kaleida Graph, para la construcción de los diagramas de Harper, diagramas AFM y los diagramas araña para normalización de condrito.

9.1 ANALISIS GEOQUIMICO DE OXIDOS MAYORES

Las clasificaciones químicas generales de las rocas ígneas se lleva a cabo teniendo en cuenta su concentración absoluta de sílice (contenido de SiO_2), saturación de alúmina y en su clasificación química específica, clasificación TAS (Total-Alkalis-Sílice), minerales normativos, y series magmáticas, se utilizó el diagrama AFM (álcalis + hierro total + óxido de magnesio), también se llevó a cabo la clasificación de rocas ígneas usando cationes. Para llevar a cabo este análisis se utilizaron los diagramas de Harker, para determinar la variación que presentan los óxidos principales respecto al SiO_2 .

Los análisis químicos se realizaron a tres muestras representativas de la zona objeto de estudio, Los resultados en % peso se muestran la **Tabla 11**:

Rocas Riolíticas: CT-6-M2, CT-6-M4, CT-7-M1.

Tabla 11. Resultados de Fluorescencia de Rayos X (FRX) de elementos mayores presentados en % peso.

Compuesto	CT-6-M2	CT-6-M4	CT-7-M1
Al ₂ O ₃	15,45	15,3	12,25
BaO	0,062	0,045	0,056
CaO	0,03	0,03	0,25
Cr ₂ O ₃	0,004	0,001	0,008
Fe ₂ O ₃	1,04	0,81	0,92
K ₂ O	5,31	4,53	4,68
MgO	0,19	0,12	0,26
MnO	0,034	0,017	0,054
Na ₂ O	0,128	0,078	2,8
P ₂ O ₅	0,021	0,014	0,015
SiO ₂	74,3	74,5	77,4
SrO	0,001	<0,001	0,005
TiO ₂	0,17	0,16	0,14
LOI	3,96	3,74	0,78

Antes de realizar la clasificación geoquímica de rocas, se calculó el índice químico de meteorización (CIW). Este cálculo es realizado con el fin de medir de alguna manera el grado de pérdida de componentes móviles respecto a los componentes inmóviles. La propuesta de Harnios, 1998 es la mejor propuesta para llevar a cabo la definición del grado de alteración o meteorización que presentan las rocas analizadas. A continuación se presenta la ecuación:

$$CIW = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)] * 100$$

Los resultados de esta ecuación se presentan en la **Tabla 12**.

Tabla 12. Relación del índice químico de meteorización (CIW), para las rocas analizadas.

Muestras	CT-6-M2	CT-6-M4	CT-7-M1
CIW	98,99	99,30	80,07

De acuerdo a los valores de la Tabla 14 se concluye que las muestras en general son muy frescas, sin embargo la muestra CT-7-M1 es la que mayor grado de meteorización presenta con respecto a las muestras CT-6-M2, CT-6-M4 ya que presenta el menor valor en la relación CIW.

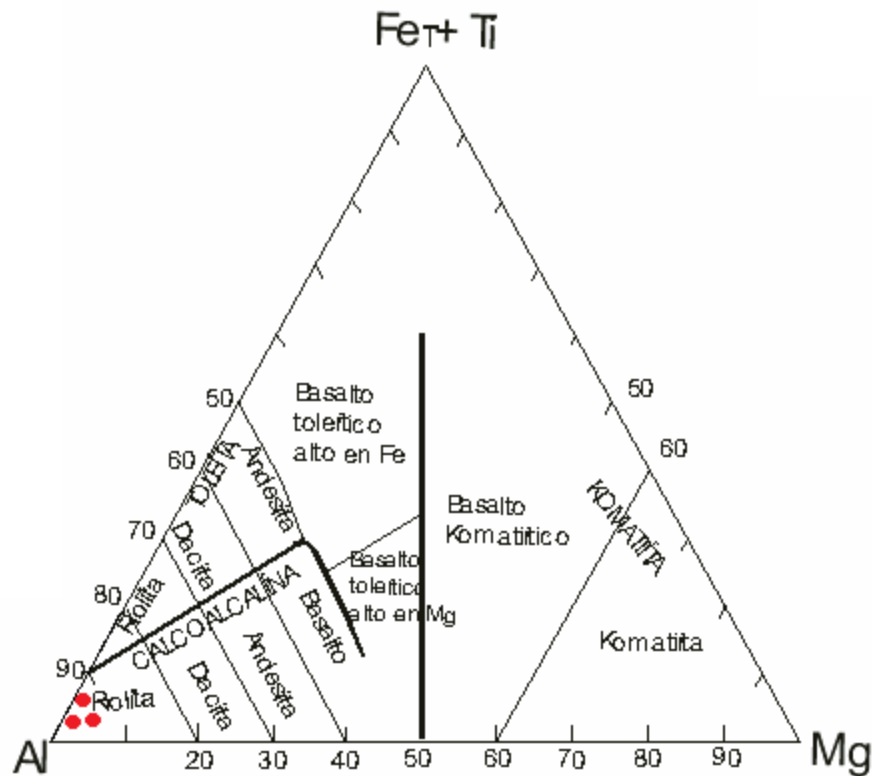
9.1.1 Clasificación de las rocas Igneas usando cationes

Para recalcular la composición química de la roca total (dada en % peso), con el propósito de expresarla en cationes, cada valor del óxido se divide por peso molecular del óxido y se multiplica por el número de cationes en la unidad de fórmula. Para obtener los milicaciones, se multiplican las proporciones cationicas por mil y por último se recalcula a 100% la suma de las proporciones cationicas (Tabla 15). Posteriormente con base en los datos obtenidos de la **Tabla 13** se han ubicado las muestra en el diagrama Al, Fe+Ti, Mg, (**Figura 39**) ratificando que las muestra objeto de estudio corresponden a riolitas.

Tabla 13. Calculo cationico de las muestra objeto de estudio.

Muestra	Oxidos	% Peso Oxido	Peso Molecular	Proporciones cationicas	Milicaciones	% Cationico
CT-6-M2	SiO2	74,3	60,09	1,2365	1236,48	79,29%
	Al2O3	15,45	101,96	0,3031	303,06	19,43%
	Fe2O3(T)	1,04	159,69	0,0130	13,03	0,84%
	TiO2	0,17	79,9	0,0021	2,13	0,14%
	MgO	0,19	40,3	0,0047	4,71	0,30%
TOTAL				1,5594		100,00%
CT-6-M3	SiO2	74,5	60,09	1,2398	1239,81	79,51%
	Al2O3	15,3	101,96	0,3001	300,12	19,25%
	Fe2O3(T)	0,81	159,69	0,0101	10,14	0,65%
	TiO2	0,16	79,9	0,0020	2,00	0,13%
	MgO	0,12	40,3	0,0030	2,98	0,19%
TOTAL				1,5550		99,72%
CT-7-M1	SiO2	77,4	60,09	1,2881	1288,07	82,60%
	Al2O3	12,25	101,96	0,2403	240,29	15,41%
	Fe2O3(T)	0,92	159,69	0,0115	11,52	0,74%
	TiO2	0,14	79,9	0,0018	1,75	0,11%
	MgO	0,26	40,3	0,0065	6,45	0,41%
TOTAL				1,5481		99,27%

Figura 39. Diagrama Al, Fe+Ti, Mg para la clasificación de las muestras objeto de estudio según sus porcentajes cationicos, donde se muestran los campos correspondientes a las series Toleítica, Komatítica y Calco-alcalina.



Fuente: Apoyado en Rckwood, 1989.

9.1.2 Concentración absoluta de Sílice

El SiO₂ constituye el óxido principal de las rocas magmáticas y sirve de base para su clasificación. Teniendo en cuenta los resultados de análisis geoquímicos las muestras, se clasifican como ácidas ya que se encuentran en un rango de aproximadamente 74% peso de SiO₂. Ver **Tabla 14**.

Tabla 14: Clasificación de las rocas analizadas por medio del % peso de SiO₂ presente.

Concentración en Sílice % en peso	Nombre	CT-6-M2	CT-6-M4	CT-7-M1
≥ 66	Acida	X	X	X
52-66	Intermedia			
45-52	Básica			
45% o menos	Ultrabásica			

9.1.3 Saturación de Alúmina

El Al₂O₃ es el segundo constituyente más abundante de las rocas magmáticas por esta razón es muy útil en la clasificación química, especialmente en rocas félsicas.

El índice de saturación de alúmina está definido por la relación Al₂O₃ / (K₂O+Na₂O+CaO) así las rocas se clasifican en:

Peralumínicas (Al₂O₃ > K₂O+Na₂O+CaO)

Metalumínicas (Al₂O₃ < K₂O+Na₂O+CaO)

Peralcalinas (Al₂O₃ < K₂O+Na₂O).

En la **Tabla 15** se muestra la saturación de alúmina presente en las muestra objeto de estudio.

Tabla 15: Clasificación de las rocas analizadas por medio del % peso de SiO₂ presente.

Índice de Saturación	Nombre	CT-6-M2	CT-6-M4	CT-7-M1
Al ₂ O ₃ > K ₂ O + Na ₂ O + CaO	Peralumínicas			
Al ₂ O ₃ < K ₂ O + Na ₂ O + CaO	Metalumínicas	X	X	X
Al ₂ O ₃ < K ₂ O + Na ₂ O	Peralcalinas			

En las rocas Metalumínicas el exceso de alúmina se acomoda en micas especialmente en hornblenda, la biotita pobre en Al, titanita. Como minerales normativos se presenta la anortita (An), Diopsido (Di).

9.1.4 Composición Normativa CIPW

Este cálculo es utilizado para calcular la mineralogía aproximada de las muestras teniendo en cuenta los resultados de análisis geoquímicos de la roca total. La norma son paragénesis minerales ideales que se suponen han cristalizado de un magma anhidro. El cálculo normativo se realizó con ayuda del programa Igpert 2005 estos resultados se muestran en la **Tabla 16**.

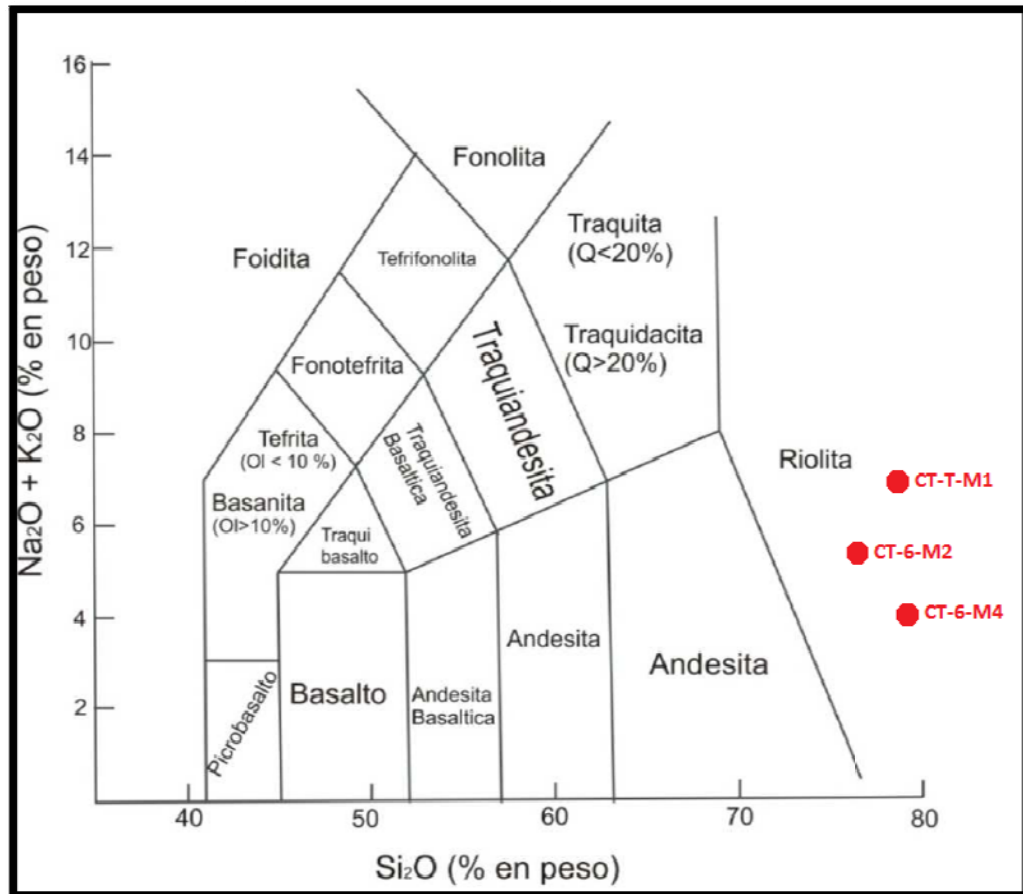
Tabla 16: Composición normativa de las riolitas porfiríticas.

Minerales	CT-6-M2 AN=01,00	CT-6-M4 AN=01,00	CT-7-M1 AN=04,35
Cuarzo	52,43	56,68	40,28
Ortoclasa	33,54	29,09	28,55
Albita	1,23	0,76	25,86
Anortita	0,01	0,06	1,18
Corindon	11,07	12,09	2,38
Hiperstena	0,56	0,36	0,74
Magnetita	0,22	0,18	0,33
Ilmenita	0,25	0,24	0,2
Hematita	0,63	0,49	0,44
Apatito	0,05	0,03	0,33
Piropo	0,01	0,01	0,01

9.1.5 Clasificación TAS

Las rocas se clasifican de acuerdo al diagrama TAS para rocas volcánicas. Con respecto al análisis petrográfico descrito en el capítulo 6 y con la descripción macroscópica, las muestras coinciden en el campo de las Riolitas (**Figura 40**).

Figura 40. Diagrama de clasificación de rocas ígneas volcánicas $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ versus SiO_2

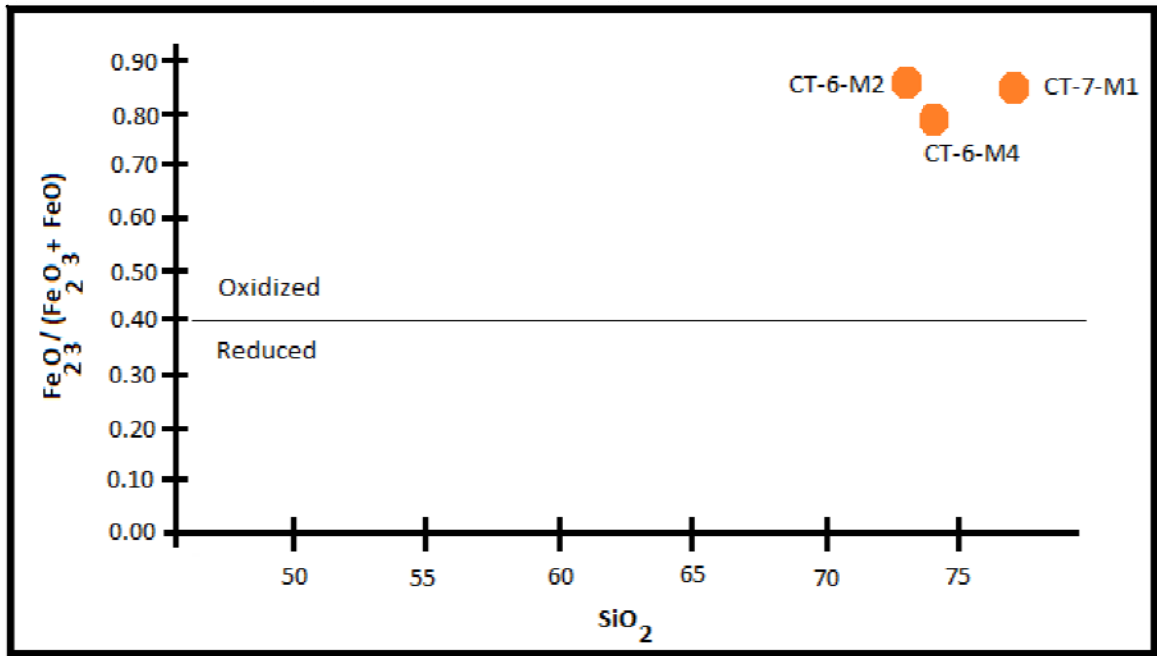


Fuente: Le Maitre et al (1989).

9.1.6 Oxidación del magma

El magma formador de las rocas objeto de estudio corresponde a un magma oxidado como se observa en la **Figura 41**, lo cual indica que corresponde a una zona de subducción con muy bajo contenido de minerales máficos.

Figura 41. Diagrama de caracterización del magma (oxidante o reductor).



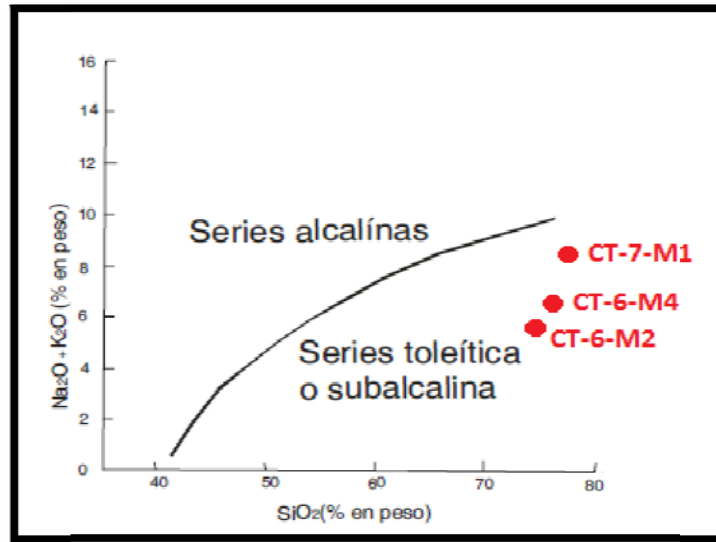
Fuente: Meinert 1995

9.1.7 Series Magmáticas

Para determinar la serie magmática de las muestras analizadas es necesario utilizar el diagrama de composición de los álcalis vs. porcentaje en peso del sílice, allí se ubican las muestras en el campo de la serie toleítica o subalcalina como lo muestra la **Figura 42**, teniendo en cuenta lo anterior y para obtener un segundo criterio se ubican las muestras en el diagrama AFM en el cual quedan ubicadas en el campo de la serie calco alcalina como se observa en la **Figura 43**, finalmente para obtener más detalle acerca de la serie de las muestras, se emplea el diagrama de proyección de K_2O vs. SiO_2 siendo las bandas grises los campos en los cuales caen los límites entre series. En este diagrama las muestras quedan ubicadas en el campo correspondiente a la serie calco-alcalina alta en potasio (**Figura 44**).

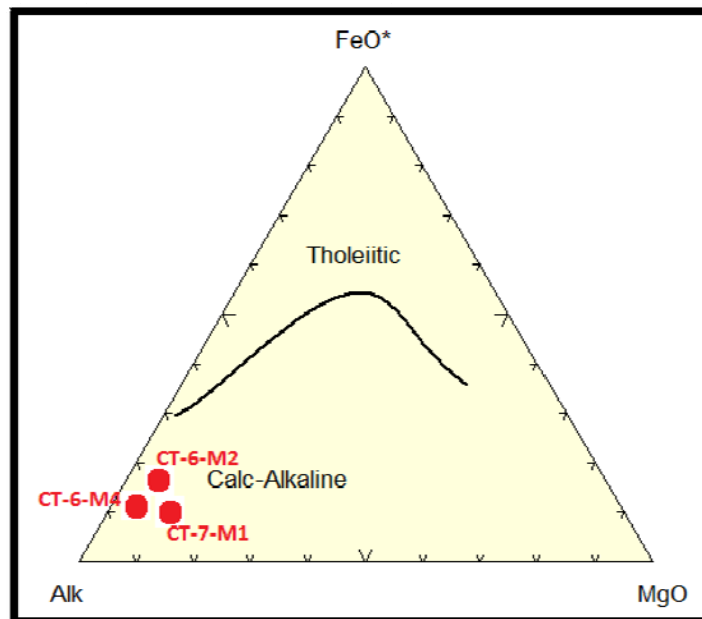
La clasificación de estas rocas nos indica que su origen corresponde a un ambiente de subducción de margen de placa convergente de magmas calcoalcalinos.

Figura 42. Diagrama de composición de los álcalis vs. Porcentaje en peso del sílice.



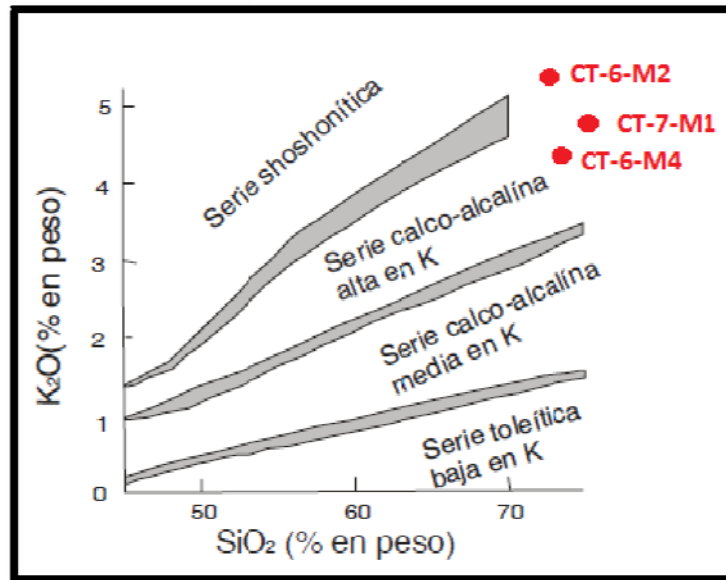
Fuente: Rollinson, 1993

Figura 43. Diagrama AFM, el cual se empleó para determinar que la serie de las muestras objeto de estudio corresponden a calco-alcálicas.



Fuente: Irving y Baragar (1971)

Figura 44. Diagrama de proyección de K_2O vs. SiO_2

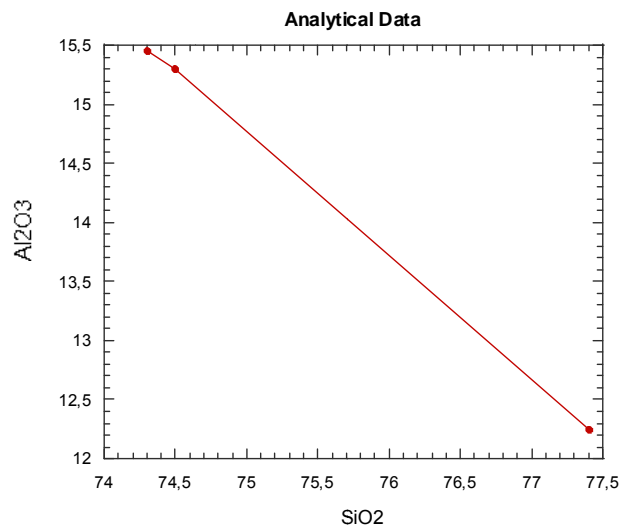


Fuente: Tomado de Rickwood, 1989.

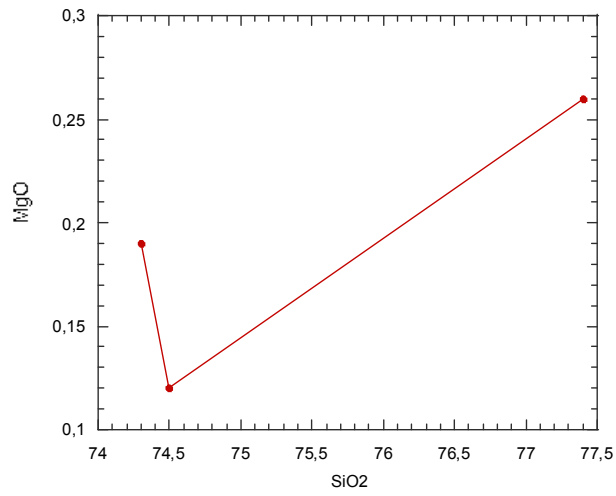
9.1.8 Diagramas de Variación

Los diagramas de variación de Harker Comparan los contenidos en sílice respecto de los demás óxidos, porque las rocas más pobres en SiO_2 estarían más cerca de la composición del magma original. Con estos diagramas se puede determinar la evolución del magma de acuerdo con la cristalización fraccionada de minerales (Figuras 45-51).

Figura 45. Diagrama de Variación de Al_2O_3 vs. SiO_2

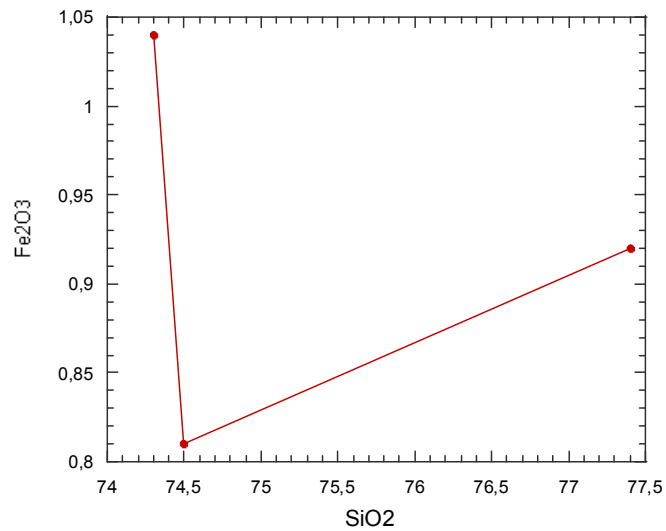


Fuente: Elaborado por el autor en el programa Kaleida Graph
Figura 46. Diagrama de Variación de MgO vs. SiO₂



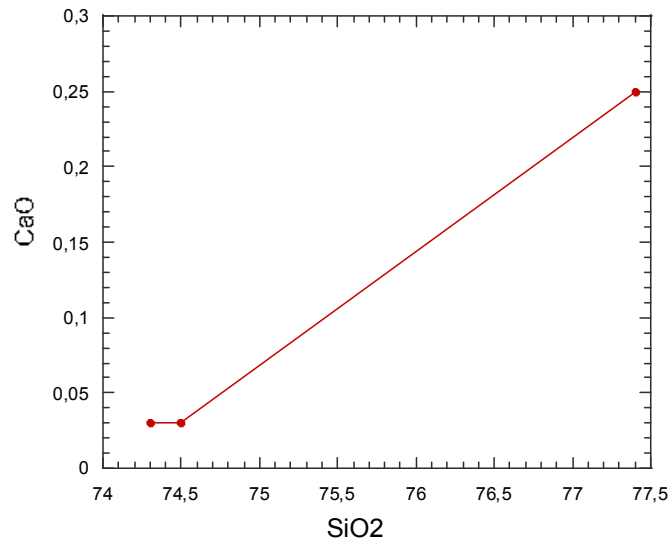
Fuente: Elaborado por el autor en el programa Kaleida Graph

Figura 47. Diagrama de Variación de Fe₂O₃ vs. SiO₂



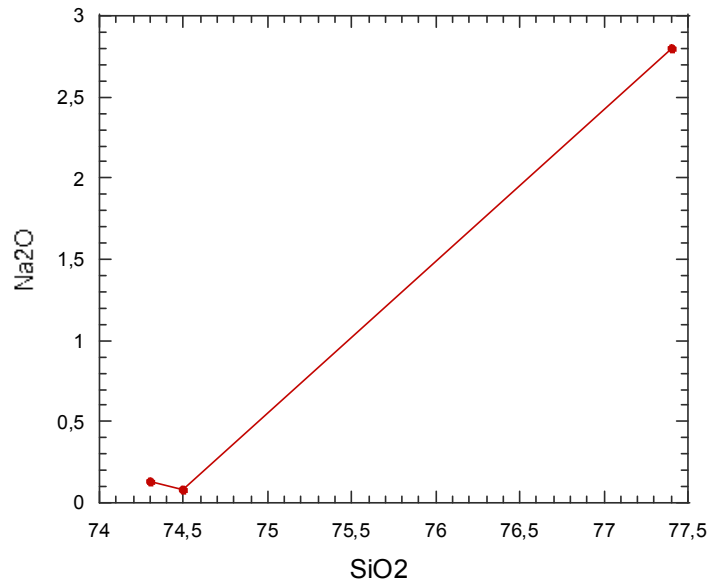
Fuente: Elaborado por el autor en el programa Kaleida Graph

Figura 48. Diagrama de Varición de CaO vs. SiO₂



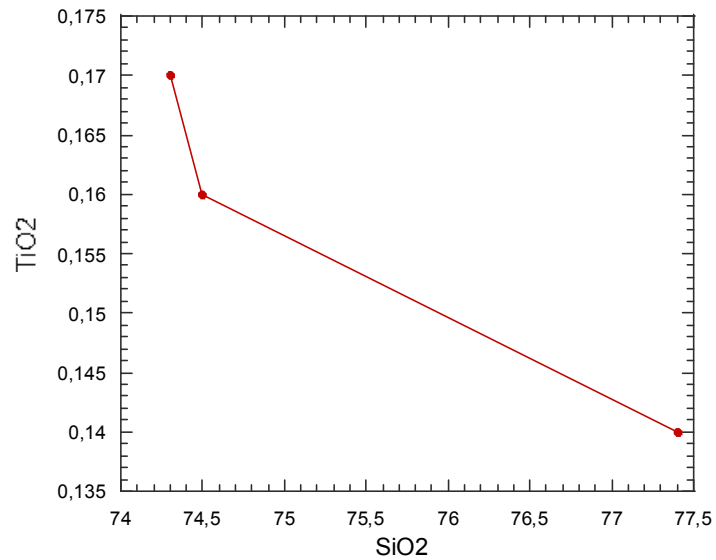
Fuente: Elaborado por el autor en el programa Kaleida Graph

Figura 49. Diagrama de Varición de Na₂O vs. SiO₂



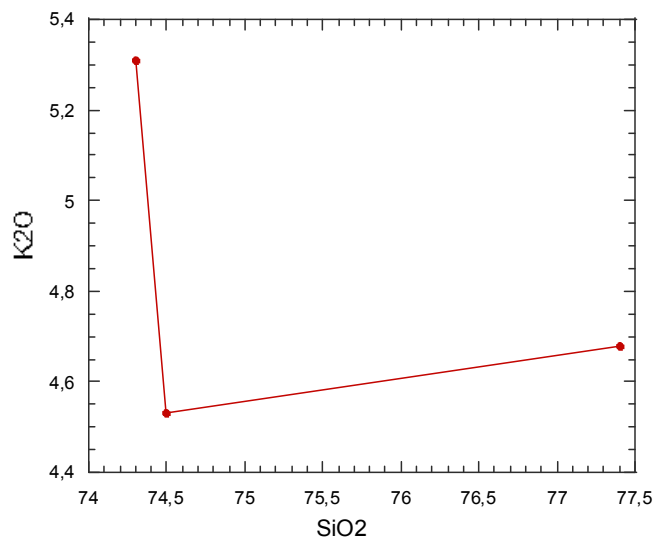
Fuente: Elaborado por el autor en el programa Kaleida Graph

Figura 50. Diagrama de Varición de TiO_2 vs. SiO_2



Fuente: Elaborado por el autor en el programa Kaleida Graph

Figura 51. Diagrama de Varición de K_2O vs. SiO_2



Fuente: Elaborado por el autor en el programa Kaleida Graph

En las inflexiones que muestran los diagramas Fe_2O_3 vs SiO_2 y MgO vs SiO_2 reflejan la cristalización fraccionada de minerales presentes en las muestras objeto de estudio como el rutilo, que está presente en pequeñas proporciones en algunas de las muestras analizadas por geoquímica y petrografía.

Los diagramas Na_2O vs SiO_2 y CaO vs SiO_2 muestran una correlación positiva de estos elementos lo cual reflejan una cristalización fraccionada de plagioclasa que

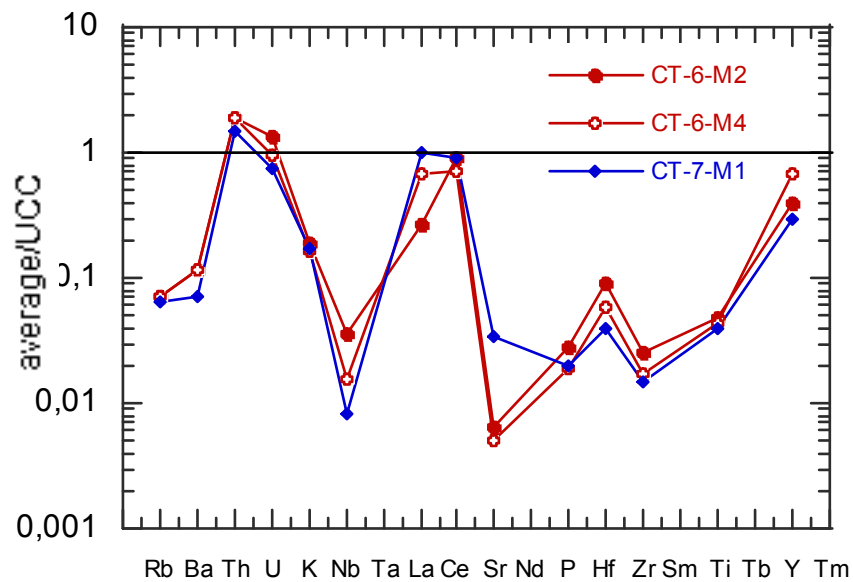
se representa por la presencia de fenocristales, aunque en muy pequeña proporción.

El diagrama K_2O vs SiO_2 muestra inflexión más pronunciada con respecto a los otros elementos, y se manifiesta con el aumento cristalización fraccionada de fenocristales de feldspatos potásicos, reflejándose en las secciones delgadas.

9.2 ANALISIS GEOQUIMICO DE ELEMENTOS TRAZA

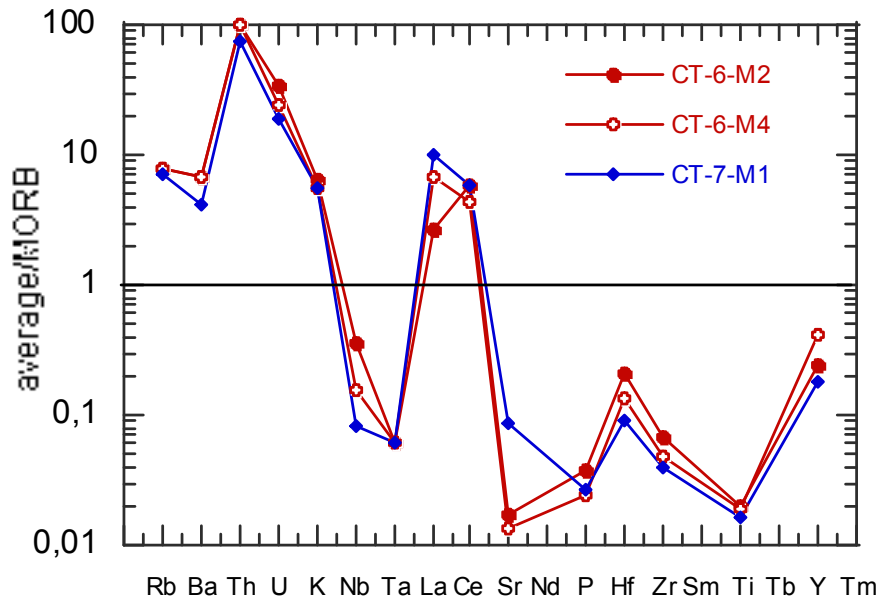
Los análisis de elementos traza se basa en aragnigramas con los datos geoquímicos adquiridos normalizados, son muy útiles para la diferenciar los ambientes tectónicos de formación y evolución de las rocas.

Figura 52. Elementos traza normalizados con respecto a la corteza superior.



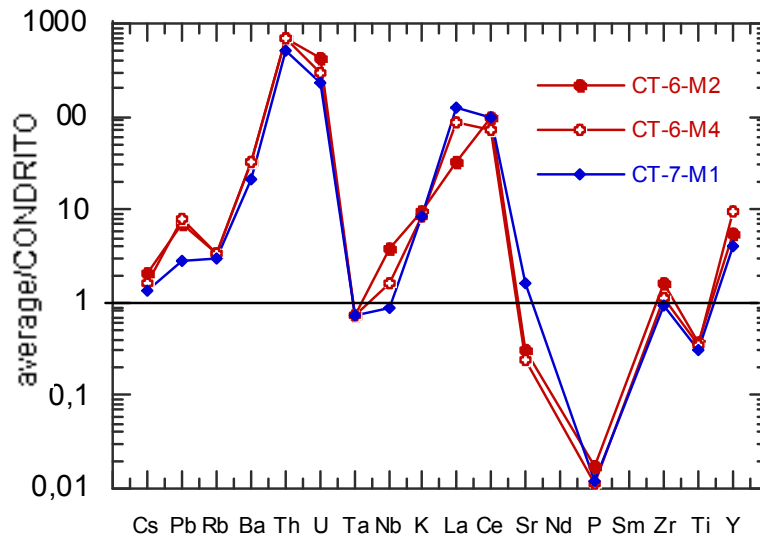
Fuente: Realizado por el autor en el programa Kaleida Graph, Taylor and McLennan, 1981.

Figura 53. Elementos traza normalizados con respecto al MORB.



Fuente: Realizado por el autor en el programa Kaleida Graph, Pearce, 1983

Figura 54. Elementos traza normalizados con respecto al condrito.



Fuente: Realizado por el autor en el programa Kaleida Graph, Sun and McDonough, 1989

El diagrama de elementos normalizados con respecto a la corteza superior (**Figura 52**) refleja un alto contenido de elementos móviles e incompatibles como el caso de Rb, Ba y K, presenta también una anomalía negativa en Nb lo que indica que parte de la corteza continental fundió e hizo parte de la formación de las rocas objeto de estudio. Este diagrama presenta también un bajo contenido de Sr lo cual se ve reflejado en el poco contenido de plagioclasas.

En el diagrama de elementos normalizados con respecto al MORB (**Figura 53**) se observa un bajo contenido de elementos inmóviles y compatibles, lo que indica que las rocas objeto de estudio son producto de fluidos más evolucionados y diferenciados composicionalmente comparado con aquellos que dan origen al MORB.

10. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos mediante análisis de difracción de rayos X (DRX) y el conteo modal mediante petrografía convencional, permiten clasificar las rocas objeto de estudio como riolitas porfíricas, las cuales se encuentran encajadas por filitas cuarcíticas.
- Las riolitas porfíricas presentan en su composición mineralógica fenocristales de cuarzo , feldespato potásico (ortoclasa) y en menor proporción plagioclasa (40% de fenocristales, 60% de matriz); los cuales se encuentran formando unas texturas de intercrecimiento con el cuarzo (gráfica y mirmekítica). La matriz a pesar de ser afanítica se sabe que está compuesta de feldespato potásico y cuarzo, por un proceso de tinción que se llevó a cabo a las secciones delgadas con cobalnitro para generar una reacción en los feldespatos potásicos y así facilitar su identificación.
- Las texturas de intercrecimiento anteriormente mencionadas (gráfica y mirmekítica), junto con las texturas esferulíticas y afanítica, evidencian un proceso de cristalización progresivo del magma félsico (fundido+volátiles), en el cual la parte más interna de los fenocristales, nuclearon en un ambiente en el cual el magma no había alcanzado la saturación del agua, seguidamente; y una vez alcanzada la saturación del agua en el magma (fundido y volátiles formando fases independientes) y el posterior escape de éstos volátiles; el magma residual (fundido sin volátiles), es un indicador que la formación de estas Riolitas se llevó a cabo a profundidades muy someras.
- En el análisis petrográfico se observó que el cuarzo presenta embahamientos posiblemente debido a la reacción que se genera en el proceso de formación de la matriz de estas rocas.
- Las rocas analizadas se ubican dentro del rango de series calcoalcalinas, en la subdivisión alta en potasio, lo cual las sitúa en un contexto tectónico de subducción y con ausencia de minerales máficos.
- Los diagramas de variación de Harker corroboran la ausencia de minerales máficos, debido a la baja cristalización fraccionada que presenta el CaO, sin embargo como se mencionó anteriormente este óxido permitió la cristalización de algunos fenocristales de plagioclasa. En el caso puntual

del K_2O se observa un aumento, el cual se ve reflejado en el alto contenido de feldespato potásico en las muestras.

- Los diagramas multielementales de elementos traza reflejan un alto contenido de elementos móviles e incompatibles tales como Rb, Ba y K, y además muestran una anomalía negativa en el contenido de Nb sugiriendo fusión y mezcla de la corteza continental para hacer parte de la formación de estas rocas.

11. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar dataciones radiométricas para conocer la edad del cuerpo y poder establecer una relación con el marco geológico regional de la zona de estudio.

12. BIBLIOGRAFIA

Castro, A. Estudio petrográfico y geoquímico de las rocas andesitas y micrograbros porfiríticos del sector Vijagual, municipio de Bucaramanga, Departamento de Santander. Bucaramanga 2010, 149 p. Tesis de pregrado: Universidad Industrial de Santander.

Clavijo, J., Royero, J. Mapa Geológico Generalizado Departamento de Santander, Memoria Explicativa, Escala 1:100.000. Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear, Ingeominas, Republica de Colombia. 2001.

García Ramírez, C. A. 2007. Manual de Prácticas de Petrología Metamórfica. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Pp. 7-37, 49-54

Kerr, P. Mineralogía Óptica. Traducido por José Huidobro. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 1965.

Mantilla Figueroa, L. C. 2003. Guía de Laboratorios de petrología ígnea. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físicoquímicas. Escuela de Geología. Pp. 2-25, 74-78, 116-118.

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

Plan de Ordenamiento Territorial de los municipios Mogotes y San Joaquín. 2002 [Gobernación del departamento de Santander].

Rollinson, F. 1996. Using Geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation, Longman. 314 p.

Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, J., Restrepo, H. Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y I-13 Mogotes departamento de Santander. En: Boletín Geológico. 1973 Vol. XXI N° 1-3.

Robb, L. 2005 Introduction to Ore – Forming Processes Pp. 19–214.

Wilson, M. 1989. Igneous Petrogenesis Pp. 13-34.

Giraldo, M. Esquema geodinámico de la parte noroccidental de la cordillera central de Colombia. Medellín 2010 151 p. Tesis de maestría Universidad Nacional de Colombia.

Lopez, J., Bellos, L. 2006. Texturas y estructuras de las rocas ígneas: Significado petrológico e implicancias en las condiciones de formación de las rocas. Pp. 32-39

Candela, P. 1997. A review of shallow, Ore – related granites: Textures, volatiles, and ore metals. Pp. 1624-1628.

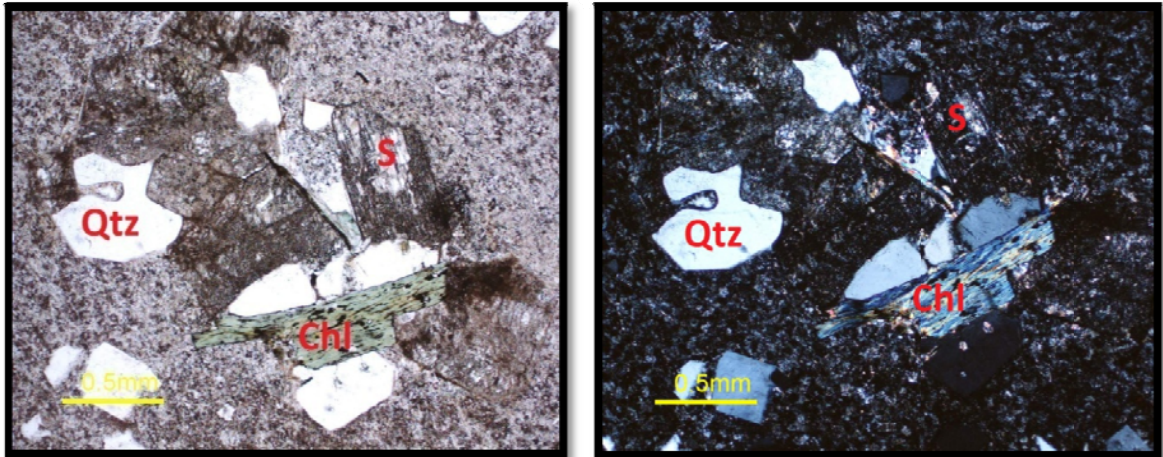
Vernon, R. 2004. A practical guide to Rock Microstructure Pp. 90-162

Candela, P., Piccoli, P. 2005 Magmatic Processes in the Development of Porphyry-Type Ore Systems Pp. 32-34

ANEXOS

Anexo A. Análisis petrográfico

CT – 6 – M2



Ortoclasa: Individuos de forma subhedral a euhedral, incoloros, de bajo relieve, se manifiestan a nivel de fenocristales, se encuentran distribuidos en toda la sección, su tamaño varía de 2.5 mm a 3 mm; algunos de estos fenocristales presentan una importante alteración a caolinita, otros presentan intercrecimiento de cuarzo de forma esqueletal conformando así entre ellos la textura gráfica, micrográfica y mirmekítica.

Dentro de los fenocristales se presentan inclusiones de clorita producto de la alteración de biotitas.

Cuarzo: Individuos incoloros de bajo relieve se manifiestan a nivel de fenocristal; se presenta de tres diferentes formas en toda la sección:

La primera son fenocristales los cuales varía su forma de anhedral a subhedral, su relieve es bajo y su birrefringencia se encuentra en los grises de primer orden.

La segunda son cristales que presentan embahiamiento.

La tercera se manifiestan como intercrecimiento sobre el feldespato potásico formando así las texturas gráfica y micrográfica.

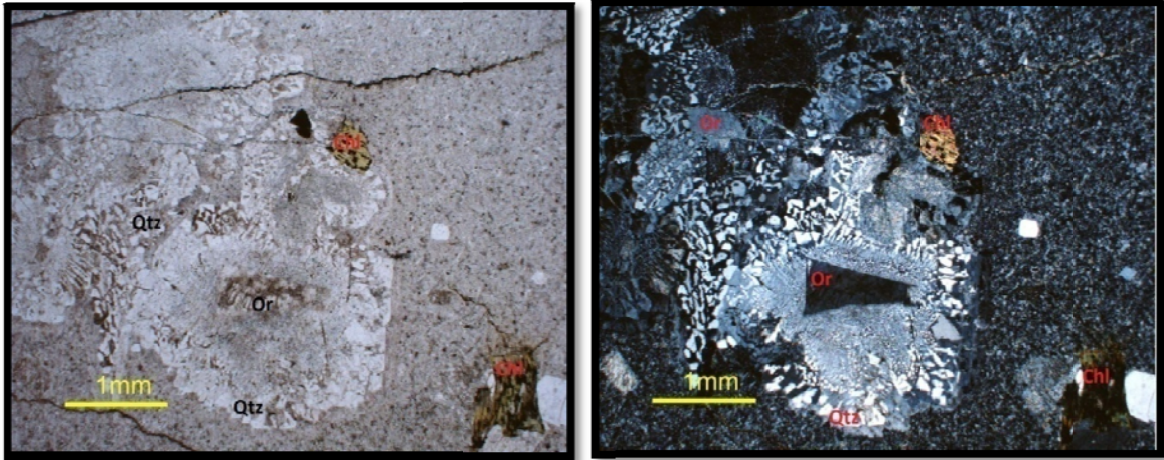
Plagioclasa: Individuos incoloros, de bajo relieve, de forma anhedral a subhedral, se caracterizan por presentar su típico maclado; se encuentran distribuidos en toda la sección embebidas en una matriz afanítica, ocasionalmente están en contacto con el cuarzo y la ortoclasa haciendo parte de las texturas anteriormente mencionadas, presentan alto grado de sericitización.

Sericita: Se presenta en agregados escamosos muy finos, desarrollados sobre la plagioclasa a manera de parches.

Clorita: Se manifiestan en agregados hojosos, presentan pleocroísmo bajo de color verde a verde claro, colores de birrefringencia altos en ocasiones presentan tonos violáceos, posiblemente son el producto de alteración de biotitas.

Ilmenita?: Cristales de color rojo, de forma subhedral a euhedral de relieve alto posiblemente son producto de la alteración de...

CT – 8 – M1



Cuarzo: Individuos incoloros de bajo relieve se manifiestan a nivel de fenocristal; se presenta de tres diferentes formas en toda la sección:

La primera son fenocristales los cuales varía su forma de anhedral a subhedral, su relieve es bajo y su birrefringencia se encuentra en los grises de primer orden.

La segunda son cristales que presentan embahiamiento.

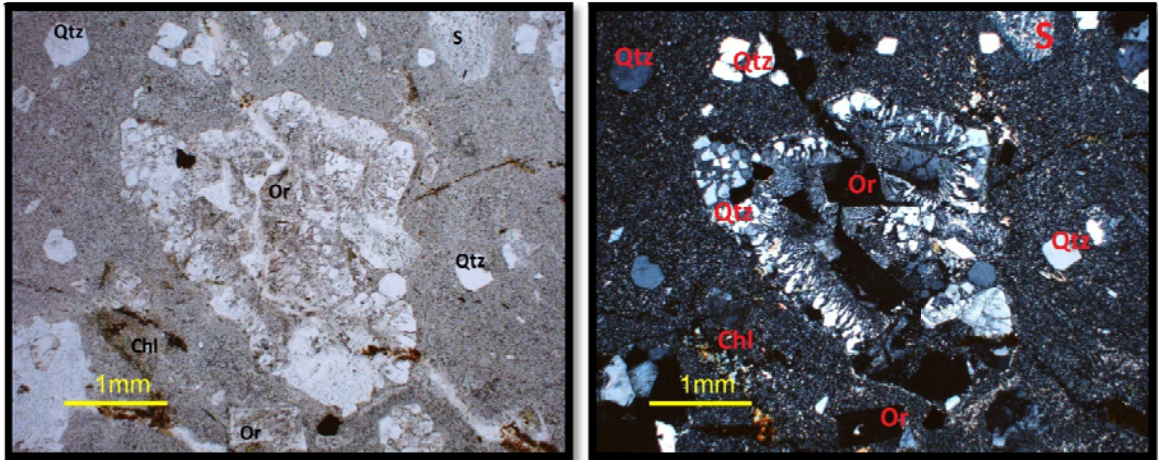
La tercera se manifiestan como intercrecimiento sobre el feldespato potásico formando así las texturas grafica y micrográfica.

Plagioclasa: Individuos incoloros, de bajo relieve, de forma anhedral a subhedral, se caracterizan por presentar su típico maclado; se encuentran distribuidos en toda la sección embebidas en una matriz afanítica, ocasionalmente están en contacto con el cuarzo y la ortoclasa haciendo parte de las texturas anteriormente mencionadas, presentan alto grado de sericitización.

Ortoclasa: Individuos de forma subhedral a euhedral, incoloros, de bajo relieve, se manifiestan a nivel de fenocristales, se encuentran distribuidos en toda la sección, su tamaño varía de 2.5 mm a 3 mm; algunos de estos fenocristales presentan una importante alteración a caolinita, otros presentan intercrecimiento de cuarzo de forma esqueletal conformando así entre ellos la textura grafica, micrográfica y mirmekítica.

Clorita: Se manifiestan en agregados hojosos, presentan pleocroísmo bajo de color verde a verde claro, colores de birrefringencia altos, posiblemente son el producto de alteración de biotitas.

CT – 6 – M4



Cuarzo: Individuos incoloros de bajo relieve se manifiestan a nivel de fenocristal; se presenta de tres diferentes formas en toda la sección:

La primera son fenocristales los cuales varía su forma de anhedral a subhedral, su relieve es bajo y su birrefringencia se encuentra en los grises de primer orden.

La segunda son cristales que presentan embahiamiento.

La tercera se manifiestan como intercrecimiento sobre el feldespato potásico formando así las texturas grafica y micrográfica.

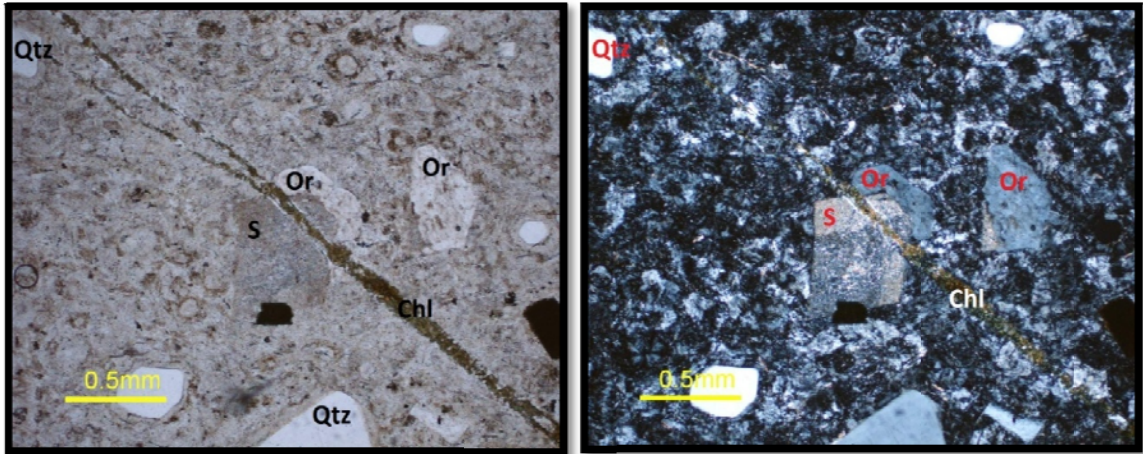
Ortoclasa: Individuos de forma subhedral a euhedral, incoloros, de bajo relieve, se manifiestan a nivel de fenocristales, se encuentran distribuidos en toda la sección, su tamaño varía de 2.5 mm a 3 mm; algunos de estos fenocristales presentan una importante alteración a caolinita, otros presentan intercrecimiento de cuarzo de forma esqueletal conformando así entre ellos la textura grafica, micrográfica y mirmekítica.

Plagioclasa: Individuos incoloros, de bajo relieve, de forma anhedral a subhedral, se caracterizan por presentar su típico maclado; se encuentran distribuidos en toda la sección embebidas en una matriz afanítica, ocasionalmente están en contacto con el cuarzo y la ortoclasa haciendo parte de las texturas anteriormente mencionadas, presentan alto grado de sericitización.

Sericita: Se presenta en agregados escamosos muy finos, desarrollados sobre la Plagioclasa a manera de parches.

Clorita: Se manifiestan en agregados hojosos, presentan pleocroísmo bajo de color verde a verde claro, colores de birrefringencia altos, posiblemente son el producto de alteración de biotitas.

CT – 7 – M1



Cuarzo: Individuos incoloros de bajo relieve se manifiestan a nivel de fenocristal; se presenta de tres diferentes formas en toda la sección:

La primera son fenocristales los cuales varía su forma de anhedral a subhedral, su relieve es bajo y su birrefringencia se encuentra en los grises de primer orden.

La segunda son cristales que presentan embahiamiento.

La tercera se manifiestan como intercrecimiento sobre el feldespato potásico formando así las texturas grafica y micrográfica.

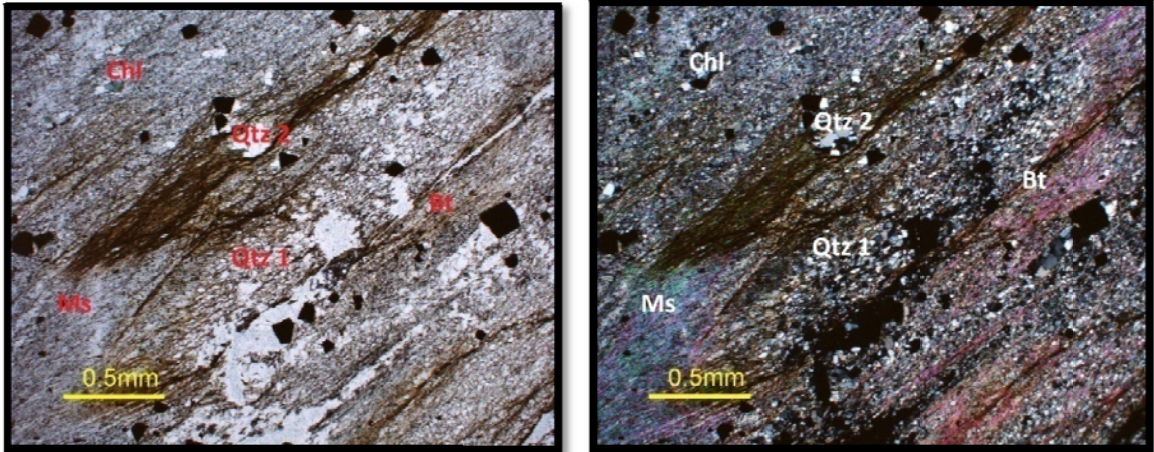
Ortoclasa: Individuos de forma subhedral a euhedral, incoloros, de bajo relieve, se manifiestan a nivel de fenocristales, se encuentran distribuidos en toda la sección, su tamaño varía de 2.5 mm a 3 mm; algunos de estos fenocristales presentan una importante alteración a caolinita, otros presentan intercrecimiento de cuarzo de forma esqueletal conformando así entre ellos la textura grafica, micrográfica y mirmekítica.

Plagioclasa: Individuos incoloros, de bajo relieve, de forma anhedral a subhedral, se caracterizan por presentar su típico maclado; se encuentran distribuidos en toda la sección embebidas en una matriz afanítica, ocasionalmente están en contacto con el cuarzo y la ortoclasa haciendo parte de las texturas anteriormente mencionadas, presentan alto grado de sericitización.

Sericita: Se presenta en agregados escamosos muy finos, desarrollados sobre la plagioclasa a manera de parches.

Clorita: Se manifiestan en agregados hojosos, presentan pleocroísmo bajo de color verde a verde claro, colores de birrefringencia altos, posiblemente son el producto de alteración de biotitas.

CT – 3 – M3



Moscovita: Agregados incoloros hojosos, compuestos de individuos incoloros heteroblásticos, subidioblásticos de habito laminar, estrechamente ligado al cuarzo 1 en contacto neto, con el cuarzo 1 forma bandas poliminerales. Se encuentra también asociada con los minerales opacos. Su distribución en la muestra no es homogénea.

Cuarzo: Se presentan dos generaciones de cuarzo.

Cuarzo 1: Individuos incoloros con bajo relieve, heteroblásticos, xenoblásticos, presenta los colores típicos de birrefringencia en los grises de primer orden, los individuos de cuarzo son alargados en dirección de la esquistosidad principal.

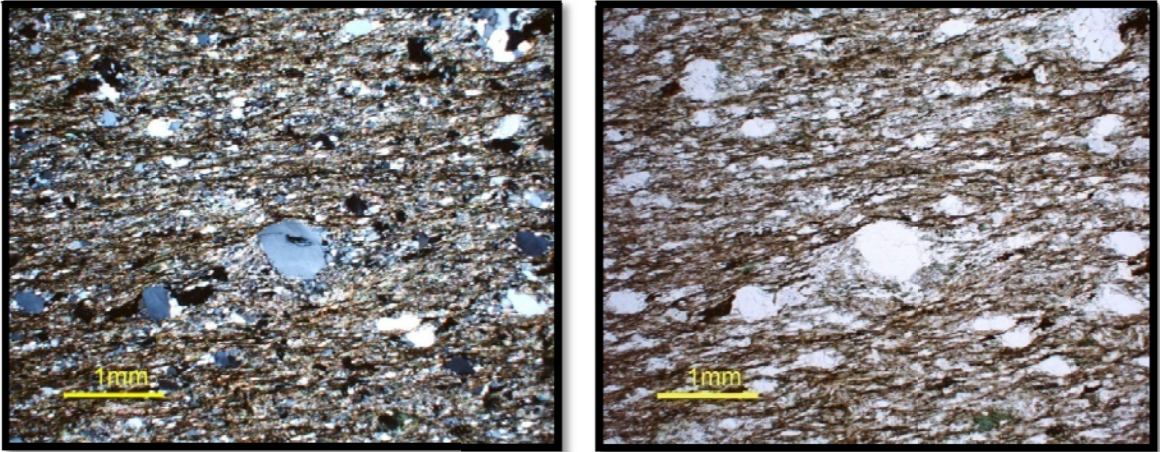
Cuarzo 2: Este tipo de cuarzo se presenta en tamaño de cristales más grandes y se caracteriza por formar dominios de microlitones con la moscovita.

Biotita: Agregados de color marrón con su pleocroísmo típico, de habito hojoso constituido por individuos heteroblásticos, subidioblásticos de habito laminar, en su mayoría concordantes con la dirección principal de la esquistosidad y su distribución en la roca en homogénea. Presenta alteración moderada a clorita.

La clorita se presenta como agregados fibrosos de color verde su birrefringencia es alta y parece ser el producto de alteración de las biotitas.

Minerales opacos: Porfidoblastos homeoblásticos, subidioblásticos de geometrías cúbicas, asociados al cuarzo, la moscovita, la biotita, su distribución en la roca es homogénea.

CT – 4 – M1



Moscovita: Agregados incoloros hojosos, compuestos de individuos incoloros heteroblásticos, subidioblásticos de habito laminar, estrechamente ligado al cuarzo 1 en contacto neto, con el cuarzo 1 forma bandas poliminerales. Se encuentra también asociada con los minerales opacos. Su distribución en la muestra no es homogénea.

Cuarzo: Se presentan dos generaciones de cuarzo.

Cuarzo 1: Individuos incoloros con bajo relieve, heteroblasticos, xenoblásticos, presenta los colores típicos de birrefringencia en los grises de primer orden, los individuos de cuarzo son alargados en dirección de la esquistosidad principal.

Cuarzo 2: Este tipo de cuarzo se presenta en tamaño de cristales más grandes y se caracteriza por formar dominios de microlitones con la moscovita.

Biotita: Agregados de color marrón con su pleocroísmo típico, de habito hojoso constituido por individuos heteroblásticos, subidioblásticos de habito laminar, en su mayoría concordantes con la dirección principal de la esquistosidad y su distribución en la roca es homogénea. Presenta alteración moderada a clorita.

La clorita se presenta como agregados fibrosos de color verde, su birrefringencia es alta y parece ser el producto de alteración de las biotitas.

Minerales opacos: Porfiroblastos homeoblasticos, subidioblasticos de geometrías cubicas, asociados al cuarzo, la moscovita, la biotita, su distribución en la roca es homogénea.

Anexo B.
Resultados Análisis de Difracción de Rayos X (DRX)



Laboratorio de Difracción de Rayos-X

INF-058-10-1

Bucaramanga, Octubre 16 de 2010

SEÑORES:
ESCUELA DE GEOLOGÍA
Atn: Dr. Luis Carlos Mantilla
Director del proyecto 7429
UIS/Presente

Cordial saludo:

Por medio de la presente estoy haciendo entrega del resultado de los análisis cuantitativos por Difracción de Rayos-X de nueve (9) muestras, identificadas como “**CT-4-M1, CT-6-M2, CT-6-M3, CT-6-M4, CT-7-M1, CT-7-M2, CT-8-M1, CT-8-M3 y CT-8-M4**”.

Atentamente,

JOSÉ ANTONIO HENAO MARTÍNEZ
Director
Laboratorio de Difracción de Rayos-X
PQ 0321

*Universidad Industrial de Santander, Escuela de Química, Laboratorio de Postgrado 111
Edificio Camilo Torres, Bucaramanga, PBX 6344000 Ext. 22 26, Telefax 6347166
Apartado Aéreo N° 678, Email: rayosx@uis.edu.co NIT 890. 201.213-4*

METODOLOGÍA

1. Preparación y Montaje de las muestras

El espécimen seleccionado de cada muestra fue montado en un portamuestra de aluminio mediante la técnica de llenado frontal.

2. Toma de datos de difracción

Se realizó en un difractómetro de polvo marca PANalytical modelo X'PERT PRO MPD bajo las siguientes condiciones:

Voltaje	45(kV)
Corriente	40(mA)
Rendijas Soller	0.04 rad (Incidencia y Difracción)
Rendijas Fijas	1/4 y 1/8 (Incidencia) y 1/4 (Difracción)
Muestreo	0.013° 2theta
Rango de Medición	4-70° 2theta
Radiación	CuK α 1
Filtro	Ni
Detector	de estado sólido referencia PIXcel con 255 canales activos
Tipo de barrido	Continuo

3. Tipo de Análisis

Análisis Cualitativo

El análisis cualitativo de las fases presentes en la muestra se realizó mediante comparación del perfil observado con los perfiles de difracción reportados en la base de datos PDF-2 del *International Centre for Diffraction Data* (ICDD).

Análisis Cuantitativo

El análisis cuantitativo de las fases encontradas se realizó mediante el refinamiento por el Método de Rietveld del perfil observado habiéndole agregado a la muestra una cantidad conocida de un estándar interno (*Aluminum oxide*, -100mesh, 99%. *Corundum*, α -phase. Aldrich No. 23,474-5) correspondiente al 20%.

4. Información suministrada por el cliente

Análisis elemental: No.

Interés por alguna(s) fase(s) en particular: Identificación y cuantificación de fases cristalinas.

RESULTADOS

1. CT-4-M1 (C2JL)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	010-85-0796	Cuarzo	16.0 % (D.E = 0.1)
	$\text{Mg}_3 (\text{Si}_2 \text{O}_5) (\text{OH})_4$	010-73-9904	Clinocristolito	1.0 % (D.E = 0.1)
	$\text{K Al}_2 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	000-58-2037	Moscovita	52.1 % (D.E = 0.5)
	$(\text{Mg, Fe})_6 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	000-29-0701	Clinocloro	6.6 % (D.E = 0.2)
	$(\text{K}_{0.99} \text{Na}_{0.02}) (\text{Al}_{1.42} \text{Mg}_{0.33} \text{Fe}_{0.24} \text{Ti}_{0.04}) ((\text{Si}_{3.45} \text{Al}_{0.55}) \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	010-76-2554	Phengita	7.5 % (D.E = 0.3)
Total Cristalino				83.2 %
Amorfos y otros				16.8 %

2. CT-6-M2 (C2JH)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	010-85-0796	Cuarzo	47.0 % (D.E = 0.3)
	$(\text{K}_{0.931} \text{Na}_{0.055}) (\text{Al}_{0.97} \text{Si}_{3.03} \text{O}_8)$	010-76-0824	Ortoclasa	25.6 % (D.E = 0.2)
	$\text{Al}_2 (\text{Si}_2 \text{O}_5) (\text{OH})_4$	000-09-0451	Halloisita	-
	$\text{K Al}_2 (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	000-12-0216	Sericita	-
	$\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$	000-22-0675	Microclina	6.8 % (D.E = 0.2)
	$\text{K Al}_2 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	000-58-2037	Moscovita	14.0 % (D.E = 0.2)
Total Cristalino				93.4 %
Amorfos y otros				6.6 %

3. CT-6-M3 (C2JK)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	010-85-0796	Cuarzo	51.7 % (D.E = 0.2)
	$\text{Al}_2 (\text{Si}_2 \text{O}_5) (\text{OH})_4$	000-29-1489	Halloisita	-
	$(\text{K}_{0.931} \text{Na}_{0.055}) (\text{Al}_{0.97} \text{Si}_{3.03} \text{O}_8)$	010-76-0824	Ortoclasa	23.1 % (D.E = 0.2)
	$\text{K Al}_2 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	010-89-6216	Moscovita	12.8 % (D.E = 0.2)
	$\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$	010-70-6187	Microclina	3.6 % (D.E = 0.2)
	$\text{Al} (\text{OH})_3$	000-07-0324	Gibbsita	5.2 % (D.E = 0.1)
Total Cristalino				96.4 %
Amorfos y otros				3.6 %

4. CT-6-M4 (C2JM)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	010-85-0796	Cuarzo	52.1 % (D.E = 0.2)
	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	000-29-1489	Haloisita	-
	$(\text{K}_{0.931} \text{Na}_{0.055}) (\text{Al}_{0.97} \text{Si}_{3.03} \text{O}_8)$	010-76-0824	Ortoclasa	21.3 % (D.E = 0.1)
	$\text{K Al}_2 (\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	010-89-6216	Moscovita	14.3 % (D.E = 0.3)
	$\text{K Al}_2 (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	000-12-0216	Sericita	-
	$\text{K} (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	010-70-6187	Microclina	5.9 % (D.E = 0.1)
	$(\text{Mg, Fe, Al})_6 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	000-07-0078	Clinocloro	3.2 % (D.E = 0.1)
Total Cristalino				96.8 %
Amorfos y otros				3.2 %

5. CT-7-M1 (C2JJ)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
				O
Cristalinos	Si O ₂	010-78-1253	Cuarzo	24.4 % (D.E = 0.1)
	(K _{0.931} Na _{0.055}) (Al _{0.97} Si _{3.03} O ₈)	010-76-0824	Ortoclasa	24.0 % (D.E = 0.3)
	K Al ₂ (Al Si ₃ O ₁₀) (OH) ₂	010-82-0576	Moscovita	6.1 % (D.E = 0.3)
	(Mg, Fe, Al) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	000-07-0078	Clinocloro	1.7 % (D.E = 0.1)
	K Al ₂ (Si ₃ Al) O ₁₀ (OH) ₂	000-12-0216	Sericita	-
	Na (Al Si ₃ O ₈)	010-89-6427	Albita	33.4 % (D.E = 0.3)
Total Cristalino				89.6 %
Amorfos y otros				10.4 %

6. CT-7-M2 (C2JI)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
				O
Cristalinos	Si O_2	010-85-0796	Cuarzo	36.2 % (D.E = 0.2)
	$\text{Na (Al Si}_3 \text{ O}_8 \text{)}$	010-89-6427	Albita	11.4 % (D.E = 0.1)
	$\text{Mg}_5 \text{ (Si}_4 \text{ O}_{10} \text{)}_2 \text{ (OH)}_2 \text{ (H}_2\text{O)}_8$	010-88-1950	Paligorskita	N.C
	$\text{K Al}_2 \text{ (Al Si}_3 \text{ O}_{10} \text{) (OH)}_2$	000-58-2037	Moscovita	33.4 % (D.E = 0.3)
	Ti O_2	030-65-5714	Anatasa	N.C
	$\text{Al}_2 \text{ (Si}_2 \text{ O}_5 \text{) (OH)}_4$	000-58-2028	Caolinita	5.4 % (D.E = 0.3)
	$\text{(Mg, Fe, Al)}_6 \text{ (Si, Al)}_4 \text{ O}_{10} \text{ (OH)}_8$	000-07-0165	Clinocloro	N.C
	$\text{(Na, Ca)}_{0.3} \text{ (Al, Mg)}_2 \text{ Si}_2 \text{ O}_{10} \text{ (OH)}_2 \cdot n \text{ H}_2\text{O}$	000-07-0051	Montmorillonita	N.C
	$\text{(Mg}_{2.36} \text{ Fe}_{0.48} \text{ Al}_{0.16} \text{) Mg}_{0.32} \text{ (Al}_{1.28} \text{ Si}_{2.72} \text{) O}_{10} \text{ (OH)}_2 \text{ (H}_2\text{O)}_{4.32} \text{ Mg}_{0.32}$	010-77-0022	Vermiculita	8.1 % (D.E = 0.1)
	Total Cristalino			
Amorfos y otros				5.5 %

7. CT-8-M1 (C2NU)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	010-83-0539	Cuarzo	38.6 % (D.E = 0.2)
	$\text{K Al Si}_3 \text{ O}_8$	010-75-1592	Ortoclasa	25.1 % (D.E = 0.1)
	$\text{Na Al Si}_3 \text{ O}_8$	000-09-0466	Albita	21.1 % (D.E = 0.3)
	$\text{K (Al}_4 \text{ Si}_2 \text{ O}_9 \text{ (OH)}_3 \text{)}$	010-70-3754	Moscovita	9.4 % (D.E = 0.3)
	$\text{K (Al Si}_3 \text{ O}_8 \text{)}$	010-89-8573	Microclina	N.C
Total Cristalino				94.2 %
Amorfos y otros				5.8 %

8. CT-8-M3 (C2JG)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	010-85-0796	Cuarzo	25.3 % (D.E = 0.2)
	$\text{Na (Al Si}_3 \text{ O}_8 \text{)}$	010-89-6427	Albita	10.8 % (D.E = 0.1)
	$\text{K Al Si}_3 \text{ O}_8$	010-71-1540	Ortoclasa	13.7 % (D.E = 0.1)
	$\text{K Al}_{2.9} \text{ Si}_{3.1} \text{ O}_{10} \text{ (OH)}_2$	010-84-1302	Moscovita	22.8 % (D.E = 0.3)
	$\text{K Al}_2 \text{ (Si}_3 \text{ Al) O}_{10} \text{ (OH)}_2$	000-12-0216	Sericita	-
	$\text{Al}_2 \text{ Si}_2 \text{ O}_5 \text{ (OH)}_4$	000-29-1489	Haloisita	-
	$\text{K (Al Si}_3 \text{ O}_8 \text{)}$	010-70-6187	Microclina	N.C
	$\text{Al}_2 \text{ Si}_2 \text{ O}_5 \text{ (OH)}_4$	000-58-2028	Caolinita	20.7 % (D.E = 0.2)
Total Cristalino				93.3 %
Amorfos y otros				6.7 %

9. CT-8-M4 (C2JF)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-86-1560	Cuarzo	4.9 % (D.E = 0.1)
	Ti O ₂	010-70-7348	Anatasa	2.7 % (D.E = 0.1)
	Al ₂ O ₃ · 2 Si O ₂ · 3 H ₂ O	000-38-0449	Alofano	-
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	000-58-2037	Moscovita	40.3 % (D.E = 0.5)
	K Al Si ₃ O ₈	010-71-1543	Ortoclasa	1.8 % (D.E = 0.1)
	(K _{0.98} Na _{0.02}) (Al _{1.55} Mg _{0.24} Fe _{0.21} Ti _{0.02}) ((Si _{3.38} Al _{0.62}) O ₁₀) (OH) ₂	010-76-2553	Phengita	32.7 % (D.E = 0.4)
Total Cristalino				82.4 %
Amorfos y otros				17.6 %

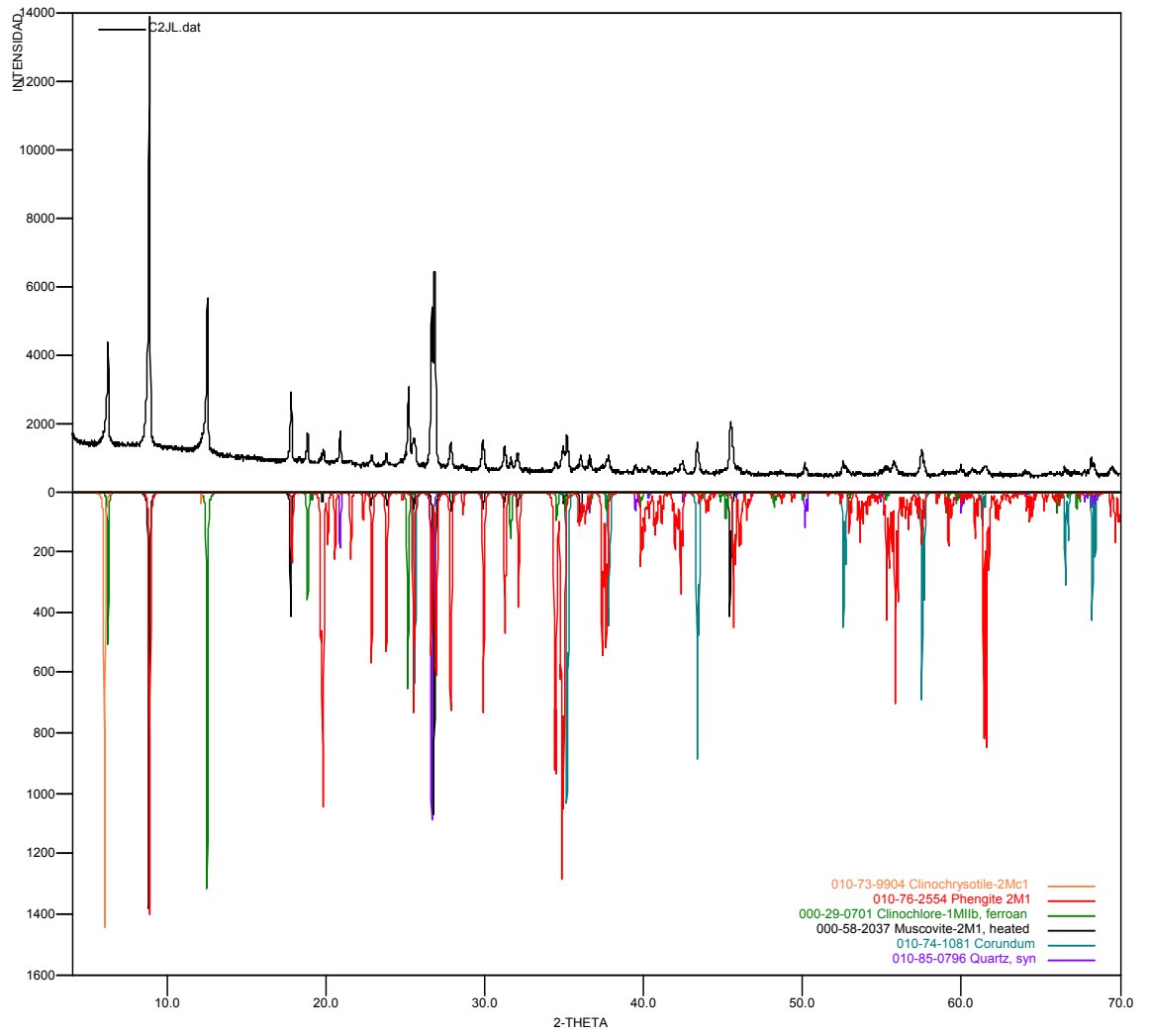
Nota:

D.E = Desviación estándar

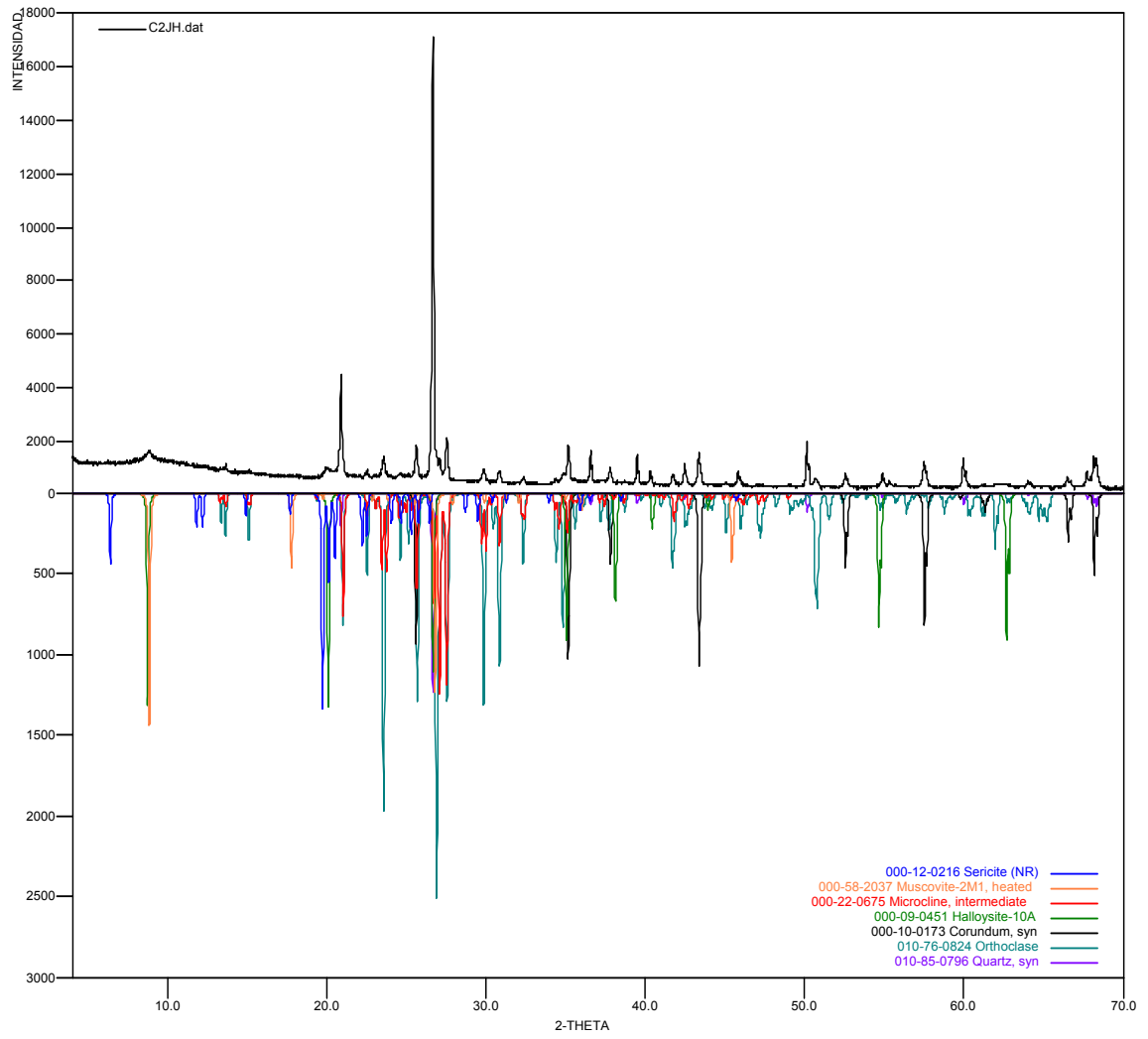
Observaciones:

- Se recomienda realizar análisis elemental para corroborar la presencia de las fases reportadas.
- En los perfiles de difracción se observa la fase de *Corundum - Aluminum Oxide* (estándar interno), el cual fue agregado a la muestra en una cantidad conocida para la respectiva cuantificación.
- En algunas muestras recibidas en el laboratorio, la fase *Halloisita* ($\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$) no fue cuantificada ya que no se tienen sus datos cristalográficos reportados en la base de datos para su respectiva cuantificación.
- En algunas muestras recibidas en el laboratorio, la fase *Sericita* ($\text{K Al}_2 (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$) no fue cuantificada ya que no se tienen sus datos cristalográficos reportados en la base de datos para su respectiva cuantificación.
- En la muestra *CT-8-M4* recibida en el laboratorio, la fase *Alofano* ($\text{Al}_2 \text{O}_3 \cdot 2 \text{Si O}_2 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$) no fue cuantificada ya que no se tienen sus datos cristalográficos reportados en la base de datos para su respectiva cuantificación.

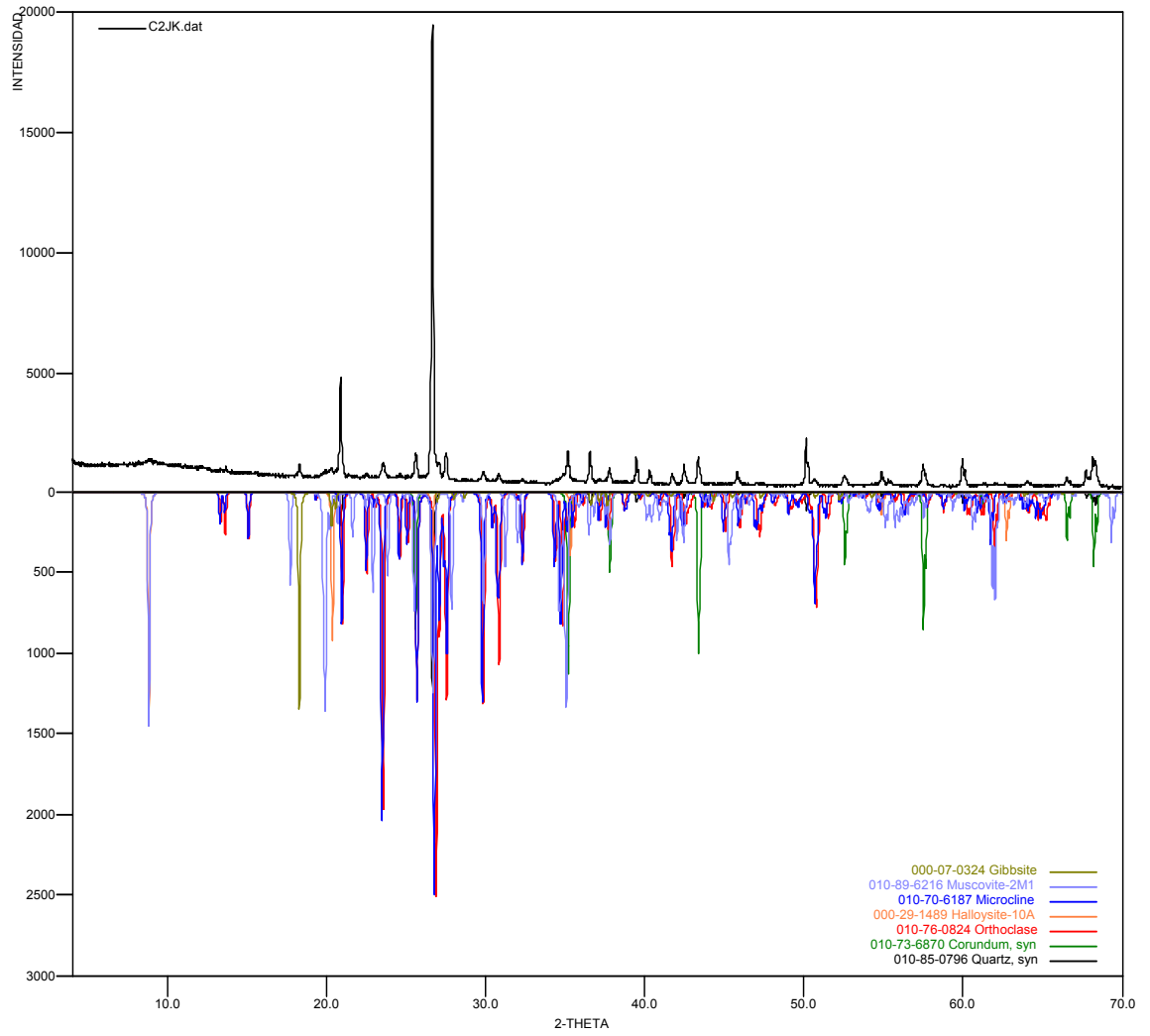
CT-4-M1



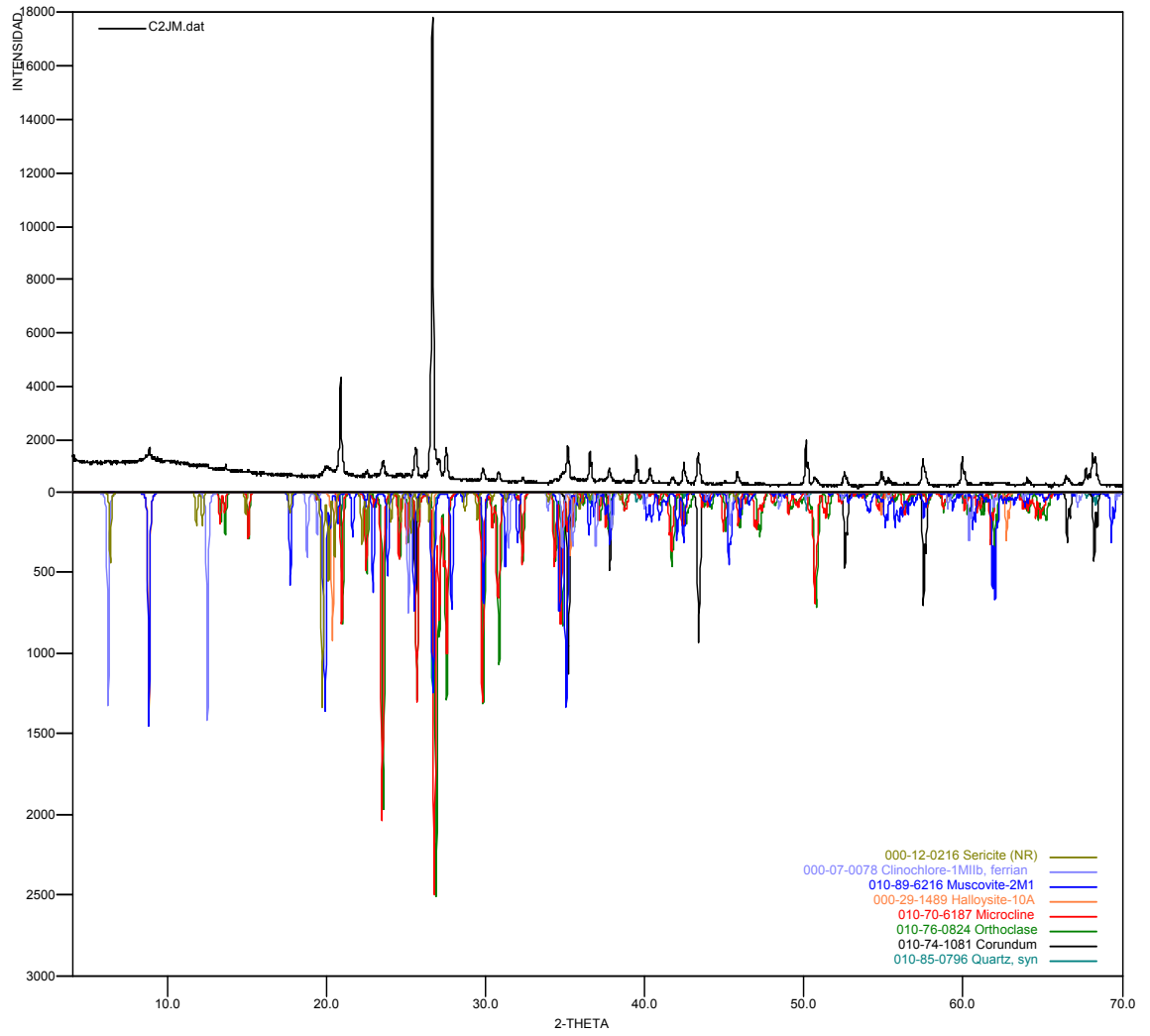
CT-6-M2



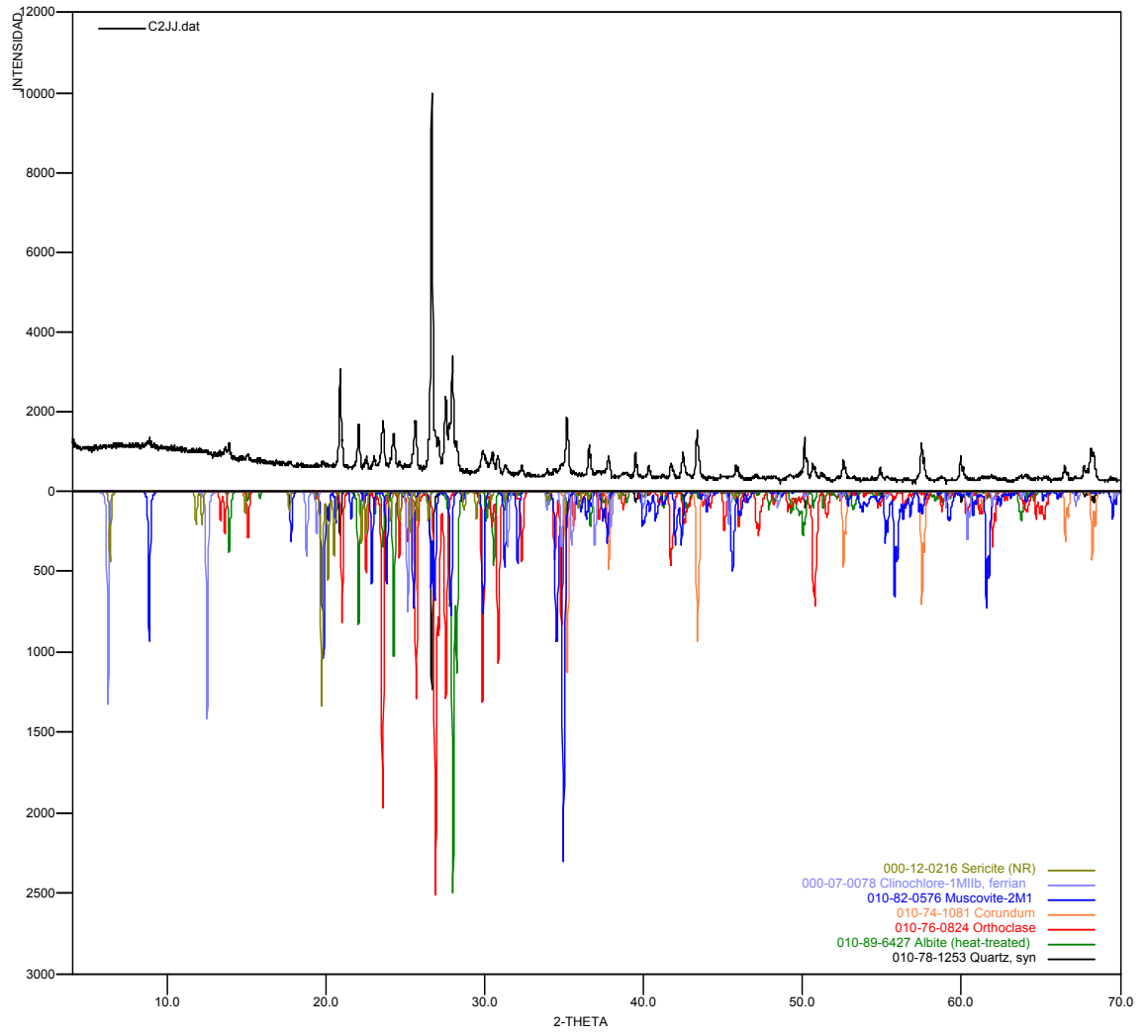
CT-6-M3



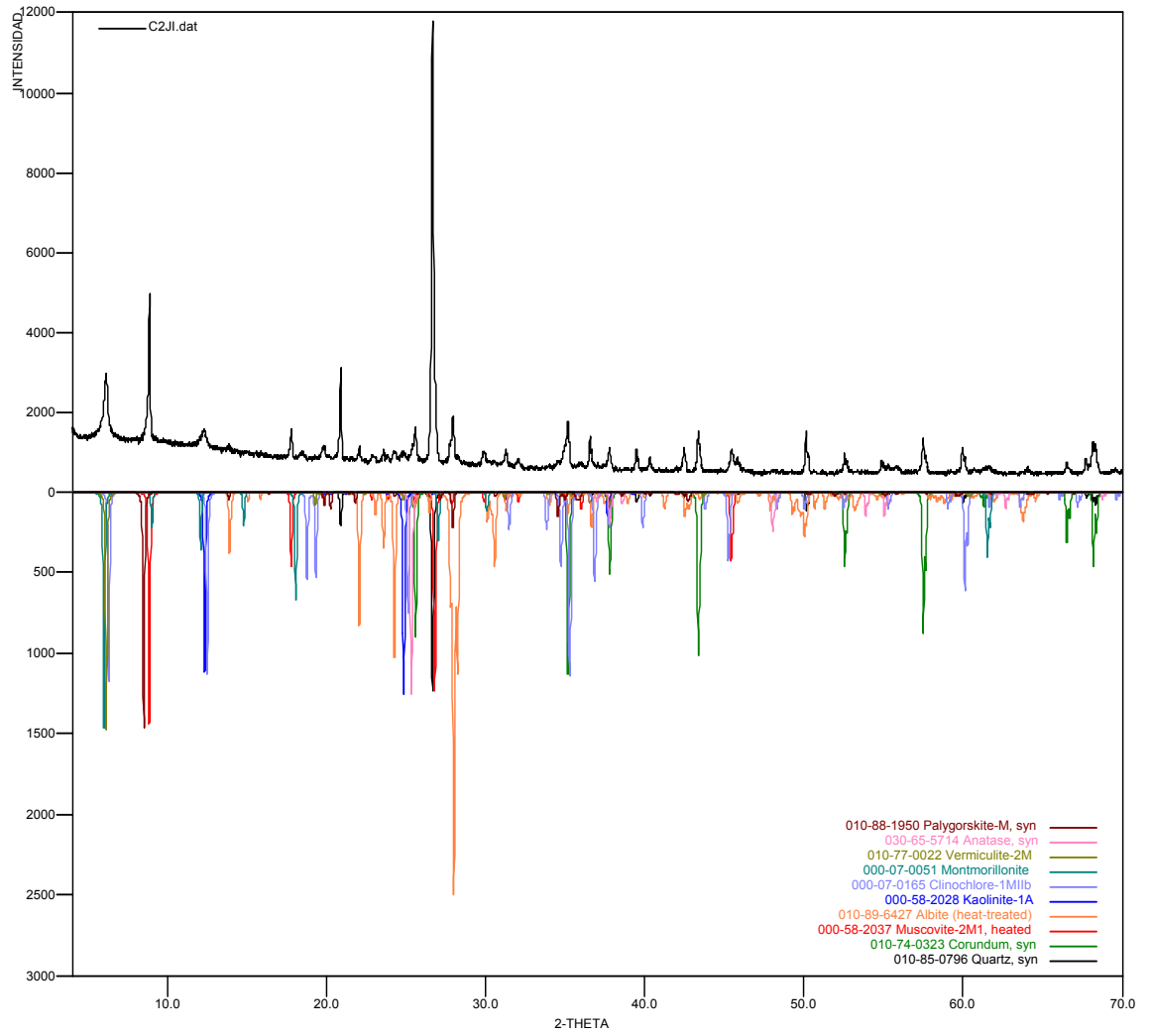
CT-6-M4



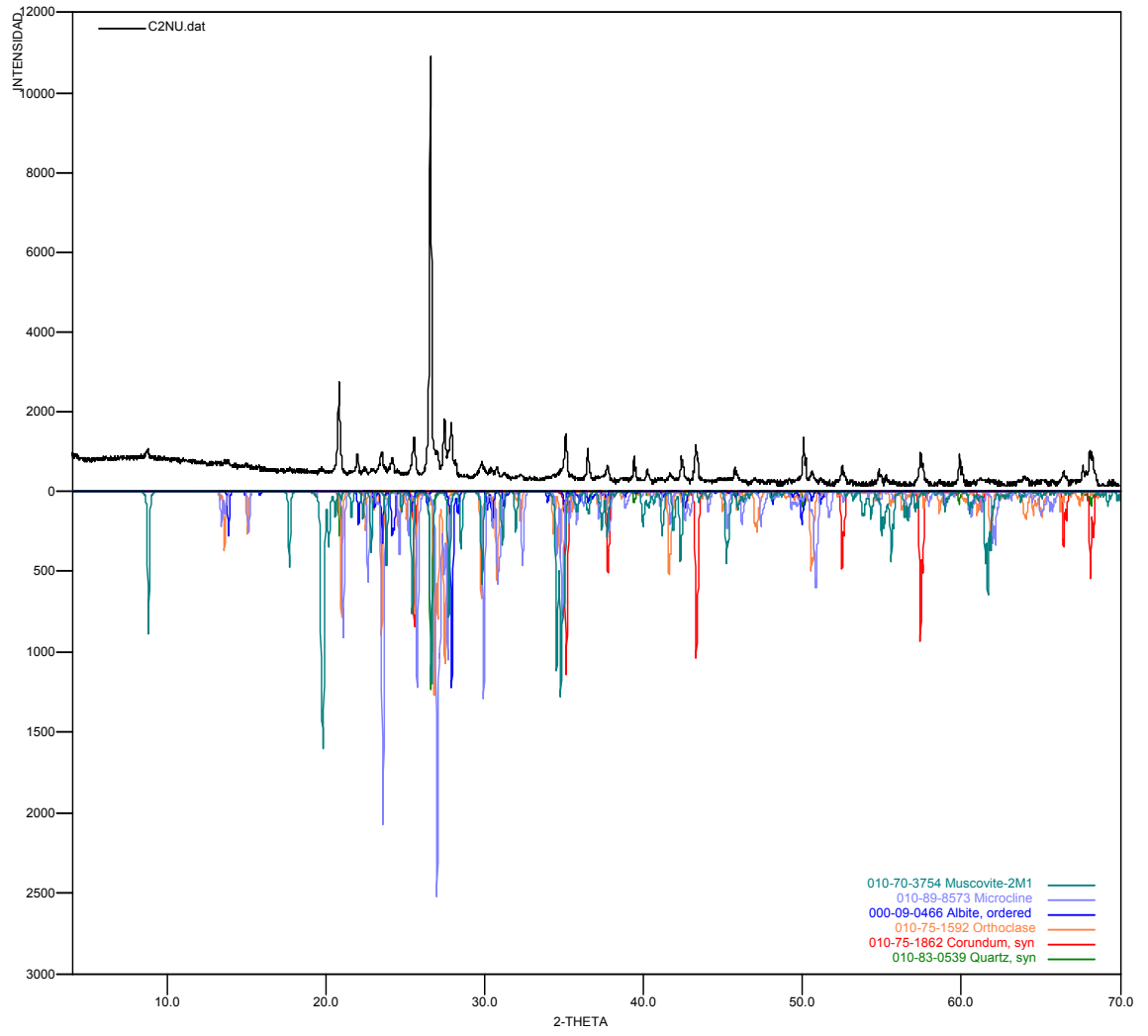
CT-7-M1



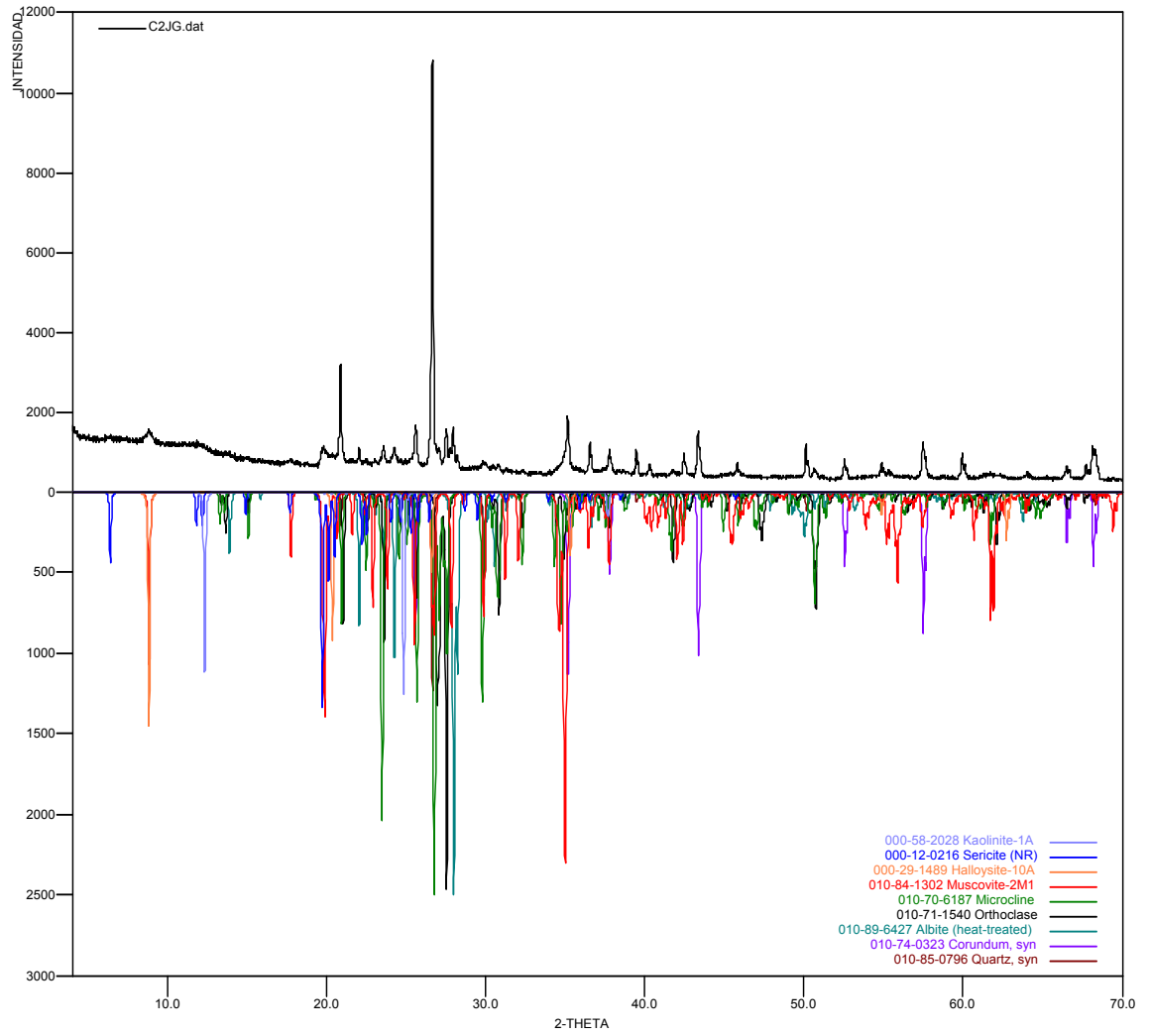
CT-7-M2

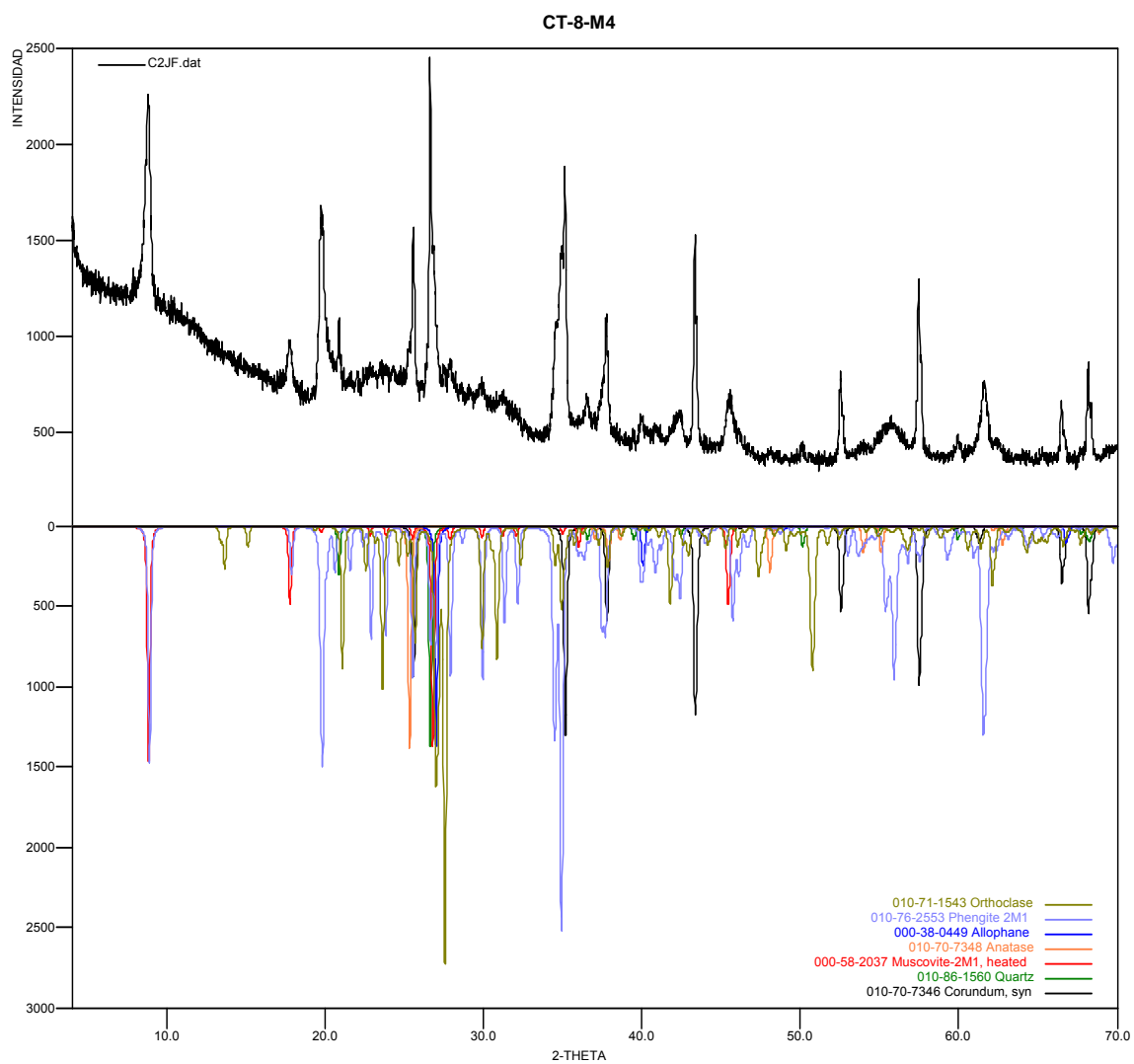


CT-8-M1



CT-8-M3





Elaboró:

**Qco. José Luis Pinto C.
Pinilla A.**
Profesional Analista
PQ. 2009

Revisó:

Qco. MSc. Jesús Andelfo
Director Técnico
PQ. 1585

Anexo C.
Análisis Geoquímico



Minerals

ALS Colombia Ltda.
Parque Agroindustrial Perú
Bodega No. 4 (Km 2 via Siberia)
Funza, Cundinamarca
Phone: (+)57 1 826 1635 www.alsglobal.com

To: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
CARRERA 27 CALLE 9
BUCARAMANGA NORTE DE SANTANDER

Page: 1
Finalized Date: 12- OCT- 2010
This copy reported on
13- OCT- 2010
Account: VERSIS

CERTIFICATE BG10109939

Project: MACIZO DE SANTANDER

P.O. No.:

This report is for 3 Rock samples submitted to our lab in Bogota, Colombia on 1- OCT- 2010.

The following have access to data associated with this certificate:

CARLOS HERNANDEZ

NHORA MANCILLA

SAMPLE PREPARATION

ALS CODE	DESCRIPTION
WEI- 21	Received Sample Weight
LOG- 22	Sample login - Rcd w/o BarCode
CRU- QC	Crushing QC Test
PUL- QC	Pulverizing QC Test
CRU- 31	Fine crushing - 70% < 2mm
SPL- 21	Split sample - riffle splitter
PUL- 31	Pulverize split to 85% < 75 um

ANALYTICAL PROCEDURES

ALS CODE	DESCRIPTION	
Fe- VOL05	FeO (Ferrous Iron)	
ME- MS41	51 anal. aqua regia ICPMS	
ME- XRF1 2st	Whole rock by XRF- selected analytes	XRF
OA- GRA05	Loss on Ignition at 1000C	WST- SEQ

To: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ATTN: CARLOS HERNANDEZ
CARRERA 27 CALLE 9
BUCARAMANGA NORTE DE SANTANDER

This is the Final Report and supersedes any preliminary report with this certificate number. Results apply to samples as submitted. All pages of this report have been checked and approved for release.

Signature: 
Milder Mascaraqui, Laboratory Manager, Peru



ALS Colombia Ltda.
 Parque Agroindustrial Perú
 Bodega No. 4 (Km 2 via Siberia)
 Funza, Cundinamarca
 Phone: (+)57 1 826 1635 www.alsglobal.com

To: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 CARRERA 27 CALLE 9
 BUCARAMANGA NORTE DE SANTANDER

Page: 2 - A
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 12- OCT- 2010
 Account: VERSIS

Project: MACIZO DE SANTANDER

CERTIFICATE OF ANALYSIS BG10109939

Sample Description	Method Analyte Units LOR	WEI- 21 Recvd Wt. kg	ME- XRF12st Al2O3 %	ME- XRF12st BaO %	ME- XRF12st CaO %	ME- XRF12st Cr2O3 %	ME- XRF12st Fe2O3 %	ME- XRF12st K2O %	ME- XRF12st MgO %	ME- XRF12st MnO %	ME- XRF12st Na2O %	ME- XRF12st P2O5 %	ME- XRF12st SiO2 %	ME- XRF12st SrO %	ME- XRF12st TiO2 %	OA- CRA05 LOI %
CT- 6- M2		0.08	15.45	0.082	0.03	0.004	1.04	5.31	0.19	0.034	0.128	0.021	74.3	0.001	0.17	3.98
CT- 6- M4		0.72	15.30	0.045	0.03	0.001	0.81	4.53	0.12	0.017	0.078	0.014	74.5	<0.001	0.16	3.74
CT- 7- M1		0.84	12.25	0.056	0.25	0.008	0.82	4.88	0.28	0.064	2.80	0.015	77.4	0.005	0.14	0.78



ALS Colombia Ltda.
 Parque Agroindustrial Perú
 Bodega No. 4 (Km 2 via Siberia)
 Funza, Cundinamarca
 Phone: (+)57 1 826 1635 www.alsglobal.com

To: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 CARRERA 27 CALLE 9
 BUCARAMANGA NORTE DE SANTANDER

Page: 2 - B
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 12- OCT- 2010
 Account: VERSIS

Project: MACIZO DE SANTANDER

CERTIFICATE OF ANALYSIS BG10109939

Sample Description	Method Analyte Units LOR	Fe- VOL05 FeO %	ME- MS41 Ag ppm	ME- MS41 Al %	ME- MS41 As ppm	ME- MS41 Au ppm	ME- MS41 B ppm	ME- MS41 Ba ppm	ME- MS41 Be ppm	ME- MS41 Bi ppm	ME- MS41 Ca %	ME- MS41 Cd ppm	ME- MS41 Ce ppm	ME- MS41 Co ppm	ME- MS41 Cr ppm	ME- MS41 Cs ppm
CT- 6- M2		0.01	0.01	0.01	0.1	0.2	10	10	0.05	0.01	0.01	0.01	0.02	0.1	1	0.05
CT- 6- M4		0.22	0.01	3.45	0.3	<0.2	<10	80	0.48	0.13	0.03	0.02	59.3	1.9	1	0.40
CT- 7- M1		0.21	0.02	2.74	0.2	<0.2	<10	80	0.28	0.41	0.01	0.06	44.6	1.0	1	0.30
CT- 7- M1		0.22	0.01	0.42	0.2	<0.2	<10	50	0.80	0.29	0.04	0.01	59.2	1.4	1	0.28



ALS Colombia Ltda.
 Parque Agroindustrial Perú
 Bodega No. 4 (Km 2 via Siberia)
 Funza, Cundinamarca
 Phone: (+)57 1 826 1635 www.alsglobal.com

To: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 CARRERA 27 CALLE 9
 BUCARAMANGA NORTE DE SANTANDER

Page: 2 - C
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 12- OCT- 2010
 Account: VERSIS

Project: MACIZO DE SANTANDER

CERTIFICATE OF ANALYSIS BG10109939

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME- MS41 Cu ppm	ME- MS41 Fe %	ME- MS41 Ca ppm	ME- MS41 Ce ppm	ME- MS41 Hf ppm	ME- MS41 Hg ppm	ME- MS41 In ppm	ME- MS41 K %	ME- MS41 La ppm	ME- MS41 Li ppm	ME- MS41 Mg %	ME- MS41 Mn ppm	ME- MS41 Mo ppm	ME- MS41 Na %	ME- MS41 Nb ppm
CT- 6- M2		0.2	0.01	0.05	0.05	0.02	0.01	0.005	0.01	0.2	0.1	0.01	5	0.05	0.01	0.05
CT- 6- M4		1.9	0.52	6.38	<0.05	0.52	<0.01	0.017	0.08	7.9	17.1	0.07	231	0.40	<0.01	0.91
CT- 7- M1		8.4	0.51	8.81	0.08	0.34	<0.01	0.013	0.07	20.5	8.6	0.05	111	0.14	<0.01	0.39
CT- 7- M1		1.0	0.52	1.81	0.08	0.23	<0.01	0.008	0.08	29.6	4.1	0.11	405	0.15	0.03	0.21



ALS Colombia Ltda.
 Parque Agroindustrial Perú
 Bodega No. 4 (Km 2 via Siberia)
 Funza, Cundinamarca
 Phone: (+)57 1 826 1635 www.alsglobal.com

To: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 CARRERA 27 CALLE 9
 BUCARAMANGA NORTE DE SANTANDER

Page: 2 - D
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 12- OCT- 2010
 Account: VERSIS

Project: MACIZO DE SANTANDER

CERTIFICATE OF ANALYSIS BG10109939

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41
		Ni ppm	P ppm	Pb ppm	Rb ppm	Re ppm	S %	Sb ppm	Sc ppm	Se ppm	Sn ppm	Sr ppm	Ta ppm	Te ppm	Th ppm	Ti %
		0.2	10	0.2	0.1	0.001	0.01	0.05	0.1	0.2	0.2	0.2	0.01	0.01	0.2	0.005
CT-6-M2		1.9	70	18.9	7.9	<0.001	0.01	<0.05	1.2	0.2	0.6	2.3	0.01	0.02	19.8	<0.005
CT-6-M4		1.1	40	19.8	7.7	<0.001	0.01	<0.05	1.6	0.3	0.6	1.8	<0.01	<0.01	19.9	<0.005
CT-7-M1		1.3	40	8.8	7.1	<0.001	0.01	<0.05	1.3	<0.2	0.2	11.8	<0.01	<0.01	15.2	<0.005



ALS Colombia Ltda.
 Parque Agroindustrial Perú
 Bodega No. 4 (Km 2 via Siberia)
 Funza, Cundinamarca
 Phone: (+)57 1 826 1635 www.alsglobal.com

To: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 CARRERA 27 CALLE 9
 BUCARAMANGA NORTE DE SANTANDER

Page: 2 - E
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 12- OCT- 2010
 Account: VERSIS

Project: MACIZO DE SANTANDER

CERTIFICATE OF ANALYSIS BG10109939

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	
		Tl ppm	U ppm	V ppm	W ppm	Y ppm	Zn ppm	Zr ppm
		0.02	0.05	1	0.05	0.05	2	0.5
CT-6-M2		0.09	3.38	2	0.14	8.61	22	6.1
CT-6-M4		0.06	2.39	3	0.11	14.80	16	4.2
CT-7-M1		0.04	1.89	1	0.08	6.44	14	3.6

Anexo D.
Análisis de Macroscópico de Rocas Ígneas.

ANÁLISIS MACROSCÓPICO DE ROCAS ÍGNEAS				
Número de Muestra	CT-6-M2	Localización	X= 1.132.388	
Análisis realizado por	Carlos Hernández		Y= 1.204.899	
			Z=2.581 msnm	
1. Color				
Blanco grisáceo (roca félsica)				
2. Estructuras y Texturas				
Textura porfirítica				
3. Características del tamaño de grano				
Presenta fenocristales de tamaños variados de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, envueltos en una matriz de cuarzo y plagioclasa.				
4. Composición Mineralógica				
Mineral (% vol.)		Propiedades		Otras observaciones
Cuarzo	40%			
Feldespato potásico	30%			
Plagioclasa	20%			
Biotita	7%			
Hornblenda	3%			
6. Esquemas explicativos:				
90 → 100	90 → 100	90 → 100		
40 → X	30 → X	20 → X		
X= 44,4 Cuarzo	X= 33,3 Feldespato potásico	X= 22,2 Plagioclasa		
NOMBRE DE LA ROCA		Roca Riolfítica		

ANÁLISIS MACROSCÓPICO DE ROCAS ÍGNEAS			
Número de Muestra	CT-6-M3	Localización	X= 1.132.388 Y= 1.204.899 Z=2.581 msnm
Análisis realizado por	Carlos Hernández		
1. Color			
Naranja			
2. Estructuras y Texturas			
Textura porfirítica			
3. Características del tamaño de grano			
Presenta fenocristales de diferentes tamaños de cuarzo, plagioclasa, moscovita, feldespato potásico, embebidos en una matriz compuesta de cuarzo y feldespato potásico.			
4. Composición Mineralógica			
Mineral (% vol.)		Propiedades	Otras observaciones
Feldespato potásico	50%		
Cuarzo	30%		
Plagioclasa	15%		
Moscovita	5%		
6. Esquemas explicativos:			
95 → 100	95 → 100	95 → 100	
50 → X	30 → X	15 → X	
X= 52,6 Feldespato potásico	X= 31,6 Cuarzo	X= 15,8 Plagioclasa	
NOMBRE DE LA ROCA		Roca Riolítica	

ANÁLISIS MACROSCÓPICO DE ROCAS ÍGNEAS			
Número de Muestra	CT-6-M4	Localización	X= 1.132.388 Y= 1.204.899 Z=2.581 msnm
Análisis realizado por	Carlos Hernández		
1. Color			
Amarillo crema a rosado			
2. Estructuras y Texturas			
Textura porfirítica			
3. Características del tamaño de grano			
Presenta fenocristales de cuarzo y feldespato potásico envueltos en una matriz afanítica constituida por cuarzo, plagioclasa y posiblemente feldespato potásico.			
4. Composición Mineralógica			
Mineral (% vol.)		Propiedades	Otras observaciones
Feldespato potásico	40%		
Cuarzo	35%		
Plagioclasa	20%		
Hornblenda	5%		
6. Esquemas explicativos:			
95 → 100 40 → X	95 → 100 35 → X	95 → 100 20 → X	
X= 42,1 Feldespato potásico	X= 36,84 Cuarzo	X= 21,05 Plagioclasa	
NOMBRE DE LA ROCA		Roca Riolítica	

ANÁLISIS MACROSCÓPICO DE ROCAS ÍGNEAS			
Número de Muestra	CT-7-M1	Localización	X= 1.131.978 Y= 1.204.842 Z=2.458 msnm
Análisis realizado por	Carlos Hernández		
1. Color			
Amarillo amarronado			
2. Estructuras y Texturas			
Textura porfirítica			
3. Características del tamaño de grano			
Presenta fenocristales de cuarzo y feldespato potásico envueltos en una matriz afanítica constituida por cuarzo, plagioclasa y posiblemente feldespato potásico.			
4. Composición Mineralógica			
Mineral (% vol.)		Propiedades	Otras observaciones
Cuarzo	35%		
Feldespato potásico	25%		
Plagioclasa	20%		
Óxidos	20%		
6. Esquemas explicativos:			
80 → 100	80 → 100	80 → 100	
35 → X	25 → X	20 → X	
X= 43,8 Cuarzo	X= 29,4 Feldespato potásico	X= 25 Plagioclasa	
NOMBRE DE LA ROCA		Roca Riolítica	

ANÁLISIS MACROSCÓPICO DE ROCAS ÍGNEAS			
Número de Muestra	CT-8-M1	Localización	X= 1.131.966 Y= 1.204.801 Z=2.578 msnm
Análisis realizado por	Carlos Hernández		
1. Color			
Amarillo crema			
2. Estructuras y Texturas			
Textura porfirítica			
3. Características del tamaño de grano			
Presenta fenocristales de feldespato potásico, plagioclasa y cuarzo, embebidos en una matriz afanítica, posiblemente compuesta de cuarzo y plagioclasa.			
4. Composición Mineralógica			
Mineral (% vol.)		Propiedades	Otras observaciones
Cuarzo	40%		
Feldespato potásico	30%		
Plagioclasa	15%		
Óxidos	10%		
Clorita	5%		
6. Esquemas explicativos:			
85 → 100 40 → X	85 → 100 30 → X	85 → 100 15 → X	
X= 47,1 Cuarzo	X= 35,3 Feldespato potásico	X= 17,6 Plagioclasa	
NOMBRE DE LA ROCA		Roca Riolítica	

ANÁLISIS MACROSCÓPICO DE ROCAS ÍGNEAS			
Número de Muestra	CT-8-M2	Localización	X= 1.131.966 Y= 1.204.801 Z=2.578 msnm
Análisis realizado por	Carlos Hernández		
1. Color			
Amarillo crema a rosado			
2. Estructuras y Texturas			
Textura porfirítica			
3. Características del tamaño de grano			
Presenta fenocristales de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, embebidos en una matriz afanítica posiblemente compuesta por feldespato potásico y cuarzo.			
4. Composición Mineralógica			
Mineral (% vol.)		Propiedades	Otras observaciones
Feldespato potásico	45%		
Cuarzo	25%		
Plagioclasa	17%		
Óxidos	10%		
Clorita	3%		
6. Esquemas explicativos:			
87 → 100	87 → 100	87 → 100	
45 → X	25 → X	17 → X	
X= 51,7 Feldespato potásico	X= 28,7 Cuarzo	X= 19,5 Plagioclasa	
NOMBRE DE LA ROCA		Roca Riolítica	

ANÁLISIS MACROSCÓPICO DE ROCAS ÍGNEAS			
Número de Muestra	CT-8-M3	Localización	X= 1.131.966 Y= 1.204.801 Z=2.578 msnm
Análisis realizado por	Carlos Hernández		
1. Color			
2. Estructuras y Texturas			
3. Características del tamaño de grano			
Muestra disgregada por el alto grado de alteración.			
4. Composición Mineralógica			
Mineral (% vol.)		Propiedades	Otras observaciones
Feldespatos potásicos	35%		
Cuarzo	30%		
Plagioclasa	20%		
Óxidos	10%		
Biotita	5%		
6. Esquemas explicativos:			
85 → 100 35 → X	85 → 100 30 → X	85 → 100 20 → X	
X= 41,17 Feldespatos potásicos	X= 35,3 Cuarzo	X= 23,5 Plagioclasa	
NOMBRE DE LA ROCA		Roca Riolítica	