

**ESTUDIO MINERALOGICO, GEOQUIMICO Y DE INCLUSIONES FLUIDAS EN
LAS RIOLITAS Y DACITA DE LA QUEBRADA MONGORA (CALIFORNIA,
SANTANDER)**

ELGA LIZETH GÓMEZ VANEGAS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA**

2010

**ESTUDIO MINERALOGICO GEOQUIMICO Y DE INCLUSIONES FLUIDAS EN
LAS RIOLITAS Y DACITA DE LA QUEBRADA MONGORA (CALIFORNIA,
SANTANDER)**

ELGA LIZETH GOMEZ VANEGAS

Proyecto de grado para optar al título de Geólogo

Director:

LUIS CARLOS MANTILLA FIGUEROA

Profesor Escuela de Geología (UIS)

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIA FISICOQUIMICAS

ESCUELA DE GEOLOGIA

BUCARAMANGA

2010

AGRADECIMIENTOS

Hoy después de alcanzar una de las metas más preciadas de mi vida quiero agradecerle a varias personas por haber aportado un grano de arena en mi formación profesional;

Primero quiero darle las gracias a Dios por darme la fortaleza y la sabiduría para culminar mis estudios.

A mis Padres por su increíble colaboración y apoyo durante mis años en la universidad.

A Luis Carlos Mantilla Figueroa por creer en mí y brindarme su colaboración como profesor y Director de Proyecto.

A los profesores de la Escuela de Geología por sus enseñanzas, correcciones y por transmitirme un poco de su gran conocimiento.

A Luis Eduardo Garrido Palencia por su colaboración en la elaboración de las secciones delgadas.

A William Rueda por regalarme un poco de su tiempo para todos esos artículos que no entendía.

Y por último y no menos importante a mis hermanos Gustavo y Javier por su incansable apoyo durante toda mi carrera.

DEDICATORIA

Quiero comenzar dedicándole este triunfo a mis Padres quien con sus caricias, regaños, pero sobre todo con su infinito apoyo y amor me enseñaron que la vida se construye a cada segundo y jamás podemos darnos por vencidos al primer tropiezo. A mis hermanos, pero sobre todo a Gustavo, Javier y Joanna por creer en mí, apoyándome económica y emocionalmente en los duros momentos por los que pase hace algunos años. A mis amigos Adriana Herrera, Moníka Mendoza, Aura Uribe, Xavier Gómez, Carlos Mejía, Carlos Hernández, Ever Gonzalez, Oscar Muñoz, Natalia R., Jesús, Leydí, Sergio H. y otros que en este momento no tengo presente, pero con quienes de igual forma compartí, reí, llore, pelee y sobre todo quiero dedicarles este triunfo por que con sus consejos y regaños me ayudaron a enriquecerme como mujer; y por último y siendo el más importante a mi hijo Mario Esteban Bernal Gómez de quien conocí el más puro y verdadero amor, quiero decirte hijo que solo aprendí a ser hija el día que te conocí, los momentos maravillosos que comparto contigo en cada segundo es suficiente para querer disfrutar de una vida a tu lado. Te amo hijo!

CONTENIDO

INTRODUCCION	19
1. OBJETIVOS	22
1.1 OBJETIVO GENERAL	22
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	22
2. GENERALIDADES DEL AREA DE TRABAJO	23
2.1 Localización del área de estudio.....	23
2.2 Fisiografía y Clima	24
3. ANTECEDENTES	26
3.1 Marco Geológico Regional.....	26
3.2 Tectónica	27
3.3 Estudio de las Mineralizaciones.....	29
4. METODOLOGIA.....	34
5. RESULTADOS	42
5.1 INTERPRETACIÓN VISUAL DE IMÁGENES SATELITALES Y AEREAS	42
5.2 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL, DESCRIPCIÓN MEGA Y RASGOS MACROSCÓPICOS DE LAS ROCAS RIODACÍTICAS	43
6. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE LAS ROCAS RIODACÍTICAS DEL PORFIDO DE LA QUEBRADA MONGORA	51
6.1 Roca Granítica (Roca caja del cuerpo porfirítico)	52
6.2. Roca Porfirítica (Riolitas)	56
7. IDENTIFICACIÓN DE FASES MINERALES MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	59
7.1. Rocas Graníticas (Sienogranito, Monzogranito y Granitoide rico en cuarzo) ..	59
7.2. Rocas Porfiríticas (Riolitas y Dacita)	61
9. DATOS GEOQUÍMICOS DE ROCA TOTAL	68
9.1 Análisis geoquímico de elementos mayores.	68
9.1.1 Concentración de Sílice (%en peso):.....	70
9.1.2 Saturación de Alúmina.....	71

9.1.3 Composición Normativa CIPW.....	72
9.1.4 Clasificación TAS.....	73
9.1.5 Serie magmática.....	75
9.2 Diagrama de Variación.....	79
9.3 ANALISIS GEOQUIMICO DE ELEMENTOS TRAZA.....	83
10. ANALISIS DE MICROSONDA ELECTRONICA.....	90
10.1 Consideraciones Preliminares.....	90
10.2 Resultados Obtenidos.....	93
10.2.1 Clasificación mineral de plagioclasas.....	93
11. MICROTERMOMETRIA DE INCLUSIONES FLUIDAS.....	101
11.1. Consideraciones Previas.....	101
11.2. Aparición y distribución de las inclusiones fluidas.....	102
11.3. Morfologías.....	102
11.4. Contenidos de las Inclusiones Fluidas.....	104
11.5. Clasificación Genética.....	107
11.6. Inclusiones de origen primario, secundario y pseudosecunario.....	109
11.7. Interpretación de los resultados obtenidos.....	111
11.7.1. Petrografía de las inclusiones fluidas.....	111
11.7.2. Datos Microtermométricos.....	120
12. DISCUSION.....	125
13. CONCLUSIONES.....	127
14. RECOMENDACIONES.....	130
15. BIBLIOGRAFIA.....	131
16. ANEXOS.....	139

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio (Quebrada Móngora, límite entre los municipios de California y Vetás, Dpto. de Santander). Imagen modificada de www.earth.google.es	20
Figura 2. Localización del Municipio de California. Tomado de www.ingeminas.gob.co . Plancha 110.....	23
Figura 3. Modelo del relieve de Santander mostrando la ubicación del Municipio de California. Tomado de: www.santander.gov.co/pdds/mapas/mapa5_modelado_relieve_santander_g.pg	24
Figura 4. Esquema tectónico del Departamento de Santander. Tomado de Memorias Explicativas de Santander, Clavijo <i>et al.</i> , 1993.....	28
Figura 5. Lupa Binocular Marca NIKON N1-150 Modelo C-PS, del Laboratorio de Lupas de la Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander.....	35
Figura 6. a) Pulidora Desvastadora marca BUEHLERy; b) Abrasivo utilizado para la elaboración de secciones delgadas. Laboratorio de Preparación de Muestras, Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander.....	36
Figura 7. a) Pulidora de paño MONMTASUPAL y b) Abrasivos de Alúmina, para secciones doblemente Pulidas. Laboratorio de Preparación de Muestras, Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander.....	37
Figura 8. 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, Universidad Industrial de Santander.	38
Figura 9. a) Equipos de trabajo utilizados en la pulverización de muestras. Trituradora de mandíbula RETSCH tipo BB200 SCHWERMETALLFREI y;b) mortero de Agatha RM 100 RETSCH. Laboratorio de Trituración de Muestras, Escuela de Geología, universidad Industrial de Santander.....	39
Figura 10. Difractómetro RIGAKU modelo D/MAX IIIB, utilizado en el presente estudio. Laboratorio de DRX, Escuela de Química, Universidad Industrial de Santander.....	40
Figura 11. Equipo para microtermométrie de inclusiones fluidas. Microscopio de luz transmitida marca NIKON Elipse 50i, con platina de enfriamiento calentamiento THMS 600 marca LINKAM adaptada. Sede Guatiguará, Universidad Industrial de Santander.....	41
Figura 12. Fotografía satelital de la zona de estudio. Tomado de www.GeoVieweronline.net	42

Figura 13. Ortoimagende los Distritos de California y Vetas. Fuente: CVS Corporation, en donación a la Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander. En la cual es representada el área estudiada y el área total del pórfido.	43
Figura 14. Ortoimagen delos Distritos de California y Vetas. Fuente: CVS Corporation, en donación a la Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander. Mostrando la distribución espacial de las muestras recolectadas en campo.....	44
Figura 15. Panorámica de la cuenca de la Quebrada Móngora.....	45
Figura 16. Textura porfirítica presente en la riolita, las flechas rojas muestran fenocristales de cuarzo y las flechas negras fenocristales de plagioclasa.....	46
Figura 17. Dacita in situ con presencia de plagioclasa y feldespato altamente alterados, los cuales se encuentran indicados por flechas de color negro y verde oliva respectivamente; y con flechas de color rojo se encuentra indicado el cuarzo bipyramidal.....	46
Figura 18. Muestra distintiva de riolita en el centro del pórfido, donde se aprecian el tamaño de los cristales de plagioclasa y cuarzo embebidos en un matriz afanítica. Muestra TLG-E5-01.....	47
Figura 19. Dacita en la que se puede apreciar matriz de grano fino, textura porfirítica, fenocristales de cuarzo y plagioclasa, apreciados entre los círculos de color rojo y negro, respectivamente. Muestra TLG-E7-O1.....	48
Figura 20. Aspecto de la riolita, que muestran alto grado de alteración y matriz de grano fino. Los círculos rojos representan fenocristales de cuarzo. Muestra TLG-E3-O1.....	48
Figura 21. Aspecto de granito silicificado en matriz afanítica y fenocristales de cuarzo apreciados en los círculos rojos. Muestra TLG-E8-O2.....	49
Figura 22. Aspecto de granito silicificado con tamaño de grano fino. Muestra TLG-E9-O3.....	50
Figura 23. Aspecto de roca granítica que encontró rodado sobre el camino. Muestra TLG-E4-O1.....	50
Figura 24. En la figura se observa la presencia de cristales de cuarzo (Qz), plagioclasa (Pl), moscovita (Ms), ortoclasa (Or). Microfotografía tomada con objetivo de 10x. a) luz polarizada y b) luz plana no analizada.....	53
Figura 25. En la figura se observa un cristal de moscovita (Ms) con proceso de opaquización. Microfotografía tomada con objetivo de 10x. a) luz polarizada y b) luz plana no analizada.....	53
Figura 26. En la figura se observa la presencia de cristales de cuarzo (Qz), plagioclasa (Pl), caolinita (K), ortoclasa (Or). Microfotografía tomada con objetivo de 10x. a) luz polarizada y b) luz plana no analizada.....	54

Figura 27. En la figura se observa la presencia de cristales de cuarzo (Qz), y canales rellenos de óxidos llamados stockwers. Microfotografía tomada con objetivo de 10x. a) luz polarizada y b) luz plana no analizada.....	55
Figura 28. Fenocristales de plagioclasa, que exhiben maclas tipo albita. Microfotografía tomada con objetivo de 10x y luz plana no analizada.....	57
Figura 29. Fenocristal de plagioclasa como inclusión en un cristal de cuarzo. Microfotografía tomada con objetivo de 40x y luz plana no analiza.....	57
Figura 30. Difractograma para la muestra TLG-E1-O1 (Granitoide rico en cuarzo). En el cual se reconocen los minerales de la tabla anterior.....	61
Figura 32. Clasificación modal de las rocas graníticas en el diagrama de Streckeisen (1979).....	65
Figura 33. Clasificación en el Diagrama de Streckeisen (1979), recomendado por IUGS (1989).....	67
Figura 34. Clasificación química de rocas volcánicas.....	74
Figura 35. Clasificación química de rocas plutónicas.....	75
Figura 36 Diagrama álcalis vs sílice. Línea de división series alcalina/subalcalina. Tomado de Irvine y Bargar (1971).....	76
Figura 37. Diagrama de distinción entre serie toleiticay calco-alcalina, para las riolitas, dacitas y granitos.....	77
Figura 38. Subdivisión de rocas subalcalinas, usando el diagrama de proyección K_2O vs SiO_2 , las bandas grises hacen referencia a los límites entre las series. Tomado de Irvine y Baragar (1971), modificado de Rollinson (1993).....	78
Figura 39. Diagramas de variación de Harker; Óxidos vs Sílice para las rocas graníticas, dacita y riolitas.....	80
Figura 40. Elementos Traza normalizados al manto primitivo. De color amarillo se presentan las rocas graníticas, color verde la dacita, color rojo las riolitas.....	86
Figura 41. Elementos traza normalizados al N-MORB. De color amarillo se presentan las rocas graníticas, color verde la dacita, color rojo las riolitas.....	87
Figura 42. Elementos traza normalizados a condrito. De color amarillo se presentan las rocas graníticas, color verde la dacita, color rojo las riolitas.....	88
Figura 43. Diagramas Nb vs Y y Rb vs Y+Nb propuestos por Pearce et al., (1984). Usados para la descripción del ambiente tectónico a través de las muestras TLG-E1-O1, TLG-E2-O1 y TLG-E8-O2, que hacen referencia a las rocas graníticas.....	89
Figura 44. Diseño de equipo de microsonda electrónica. Tomado de Melgarejo et al. (2010).....	90
Figura 45. Clasificación de los feldespatos analizados en la lámina delgada No. MD22-1-B, correspondiente al análisis 1.....	95

Figura 46. Clasificación de los feldespatos analizados en la lámina delgada No. MD22-1-B, correspondiente al análisis 9.....	95
Figura 47. Clasificación de los feldespatos analizados en la lámina delgada No. MD22-1-B, correspondientes al análisis 11.....	96
Figura 48. Clasificación de los feldespatos analizados en la lámina delgada No. MD22-1-B, correspondiente al análisis 17.....	96
Figura 49. Imagen de retrodispersado de la lámina delgada No. MD22-1-B mostrando la ubicación del sitio en el cual se realizó análisis de química mineral en feldespatos, con su respectiva clasificación mineral (óxidos %wt).....	99
Figura 50. Imagen de retrodispersado de la lámina delgada No. MD22-1-B mostrando la ubicación del sitio en el cual se realizó análisis de química mineral en feldespatos, con su respectiva clasificación mineral (óxidos %wt).....	100
Figura 51. Esquema mostrando los diferentes tipos de inclusiones desde un punto de vista exclusivamente morfológico. Tomado de Velasco 2004.....	104
Figura 52. Clasificación de Nash (1976) mostrando los cuatro tipos más importantes de inclusiones fluidas. (L=Líquido; V=Vapor; S=Sólido; C=Carbónicas). Tomado de Velasco 2004.....	107
Figura 53. Diferentes mecanismos de atrape de las inclusiones primarias (según Roedder, 1984). Tomado de Velasco 2004.....	108
Figura 54. Distribución de las inclusiones: primarias (P) siguiendo zonas concéntricas, paralelas a las caras de crecimiento; pseudosecundarias (PS) que se ordenan oblicuamente a las caras, siguiendo microfisuras que empiezan en el núcleo del cristal y terminan antes de que este se acabe; y secundarias que cruzan sin ninguna regla el cristal pasando por sus bordes (S).....	110
Figura 55. Inclusión fluida secundaria bifásica de la muestra TLG-E5-O1. Correspondiente a la primera prueba realizada. Fotografía tomada en nicols paralelos. Microscopio de luz transmitida.....	112
Figura 56. Inclusión fluida secundaria bifásica de la muestra TLG-E5-O1. Correspondiente a la segunda prueba realizada. Fotografía tomada en nicols paralelos. Microscopio de luz transmitida.....	113
Figura 57. Inclusión fluida secundaria bifásica de la muestra TLG-E5-O1. Correspondiente a la tercera prueba realizada. Fotografía tomada en nicols paralelos. Microscopio de luz transmitida.....	114
Figura 58. Inclusión fluida secundaria bifásica de la muestra TLG-E5-O1. Correspondiente a la cuarta prueba realizada. Fotografía tomada en nicols paralelos. Microscopio de luz transmitida.....	115

Figura 59. Inclusión fluida secundaria, bifásica de la muestra TLG-E5-O1. Correspondiente a la quinta prueba realizada. Fotografía tomada en nicoles paralelos. Microscopio de luz transmitida.....116

Figura 60. Inclusión fluida secundaria, bifásica de la muestra TLG-E5-O1. Correspondiente a la sexta prueba realizada. Fotografía tomada en nicoles paralelos. Microscopio de luz transmitida.....117

Figura 61. Inclusión fluida secundaria, bifásica de la muestra TLG-E5-O1. Correspondiente a la séptima prueba realizada. Fotografía tomada en nicoles paralelos. Microscopio de luz transmitida.....118

Figura 62. Inclusión fluida secundaria, bifásica de la muestra TLG-E5-O1. Correspondiente a la octava prueba realizada. Fotografía tomada en nicoles paralelos. Microscopio de luz transmitida.....119

Figura 63. Inclusión fluida secundaria, bifásica de la muestra TLG-E5-O1. Correspondiente a la novena prueba realizada. Fotografía tomada en nicoles paralelos. Microscopio de luz transmitida.....120

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Condiciones de trabajo, durante el análisis de muestras mediante DRX.....	40
Tabla 2. Condiciones de calibración para el equipo en el que se elaboraron los respectivos análisis de Inclusiones Fluidas.....	41
Tabla 3. Relación de las rocas con su estación y su litología.....	44
Tabla 4. Relación de las muestras estudiadas.....	51
Tabla 5. Composición mineralógica modal de las rocas tipo graníticas (roca caja).....	56
Tabla 6. Composición mineralógica modal de las rocas porfíricas (riolitas).....	58
Tabla 7. Fase mineral presentes en las rocas graníticas. El rango de los porcentajes reportados (cálculos semicuantitativos), son tomados de los valores mínimos y máximos de los análisis de DRX.....	60
Tabla 8. Fase mineral presentes en las rocas porfíricas (Riolitas y dacita). El rango de los porcentajes reportados (cálculos semicuantitativos), son tomados de los valores mínimos y máximos de los análisis de DRX.....	62
Tabla 9. Clasificación modal de las rocas graníticas estudias en los capítulos anteriores.....	66
Tabla 10. Clasificación modal de las rocas porfíricas estudias en los capítulos anteriores.....	67
Tabla 11. Datos obtenidos del análisis de fluorescencia de rayos x.....	69
Tabla 12. Índice químico de meteorización para cada muestra analizada.....	70
Tabla 13. Concentración de Sílice para los diferentes tipos de rocas.....	71
Tabla 14. Clasificación de las muestras teniendo en cuenta su concentración de sílice.....	71
Tabla 15. Clasificación de las rocas de acuerdo al índice de saturación de alúmina.....	72
Tabla 16. Datos de la composición normativa.....	73
Tabla 17. Resultados obtenidos de análisis químico.....	84
Tabla 18. Valores normalizados (en ppm) usados en el cálculo de diagramas spider. Fuente Rollinson, 1993.....	85
Tabla 19. Resultados obtenidos del análisis de microsonda electronica para los minerales de plagioclasa.....	94
Tabla 20. Determinación de la fórmula química de las plagioclasas. Muestra MD22-1-B, para el análisis 1.....	97
Tabla 21. Determinación de la fórmula química de las plagioclasas. Muestra MD22-1-B, para el análisis 9.....	97

Tabla 22. Determinación de la fórmula química de las plagioclasas. Muestra MD22-1-B, para el análisis 11.....	97
Tabla 23. Determinación de la fórmula química del feldespato. Muestra MD22-1-B, para el análisis 17.....	98
Tabla 24. Datos Microtermométricos para diferentes compuestos químicos. Tomado de Mantilla, 2005. Introducción al estudio de Inclusiones Fluidas. Trabajo inédito, Universidad Industrial de Santander.....	121
Tabla 25. Datos del punto eutéctico o primera fusión para diferentes sistemas salino-acuoso (a 1atm). Tomado de Velasco, 2004.....	121
Tabla 26. Datos obtenidos de los análisis de microtermometría. Muestra TLG-E5-O1.....	122
Tabla 27. Datos de la Ecuación 1 para la Muestra TLG-E5-O1.....	123

ANEXOS}

ANEXOS 1. DFRACCION DE RAYOS X.....136
ANEXOS 2. ANALISIS GEOQUIMICO156

RESUMEN

TITULO: Estudio mineralógico geoquímico y de inclusiones fluidas en las rocas porfíricas de la Quebrada Móngora (California, Santander)*

Autor: Elga Lizeth Gómez Vanegas**.

PALABRAS CLAVES: Pórfido, química mineral, microtermometría de inclusiones fluidas, Distrito minero California-Vetas.

DESCRIPCION

Sobre la ladera de la quebrada Móngora, Distrito de California; aflora un cuerpo porfírico de composición riódacítica, el cual intruye un cuerpo granítico que está compuesto de Granitoides ricos en Cuarzo, Sienogranito y Monzogranito.

En estas rocas porfíricas se realizaron análisis de inclusiones fluidas, lo que permitió observar inclusiones fluidas secundarias dadas por la etapa de formación del cuarzo, bifásicas (L+V) con temperatura eutéctica de entre un rango de -55.9°C y -20.6°C; de -0.7°C y -4.3°C para la temperatura de fin de fusión y de 244°C y 297.7°C para la temperatura de homogenización con una salinidad de ~ 1.2%wt a ~6.8%wt para la riolita; y de -21.9°C y -14°C para la temperatura eutéctica; de -7.4°C y -1.7°C para la temperatura de fin de fusión y de 370.7°C y 237.9°C para la temperatura de homogenización correspondiente al Monzogranito.

Por medio de la presente investigación se logra determinar una posible clasificación geoquímica la cual permitió establecer que las rocas forman parte de la serie calco-alkalina alta en K, y del mismo modo a través de diagrama multi-elementales se demostró que estas rocas hacen parte de un ambiente tectónico de subducción. Por lo que es asignada una edad de 9.0 ± 0.2 Ma (Mantilla et al. 2009); que evidencia una etapa magmática durante el Mioceno Tardío, la cual tuvo lugar durante la orogenia Andina. Con los datos de petrografía, DRX y microsonda electrónica se establece que estas rocas sufren procesos de alteración hidrotermal propia de alteración Argilica Avanzada, ya que los cristales de plagioclasa se encuentran casi en su totalidad reemplazados por sericita.

*Proyecto de Grado

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

ABSTRACT

TITLE: MINERALOGICAL STUDY GEOCHEMISTRY AND FLUID INCLUSIONS IN THE PORPHYRIC ROCKS OF QUEBRADA MÓNGORA (CALIFORNIA, SANTANDER)*

AUTHOR: Elga Lizeth Gómez Vanegas**

KEY WORDS: Porphyry, mineral chemistry, fluid inclusions microthermometry, mining district California-Vetas

DESCRIPTION

On the hillside of the Quebrada Móngora, California District; outcrop a porphyritic length with Riodacitic composition, which intrusions a granitic length that to be composed by Granitoids rich in quartz, syenogranites and monzogranite.

In this porphyritic rocks were realized fluid inclusions analysis, since permitted to show secondary fluid inclusions given by the stage of formation of quartz, biphasic (L+V) with Eutectic temperature between 55.9°C and -20.6°C, from -0.7°C to -4.3°C to end of melting temperature and from 244°C to 297.7°C to homogenization temperature with salinities between the ~1.2%wt and ~6.8%wt to the rhyolite; and between -21.9°C and -14°C to Eutectic temperature; -7.4°C and -1.7°C to end of melting temperature and from 370.7°C to 237.9°C to homogenization temperature for the monzogranite.

Through of that investigation is possible to determinate a geochemical classification, since permitted to find that rocks join calc series high in K, and the same way through of multielement diagram could determine that this rocks join of a subduction tectonic environment. So it is assigned an age of 9.0 ± 0.2 Ma (Mantilla et al. 2009); that evidence a magmatic phase during the late Miocene, which took place during the Andean Orogeny. With petrographic data XDR and electron microprobe state that this rocks suffer processes of hydrothermal alteration typical of advanced Argillic alteration, as plagioclase crystals are almost entirely replaced by Sericite.

*Grade project

**Faculty of Physical and Chemical Engineerings. Department of Geology. Director: Luis Carlos Mantilla Figueroa.

INTRODUCCION

El presente documento es el resultado de un trabajo de tesis de pregrado 'Modalidad 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).

El objetivo fundamental de este trabajo consistió en estudiar la mineralogía, petrografía y geoquímica de las rocas ígneas porfíricas aflorantes en el sector de la Quebrada Móngora (FIGURA 1), e identificar los posibles eventos de alteración hidrotermal que hayan podido afectar estas rocas. El área de estudio, se localiza en el departamento de Santander, en el límite territorial de los municipios de Vetas y California (FIGURA 1).

La zona de estudio abarca un área de aproximadamente unos 6 Km², y geológicamente se localiza en el sector central del Macizo de Santander (Distrito Minero Aurífero de Vetas y California). Las rocas objeto de estudio, al parecer se relacionan con algunos pulsos magmáticos constituyentes de un sistema porfirítico muy reciente (de edad Mioceno), en el cual se han observado diversas litologías fundamentalmente de composición riodacítica. Dos variedades de rocas asociadas posiblemente con éste sistema porfirítico fueron seleccionadas con el propósito de contribuir al conocimiento de éste posible sistema: rocas porfíricas dacíticas (caracterizada por la presencia dominante de fenocristales de cuarzo bipiramidal) y rocas porfíricas riolíticas (caracterizadas por fenocristales de Plagioclasa predominantemente y en menor proporción cuarzoidales bipiramidales). Las rocas porfíricas aquí estudiadas, inyectan litologías ígneas más antiguas, consideradas de edad Jurásico (?) y litologías metamórficas asociadas con el

evento Grenvilliano (Precámbrico), agrupadas dentro de la formación Neis de Bucaramanga.

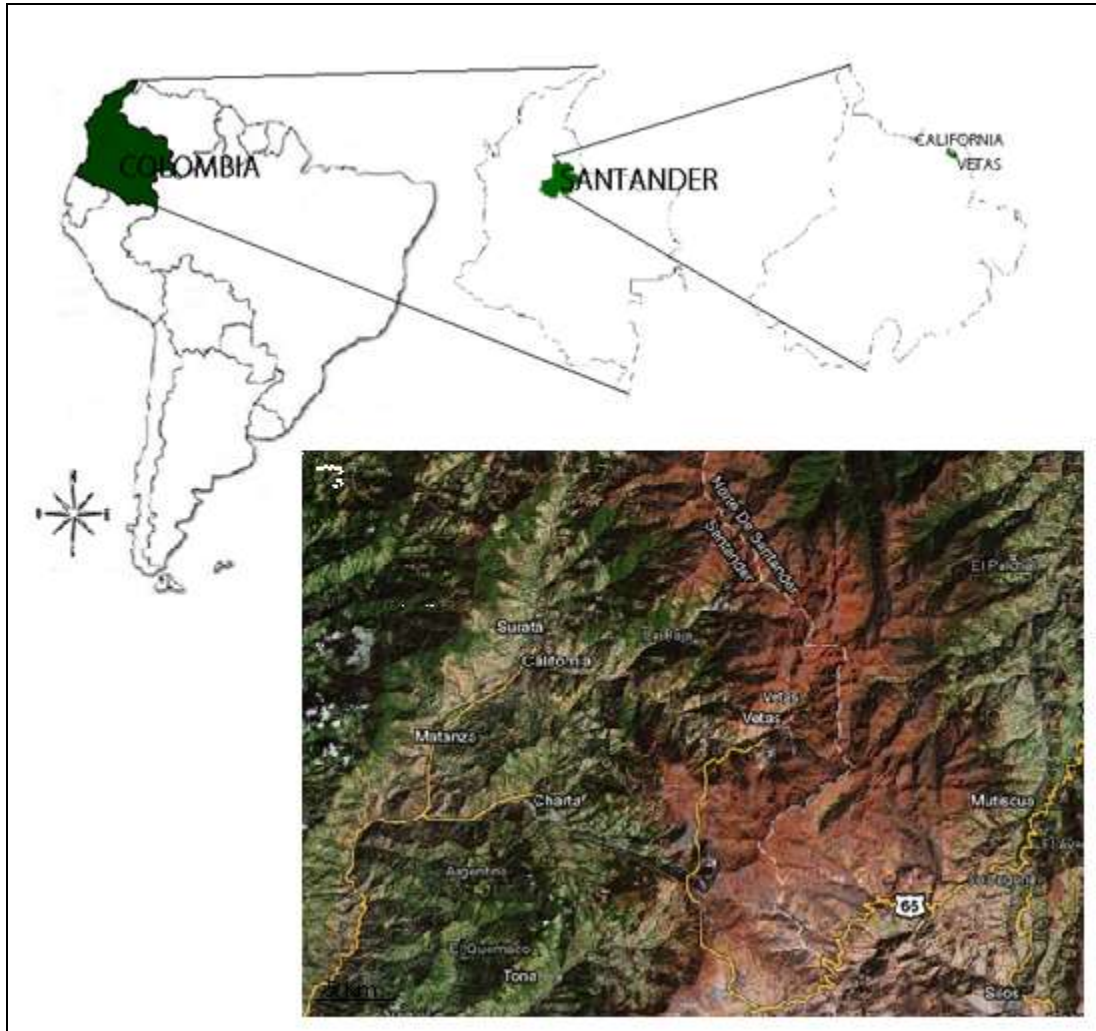


FIGURA 1. Localización del área de estudio (Quebrada Móngora, límite entre los municipios de California y Vetas, Dpto. de Santander). Imagen modificada de www.earth.google.es

Los estudios realizados en las litologías porfíricas mencionadas, permitieron establecer que su formación está relacionada con un magmatismo desarrollado en un contexto de subducción de margen continental, tal como lo indica el hecho de

ser rocas de serie calco-alkalina (alta en Potasio). Por otro lado, su naturaleza peralkalina, entre otros rasgos geoquímicos, permite establecer que estos magmas posiblemente representen fracciones muy diferenciadas de fundidos que han interactuado as derivan de una fuente ígnea cortical o mantélica..

El estudio de las Inclusiones Fluidas (IF) y los minerales de alteración hidrotermal presentes en las rocas porfíricas, apuntan a que éstas litologías han sido afectadas por procesos de alteración hidrotermal típicos de ambiente epitermal, tal como lo indican las temperaturas de homogenización de las IF secundarias presentes en los fenocristales de cuarzo bipiramidal (~250-300°C). Esto a su vez sugiere, que en el área de estudio se han presentado pulsos hidrotermales más recientes que la misma edad de las litologías porfíricas, es decir, más jóvenes que el Tortoniano (Mioceno).

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Estudiar las rocas porfiríticas; aflorantes en el sector de la Quebrada Móngora (Municipio de California); desde el punto de vista mineralógico, petrográfico y geoquímico e identificar y caracterizar los eventos de alteración hidrotermal que los han afectado.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Clasificar las rocas porfiríticas desde el punto de vista textural y composicional; apoyados en datos mineralógicos y petrográficos.
- Clasificar las rocas porfiríticas desde el punto de vista geoquímico (Elementos mayores, menores y traza).
- Establecer el contexto tectónico del emplazamiento de los fundidos magmáticos relacionados con la formación de las rocas porfiríticas, apoyados en los diagramas de clasificación geoquímica propuestos para tal fin.
- Identificar y caracterizar posibles eventos de alteración hidrotermal que hayan afectado a las rocas porfiríticas, apoyados en su mineralogía y en datos de Inclusiones Fluidas.

2. GENERALIDADES DEL AREA DE TRABAJO

2.1 Localización del área de estudio

El Pórfido compuesto de riolitas y dacitas aflorante en el sector de la Quebrada Móngora, se encuentra situado al noreste de la cabecera municipal de California, a unos 15 Km de ésta. La red vial a nivel veredal está compuesta por un porcentaje muy bajo de carretables principales, puesto que su mayor parte son caminos de herradura, senderos o trochas que permiten el acceso por medio de transporte a pie y cabalgar (únicamente para la carga) a la mayor parte de las zonas del municipio (POT, 2008). El área de investigación se encuentra sobre un camino de herradura que desprende del carretable que de California conduce a Vetas

Desde el punto de vista geológico, el área de estudio se localiza en una de las estribaciones de la Cordillera Oriental del Sistema Montañosos Colombiano y se encuentra referido en el cuadrángulo H-13, plancha 110; el sector de la Quebrada Móngora se encuentra delimitado por las coordenadas 1°303.000 – 1°305.000 al norte y 1°126.000 – 1°129.000 al este (Figura 2).

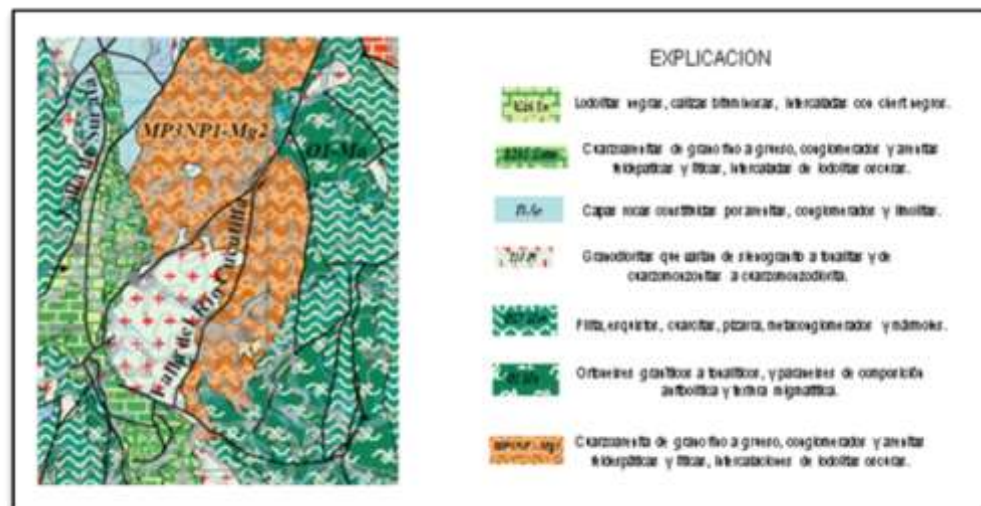


Figura 2. Localización del Municipio de California. Tomado de www.ingeminas.gov.co. Plancha 110

2.2 Fisiografía y Clima

El área se encuentra en la Cordillera Oriental, está dominado por un relieve con pendientes fuertes desde inclinadas hasta escarpadas, cuenta con una red de drenaje principalmente paralelo controlado por el presente relieve (Figura 3).

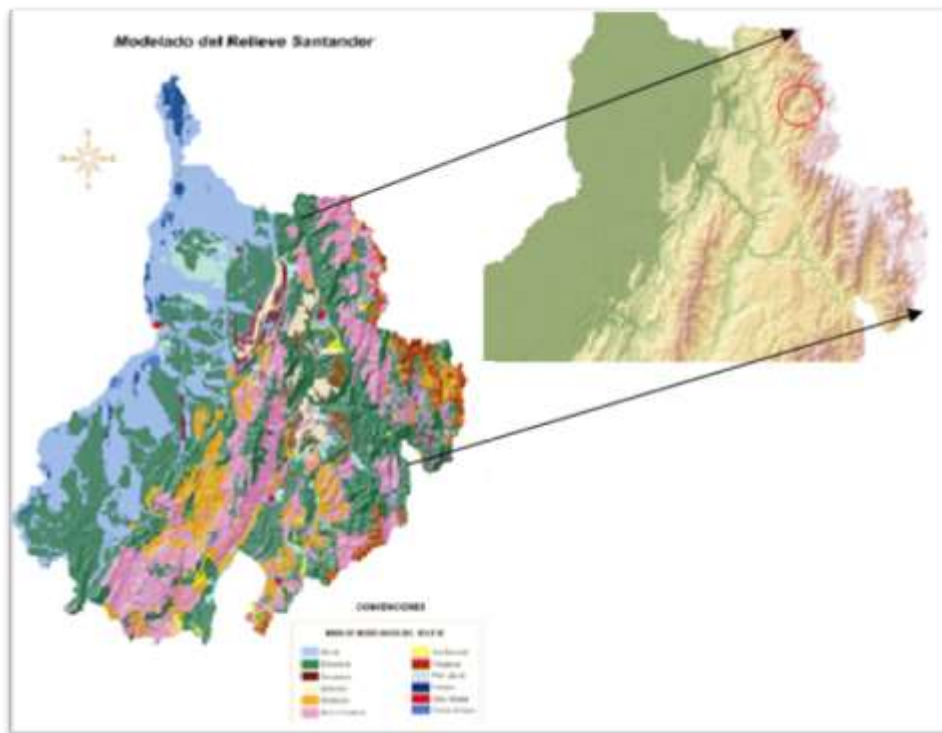


Figura 3. Modelo del relieve de Santander mostrando la ubicación del Municipio de California. Tomado de: www.santander.gov.co/pdds/mapas/mapa5_modelado_relieve_santander_g.pg

La Quebrada Móngora se ubica aproximadamente a 2300 m.s.n.m. El clima predominante es templado semihumedo con una temperatura promedio de 17°C, oscilando entre los 13°C y los 20°C. La vegetación es principalmente árboles y plantas de tamaño mediano. Hidrológicamente pertenece a la Cuenca Superior del Río Lebrija, Subcuenca Río Surata, microcuenca del Río Vetas (POT, 2008). Su principal corriente de agua es la Quebrada La Baja, con afluentes menores

como la quebrada Angosturas, Móngora, entre otros, dicho sistema de drenaje vierte sus aguas al río Vetas.

3. ANTECEDENTES

3.1 Marco Geológico Regional

La Quebrada Móngora se encuentra localizada en todo el límite jurisdiccional de los Municipios de California y Vetás, los cuales son geográficamente ubicados en el Macizo de Santander. La geología regional del Macizo de Santander está compuesta por rocas metamórficas, entre las cuales se encuentran las formaciones Neis de Bucaramanga, Esquistos del Silgara, Ortoneis de edades Meso-proterozoico a Paleozoico inferior, rocas ígneas Mesozoicas y rocas sedimentarias Paleozoicas y Cenozoicas (Ward *et al.*, 1973., Galvis, J., 1998., Clavijo *et al.*, 1993).

El Neis de Bucaramanga se ubica dentro del terreno chibcha y es afectado fuertemente por episodios tectono-magmáticos del paleozoico. Litológicamente corresponde a una secuencia metamórfica de silimanita, cordierita y granate, con intercalaciones de anfibolitas, mármoles y rocas calcosilicatadas. Las paragénesis minerales sufren condiciones de presiones bajas para facies anfibolita, estudios preliminares de termo-barometría en anfibolitas indican presiones de 4-6 Kbar y temperaturas de 600°C y 800°C (Cordani *et al.*, 2005). Las dataciones K-Ar en hornblenda arrojó una edad de 945±40 Ma, en un neis hornblendico (Maya *et al.*, 2001); pero análisis de Ar-Ar en anfobolitas arroja una edad de 668±9 Ma; lo que ha permitido relacionarla con la actividad andina tectonomagmática (Cordani *et al.*, 2005); sin embargo, en otros estudios es asignada una edad Precámbrica para el Neis de Bucaramanga (Ward *et al.*, 1973, Maya *et al.*, 2001)

Según Dörret *et al.*, (1994); al norte de California aflora un cuerpo ígneo caracterizado por la presencia de cuarzodioritas y monzonitas, las cuales presentan dataciones U-Pb que indican edades entre 205 Ma y 210 Ma, lo que

permite considerarlas de edad Triásico-Jurásico; estas rocas a su vez indican actividad plutónica alrededor de los 200 Ma en el Macizo de Santander.

Según Galvis (1998), en el área de la Cuchilla Violetal se presentan algunos cuerpos graníticos alaskíticos originados en metaareniscas y anfibolitas, consideradas de edad Jurásico, posiblemente entre 150-170 Ma.

Se presentan de igual forma dos cuerpos porfiríticos de composición riódacítica, localizados en el sector central del Macizo de Santander, que fueron datados mediante el método U-Pb cuyas edades obtenidas dieron 8.4 ± 0.9 Ma y 9.0 ± 0.2 Ma respectivamente; lo cual evidencia una etapa magmática durante el Mioceno Tardío, la cual tuvo lugar durante la orogenia Andina.

3.2 Tectónica

El departamento de Santander se encuentra localizado en una región tectónica compleja y dinámica, que representa a una zona de influencia entre los límites de las placas tectónicas del Caribe y la Suramericana, conocida como Bloque Andes del Norte.

El territorio de Santander se distribuye en tres provincias tectónicas siendo una de las más importantes el Macizo de Santander en el que se encuentra el Bloque Ocaña (Figura 4), donde se localiza el sitio del presente estudio (Clavijo *et al.*, 1993).

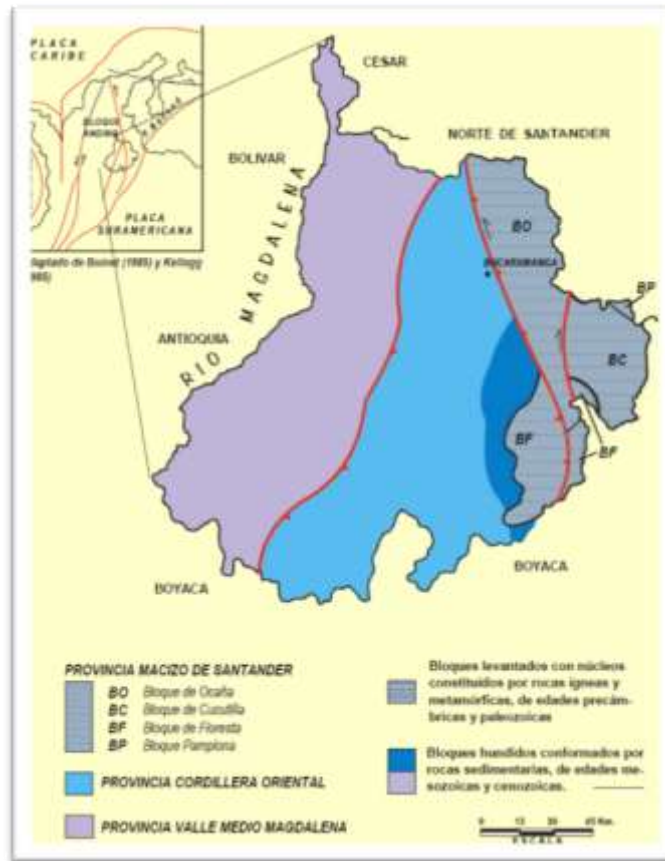


Figura 4. Esquema tectónico del Departamento de Santander. Tomado de Memorias Explicativas de Santander, Clavijo *et al.*, 1993.

El bloque Ocaña se caracteriza tectónicamente por presentar un estilo de fallamiento en bloques menores, separados por fallas inversas de dirección predominantemente SW-NE. Se presenta como un bloque levantado, que ocupa el sector nororiental del departamento; este bloque está constituido por la Falla Bucaramanga-Santa Martha, Falla Suratá y Falla Cucutilla (Clavijo *et al.*, 1993).

- **Falla Bucaramanga-Santa Martha**

Esta falla presenta una dirección aproximada N120°W, es considerada un sistema de fallas de rumbo con movimiento sinestral (Ward *et al.*, 1973); tiene una componente vertical importante que hace que esta falla se comporte en algunos sectores de manera inversa y en su extremo meridional aun de cabalgamiento. La falla Bucaramanga según

investigaciones realizadas de paleomagnetismo sugiere translación a lo largo de la margen de terrenos tomados durante el Mesozoico temprano; basados en datos paleomagnéticos, sugiere una significativa translación hacia el norte (por lo menos 10°) de los terrenos occidentales de la falla Bucaramanga con respecto al cratón durante el Jurásico temprano. Adicionalmente estos datos paleomagnéticos son necesarios para probar y cuantificar la magnitud de translación de los terrenos tectónicos (Sarmiento, L., 2006).

- **Falla Cucutilla**

Esta falla se localiza en la parte central del Macizo de Santander, se presenta ramificada en varias fallas satélites oblicuas al tramo principal el cual tienen una dirección Noreste, intersectándose con la falla Charta hacia la parte sur. Las rocas a ambos lados de la falla son similares y por lo tanto el desplazamiento no es muy evidente (Ward *et al.*, 1973).

- **Falla Suratá**

Presenta un rumbo predominante N15°E, es una falla inversa de ángulo alto y su plano de falla buza al noroccidente. Actualmente es inversa con el bloque noroccidental levantado y también tiene desplazamiento de rumbo lateral derecho (Clavijo *et al.*, 1993).

3.3 Estudio de las Mineralizaciones

El Distrito Minero de Vetas-California, se ha caracterizado por sus depósitos de Au-Ag, considerados fundamentalmente formados en un ambiente de tipo epitermal (Mathur *et al.*, 2003).

Trabajos de Cartografía Geológica realizados por Mendoza y Jaramillo (1971), muestran la distribución de las rocas ígneas y metamórficas presentes en el área, destacando la presencia de rocas ígneas de edad Jurásica pertenecientes al cuerpo granítico alaskítico.

Ward *et al.*, (1973), realizaron la cartografía a escala 1:100.000 de la plancha H13, en la cual muestran una amplia distribución de rocas ígneas granodioríticas y monzonitas en el área de trabajo, con las cuales posiblemente asociaron la mineralización.

El Neis Precámbrico del grupo Bucaramanga y cuarzomonzonita y cuarzodiorita de edad Triásico-Jurásico reportados en el Depósito Angostura. Presenta silicificación, piritización, sericitización, alunita, pirofilita, otras alteraciones y minerales indicadores que sugieren un origen de alta sulfidización para la mineralización hidrotermal controlada estructuralmente. La mineralización de Au-Ag es principalmente asociada con estructuras tabulares que comprenden silicificación y pirita en stockwerks, brechas y zonas de contacto de fallas. La estructura también juega un rol importante en concentración de Au-Ag en brotes de alto grado, que se producen en las intersecciones de las venas y las fallas (Felder *et al.*, 2005).

Los conceptos que permiten dar un enfoque a la génesis de las mineralizaciones presentes en California y Vetas y a su cronología relativa, se relacionan con unidades litológicas del Precámbrico, que se encuentran intruidas por pórfidos riódacíticos y en la Cuchilla Violetal, al Oriente de California, se presenta un domo volcánico. Allí la estructura volcánica se extiende en un área circular de 9-10 km². Por fuera de ésta, hay además exposiciones de varias apófisis y diques. Hay una amplia variación textural en las rocas magmáticas que se presentan en la Cuchilla Violetal y sus alrededores, desde una roca equigranular de composición granodiorítica, como se observa en la Quebrada Las Animas, hasta un pórfido riódacítico de matriz gris clara y fenocristales bipiramidales de cuarzo, tal como se

observa en la carretera Vetas-California, en cercanía del puente de la Quebrada Móngora (Galvis, J., 2008).

Estudios realizados basados en dos poblaciones de Inclusiones Fluidas medidas principalmente en cuarzos y algunos cristales de esfalerita. Muestra que estas inclusiones se clasificaron dependiendo de la proporción de líquido y vapor en la inclusión. Se reportan dos fases de inclusiones donde la proporción de líquido es mayor está dominada por las inclusiones tipo I, mientras que las inclusiones donde la fase vapor predomina está dominada por las inclusiones de tipo II. La presencia de grupos consistentes de inclusiones tipo II, y la coexistencia de ambos tipos de inclusiones son consideradas pruebas de inclusiones fluidas en la separación de la fase de vapor producido en un momento particular en el fluido hidrotermal. Para cada localización los estados petrogenéticos se basan tanto en la inspección macroscópica de las muestras, como las observaciones microscópicas de las secciones delgadas. Los estudios solo son aplicables para esta localidad, y no necesariamente aplicable en los alrededores de las muestras, a menos que una descripción paragenética sea indicada en la descripción de la muestra. Por lo tanto los fluidos responsables de la mineralización en Angostura están relacionados con un cuerpo mucho más intrusivo que exsolvió fluidos dentro de la una fase líquida (Albinson, T., 2000).

Los resultados de dataciones U-Pb en circones de una tonalita y una granodiorita de la intrusión de Paramo Rico en el Macizo de Santander de la Cordillera Oriental de Colombia indican una edad de cristalización de 205-210 Ma. Edades K-Ar en biotitas, conocidas de intrusiones de esta región, oscilan entre 177 y 198 Ma. y están de acuerdo con estos datos, sin embargo dichas edades deben ser reinterpretadas de tal forma que responden al enfriamiento posterior a la solidificación del fluido magmático. La actividad magmática durante el límite Triásico Superior-Jurásico Inferior refleja una posición geotectónica de la Cordillera Oriental similar a la actual posición de la placa Suramericana y la placa Nazca (Dörr *et al.*, 1994).

En cuanto a las dataciones se reportan dos estudios desarrollados en la zona:

El primero se basa en la mineralización epitermal de Au en California, la cual esta espacialmente asociada con un pórfido riodacítico de edad Cretáceo Superior a Terciario Temprano. Estos dos distritos mineros California y Vetas, hospedan diferentes estilos de mineralización que podría ser interpretada como estilo de mineralización alta y baja sulfidización; los isotopos de Re-Os fueron usados en concentraciones de sulfuros ricos en oro en un intento de determinar tanto la edad de los depósitos epitermales y la posible relación genética entre el pórfido y la mineralización epitermal. La concentración de Os para muestras de sulfuros toman ambas isotermas relativamente uniformes, mientras que la concentración de Re varía significativamente en el sistema California y el sistema Vetas. Las muestras del depósito de alta sulfidización de California forma una isocora con una edad de 57 ± 10 Ma, que se superpone con la edad del volcanismo dacítico. Las muestras del sistema de baja sulfidización de Vetas tienen muy altos radios de Re/Os y no se encuentran en la isocora. Estos datos revelan una diferencia entre los dos sistemas epitermales que bordean esta intrusión, las muestras de sistema de alta sulfidización están isotópicamente homogéneas con respecto a Re-Os y probablemente representa mineralización vinculada estrechamente con los volátiles de alta temperatura y fluidos del magma (Mathur *et al.*, 2003).

El segundo hace referencia a dos cuerpos porfiríticos de composición riodacítica, localizados en el sector central del Macizo de Santander (Cordillera Oriental), fueron datados mediante el método U-Pb, usando la técnica LA-MC-ICPMS: *Laser Ablation Multicollector-Inductively-Coupled-Plasma Mass Spectrometer*. Las edades obtenidas 8.4 ± 0.2 y 9.0 ± 0.2 Ma, evidencian una etapa magmática durante el Mioceno Tardío (Tortoniano), la cual tuvo lugar durante la orogenia Andina. La identificación de este pulso magmático, además de aportar nuevos elementos sobre la historia geológica del Macizo de Santander, merece especial atención, desde el punto de vista de la exploración de depósitos minerales, teniendo en

cuenta que rocas de estas características y edad se relacionan en otras regiones del extenso sistema orogénico Andino (Mantilla *et al.*, 2009).

4. METODOLOGIA

El trabajo de investigación se realizó en cuatro fases las cuales se describen a continuación:



- Recopilación y análisis bibliográfico referente al área de estudio y sobre los métodos de estudio que se aplicarían durante el desarrollo del presente trabajo de tesis modalidad investigación.
- Interpretación de imágenes aéreas con el fin de visualizar espacialmente la posible distribución de las rocas porfiríticas aflorantes en el sector de Móngora.
- Análisis de la plancha 110-C para definir vías de acceso presentes en la zona.



- Reconocimiento del área de estudio y verificación de las principales vías de acceso y los principales rasgos fisiográficos, teniendo en cuenta la fotointerpretación y las planchas topográficas.
- Durante la fase de campo se realizó un muestreo del cuerpo porfirítico y de las rocas encajantes

FASE 3: Laboratorio

- Descripción macroscópica de las muestras recolectadas durante la salida campo. Esta descripción se realizó en el Laboratorio de Lupas de la Escuela de Geología, usando una lupa binocular marca NIKON N1-150 Modelo C-PS (Figura 5).



Figura 5. Lupa Binocular Marca NIKON N1-150 Modelo C-PS, del Laboratorio de Lupas de la Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander.

- Preparación y clasificación de las muestras recolectadas para ser sometidas a análisis de petrografía, difracción de rayos X, química mineral e inclusiones fluidas.
- Elaboración y preparación de secciones delgadas para su respectivo análisis petrográfico y de Inclusiones Fluidas, las cuales fueron trabajadas con abrasivo de 120-320-400-600-1000 en la pulidora desvastadora marca BUEHLER, del Laboratorio de Preparación de Muestras de la Escuela de Geología (Figura 6, a y b). Las secciones para análisis de inclusiones fluidas fueron llevadas a la Pulidora para Alúmina (Figura 7, a y b); por lo que debido a su paño especial el abrasivo utilizado es alúmina de 1.0 micronalpha, 0.05 micronalpha y 0.3 micronalpha.



Figura 6.a)Pulidora Desvastadora marca BUEHLERy; b)Abrasivo utilizado para la elaboración de secciones delgadas. Laboratorio de Preparación de Muestras, Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander.



Figura 7.a) Pulidora de paño MONMTASUPAL y b) Abrasivos de Alúmina, para secciones doblemente Pulidas. Laboratorio de Preparación de Muestras, Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander.

- Descripción de las muestras en el Laboratorio de Microscopía Óptica con el microscopio de luz transmitida (Figura 8), de la Escuela de Geología con el fin de profundizar en los aspectos de textura, estructura, color y composición de la roca.



Figura 8.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, Universidad Industrial de Santander.

Preparación de las muestras para Difracción de Rayos X en el laboratorio de trituración de muestras (Figura 9, a y b), estudio que se llevó a cabo en el Laboratorio de DRX, Escuela de Química, Universidad Industrial de Santander (Figura 10).



Figura 9.a)Equipos de trabajo utilizados en la pulverización de muestras. Trituradora de mandíbula RETSCH tipo BB200 SCHWERMETALLFREI y; b) mortero de Agatha RM 100 RETSCH. Laboratorio de Trituración de Muestras, Escuela de Geología, universidad Industrial de Santander.



Figura 10. Difractómetro RIGAKU modelo D/MAX IIIB, utilizado en el presente estudio. Laboratorio de DRX, Escuela de Química, Universidad Industrial de Santander.

Voltaje	45 (KV)
Corriente	40 (mA)
Rendijas Soller	0.04 rad (incidencia y difracción)
Rendija Fijas	$1/4$ y $1/8$ (incidencia) y $1/4$ (difracción)
Muestreo	0.013° 2 theta
Rango de Medición	4-70° 2 theta
Radiación	CuK α 1
Filtro	Ni
Detector	Estado sólido, PIX con 255 canales activos
Tipo de Barrido	Continuo
Tiempo de paso	59 seg.

Tabla 1. Condiciones de trabajo, durante el análisis de muestras mediante DRX.

- Selección y envío de las muestras para la respectiva realización de análisis geoquímicos de Elementos Mayores, Menores y Traza, con el fin de establecer la serie a la cual pertenecen estas rocas. Llevado a cabo en el Laboratorio ALS Minerals, Funza, Cundinamarca. Los elementos mayores y menores fueron analizados mediante espectrometría por fluorescencia de rayos X, y los elementos traza mediante espectrometría de masa (ICP-MS).
- Petrografía y Microtermometría de Inclusiones Fluidas llevado a cabo en el Laboratorio de Geología en la sede de Guatiguará (Figura 11). Los análisis microtermométricos se realizaron en el microscopio de luz transmitida marca NIKON Elipse 50i, con platina de enfriamiento calentamiento THMS 600 marca LINKAM adaptada; la cual permite medir cambios de fases al interior de las IF en el rango de temperaturas entre -198°C y +600°C.



Figura 11. Equipo para microtermométrie de inclusiones fluidas. Microscopio de luz transmitida marca NIKON Elipse 50i, con platina de enfriamiento calentamiento THMS 600 marca LINKAM adaptada. Sede Guatiguará, Universidad Industrial de Santander.

Temperatura Obtenida	Temperatura Teórica
-55.9 CO ₂	-55.6 CO ₂
0.1 H ₂ O	0 H ₂ O
374.4 H ₂ O	374.1 H ₂ O

Tabla 2. Condiciones de calibración para el equipo en el que se elaboraron los respectivos análisis de Inclusiones Fluidas.



- Análisis e Interpretación de la información obtenida durante el trabajo de campo y laboratorio.
- Elaboración del Informe Final.
- Sustentación de los resultados del proyecto de investigación.

5. RESULTADOS

5.1 INTERPRETACIÓN VISUAL DE IMÁGENES SATELITALES Y AEREAS

Según la interpretación llevada a cabo de imágenes satelitales del área donde se realizó el proyecto se observó una corriente principal con afluentes primarios y secundarios siguiendo un patrón de drenaje paralelo definido por la pendiente regional del terreno (Figura 12). Dado que entre mayor sea la pendiente del terreno mayor y más paralelos serán los canales, ya que este patrón es facilitado por las altas pendientes que se presentan en la zona, por lo que el control estructural también es un factor determinante para estas condiciones.

En la figura 12, es observada la topografía en el área, la cual se caracteriza por presentar pendientes abruptas con valles profundos, donde la meteorización no ha sido muy intensa; y por la presencia de algunas colinas con pendientes suaves, así mismo por el patrón de drenaje se puede establecer que está compuesta de rocas ígneas.

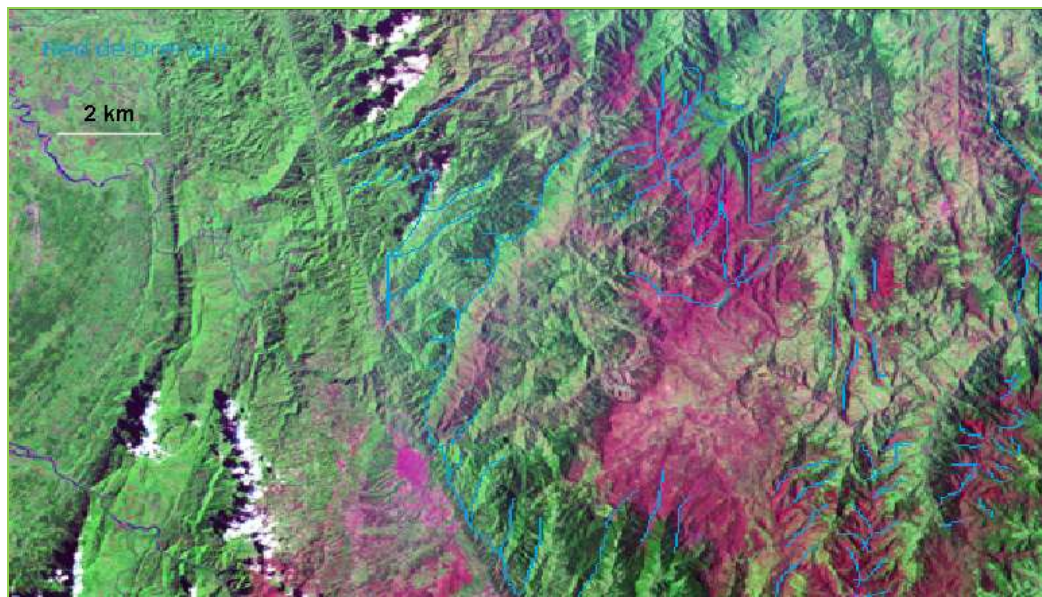


Figura 12. Fotografía satelital de la zona de estudio. Tomado de www.GeoVieweronline.net.

En la siguiente figura se observa vegetación típica de bosque húmedo montañoso que se encuentra representada por arboles maderables, sauces y rastrojo propio de esta zona (Figura 13). Así mismo es fácilmente apreciable el límite del cuerpo porfirítico el cual se extiende varios kilómetros al rededor del cuerpo estudiado, ya que este cuerpo es solo un saliente del pórfido representado en la imagen.



Figura 13.Ortoimagine de los Distritos de California y Vetas. Fuente: CVS Corporation, en donación a la Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander. En la cual es representada el área estudiada y el área total del pórfido.

5.2 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL, DESCRIPCIÓN MEGA Y RASGOS MACROSCÓPICOS DE LAS ROCAS RIODACÍTICAS

Con la ayuda de la interpretación de las fotografías aéreas y de la visita realizada a campo se localizó el Pórfido de la Quebrada Móngora y de igual forma se ubicaron espacialmente las muestras recogidas, teniendo en cuenta las estructuras presentes en la zona. Por lo que la investigación se basó en 15 muestras recolectadas en la salida de campo las cuales se describieron macroscópicamente y petrográficamente (Figura 14).



Figura 14. Ortoimagen de los Distritos de California y Vetas. Fuente: CVS Corporation, en donación a la Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander. Mostrando la distribución espacial de las muestras recolectadas en campo.

En la siguiente tabla se muestra la relación de las rocas con su estación y su litología. Ver Tabla 3.

ESTACION	MUESTRA	TIPO DE MUESTRA
ESTACION 1	TLG-E1-O1	Roca Granítica
ESTACION 2	TLG-E2-01	Roca Granítica
ESTACION 3	TLG-E3-O1	Roca Porfírica
	TLG-E3-O2	Vena de Cuarzo
	TLG-E3-O3	Roca Granítica. Bloque Rodado.
ESTACION 4	TLG-E4-O1	Roca Granítica. Bloque Rodado
ESTACION 5	TLG-E5-O1	Roca Porfírica
ESTACION 6	TLG-E6-O1	Roca Granítica
ESTACION 7	TLG-E7-O1	Roca Porfírica
ESTACION 8	TLG-E8-O1	Roca Porfírica
	TLG-E8-O2	Roca Granítica
ESTACION 9	TLG-E9-O1	Roca Porfírica
	TLG-E9-O2	Vena de Cuarzo
	TLG-E9-O3	Roca Granítica
ESTACION 10	TLG-E10-O1	Roca Granítica

Tabla 3. Relación de las rocas con su estación y su litología.

Con el trabajo de campo se observó el contacto de la roca caja con el cuerpo riodacítico. En el recorrido sobre la ladera de la Quebrada Móngora el cual es apreciado en la panorámica del relieve (Figura 15).



Figura 15. Panorámica de la cuenca de la Quebrada Móngora.

En el área de trabajo es observado un cuerpo intrusivo que esta a su vez penetrado por el cuerpo riodacítico. Debido a las condiciones durante el evento intrusivo de este cuerpo riodacítico, se pudieron observar características macroscópicas tales como textura porfirítica, fenocristales de plagioclasas (Figura 16), gran porcentaje de feldspatos con alto grado de alteración (Figura 17), fenocristales de cuarzo bipiramidal.



Figura 16. Textura porfirítica presente en la riolita, las flechas rojas muestran fenocristales de cuarzo y las flechas negras fenocristales de plagioclasa.



Figura 17. Dacita in situ con presencia de plagioclasa y feldespato altamente alterados, los cuales se encuentran indicados por flechas de color negro y verde oliva respectivamente; y con flechas de color rojo se encuentra indicado el cuarzo bipiramidal.

Las muestras colectadas de la salida de campo fueron posteriormente descritas a nivel macroscópico, para llevar a cabo su respectiva clasificación, así:

El cuerpo compuesto por riolitas y dacita, presenta color amarillo claro, textura porfídica con matriz de grano fino a muy fino, fenocristales de cuarzo bipiramidal y plagioclasa que varían desde 0.5 a 2 cm, distribuidos en una matriz de composición similar (Figura 17). Las muestras presentan alteración, algunas en estado más avanzado, por lo cual reconocer algunos minerales en muestra de mano es tarea difícil. Dichas alteraciones hacen a la roca vulnerable a la erosión, por lo que en su porcentaje de fase existen algunas variaciones. Así mismo, se

tiene en cuenta la reducción del tamaño de los fenocristales a medida que se desplaza hacia el centro del cuerpo (Figura 18). De manera general, las riolitas y dacitas se presentan a lo largo de la ladera de la Quebrada Móngora, en el área delimitada para el presente estudio.



Figura 18. Muestra distintiva de riolita en el centro del pórfido, donde se aprecian el tamaño de los cristales de plagioclasa y cuarzo embebidos en un matriz afanítica. Muestra TLG-E5-01.

De acuerdo a la abundancia de los minerales presentes en la muestra se logra establecer una diferenciación entre las riolitas y dacitas que conforman este pórfido, dos de las muestras representativas de este cuerpo TLG-E5-01 y TLG-E7-01, permiten ver el cambio en el porcentaje de plagioclasa y cuarzo, tanto en el tamaño como en abundancia, factores importantes en la clasificación de las mismas (Figura 18 y 19).



Figura 19. Dacita en la que se puede apreciar matriz de grano fino, textura porfirítica, fenocristales de cuarzo y plagioclasa, apreciados entre los círculos de color rojo y negro, respectivamente. Muestra TLG-E7-O1



Figura 20. Aspecto de la riolita, que muestran alto grado de alteración y matriz de grano fino. Los círculos rojos representan fenocristales de cuarzo. Muestra TLG-E3-O1.

Dentro de las muestras obtenidas, pero que no hacen parte de este cuerpo riodacítico, se encontró Granito Silicificado, el cual sufre este proceso por la interacción con el cuerpo porfirítico, este granito posee algunas características que permiten observar cambios en la cristalización del magma. El granito silicificado y alterado presenta las siguientes características: color blanco-hueso a blanco-amarillento, textura porfídica en matriz afanítica con presencia de cuarzos bipiramidales (Figura 21), y granito de tamaño fino (Figura 22). Semejante a este granito tomado in situ se presenta un granito en bloques rodados, cual posee características distintas, ya que se muestra de color ocre rojizo claro, de textura fanerítica y en algunos casos presenta matriz de grano muy fino, se encuentra compuesto en su mayoría por cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico, así como en menor cantidad por pirita y sulfuros (Figura 23).



Figura 21. Aspecto de granito silicificado en matriz afanítica y fenocristales de cuarzo apreciados en los círculos rojos. Muestra TLG-E8-O2.



Figura 22. Aspecto de granito silicificado con tamaño de grano fino. Muestra TLG-E9-O3.



Figura 23. Aspecto de roca granítica que encontró rodado sobre el camino. Muestra TLG-E4-O1

6. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE LAS ROCAS RIODACITICAS DEL PORFIDO DE LA QUEBRADA MONGORA

Teniendo en cuenta la necesidad no solo de conocer la composición de una roca en particular, sino también de estudiar sus rasgos mineralógicos y petrográficos en láminas, se realizó la descripción mineralógico-petrográfica de 10 secciones pulidas (Tabla 4). El análisis modal se llevó a cabo mediante conteo de puntos, con un mínimo de 150 puntos.

Durante el análisis petrográfico, fue posible dividir las rocas que conforman el cuerpo porfirítico en dos tipos litológicos: dacitas y riolitas.

TIPO DE MUESTRA	NUMERO MUESTRAS
Roca Granítica	TLG-E1-O1
Roca Granítica	TLG-E2-O1
Riolita	TLG-E3-O1
Roca Granítica	TLG-E4-O1
Riolita	TLG-E5-O1
Roca Granítica	TLG-E6-O1
Riolita	TLG-E8-O1
Roca Granítica	TLG-E8-O2
Roca Granítica	TLG-E9-O2
Roca Granítica	TLG-E9-O3
Roca Granítica	TLG-E11-O1

Tabla 4. Relación de las muestras estudiadas.

A continuación se presenta el resultado del análisis microscópico, siguiendo el orden mencionado.

6.1 Roca Granítica (Roca caja del cuerpo porfirítico)

La composición de la roca caja varía de Sienogranito, monzogranito a Granitoide rico en Cuarzo dependiendo de la distancia al pórfido, del más cercano al más lejano.

El Sienogranito, en contacto con el pórfido dacítico, es de grano fino a medio, compuesto principalmente de cuarzo, ortoclasa, plagioclasa y moscovita, como minerales secundarios se presenta biotita, las alteraciones corresponden a clorita, caolín y sericita, como minerales menores epidota, óxido y minerales opacos (Figura 24).

El cuarzo se presenta en la roca a modo de fenocristales de forma anhedral; algunos cristales forman parte de la matriz en un tamaño de grano muy fino.

La ortoclasa se presenta en la roca, de forma anhedral, ligeramente turbio, algunos de estos cristales presentan lamelas de plagioclasa, los cuales muestran textura peritética; así mismo, presenta fracturamiento propio de procesos hidrotermales y algunos de estos cristales se presentan alterados a caolín, el cual también hace parte de la matriz de la roca.

La plagioclasa presente en la roca se observa como cristales subhedrales, de forma tabular de grano medio y como agregado presente en la matriz con un tamaño de grano muy fino, en casi la totalidad de las rocas este mineral se presenta reemplazado por sericita.

La moscovita presente en la roca se encuentra en tamaño de grano medio, hábito tabular y algunos cristales presentan procesos de opacización (Figura 25).

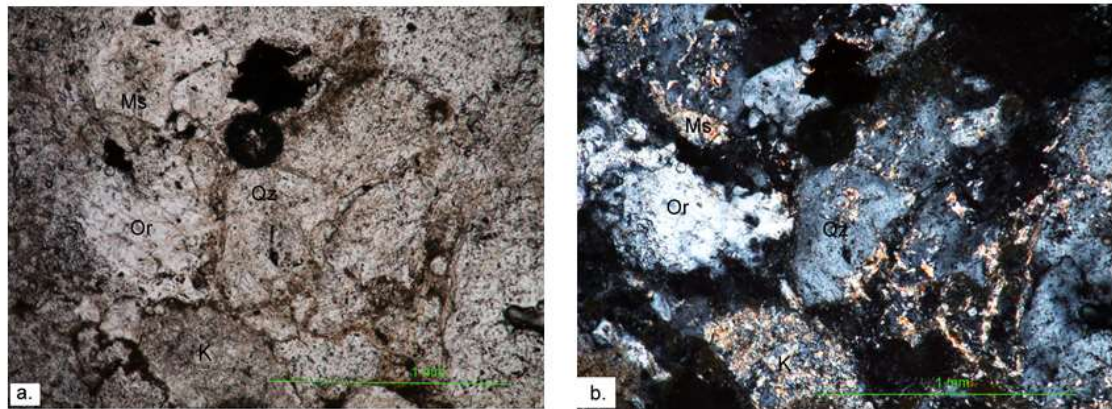


Figura 24. En la figura se observa la presencia de cristales de cuarzo (Qz), plagioclasa (Pl), moscovita (Ms), ortoclasa (Or). Microfotografía tomada con objetivo de 10x. a) luz polarizada y b) luz plana no analizada.

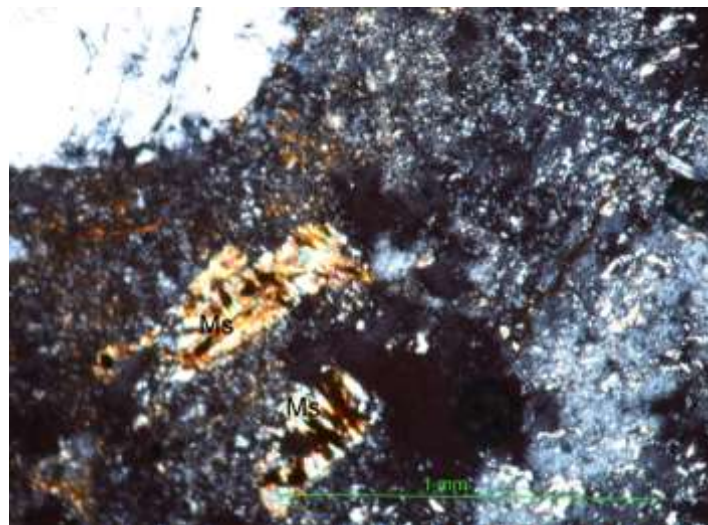


Figura 25. En la figura se observa un cristal de moscovita (Ms) con proceso de opaquización. Microfotografía tomada con objetivo de 10x. a) luz polarizada y b) luz plana no analizada.

El Monzogranito de grano medio, compuesto de cuarzo, ortoclasa, plagioclasa y moscovita, presenta minerales de alteración como sericita, caolinita y clorita,

además presenta óxidos y minerales opacos. Como mineral accesorio presenta epidota y circón (Figura 26).

El cuarzo presente en la roca se muestra de forma euhedral, como fenocristales y agregado de grano muy fino en la matriz.

La ortoclasa se presenta en la roca, de forma anhedral, ligeramente turbio, algunos de estos cristales presentan lamelas de plagioclasa, los cuales muestran textura peritítica; así mismo, presenta fracturamiento propio de procesos hidrotermales y algunos de estos cristales se presentan alterados a caolín, el cual también hace parte de la matriz de la roca.

La plagioclasa presente en la roca se observa como cristales subhedrales, de forma tabular de grano medio y como agregado presente en la matriz con un tamaño de grano muy fino, en casi la totalidad de las rocas este mineral se presenta reemplazada por sericita.

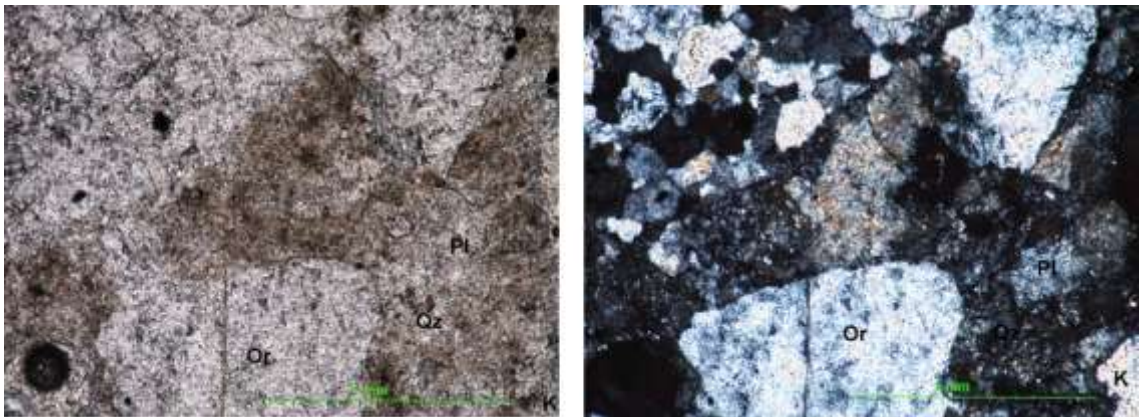


Figura 26. En la figura se observa la presencia de cristales de cuarzo (Qz), plagioclasa (Pl), caolinita (K), ortoclasa (Or). Microfotografía tomada con objetivo de 10x. a) luz polarizada y b) luz plana no analizada.

El Granitoide rico en cuarzo presenta ausencia total de plagioclasa, minerales principales cuarzo y ortoclasa, minerales menores como moscovita y biotita, minerales de alteración como clorita, sericita y caolín (Figura 27).

El cuarzo presente en la roca se muestra como fenocristales de forma anhedral en contacto con la ortoclasa y en agregado muy fino presente en la matriz, estos cristales se encuentran en medio de canales llamados stockwers de color ocre-rojizo.

La ortoclasa presente en la roca se observa de forma anhedral, de grano medio, se presenta altamente fracturo debido a los procesos hidrotermales presentes en la roca, de igual forma se muestra altamente fracturado.

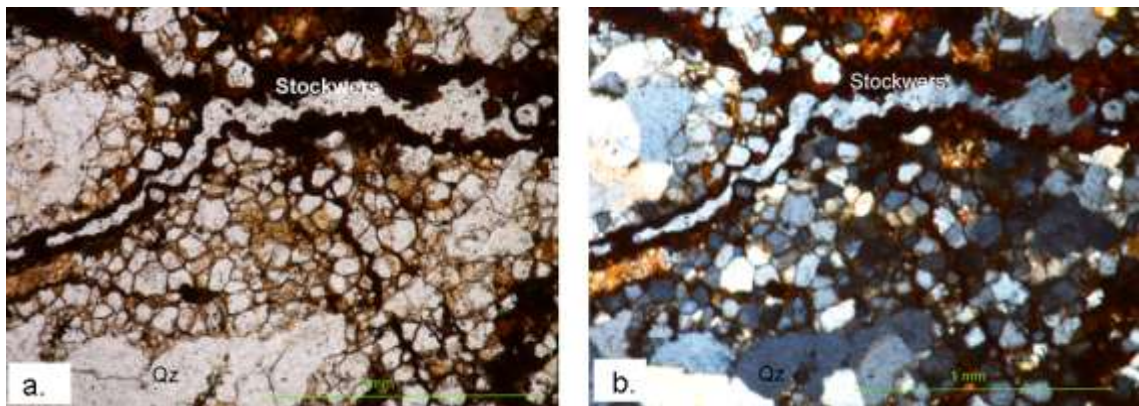


Figura 27. En la figura se observa la presencia de cristales de cuarzo (Qz), y canales rellenos de óxidos llamados stockwers. Microfotografía tomada con objetivo de 10x. a) luz polarizada y b) luz plana no analizada.

FASE MINERAL	PORCENTAJE
Cuarzo	35 – 40 %
Feldespato potásico (Ortoclasa)	25 – 45 %
Plagioclasa tipo Albita	10 – 30 %
Moscovita	0 – 5 %
Óxido de Hierro	0 – 5%
Biotita	0 – 7 %
Clorita	0 – 3 %
Epidota	0 – 2 %
Circón	0 – 1%

Tabla 5. Composición mineralógica modal de las rocas tipo graníticas (roca caja).

6.2. Roca Porfirítica (Riolitas)

En general, estas rocas presentan textura porfirítica, en matriz afanítica e inequigranular. Fenocristales de plagioclasa, cuarzo y ortoclasa; embebidos en una matriz de su misma composición, en menor cantidad se presenta moscovita y biotita, minerales de alteración como sericita y caolinita.

Los fenocristales de plagioclasa en la roca son tabulares, alargados con formas tabulares, de tamaño aproximado a 2.0mm, con maclas tipo albita y polisintética tipo plagioclasa sódica, la última en menor proporción; también se encuentra presente en la matriz, algunos de estos cristales se presentan alterados a sericita (Figura 28).

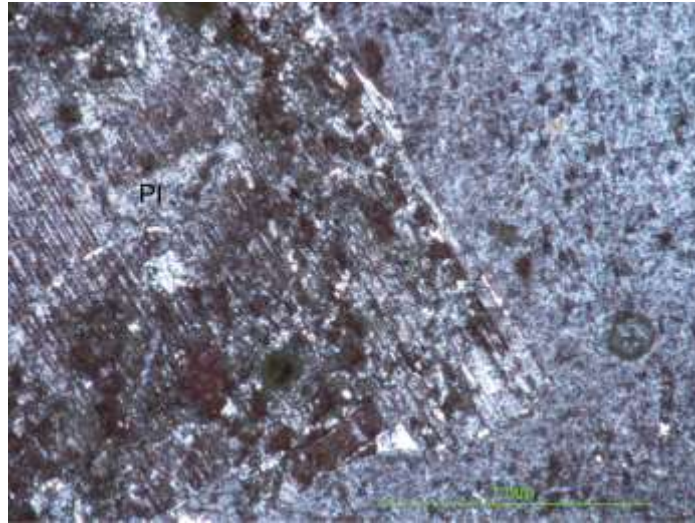


Figura 28. Fenocristales de plagioclasa, que exhiben maclas tipo albita. Microfotografía tomada con objetivo de 10x y luz plana no analizada.

Los cristales de cuarzo presentan menor tamaño que los cristales de plagioclasa, estos son de forma euédral, de tamaño de grano de 1.4 mm, pero algunos de estos cristales presentan inclusiones de plagioclasa de ± 1 mm (Figura 29).

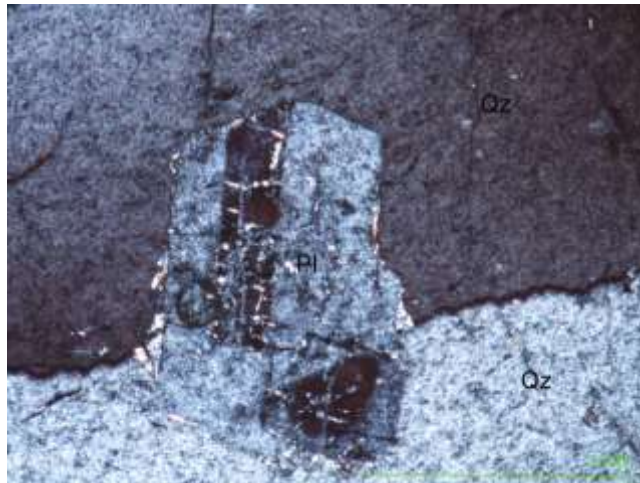


Figura 29. Fenocristal de plagioclasa como inclusión en un cristal de cuarzo. Microfotografía tomada con objetivo de 40x y luz plana no analizada.

La ortoclasa se presenta en la roca como fenocristales ampliamente distribuidos de tamaño de grano 1.4 a 1.6 mm, de forma euhedral. Algunos de estos cristales presentan inclusiones de fenocristales de plagioclasa de menor tamaño; algunos cristales de ortoclasa presentan alteración a caolín.

FASE MINERAL		PORCENTAJE
Cuarzo		35 – 40 %
Plagioclasa		20 – 35%
Feldespato Potásico (Ortoclasa-Sanidina)		30 – 35 %
Caolinita		5 – 15 %
Moscovita		5 – 10 %
Sericita		4 – 5 %
Biotita		0 – 5 %

Tabla 6. Composición mineralógica modal de las rocas porfíricas (riolitas).

7. IDENTIFICACION DE FASES MINERALES MEDIANTE DIFRACCION DE RAYOS X

A continuación se presenta los resultados obtenidos de los análisis de Difracción de Rayos X realizados en algunas de las muestras recolectadas en campo (Tabla 7), los cuales permitieron identificar fases minerales y porcentaje presentes en la roca, de tal modo se muestra el análisis siguiendo el orden llevado en la descripción microscópica, por tal forma se da inicio con el análisis llevado a cabo en las rocas graníticas.

7.1. Rocas Graníticas (Sienogranito, Monzogranito y Granitoide rico en cuarzo).

De esta colección hacen parte las siguientes muestras: TLG-E1-O1, TLG-E2-O1, TLG-E4-O1, TLG-E6-O1, TLG-E8-O2 Y TLG-E11-O1. En la siguiente tabla se presenta en resumen los datos obtenidos de las muestras analizadas a través de DRX. Las rocas analizadas se concentraron teniendo en cuenta su similitud en la composición mineralógica. Entre las fases mineralógicas identificadas encontramos de mayor a menor proporción las siguientes: cuarzo, moscovita, ortoclasa, hematita, goetita, illita, albita, pirita, jarosita, caolinita. Las fases mineralógicas son visibles en los difractogramas de las respectivas muestras Ver anexo 1. A continuación se muestra el difractograma correspondiente a la muestra TLG-E1-O1 el cual permite observar la fase mineral presente.

FASES MINERALES	FORMULA
SiO ₂	Cuarzo
K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	Moscovita
K Al Si ₃ O ₈	Ortoclasa
(K, H ₃₀) Al ₂ (Si ₃ Al) O ₁₀ (OH) ₂ · X H ₂ O	Illita
Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Caolinita
Na (Al Si ₃ O ₈)	Plagioclasa (Tipo Albita)
Fe O (OH)	Goetita
Fe S ₂	Pirita
K Fe ₃ (S O ₄) ₂ (O H) ₆	Jarosita

Tabla 7. Fase mineral presentes en las rocas graníticas. El rango de los porcentajes reportados (cálculos semicuantitativos), son tomados de los valores mínimos y máximos de los análisis de DRX.

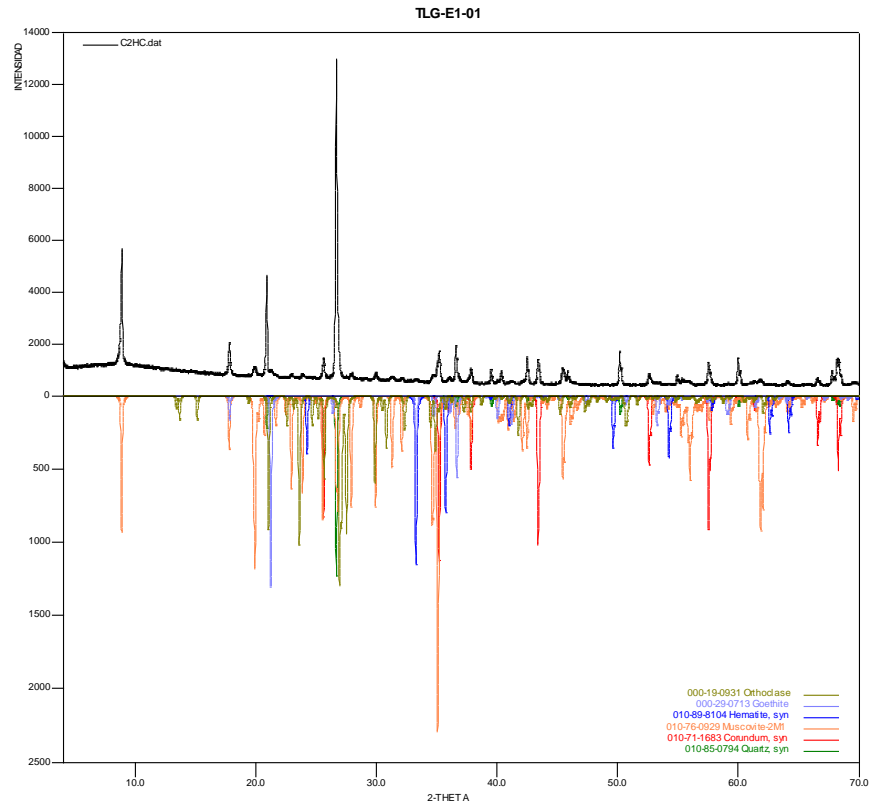


Figura 30. Difractograma para la muestra TLG-E1-01 (Granitoide rico en cuarzo). En el cual se reconocen los minerales de la tabla anterior.

Mediante el análisis de DRX se obtuvo el anterior difractograma que muestra la fase mineral presente en la muestra; el cual permite observar la siguiente composición: goethita, hematita, ortoclasa, muscovita, cuarzo.

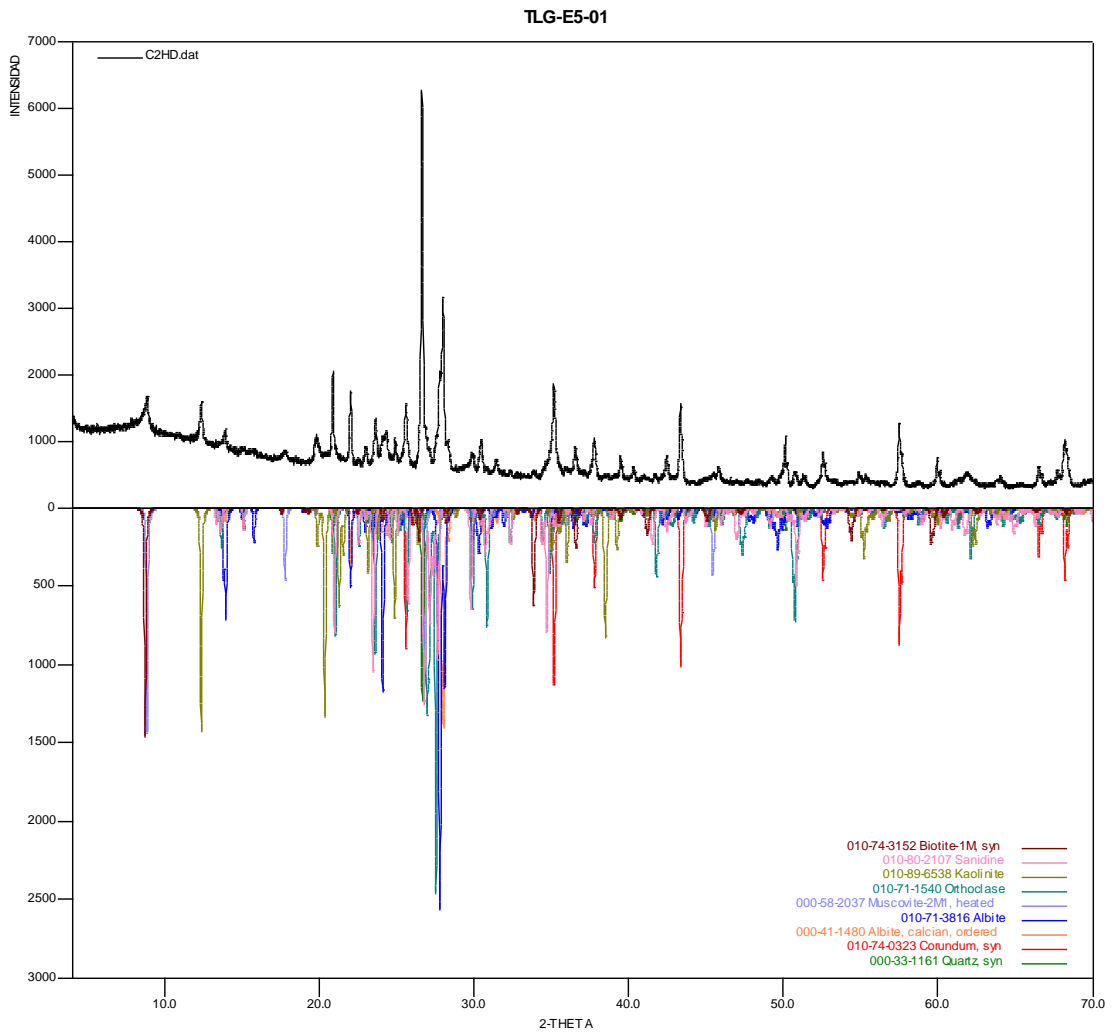
7.2. Rocas Porfíricas (Riolitas y Dacita)

De este grupo forman parte las muestras TLG-E3-O1, TLG-E5-O1, TLG-E8-O1 y la muestra TLG-E7-O1 esta última correspondiente a la dacita, a la cual no fue posible realizarle sección delgada por su alto grado de alteración. En la siguiente tabla se presenta en resumen los datos obtenidos de las muestras analizadas a

través de DRX. Las rocas analizadas se concentraron teniendo en cuenta su similitud en la composición mineralógica. Entre las fases mineralógicas identificadas encontramos de mayor a menor proporción las siguientes: cuarzo, moscovita, ortoclasa, caolinita, moscovita, hematita, plagioclasa (Na-Ca), sanidina, biotita, goetita (Tabla 8). Se encontraron algunos minerales propios de alteración como caolinita. Las fases mineralógicas son visibles en los difractogramas de las respectivas muestras, Ver anexo 1.A continuación se muestra el difractograma correspondiente a la muestra TLG-E5-O1 el cual permite observar la fase mineral presente.

FASES MINERALES	FORMULA
SiO_2	Cuarzo
$\text{K Al}_2 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	Ortoclasa
$\text{K Al}_2 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	Moscovita
$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	Caolinita
Ca CO_3	Calcita
$\text{Fe}_2 \text{O}_3$	Hematita
$(\text{K, H}_{30}) \text{Al}_2 (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot \text{X}$	Illita
H_2O	
$\text{Na}_{0.75}\text{Ca}_{0.25}\text{Al}_{1.26}\text{Si}_{2.74} \text{O}_8\text{-Ca}$	Plagioclasa (Serie Ca-Na)
$(\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8)$	
$\text{K} (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	Sanidina
$\text{K} (\text{Fe}_{2.554} \text{Al}_{0.446}) ((\text{Al}_{1.55} \text{Si}_{2.45}) \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	Biotita
$\text{Fe O} (\text{OH})$	Goetita

Tabla 8. Fase mineral presentes en las rocas porfíricas (Riolitas y dacita). El rango de los porcentajes reportados (cálculos semicuantitativos), son tomados de los valores mínimos y máximos de los análisis de DRX.



Fi

gura 31. Difractograma para la muestra TLG-E5-O1 (Riolita).

Mediante el análisis de DRX se obtuvo el anterior difractograma que muestra la fase mineral presente en la muestra; el cual permite observar la siguiente composición: biotita, sanidina, kaolinita, ortoclasa, muscovita, albita, plagioclasa Na-Ca, cuarzo.

8. CLASIFICACION MODAL DE LAS ROCAS ESTUDIADAS

Con la ayuda de diagramas propuestos para la clasificación de rocas ígneas se asignó el nombre dependiendo de su composición mineralógica. Según Streckeisen (1979), las rocas graníticas son rocas plutónicas constituidas esencialmente por cuarzo, feldespato, plagioclasa y moscovita. Y algunas veces presentan biotita y algunas alteraciones, son de textura porfirítica, fanerítica y en algunos casos matriz afanítica o silicificada.

La clasificación modal de las rocas graníticas plutónicas recomendada por IUGS para la sistematización de rocas ígneas, se basa en la clasificación de Streckeisen (1979). Las rocas graníticas forman un grupo de rocas compuestas principalmente de cuarzo (entre 20 y 60%), feldespato alcalino y/o plagioclasa. Este grupo lo constituyen rocas de tipo Granito de feldespato alcalino; Granito el cual se divide en Sienogranito y Monzogranito; Granodiorita, Tonalita.

Por lo tanto, teniendo en cuenta los criterios antes mencionados clasificamos las rocas graníticas del trabajo en la tabla 17. Y del mismo modo teniendo en cuenta los porcentajes para cada muestra se le asignan la clasificación modal para el diagrama QAP (Figura 32).

ABRUFAS	DESCRIPCION
1a	granodiorita o diorita
2a	granodiorita o diorita con cuarzo
2	granito de feldespato alcalino, con bajo índice de color: albitita
3a	monzogranito
3b	monzogranito, albitita
4	granodiorita
5	tonalita, monzogranita, con bajo índice de color: tonalita
4*	monzogranito de feldespato alcalino
6	monzogranita
6*	monzogranita de feldespato alcalino, albitita
7*	monzogranita
7	monzogranita
8*	monzogranita
8	monzogranita
9*	monzogranita de feldespato alcalino
9	monzogranita, monzogranita
9*	monzogranita o monzogranita de feldespato alcalino
10*	monzogranita, monzogranita
10	gabbro (%Al ₂ O ₃ en plagioclasa > 20%) o diorita (%Al ₂ O ₃ en plagioclasa)
11	monzogranita de feldespato alcalino
12	monzogranita, feldespato, biotita, ligerita
13	monzogranita
14	diorita, tonalita en base andesita
15	trachita

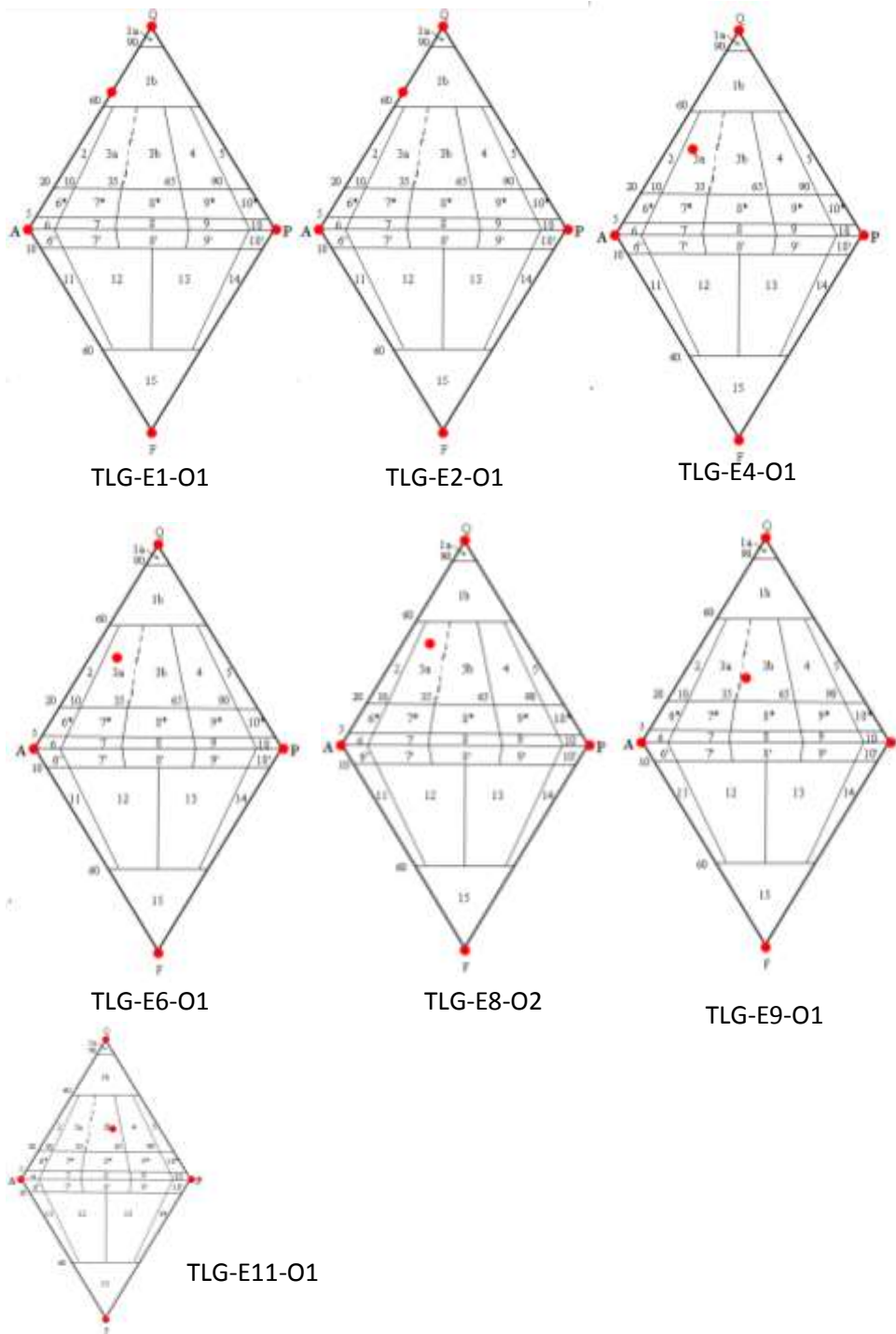


Figura 32. Clasificación modal de las rocas graníticas en el diagrama de Streckeisen (1979).

MUESTRA	NOMBRE
TLG-E1-O1	Granitoide rico en cuarzo
TLG-E2-O1	Granitoide rico en cuarzo
TLG-E4-O1	Sienogranito
TLG-E6-O1	Sienogranito
TLG-E8-O2	Sienogranito
TLG-E9-O2	Monzogranito
TLG-E11-O1	Monzogranito

Tabla 9. Clasificación modal de las rocas graníticas estudiadas en los capítulos anteriores.

La clasificación modal de las rocas porfíricas que se hacen referencia especialmente a rocas riodacíticas teniendo en cuenta la clasificación modal para rocas volcánicas recomendada por IUGS para la sistematización de rocas ígneas, se basa en la clasificación de Sterckeisen (1979). Las rocas volcánicas tanto para las dacitas como para las riolitas cuentan con la misma composición. Estas rocas se componen principalmente de cuarzo con una concentración $\geq 60\%$, plagioclasa.

Posee una textura entrefanítica y pórfida con cuarzo en forma de fenocristales redondeados corroídos, o como elemento de su matriz. Las proporciones relativas de feldespatos y cuarzo en la dacita, y en muchas otras rocas volcánicas, se ilustran en el diagrama QAPF.

Teniendo en cuenta los criterios mencionados anteriormente mencionados se clasificó las rocas porfíricas relacionadas en los capítulos anteriores en la tabla 18. Del mismo modo con los porcentajes para cada muestra se ha asignado clasificación modal para el diagrama QAF (Figura 33).

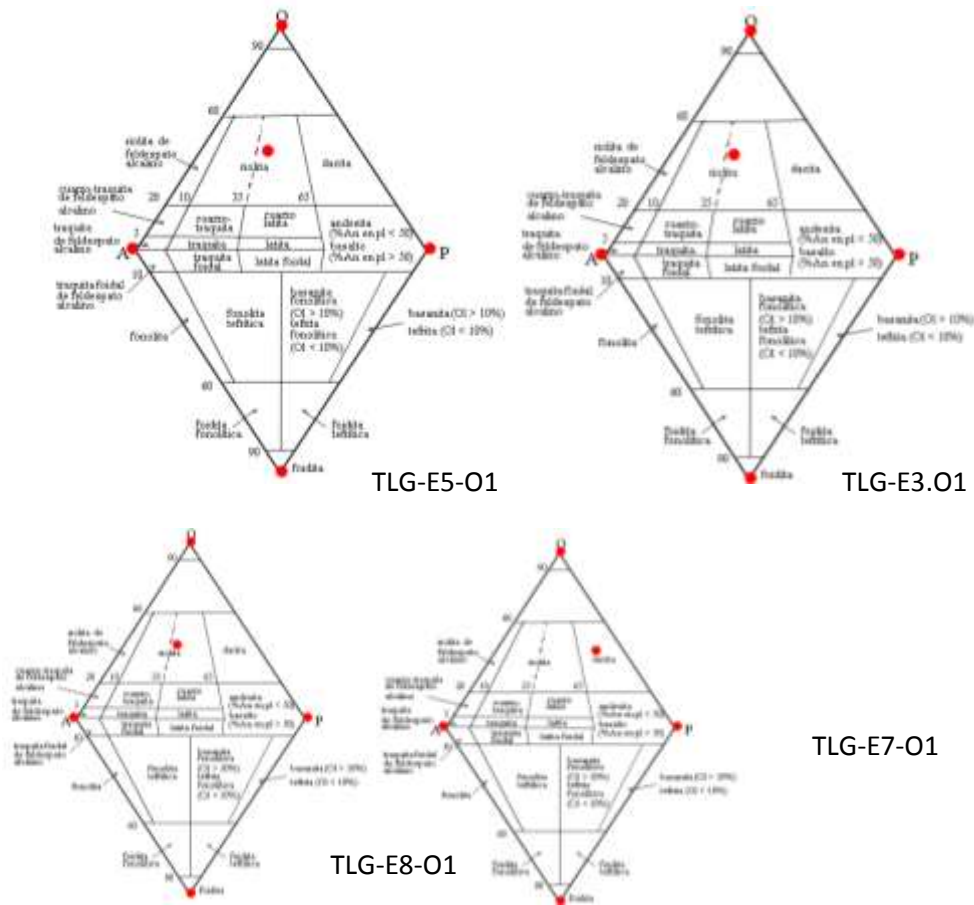


Figura 33. Clasificación en el Diagrama de Streckeisen (1979), recomendado por IUGS (1989).

MUESTRA	NOMBRE
TLG-E3-O1	Riolita
TLG-E5-O1	Riolita
TLG-E8-O1	Riolita
TLG-E7-O1	Dacita

Tabla 10. Clasificación modal de las rocas porfíricas estudiadas en los capítulos anteriores.

9. DATOS GEOQUIMICOS DE ROCA TOTAL

A continuación se presenta el resultado geoquímico para el cual se seleccionaron siete muestras (Cuatro rocas porfíricas TLG-E3-O1, TLG-E5-O1, TLG-E7-O1, TLG-E8-O1 y tres muestras graníticas TLG-E1-O1, TLG-E2-O1, TLG-E8-O2), algunas de las cuales presentan alteración hidrotermal. Los análisis se realizaron en el laboratorio de ALS Group, ubicado en Funza, Cundinamarca, utilizando fluorescencia de rayos X (FRX) para la determinación de los elementos mayores y espectrometría de masa en plasma inductivamente acoplado (ICP-MS) para los elementos traza y tierras raras.

9.1 Análisis geoquímico de elementos mayores.

El análisis de clasificación para las rocas se elabora teniendo en cuenta el diagrama de clasificación química basados en la concentración absoluta de sílice, saturación de alúmina, saturación de sílice y en el contenido total de álcalis versus el contenido total de sílice (Clasificación TAS), discriminación de la series y composición normativa. Se tiene en cuenta los diagramas de dispersión de Harker (1989) elaborados por Llambias y Rapela (1989)., para lo cual se tiene en cuenta componentes químicos como CaO, Na₂O, K₂O, FeO, MgO, TiO₂, Al₂O₃, P₂O₅ respecto a SiO₂. Los resultados de los análisis de óxidos se encuentran dados en porcentaje en peso; también se utiliza el diagrama AFM con el cual se cuenta como ayuda para establecer la serie magmática a la cual pertenecen las rocas analizadas.

A continuación se presenta un resumen de los datos obtenidos de fluorescencia de rayos x (Tabla 11), teniendo en cuenta que los estados de oxidación en rocas y minerales por algunos métodos no se pueden distinguir, se suele expresar Fe total como Fe₂O₃.

	Al2O3	BaO	CaO	Cr2O3	Fe2O3	K2O	MgO	MnO	Na2O	P2O5	SiO2	SrO	TiO2	LOI
Muestras	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
TLG-E1-01	13,5	0,016	0,03	0,005	10,8	4,16	0,79	0,013	0,008	0,032	66,9	<0.001	0,8	3,67
TLG-E2-01	10,6	0,058	0,03	0,002	11,85	5,79	0,24	0,057	0,164	0,211	68,1	0,016	0,14	3,2
TLG-E3-01	14,9	0,14	0,04	0,005	2,39	8,04	0,42	0,008	0,305	0,05	72,5	0,034	0,37	1,65
TLG-E5-01	16,7	0,188	0,83	0,004	2,16	3,69	0,21	0,427	3,53	0,107	71	0,083	0,2	1,75
TLG-E7-01	18,3	0,157	0,04	0,002	4,83	7,11	0,51	0,005	0,108	0,134	64,9	0,054	0,56	3,87
TLG-E8-01	19,25	0,184	0,14	0,005	1,18	4,82	0,27	0,004	1,305	0,041	68,9	0,036	0,29	3,98
TLG-E8-02	14,65	0,11	0,5	0,005	2,99	4,47	0,14	0,004	3,79	0,038	69,5	0,044	0,35	2,46

Tabla 11. Datos obtenidos del análisis de fluorescencia de rayos x.

Para continuar con la clasificación geoquímica, fue necesario calcular el índice químico de meteorización (CIW); el cual permitió tener una relación de la pérdida de componentes móviles respecto a los inmóviles, por lo que se tiene en cuenta los elementos durante la meteorización, cuales son lixiviados y cuales se acumulan en los residuos. Para lo cual se sigue la ecuación propuesta por Harnois (1988)., ecuación 2, posteriormente es relacionada para cada muestra a la cual se realizaron análisis geoquímicos (Tabla 12):

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

	TLG-E1-O1	TLG-E2-O1	TLG-E3-O1	TLG-E5-O1	TLG-E7-O1	TLG-E8-O1	TLG-E8-O2
			Riolita	Riolita	Dacita	Riolita	
CIW	99.72	98.20	97.74	79.29	99.19	93.01	77.34

Tabla 12. Índice químico de meteorización para cada muestra analizada. Con los datos obtenidos del cálculo del índice de meteorización, se concluye que las rocas con mayores valores son las muestras: TLG-E1-O1 y TLG-E7-O1, lo que corrobora que estas muestras son las que mayor proceso de alteración han sufrido.

9.1.1 Concentración de Sílice (%en peso):

El SiO₂ constituye el óxido principal de las rocas magmáticas y sirve de base para su clasificación (Mantilla, 2003). Por lo general, se aceptan los

siguientes contenidos de SiO₂ para dividir los tipos de rocas así (Tabla 13):

Concentración de Sílice % en peso	Nombre
>60	Acida
52-60	Intermedia
45-52	Básica
45% o Menos	Ultra básica

Tabla 13. Concentración de Sílice para los diferentes tipos de rocas. De acuerdo con la anterior se clasifican las muestras estudiadas de la siguiente forma (Tabla 14):

	TLG-E1-01	TLG-E2-01	TLG-E3-01	TLG-E5-01	TLG-E7-01	TLG-E8-01	TLG-E8-02
			Riolita	Riolita	Dacita	Riolita	
Clasificación	Acida	Acida	Acida	Acida	Acida	Acida	Acida

Tabla 14. Clasificación de las muestras teniendo en cuenta su concentración de sílice.

9.1.2 Saturación de Alúmina

El índice de saturación de alúmina se define como la relación molecular $Al_2O_3/(K_2O+Na_2O+CaO)$, la cual es igual a uno (1) en feldespatos y feldespatoides. En magmas donde cristalizan feldespato y/o feldespatoides cualquier exceso de Al_2O_3 (>1) o deficiencia (<1), respectivamente, debe ser acomodado en minerales accesorios o maficos (Mantilla, 2003).

Índice de Saturación	Nombre	TG-	TLG-	TG-	TLG-	TLG-	TLG-	TLG-
		E1- O1	E2- O1	E3- O1	E5- O1	E7- O1	E8- O1	E8- O2
$Al_2O_3 > K_2O + Na_2O + CaO$	Peralumínicas	X	X	X	X	X	X	X
$Al_2O_3 < K_2O + Na_2O + CaO$	Metalumínicas							
$Al_2O_3 < K_2O + Na_2O$	Peralcalinas							

Tabla 15. Clasificación de las rocas de acuerdo al índice de saturación de alúmina.

Según la relación entre $Al_2O_3 > K_2O + Na_2O + CaO$, se deduce que las rocas presentes en los análisis geoquímicos se clasifican en peralumínicas; aunque estas rocas se caracterizan por la ausencia de piroxenos y anfíbolessódicos en el análisis modal.

9.1.3 Composición Normativa CIPW

Es un cálculo realizado a partir del análisis químico, siguiendo reglas fijas. Con él se obtienen ciertos minerales patrones, que no son necesariamente los de las rocas. Este método fue denominado así por sus creadores Cross, Iddings, Pirsson y Washington.

Consiste en construir a partir de los resultados del análisis químico cuantitativo de una roca dada, una norma que reposa en la constitución de ciertos minerales patrones obteniéndose lo que se denomina composición virtual.

Para realizar este análisis se utilizó el programa propuesto por Ronald, C., Schott (2001); los datos son registrados en la tabla 16:

Minerales Normativos	TLG-E1-01	TLG-E2-01	TLG-E3-03	TLG-E5-01	TLG-E7-01	TLG-E8-01	TLG-E8-02
	Granitoide rico en Qz	Granitoide rico en Qz	Riolita	Riolita	Dacita	Riolita	Sienogranito Silicificado
CUARZO	50.92	46.38	39.64	35.17	37.82	43.82	30.12
ORTOCLASA	25.33	35.14	47.83	22.15	43.43	29.52	27.27
PLAGIOCLASA	0.1	0.16	2.47	33.63	0.25	11.89	35.42
DIOPSIDO	---	---	---	---	---	---	---
HIPERSTENA	2.03	0.61	1.05	0.53	1.31	0.70	0.36
OLIVINO	---	---	---	---	---	---	---
MAGNETITA	---	1.36	---	---	---	0.08	0.36
ILMENITA	0.88	0.27	0.70	0.01	0.58	0.57	0.69
APATITO	0.08	0.50	0.12	0.32	0.32	0.10	0.09
NEPHELINA	---	---	---	---	---	---	---
LEUCITA	---	---	---	---	---	---	---
OTROS	20.77	15.56	8.19	8.19	16.30	13.33	5.68
TOTAL	100.0	100.0	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Tabla 16. Datos de la composición normativa.

9.1.4 Clasificación TAS

Los diagramas TAS son los más usados para fines de clasificación de rocas ígneas. Los datos químicos necesarios para la clasificación de la roca son tomados directamente del análisis que entrega el laboratorio en

sus mismas unidades de medida (% en peso). Se encuentran dos tipos de diagramas para rocas volcánicas (Figura 34) y para rocas plutónicas (Figura 35). Ahora, teniendo en cuenta la clasificación de las rocas se elabora un resumen para cada una de las muestras presentando primero las rocas volcánicas; TLG-E3-O1 posee 8.345% vs 72.5%, TLG-E5-O1 posee 7.26% vs 71%, TLG-E7-O1 posee 7.218% vs 64.9%, TLG-E8-O1 posee 6.125% vs 68.9%, los porcentajes corresponden a $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})\%$ vs $\text{SiO}_2\%$.

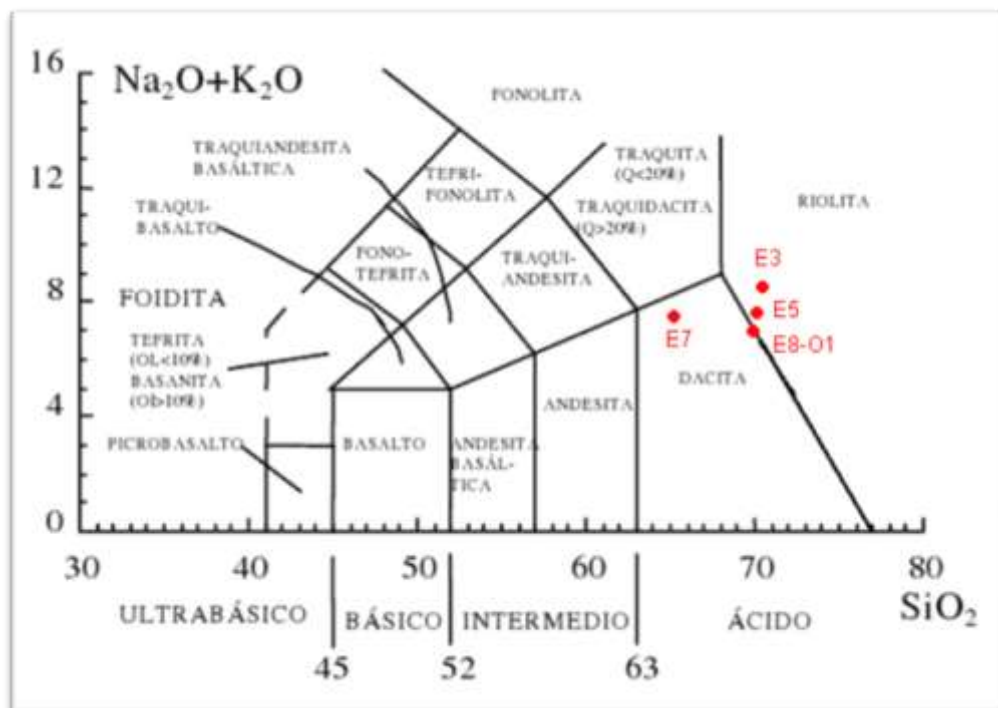


Figura 34. Clasificación química de rocas volcánicas.

Se la misma forma se presenta el análisis para las rocas plutónicas; TLG-E1-O1 posee 4.168% vs 66.9%, esta muestra presenta una variación en la composición comparándolo con la clasificación petrográfica hacia el rango de la granodiorita; TLG-E2-O1 posee 5.847% vs 68.1%, TLG-E8-O2 posee 8.26% vs 69.5%, los porcentajes corresponden a $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})\%$ vs $\text{SiO}_2\%$.

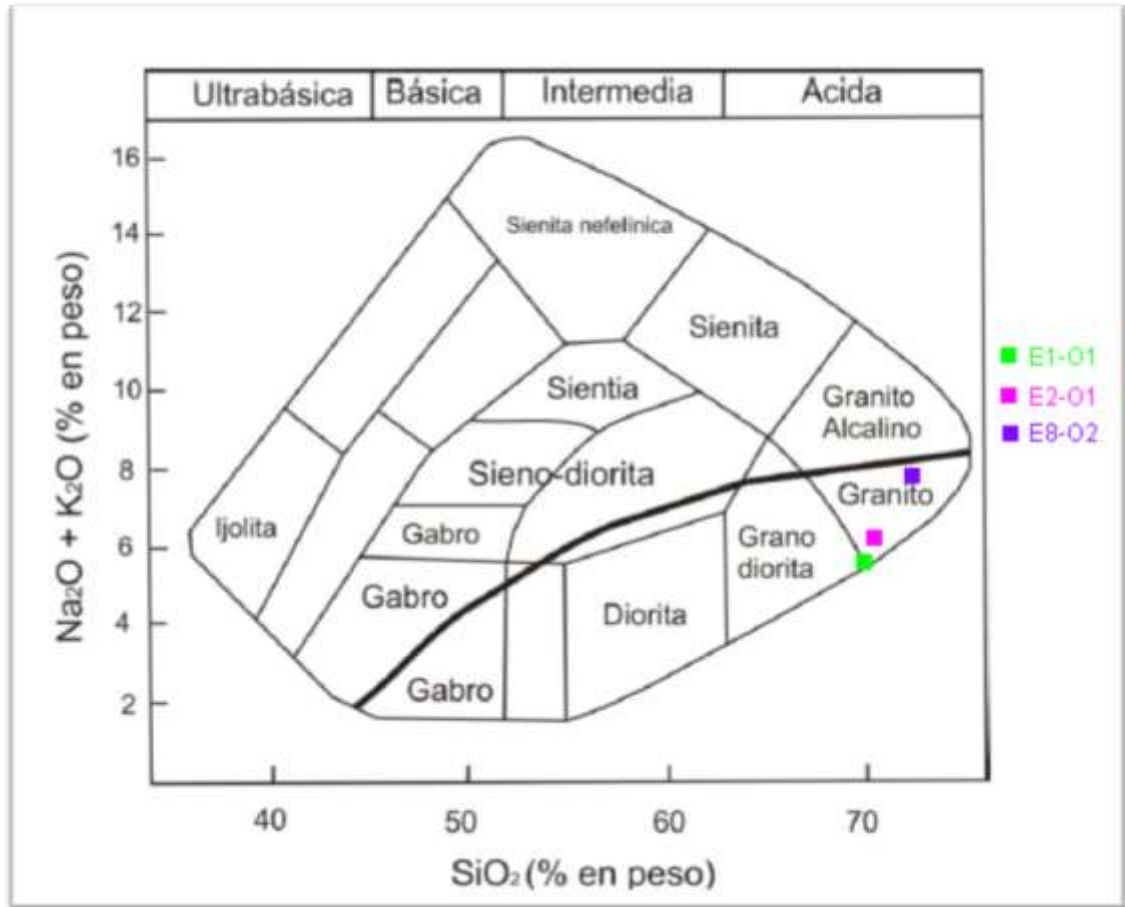


Figura 35. Clasificación química de rocas plutónicas.

Después de este análisis se observa que de los datos obtenidos tanto de la petrografía realizada, como de DRX y de geoquímica, las rocas muestran una variación mínima respecto a la clasificación asignada en los capítulos anteriores, por lo que corrobora las fases minerales presentes en cada una de las muestras.

9.1.5 Serie magmática

Para conocer qué serie pertenece una roca ígnea, se debe utilizar la composición en % en peso tanto del SiO_2 como de los álcalis $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$. Estos valores se proyectan en la Figura 70. Se toma un segundo criterio basado en el diagrama AFM, el cual establece una subdivisión entre las rocas toleíticas o subalcalinas (Figura 36). Como en este las rocas se proyectan en el campo de

las serie subalcalina, este se discrimina mejor usando los valores de la composición del SiO_2 y del K_2O (en % en peso) en cuyo caso se usó la figura 37.

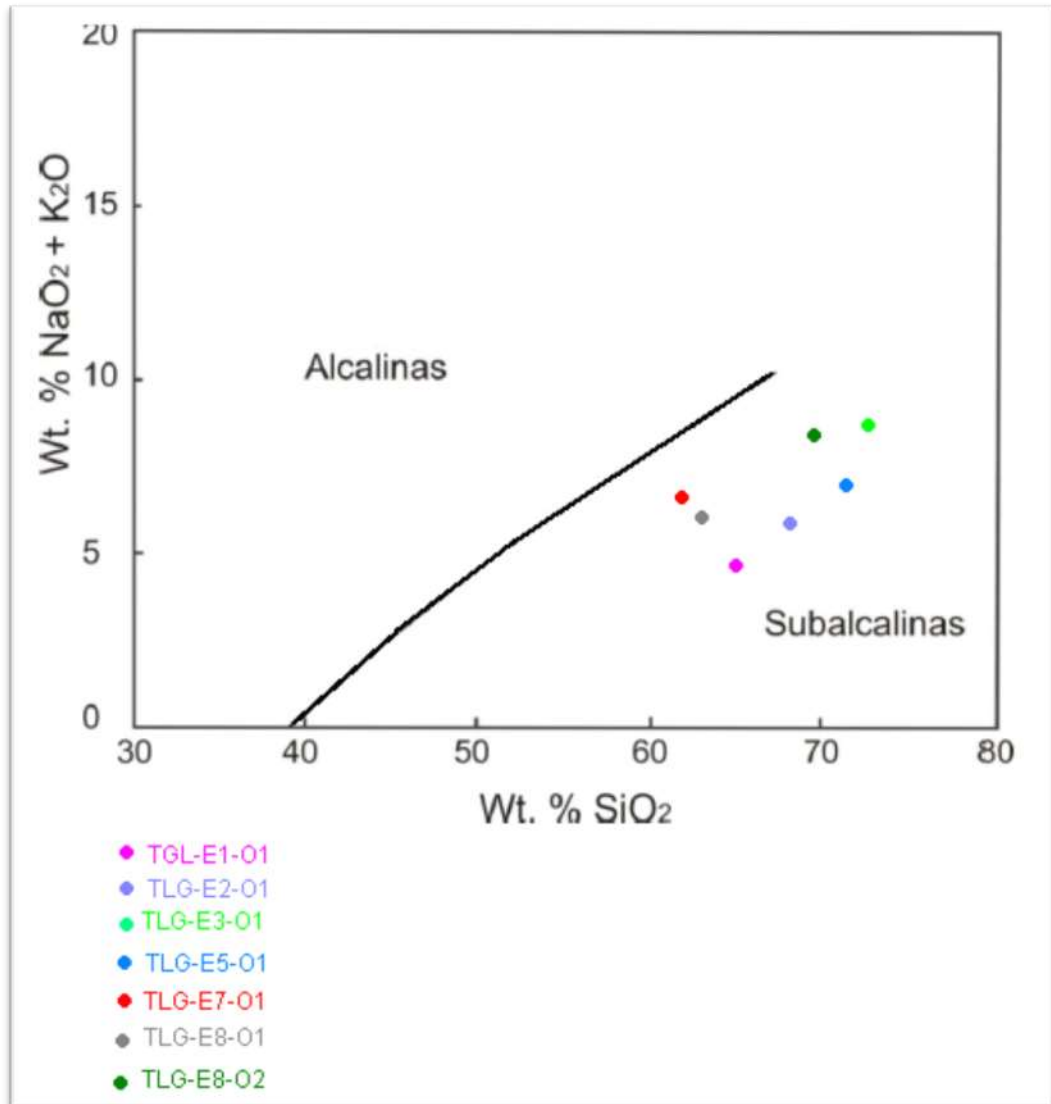


Figura 36 Diagrama álcalis vs sílice. Línea de división series alcalina/subalcalina. Tomado de Irvine y Bargar (1971).

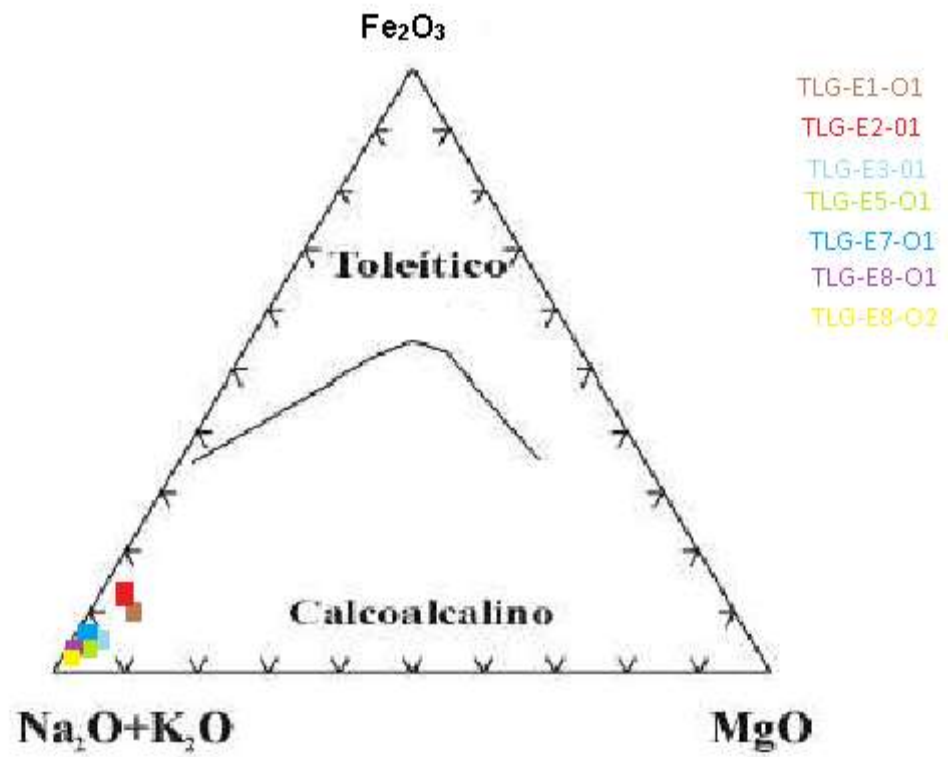


Figura 37. Diagrama de distinción entre serie toleítica y calcoalcalina, para las riolitas, dacitas y granitos.

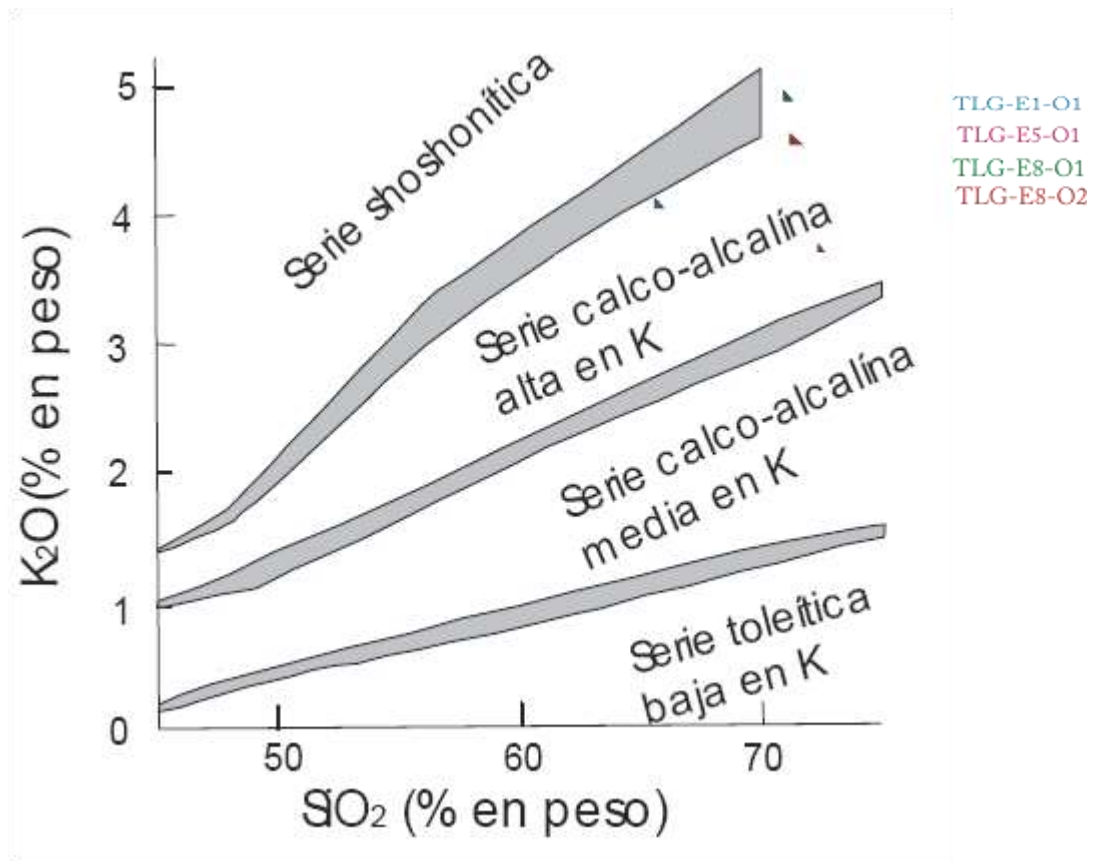


Figura 38. Subdivisión de rocas subalcalinas, usando el diagrama de proyección K_2O vs SiO_2 , las bandas grises hacen referencia a los límites entre las series. Tomado de Irvine y Baragar (1971), modificado de Rollinson (1993).

De acuerdo con la última figura (Figura 38), las rocas porfiríticas que hacen referencia las riolitas y dacita; y las rocas graníticas (nombradas así en anteriores capítulos), se ubican en la serie calco-alcalina alta en potasio. Por lo cual la clasificación indica un ambiente de Magmas Calcoalcalinos que ocurren en zonas de subducción, entre la corteza y el margen continental. En el caso de arcos continentales las rocas tienden a una composición más silíceas, dacitas, riolitas y sus equivalentes intrusivos.

En las zonas de subducción tienen lugar también procesos magmáticos, pero su naturaleza es distinta a la que se produce en las dorsales. El vulcanismo en arcos islas y en cordilleras de tipo periocéánicas da lugar generalmente a rocas

de tipo andesítico, y en menor proporción a riolitas. Bajo la superficie se producen intrusiones de rocas graníticas. Es decir, los magmas que originan estas rocas son de composición félsica o intermedia, con mayor proporción en Si, Al, Na y K que los basaltos y gabros propios de las zonas de dorsales y contenidos menores de Ca, Mg y Fe.

A medida que la placa oceánica subduce, el agua que contienen los sedimentos, y en menor medida los basaltos, es expulsada y asciende hasta la zona del manto superior, entre la placa que subduce y la placa continental que se desplaza. El aumento en el contenido de agua produce una disminución de la temperatura de fusión de los materiales del manto y da lugar a la formación de magmas de composición andesítica a basáltica (dependiendo del grado de fusión). Durante el ascenso de estos magmas se producen procesos de asimilación, e incluso de fusión, de las rocas de la placa continental (de composición félsica) que pueden modificar la composición.

9.2 Diagrama de Variación

En este diagrama se puede ver una representación gráfica del comportamiento de óxidos presentes en la muestra respecto al sílice (SiO_2), el cual permite observar la conducta del magma durante su emplazamiento (Figura 39).

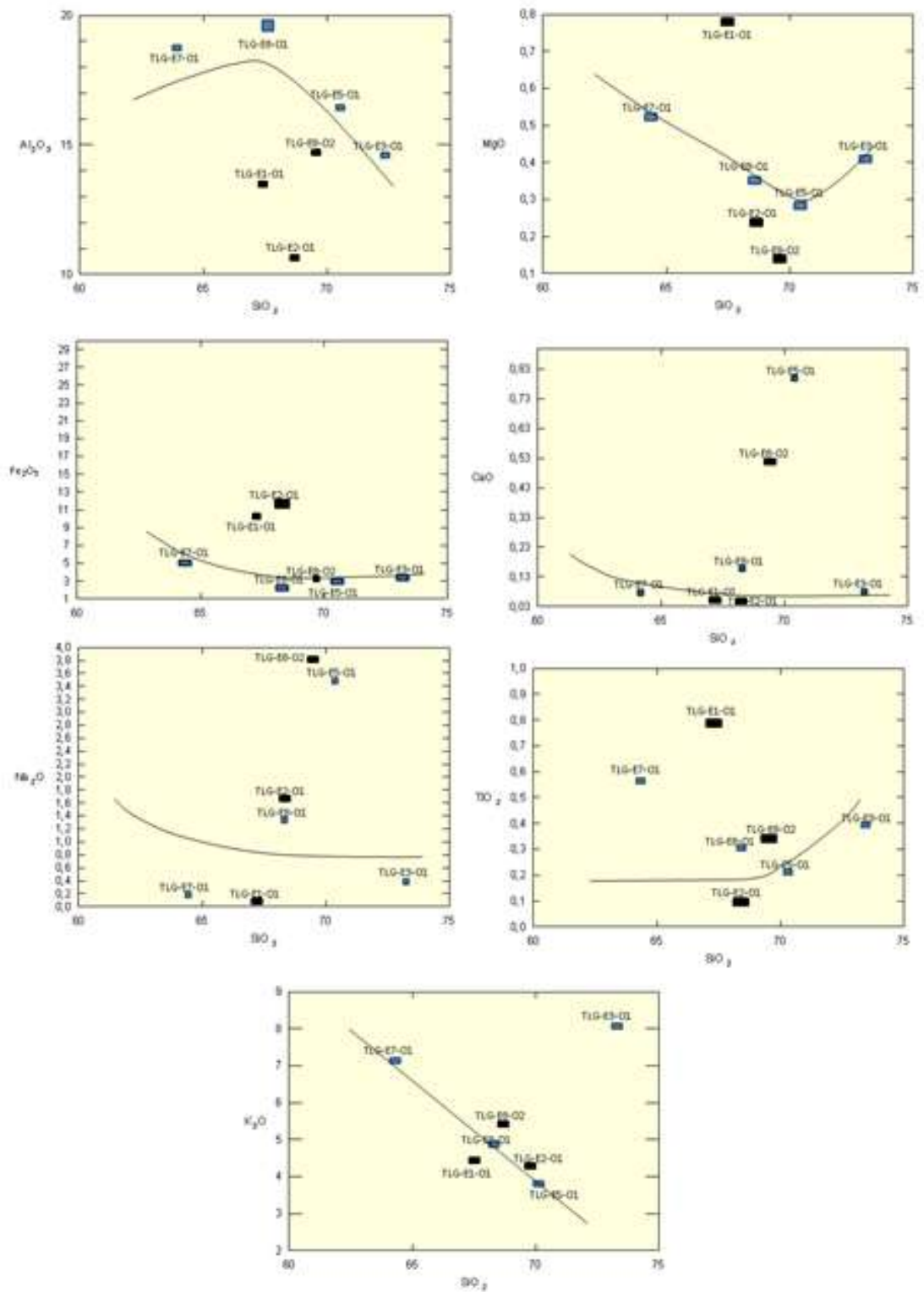


Figura 39. Diagramas de variación de Harker; Óxidos vs Sílice para las rocas graníticas, dacita y riolitas.

En el diagrama CaO vs SiO₂, se observa una distribución baja en los contenidos de CaO para los granitos correspondientes a las muestras TLG-E1-O1, TLG-E2-O2 (0.03% para ambas); la dacita (0.04%) y para las riolitas TLG-E3-O1 y TLG-E8-O1 (0.04 y 0.14 %), (Ver figura 76). El diagrama presenta una mínima variación en la pendiente ya que su contenido en la muestra se presenta relativamente igual, por lo que puede deberse a que su contenido de minerales máficos es nulo, y presenta muy poco contenido de plagioclasas cálcicas. Lo contrario se observa con la muestra de granito TLG-E8-O2 (0.5%) la cual se presenta alterada con presencia de biotita; la muestra de riolita TLG-E5-O1 (0.83%) presenta gran contenido de plagioclasa cálcica la cual es reflejada en su análisis químico.

El diagrama MgO vs SiO₂ muestra una tendencia negativa que es marcada con el aumento del contenido de sílice, se nota una inflexión la cual puede ser tomada para indicar una nueva fase durante la cristalización fraccionada denotada por la acumulación de los fenocristales. El mayor porcentaje de este óxido se manifiesta en la presencia de biotita y clorita como mineral de alteración para las rocas ácidas; en el caso del granito correspondiente a la muestra TLG-E2-O1 presenta un porcentaje mayor para MgO y medio para SiO₂, lo contrario que sucede con la muestra TLG-E8-O2 para la cual su contenido de biotita es casi nulo.

En el diagrama de Fe₂O₃ vs SiO₂ se observa una tendencia casi constante permitiendo ver que el contenido de hierro en la roca es muy bajo, por lo cual se corrobora con la anterior ya que las muestras no presentan minerales máficos, por lo tanto se puede considerar que ha sido afectada por cristalización fraccionada en la cual han sido eliminados dichos minerales.

En el diagrama de Na₂O vs SiO₂ se observa bajos contenidos de Na₂O valores entre los 0.008-0.305%, los cuales se pueden entender por el grado de alteración presente en los minerales de albita y feldespato potásico, se tiene una variación en la muestra de riolita con un porcentaje de 3.57%, y para el granito un porcentaje de 3,79% las cuales se correlacionaron con los datos de análisis anteriormente descritos y para los cuales se muestra un significativo

aumento en las porcentajes fenocristales de plagioclasas presentes en la muestra.

El diagrama de K_2O vs SiO_2 presenta algunas variaciones referente al anterior, ya que se presenta con pendiente negativa, por lo que se puede relacionar con la presencia de minerales de albita y feldespato potásico, del mismo modo que con el grado de alteración que se presenta en las rocas. Por lo cual se explica con la muestra de dacita (TLG-E7-O1), la cual por su bajo contenido de SiO_2 y su alto grado de alteración muestra un gran incremento en el porcentaje de K_2O .

El diagrama de TiO_2 vs SiO_2 muestra una tendencia positiva la cual tiende a aumentar tanto en TiO_2 como en SiO_2 , y otra tendencia en la cual se muestra una roca granítica y la dacita con bajo contenido de SiO_2 y un muy alto contenido de TiO_2 ; este incremento se puede ver representado por el contenido de rutilo en la roca la cual ha sido manifestada en los cálculos normalizados.

En el diagrama de Al_2O_3 vs SiO_2 se observan dos tendencias de las cuales una se encuentra formada por rocas graníticas y la otra conformadas de riolitas y dacita, las cuales generan una tendencia negativa que se ve representada por el grado de alteración presente en las plagioclasas; en la roca graníticas se observa una gran disminución en el contenido de Al_2O_3 , que se ve representado por el empobrecimiento de minerales máficos.

A modo de resumen, los diagramas de variación representan procesos de diferenciación magmática y cristalización fraccionada, importantes en la generación de magmas graníticos que pueden haber desplazado la composición química de un fundido máfico hacia composiciones félsicas. Los cristales que se formaron durante la cristalización de los magmas pudieron separarse, debido a que estos difieren en composición respecto al fundido a partir del cual precipitaron generando varias composiciones durante su cristalización. Por lo que se podría pensar teniendo como relación lo anteriormente mencionado y la tendencia de los anteriores diagramas que estas rocas no son cogenéticas.

9.3 ANALISIS GEOQUIMICO DE ELEMENTOS TRAZA

Los diagramas se basan en un agrupamiento de elementos traza, que son usados como diagramas normalizados, de los cuales se obtienen información útil para el análisis del comportamiento durante su evolución. A continuación se presentan los resultados obtenidos de los análisis geoquímicos para los diferentes elementos traza (Tabla 17).

TRAZA	TLG E1- O1	TLG E2- O1	TLG E3- O1	TLG E5- O1	TLG E7- O1	TLG E8- O1	TLG E8- O2
Ag	0.26	0.13	0.39	0.05	0.15	0.38	0.16
Al%	0.48	0.5	0.35	0.3	0.75	0.74	0.3
As	6.8	10.5	9.9	2.3	10.6	3.4	0.9
Au	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.3	<0.2	<0.2
B	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ba	10	130	30	450	170	170	30
Be	0.2	0.58	0.35	0.58	0.61	0.35	0.12
Bi	2.53	0.56	1.74	0.01	4.66	0.15	0.55
Ca%	0.01	0.01	0.01	0.13	0.02	0.01	0.02
Cd	0.01	0.28	0.01	0.68	0.03	0.01	<0.01
Ce	36.9	29.1	9.23	38	41.2	35.7	33.1
Co	0.1	2	0.1	3.9	0.4	0.3	4.5
Cr	3	4	2	2	<1	1	4
Cs	<0.05	0.08	0.18	0.44	0.16	0.69	1.01
Cu	387	661	43,9	42,2	150	39,6	100,5
Fe%	7.38	8.19	1,55	1,19	3,11	0,45	2,05
Ga	4,01	1,01	1,62	1,76	4,53	2,02	1,85
Ge	0,14	0,14	<0.05	0.05	0.08	<0.05	0.08
Hf	<0.02	<0.02	<0.02	0.02	0.02	<0.02	<0.02
Hg	0.03	0,02	0,01	<0,01	0,02	0,01	<0,01
In	0,077	0,249	0,046	0,006	0,127	0,108	0,071
K%	0,21	0,12	0,15	0,17	0,16	0,15	0,1
La	18,9	14,5	4,5	17,1	24,3	18,6	15
Li	0,3	0,5	0,2	0,6	0,4	0,3	0,3
Mg%	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Mn	26	414	26	3110	19	19	25
Mo	8,93	108	6,75	1,7	4,39	2,95	6,89
Na%	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,04
Nb	0,12	0,18	0,17	0,09	0,17	<0,05	0,07
Ni	0,4	1,5	0,5	1,7	0,3	0,5	2,9

P	50	790	170	420	510	90	130
Pb	18,9	68,4	15,5	8,7	27	5,1	1,6
Rb	7,1	6,3	8,3	9,3	9,2	8,2	7,8
Re	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,009
S	0,05	0,07	0,01	<0,01	0,02	0,05	1,87
Sb	0,11	0,18	0,12	<0,05	0,18	<0,05	<0,05
Sc	0,9	2,8	0,6	1	1,2	1,8	2,8
Se	9,8	1,1	0,2	<0,2	0,9	<0,2	2,1
Sn	3,7	0,2	<0,2	<0,2	0,2	<0,2	0,8
Sr	2,5	9,3	6,6	33,2	327	48,3	12,2
Ta	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Te	0,98	1,12	0,96	<0,01	3,55	0,1	0,32
Th	4,2	10,4	2,9	6,4	19	8,5	8,2
Ti%	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Tl	0,05	0,06	0,07	0,08	0,07	0,07	0,05
U	0,64	2,46	0,32	0,7	1,65	0,33	0,91
V	19	23	4	8	5	3	9
W	0,86	0,29	0,21	<0,5	<0,5	0,13	0,08
Y	1,2	2,14	1,25	12,85	5,63	2,31	4,94
Zn	3	127	3	253	6	4	5
Zr	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	<0,5

Tabla 17. Resultados obtenidos de análisis químico.

A continuación se presenta una tabla en la cual se muestran los valores estándar usados para normalizar los datos presentados en los gráficos tipo spider que se utilizaron en la normalización del manto primitivo (columna 4), MORB (columna 10) y condrito (columna 6), Tabla 18.

Table 4.7 Normalizing values (in ppm) used in the calculation of 'spider diagrams' and listed in their plotting order

(Ref.)	Primitive mantle					Chondrite					MORB normalization					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)					
Ce	0.019	0.017		0.023	0.018			Ce	0.012	0.138						
Rb	0.860	0.660	0.810	0.635	0.350	Ba	6.900	Rb	1.880	Pb	0.120	2.470	Sr	120	Rb	1.00
Ba	7.560		6.900	6.990	5.100	Rb	0.350	K	850	Rb	0.350	2.320	K ₂ O (%)	0.15	Ba	12.00
Th	0.096		0.094	0.084	0.064	Th	0.042	Th	0.040	Ba	3.800	2.410	Rb	2.00	K ₂ O (%)	0.15
U	0.027		0.028	0.021	0.018	K	120	Ta	0.022	Th	0.050	0.029	Ba	20.00	Th	0.20
K	252.0	230.0	260.0	240.0	180	Nb	0.250	Nb	0.560	U	0.013	0.008	Th	0.20	Ta	0.17
Ta	0.043		0.040	0.041	0.040	Ta	0.020	Ba	2.800	Ta	0.020	0.014	Ta	0.18	Sr	156
Nb	0.620		0.900	0.713	0.560	La	0.329	La	0.320	Nb	0.330	0.246	Nb	3.50	La	3.00
La	0.710		0.630	0.708	0.331	Ce	0.063	Ce	0.065	K	120	545	Ce	10.00	Ce	10.00
Ce	1.900			1.833	1.436	Sr	11.800	Sr	10.500	La	0.315	0.237	P ₂ O ₅ (%)	0.12	Nb	2.30
Sr	21.000		28.000	23.100	17.800	Nd	0.630	Hf	0.190	Ce	0.015	0.012	Zr	90.00	Nd	8.00
Nd	1.290			1.366	1.067	P	46.000	Zr	9.000	Sr	11.000	2.260	Hf	2.40	P ₂ O ₅ (%)	0.12
P	90.400	92.000				Sm	0.203	P	300	Nd	0.197	0.467	Sm	1.30	Hf	2.50
Hf	0.350		0.310	0.309	0.279	Zr	6.840	Ti	610	P	46.000	1220	TiO ₂ (%)	1.50	Zr	88.00
Zr	11.000		11.000	11.200	8.300	Hf	0.200	Sm	0.203	Sm	0.192	0.153	Y	30.00	Er	1.20
Sm	0.203		0.200	0.444	0.347	Ti	620	Y	2.000	Zr	5.600	1.870	Yb	3.40	TiO ₂ (%)	1.50
Ti	1200	1300	1300	1280	960	Tb	0.052	La	0.034	Ti	620	445	Sc	40.00	Th	0.71
Tb	0.099			0.108	0.087	Y	2.000	Sc	3.210	Y	2.000	1.170	Cr	250.0	Y	33.00
Y	4.870		4.600	4.330	1.400	Tm	0.034	Y	49.000				Yb	3.50		
Pb				0.071		Yb	0.220	Mo	1720				Ni	138		
								Fe	265000				Cr	290		
								Co	2300							
								Cu	470							
								Ni	9300							

(1) Wood *et al.* (1976); Ti from Wood *et al.* (1981).
 (2) Sun (1980); Ce 0.017-0.008.
 (3) Jagoutz *et al.* (1979).
 (4) McDonough *et al.* (1992).
 (5) Taylor and McLennan (1983).
 (6) Thompson (1982); alternative value for Ba=3.85 (Hawkesworth
et al., 1984); Rb,K,P from primitive mantle values of Sun (1980).
 (7) Wood *et al.* (1979a).
 (8) Sun (1982); chondrite and undepleted mantle data.
 (9) Sun and McDonough (1989); CI chondrite.
 (10) Pearce (1983); Sr and Ce from Pearce (1982).
 (11) Bevine *et al.* (1984).

Tabla 18. Valores normalizados (en ppm) usados en el cálculo de diagramas spider. Fuente Rollinson, 1993.

Seguido se presentan el diagrama tipo spider para elementos normalizados respecto al manto primitivo, el cual se tomó de Sun&McDonough (1989).

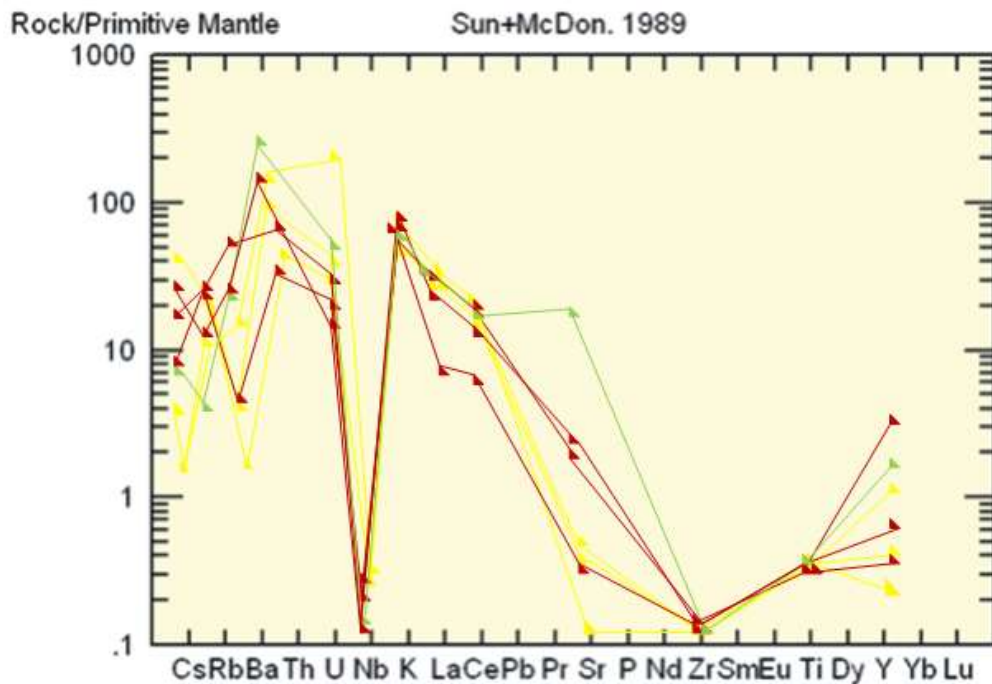


Figura 40. Elementos Trazas normalizados al manto primitivo. De color amarillo se presentan las rocas graníticas, color verde la dacita, color rojo las riolitas.

El grafico anterior (Figura 40) muestra el bajo contenido de Nb, el cual contrasta con la composición de algunos elementos móviles (Cs, Rb, K, Ba), lo que constata que estas concentraciones se encuentran controladas por la química del ambiente original, el cual forma parte de la geoquímica de ambientes de arco volcánico.

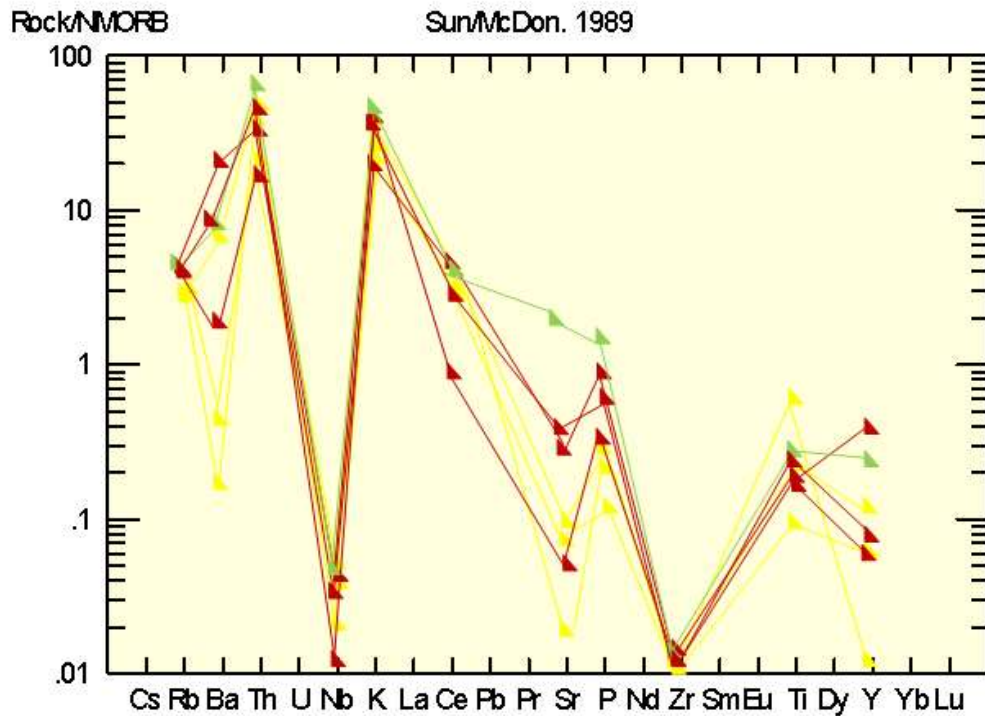


Figura 41. Elementos traza normalizados al N-MORB. De color amarillo se presentan las rocas graníticas, color verde la dacita, color rojo las riolitas

El anterior grafico (Figura 41), concluye que en este “diagrama araña propuesto por Pierce (1983) basado en los patrones de los elementos traza muestra un ambiente típico de subducción que se ve reflejado como anomalía negativa de Nb la cual caracteriza la corteza continental, seguido de un enriquecimiento en algunos elementos móviles (Sr, K, Rb y Ba) con alusión a Zr,Nb” (Rollinson, 1993); lo cual constata lo anteriormente expuesto.

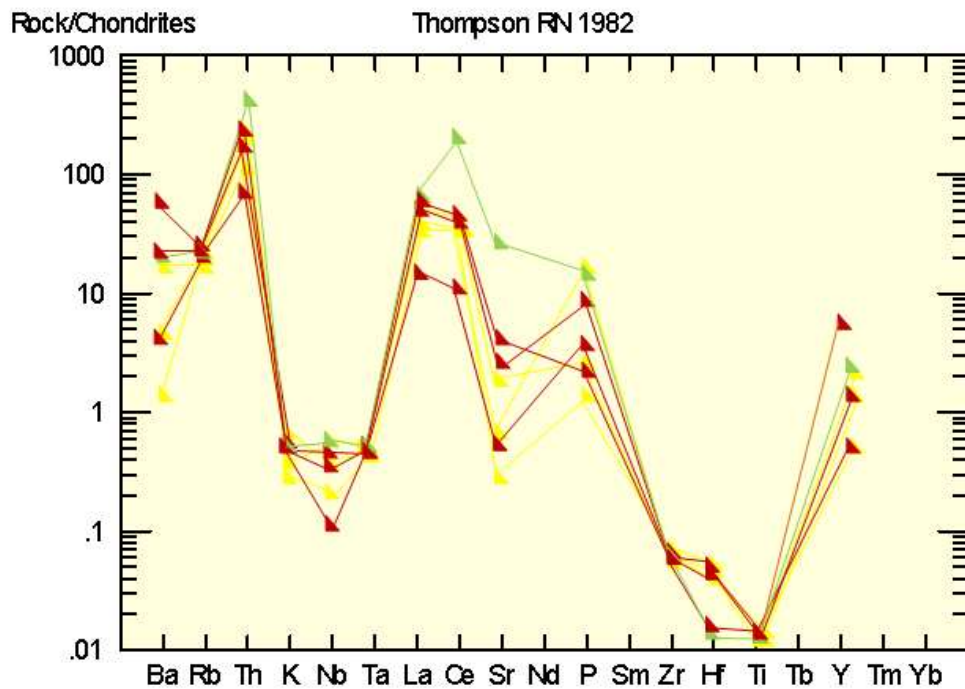


Figura 42. Elementos traza normalizados a condrito. De color amarillo se presentan las rocas graníticas, color verde la dacita, color rojo las riolitas.

En el anterior diagrama (Figura 42), muestra elementos enriquecidos de Ce y P propios de rocas calcoalcalinas, del mismo modo “el comportamiento de los elementos anteriores puede ser una manifestación de fluidos acuosos y posiblemente un indicador de contaminación de sedimentos desde la litosfera oceánica” (Rollinson, 1993).

Como una prueba más de subducción se muestra la clasificación de rocas graníticas en el diagrama Nb vs Y (Pearce et al., 1984), que permitió demostrar que las rocas graníticas del presente estudio se ubican en un ambiente tectónico de arco de volcánico; aunque en este diagrama no pueda ser distinguido el valcanic-arcgranites (VAG) y syn-collisionalgranites (syn-COLG). Por lo que es usado el diagrama Rb vs Y+Nb (Pearce et al., 1984), ya que estos elementos seleccionan mejor el ambiente tectónico (Figura 43).

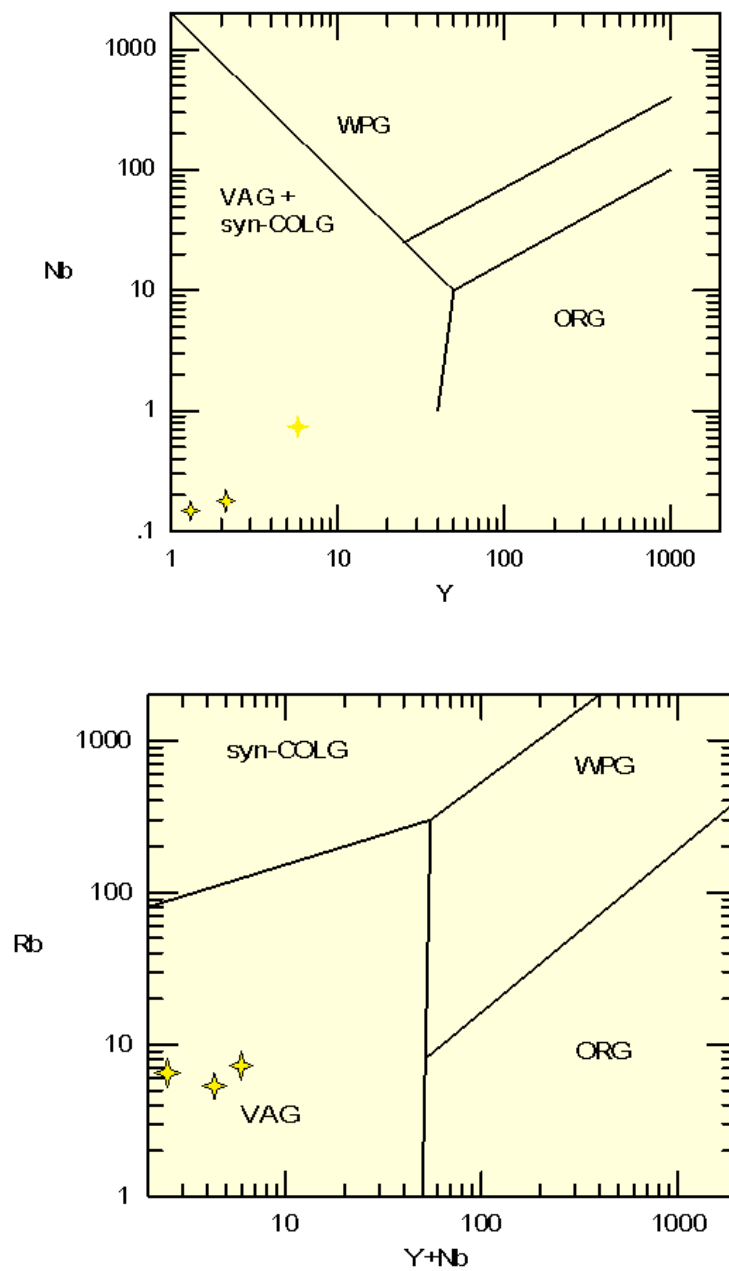


Figura 43. Diagramas Nb vs Y y Rb vs Y+Nb propuestos por Pearce et al., (1984). Usados para la descripción del ambiente tectónico a través de las muestras TLG-E1-O1, TLG-E2-O1 y TLG-E8-O2, que hacen referencia a las rocas graníticas.

10. ANALISIS DE MICROSONDA ELECTRONICA

10.1 Consideraciones Preliminares

En una primera aproximación, la microsonda electronica se puede considerar como un microscopio electronico de barrido que incluye unas unidades analizadoras adicionales, llamados espectrometros dispersivos en longitud de onda (WDS, wavelength-dispersive spectrometer; Figura 43). Los espectrometros WDS separan las radiaciones X caracterizadas por su longitud de onda. Para ello, se utilizan cristales analizadores para separar las radiaciones X por medio de la ley de Bragg, detectores de radiacion para medir los intensidades de rayos X emitidas por la muestra con las de patrones de composición conocida.

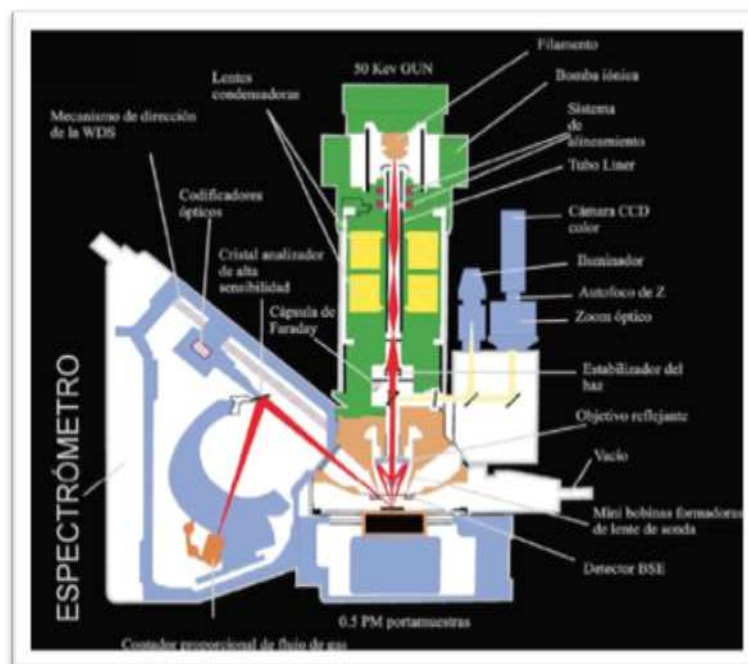


Figura 44. Diseño de equipo de microsonda electrónica. Tomado de Melgarejo *et al.* (2010).

La muestra que se va a analizar se prepara en lámina delgada, la cual debe estar muy bien pulida y extremadamente seca y limpia; esta lámina es previamente convertida en eléctricamente conductora, mediante un

recubrimiento fino de algún material conductor. El material conductor es mayoritariamente grafito, pero también puede ser aluminio u oro. La muestra eléctricamente conductora es introducida en la cámara mediante un portamuestras al vacío y se busca la zona que se quiere analizar con la ayuda del microscopio óptico y de las imágenes de electrones secundarios y retrodispersados. Las zonas en que se quiere obtener análisis cuantitativo deben estar adecuadamente marcadas, fotografiadas y analizadas cualitativamente.

De este modo, cuando tenemos localizado el punto donde queremos realizar el análisis, enfocamos el haz de electrones en el punto de interés y comienza el análisis propiamente dicho. A partir de este momento cada uno de los elementos que constituyen la sustancia que se encuentran en la superficie (hasta unas pocas micras de profundidad) responden emitiendo una familia de rayos X característica. Esto implica que, mientras dura el impacto electrónico, la muestra emite continuamente diversas radiaciones X en todas las direcciones, cada una de las cuales tienen longitud de onda característica de cada elemento.

En el análisis por microsonda electrónica, los electrones incidentes normalmente tienen una energía cinética de 15 y 35 KeV (un eV es la energía asociada con un cambio de 1 voltio en el potencial de un electrón), y penetra la muestra a una profundidad de orden de 1 μm , extendiéndose lateralmente a una distancia entre 1 y 2 μm .

Imágenes

La microsonda electrónica permite obtener gran variedad de imágenes (electrones secundarios, electrones retrodispersados, rayos X) las cuales son utilizadas con el fin de documentar visualmente las características de una muestra.

- **Imágenes de electrones secundarios (SEI):**

Son obtenidas por el detector de electrones secundarios y reflejan el relieve de la muestra. De esta manera la microsonda electrónica trabaja como un microscopio electrónico de barrido (SEM). Las imágenes SEM pueden ser obtenidas para aumentos hasta de 100.000x para especímenes cubiertos en oro, con una resolución de casi 10-20. Sin embargo, en los presentes estudios las láminas delgadas fueron cubiertas con grafito.

- **Imágenes de electrones retrodispersados (BSE):**

Se obtienen por medio del detector de electrones retrodispersados y reflejan la composición química del espécimen. El efecto de los electrones retrodispersados es más fuerte en elementos con masa atómica mayor, así los minerales “pesados” (menas, granate, espinela, etc) serán más brillantes las diferentes fases minerales y la no homogeneidad en el mineral (Castellanos y Rios, 2005).

- **Imágenes de rayos-X:**

Son producidas por las señales de salida de los espectrometros 1-5. Cuando los espectrómetros son calibrados para elementos particulares, la imagen reflejará la concentración de cada elementos en el área escaneada, facilitando así el mapeo de rayos-X del elementos de las fases minerales.

10.2 Resultados Obtenidos

En este apartado se presentan las características geoquímicas del análisis realizado a plagioclasas para la que se analizó la muestra MD22-1-B, que permitió determinar el tipo composicional y además, observar su variación química.

La interpretación de los datos químicos obtenidos por el análisis de microsonda electrónica, se llevó a cabo utilizando el programa MINPET 2.02.

10.2.1 Clasificación mineral de plagioclasas

En la lámina delgada utilizada para el respectivo análisis se elaboraron 20 pruebas, de las cuales solo se tomaron 4 para la respectiva clasificación (análisis 1, análisis 9, análisis 11, análisis 17). Los resultados de estos análisis se presentan en la Tabla 19.

Para la clasificación química de las plagioclasas se utilizó el diagrama ternario para óxidos K_2O , CaO y Na_2O en el diagrama de clasificación de feldespatos en el programa MINPET 2.02, en los cuales se puede observar que los datos químicos graficados caen entre la línea Ab-An clasificándolos químicamente a los feldespatos como oligoclasa (Figura 45, 46 y 47); y ortoclasa (Figura 48).

Otro método que puede indicar la existencia de algún otro tipo de feldespato es mediante la realización de los cálculos de la fórmula química de la Albita a partir de los datos en óxidos obtenidos por la microsonda electrónica, para tal fin se siguió la metodología propuesta por Spear (1995).

Así mismo, la metodología se resume en la Tabla 20; en la columna 1 se muestran los óxidos, la columna 2 referencia los porcentajes en peso obtenidos en la microsonda, la columna 3 presenta el peso molecular de los óxidos, obtenida por la suma de la masa o peso atómico obtenido a partir de una tabla periódica de cada elemento que compone el óxido. La columna 4 presenta la proporción molecular, que es la razón entre la columna 2 y 3; la columna 5 es el resultado de multiplicar el número de cationes por la columna 4; la columna 6

es el resultado de multiplicar la cantidad de oxigenos en la fórmula química por la columna 4, y la columna 7 es el resultado de multiplicar la columna 5 por el factor O. el factor O consiste en dividir el número de oxigenos en la formula quimica teorica (NaAlSi₃O₈) entre la suma total de los datos de la columna 6. De la ultima columna se extrae la proporcion en que cada cation se presenta en la formula quimica de la albita. Todas las formulas quimicas determinadas se presentan en la Tabla 21, 22 y 23.

MUESTRA MD22-1-B	OXIDOS (wt %)								TOTAL
	K ₂ O	CaO	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	BaO	Na ₂ O	SrO	
ANALISIS 1	0.074	3.807	0.037	63.413	23.151	0.012	8.355	0.677	99.526
ANALISIS 9	0.141	1.037	0.008	65.659	20.763	0.041	7.949	0.733	96.331
ANALISIS 11	0.129	1.986	0.034	65.830	21.678	0.000	9.095	0.663	99.415
ANALISIS 17	15.915	0.000	0.015	63.863	18.648	0.500	0.411	0.414	99.766

Tabla 19. Resultados obtenidos del análisis de microsonda electronica para los minerales de plagioclasa.

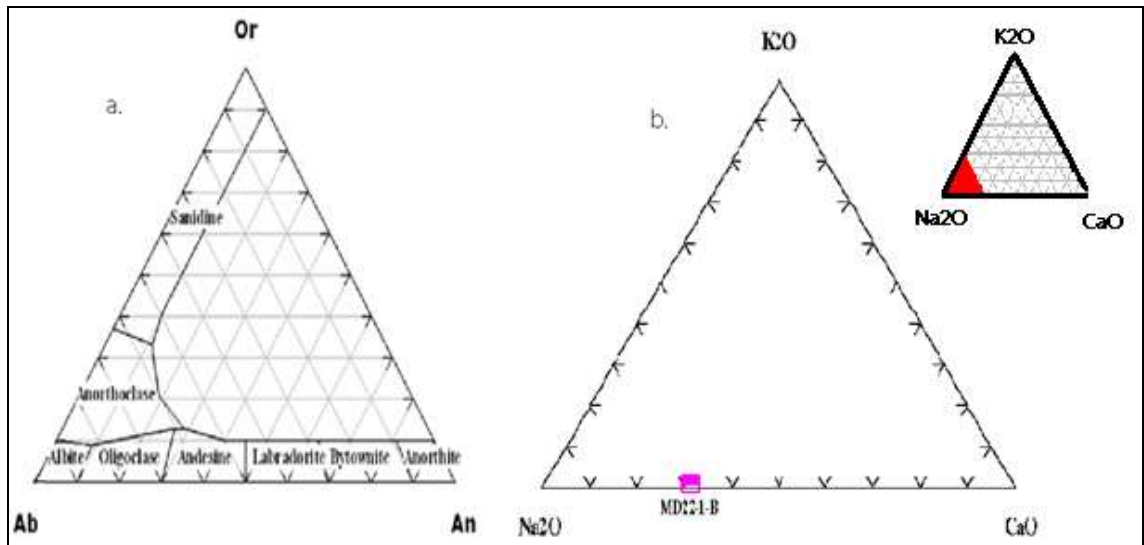


Figura 45. Clasificación de los feldspatos analizados en la lámina delgada No. MD22-1-B, correspondiente al análisis 1.

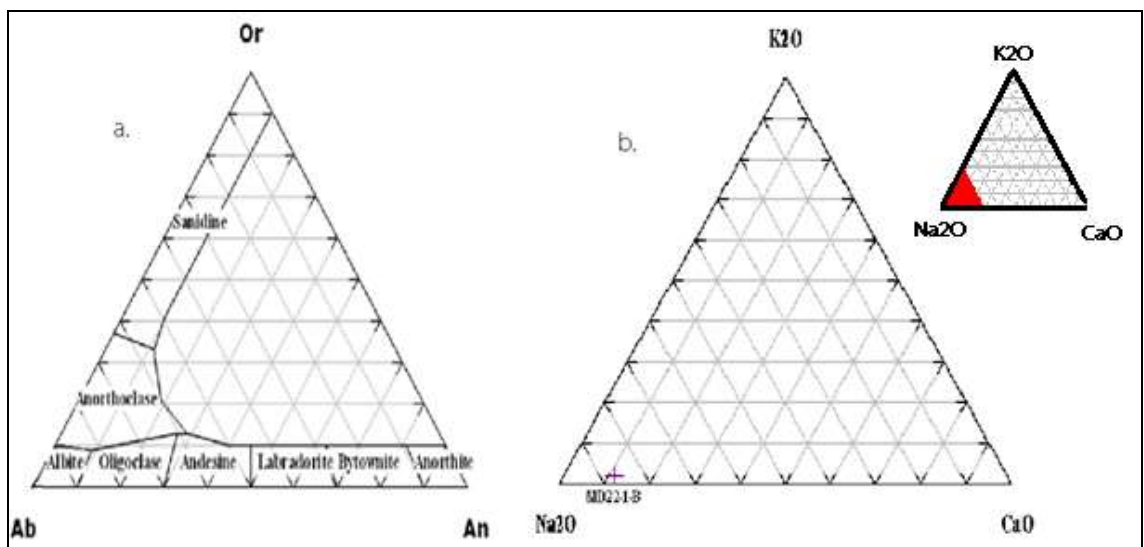


Figura 46. Clasificación de los feldspatos analizados en la lámina delgada No. MD22-1-B, correspondiente al análisis 9.

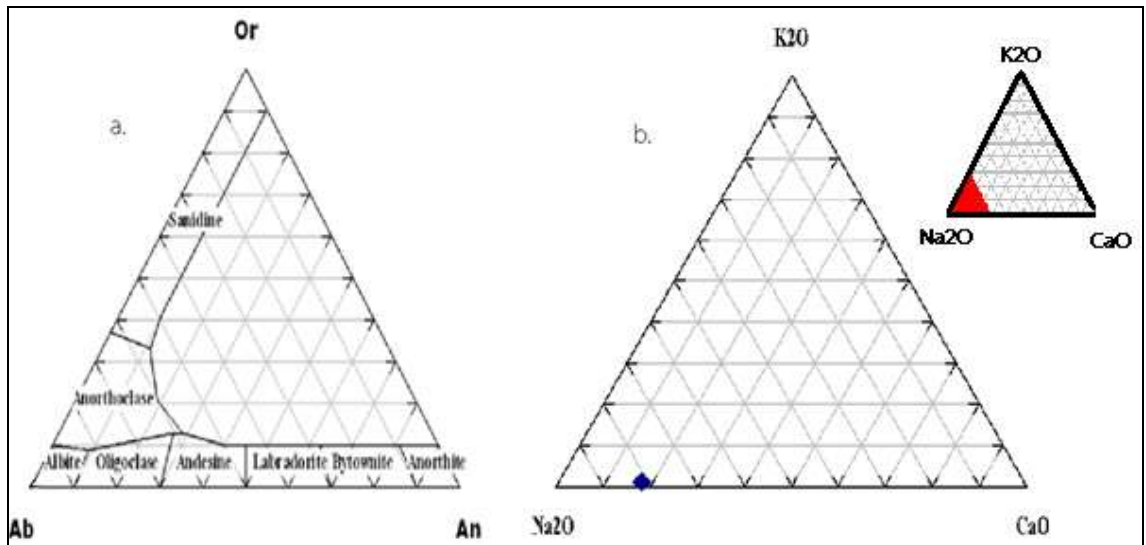


Figura 47. Clasificación de los feldespatos analizados en la lámina delgada No. MD22-1-B, correspondientes al análisis 11.

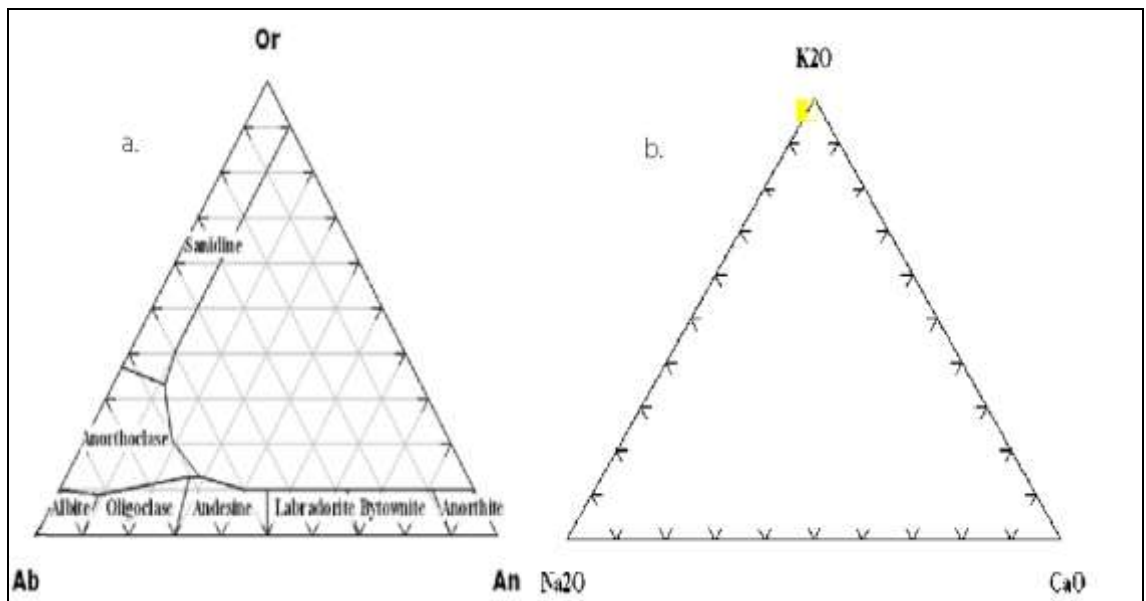


Figura 48. Clasificación de los feldespatos analizados en la lámina delgada No. MD22-1-B, correspondiente al análisis 17.

OXIDOS PRINCIPALES	Porcentaje Peso	Peso Molecular	Proporción Molecular	Proporción Catiónica	# de Oxígenos	# de Cationes 8
SiO ₂	63.413	60.080	1.055	1.055	2.11	2.8875
Al ₂ O ₃	23.151	101.960	0.226	0.452	0.678	1.2371
Na ₂ O	8.355	62.000	0.135	0.27	0.135	0.7890
TOTAL					2.923	
FACTOR O	2.737					

Tabla 20. Determinación de la fórmula química de las plagioclasas. Muestra MD22-1-B, para el análisis 1.

Fórmula química determinada: Na_{0.8}Al_{1.2}Si₃O₈

OXIDOS PRINCIPALES	Porcentaje Peso	Peso Molecular	Proporción Molecular	Proporción Catiónica	# de Oxígenos	# de Cationes 8
SiO ₂	65.659	60.080	1.093	1.093	2.186	2.9828
Al ₂ O ₃	20.763	101.960	0.204	0.408	0.618	1.11343
Na ₂ O	7.949	62.000	0.128	0.256	0.128	0.69862
TOTAL					2.932	
FACTOR O	2.729					

Tabla 21. Determinación de la fórmula química de las plagioclasas. Muestra MD22-1-B, para el análisis 9.

Fórmula química determinada: Na_{0.7}Al_{1.1}Si₃O₈

OXIDOS PRINCIPALES	Porcentaje Peso	Peso Molecular	Proporción Molecular	Proporción Catiónica	# de Oxígenos	# de Cationes 8
SiO ₂	65.830	60.080	1.096	1.096	2.192	2.9438
Al ₂ O ₃	21.678	101.960	0.213	0.426	0.639	1.14423
Na ₂ O	9.095	62.000	0.147	0.294	0.147	0.78968
TOTAL					2.978	
FACTOR O	2.686					

Tabla 22. Determinación de la fórmula química de las plagioclasas. Muestra MD22-1-B, para el análisis 11.

Fórmula química determinada: $\text{Na}_{0.8}\text{Al}_{1.1}\text{Si}_3\text{O}_8$

OXIDOS PRINCIPALES	Porcentaje Peso	Peso Molecular	Proporción Molecular	Proporción Catiónica	# de Oxígenos	# de Cationes
SiO_2	63.863	60.080	1.062	1.062	2.124	2.985 2
Al_2O_3	18.648	101.960	0.182	0.364	0.546	1.023 2
Na_2O	0.411	62.000	6.62×10^{-3}	0.013	6.62×10^{-3}	0.036 5
K_2O	15.915	94.197	0.169	0.338	0.169	1.000
TOTAL					2.846	
FACTOR O	2.811					

Tabla 23. Determinación de la fórmula química del feldespato. Muestra MD22-1-B, para el análisis 17.

Fórmula química determinada: $\text{K}_1\text{Na}_{0.03}\text{Al}_{1.1}\text{Si}_3\text{O}_8$

Mediante el cálculo anterior se demuestra que el análisis 17 hace parte del grupo de los feldespatos, clasificado químicamente como Ortoclasa; ya que utiliza esta fórmula, tomando como referencia la fórmula química de la albita e igualando con la fórmula química de la ortoclasa, para así mantener el intercambio catiónico entre los elementos Na y K; por lo tanto, esto permite observar que para la ortoclasa el contenido de Na no debe ser mayor de 1 (Spears, 1995).

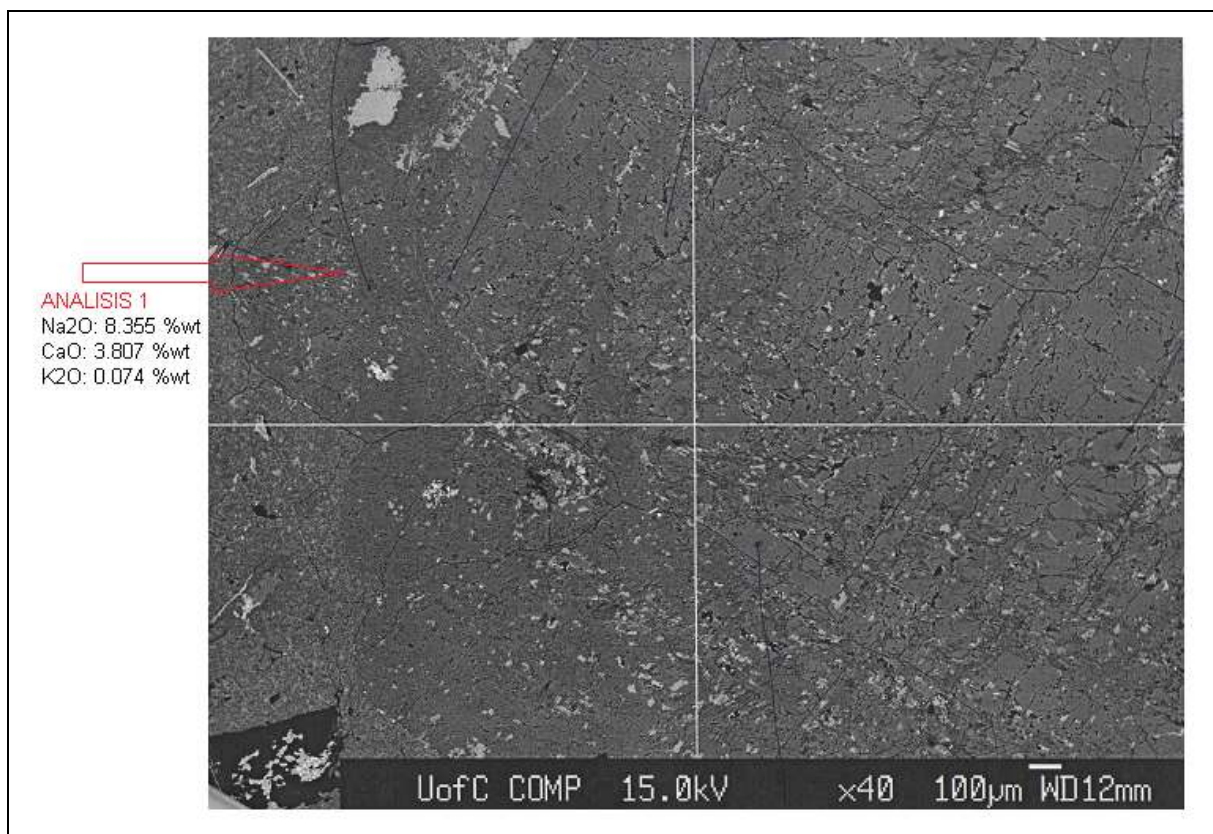


Figura 49. Imagen de retrodispersado de la lámina delgada No. MD22-1-B mostrando la ubicación del sitio en el cual se realizó análisis de química mineral en feldespatos, con su respectiva clasificación mineral (óxidos %wt).

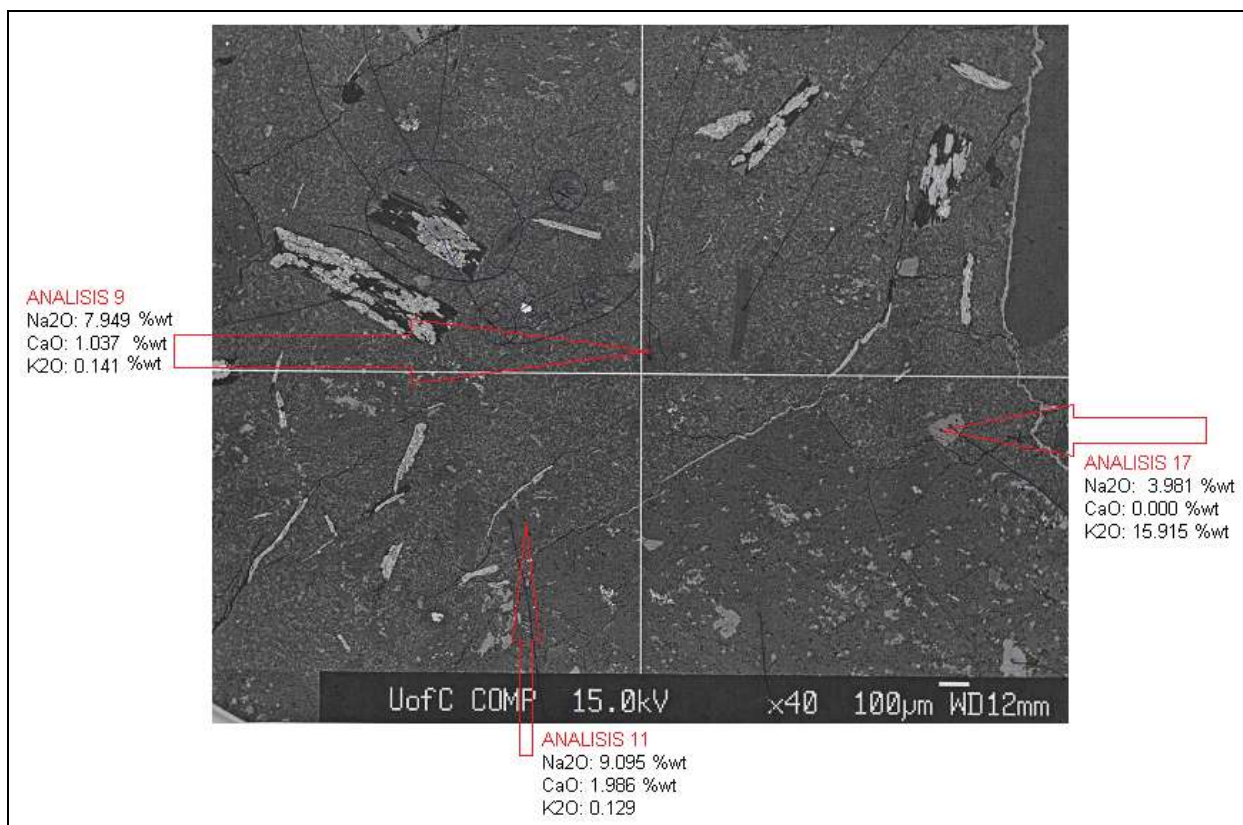


Figura 50. Imagen de retrodispersado de la lámina delgada No. MD22-1-B mostrando la ubicación del sitio en el cual se realizó análisis de química mineral en feldespatos, con su respectiva clasificación mineral (óxidos %wt).

11.MICROTERMOMETRIA DE INCLUSIONES FLUIDAS

11.1. Consideraciones Previas

La mayoría de los minerales se forma en un medio acuoso, por lo que partes mínimas de estos líquidos pueden quedar atrapados en su interior durante las etapas de crecimiento cristalino. Es normal y frecuente que esto ocurra, sabiendo lo imperfecta y defectuosa que resulta la mecánica de crecimiento de los cristales una vez conseguida la nucleación. De esta manera, podemos usar las inclusiones fluidas, que no son más que diminutas vacuolas rellenas de las soluciones en las que se formaron o evolucionaron los minerales, para investigar las condiciones de génesis y la posterior historia de los minerales. Las inclusiones, por tanto, pueden proporcionar una información muy valiosa sobre las condiciones de temperatura, presión y composición de los fluidos que ha formado los minerales.

Si buscamos en los cristales transparentes, ayudados por el microscopio, podemos observar la presencia de micro cavidades de pocas micras de diámetro, rellenas de líquidos en el que casi siempre destaca una diminuta y oscura esfera gaseosa. Su distribución en el interior del cristal no suele ser fruto de la casualidad, sino al contrario, suele obedecer a criterios estructurales siempre relacionados con la génesis (Caras de crecimiento) o con la posterior historia de estos cristales (micro-fracturas).

Atendiendo a la naturaleza de las inclusiones, podemos destacar de una manera sencilla, vario grupos diferentes: inclusiones predominantemente líquidas, gaseosas, sólidas o mixtas. Las inclusiones sólidas suelen ser parte de la asociación mineral, pero también pueden haberse formado a partir de líquidos sobresaturados. Todas ellas pueden ser utilizadas al estudio de las inclusiones fluidas, en tanto fueron testigos de las condiciones de formación y nos proporcionaran claves para el conocimiento de la naturaleza de los fluidos mineralizadores.

Los métodos de estudio de las inclusiones fluidas deben comenzar siempre con un detallado y cuidadosa trabajo petrográfico, integrando en otros estudios de campo y con investigaciones más sofisticadas de tipo geoquímico. Básicamente el estudio microtermométrico de las inclusiones fluías proporciona información sobre las condiciones de temperatura y presión en el momento de la precipitación o en etapas posteriores y sobre la composición y origen de los fluidos involucrados en estos procesos.

11.2. Aparición y distribución de las inclusiones fluidas

Teniendo en cuenta lo extraordinariamente diminutas que son la mayoría de las inclusiones, casi siempre por debajo de las 50 μm , su reconocimiento debe realizarse con la ayuda de un microscopio petrográfico, bajo luz transmitida y con fuertes aumentos. En un estudio rutinario es aconsejable comenzar con aumentos medios y luz polarizada, retirando las lentes del condensador situadas debajo de la platina, para mejorar el contraste y visualizarlas mejor.

Obviamente se excluyen del estudio aquellas inclusiones que son tan pequeñas que no dejen apreciar su naturaleza ni los cambios que ocurren en su interior. También suelen ser desestimadas aquellas demasiado grandes que terminan abriéndose y destruyéndose durante las manipulación microtermométrica o durante los procesos de confección de las láminas.

Por lo general las inclusiones suelen parecer agrupadas, frecuentemente en planos, superficies ligeramente alabeadas o en zonas delimitadas por el crecimiento, en cualquier caso con fuerte control cristalográfico y/o genético. La cuestión de cómo aparecen distribuidas las inclusiones en el interior de los cristales juega un papel muy importante, ya que como veremos, supone uno de los criterios de la clasificación genética más fiables.

11.3. Morfologías

Si observamos un conjunto de inclusiones y nos fijamos en su aspecto, notaremos la existencia de una gran variedad de formas, gradando desde las

completamente irregulares, hasta las totalmente automorfas, controladas por la estructura cristalina del mineral. No obstante podemos ensayar una clasificación morfológica, atendiendo exclusivamente a la regularidad de las paredes de las inclusiones (Figura 51).

- a) **Irregulares:** esta categoría recoge a todas las inclusiones de formas aplastadas con bordes lobulados, esqueléticas, etc., cuyos planos externos no parecen reflejar los rasgos estructurales del mineral encajante. Suelen encontrarse alojadas en las superficies de exfoliación y en las microfisuras que cruzan los cristales.
- b) **Regulares:** cuando los bordes de la inclusión muestran superficies lisas que pueden estar relacionadas con la estructura del cristal o bien son paralelas a las caras cristalinas o direcciones de exfoliación. Este mimetismo puede llegar a copiar tan perfectamente la forma del encajante que la inclusión adopta la forma de un diminuto cristal negativo. Entre este extremo y las formas totalmente irregulares podemos encontrar todos los grados.
- c) **Ovoides:** Presentan tendencias a formas esferoidales u ovoides, con bordes siempre redondeados y en algunos casos con extremos de gancho o de huso.
- d) **Tabulares/prismáticas:** en ellas domina el carácter elongado con los extremos más o menos redondeados. Suelen encontrarse en los minerales de desarrollo prismático y pueden considerarse como una variante extrema del tipo ovoide, previamente considerando, o bien morfología regular próxima a los cristales negativos.

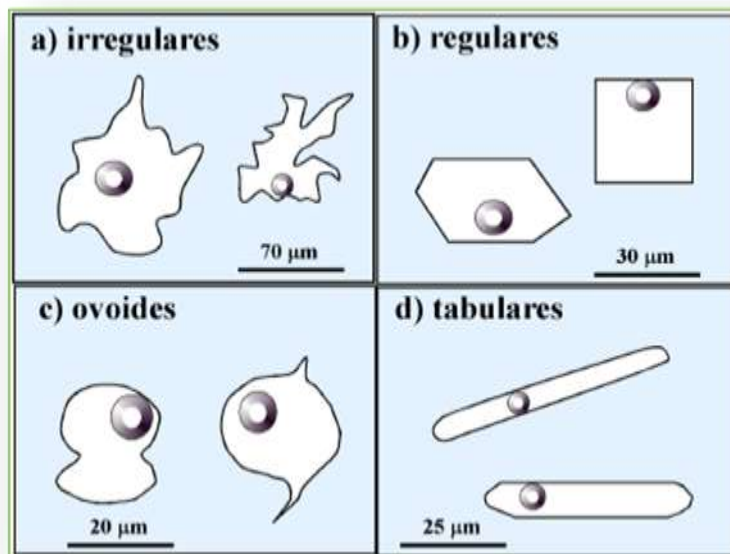


Figura 51. Esquema mostrando los diferentes tipos de inclusiones desde un punto de vista exclusivamente morfológico. Tomado de Velasco 2004.

11.4. Contenidos de las Inclusiones Fluidas

Si atendemos a la naturaleza de los contenidos de las inclusiones, encontraremos gases, líquidos y sólidos en diferentes proporciones. Desde este punto de vista podemos clasificarlas en:

- a) Monofásicas
- b) Bifásicas
- c) Trifásicas
- d) Polifásicas

a) Monofásicas: Existen las formadas completamente por líquido (L), gas (V) o sólidos (S o inclusiones minerales). Entre las fluidas las más frecuente son las rellenas de líquidos acuosos, en general formadas a muy baja temperatura. Las completamente rellenas de gas son muchos más raras, aunque pueden aparecer en ambientes volcánicos,

sedimentarios y metamórficos en los que han circulado soluciones extremadamente ricas en CO_2 , CH_4 , etc. Los fluidos suelen contener como solutos otras sustancias entre las que encontramos Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , H_4SiO_4 , y otros cationes (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Li^+ , Al^{3+} , etc).

b) Bifásicas: Presentan solo dos fases, siendo más frecuentes las que tienen vapor y líquido. No obstante, tendríamos que considerar varios subtipos:

- **Ricas en líquido (L+V).** en estas podemos encontrar variables de gas según la temperatura de formación. En ocasiones las diminutas esferas de gas, al ser activadas por el paso de la luz, se mueven en el interior del líquido de la inclusión, chocando con las paredes y rebotando en una agitación “browniana”.
- **Ricas en gases (V+L).** Presentan un volumen de vapor superior al del líquido que queda registrado a menos de la mitad del volumen. Son frecuentes en ambientes de ebullición.

c) Trifásicas: Cuando aparecen más de dos fases el esquema de clasificación se complica, ya que unas veces son predominantemente líquidas, otras gaseosas con líquidos inmiscible o baja proporción de sólidos ($\text{L} + \text{L}' + \text{V}$) o ($\text{L} + \text{V} + \text{S}$), mientras que en otras son muy abundantes los sólidos ($\text{S} + \text{L} \pm \text{V}$). Las más típicas son las carbónicas, con dos fases líquida $\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}$ y L_{CO_2} o una vapor (V_{CO_2}).

d) Poli- o multifásicas: Las inclusiones más complejas las tenemos cuando aparecen varios tipos de sólidos (“daughter minerals”) junto con el líquido o líquidos inmiscibles y la burbuja de gas. Entre los sólidos más frecuentes tenemos halita, silvita, anhidrita, hematites, cuarzo, sulfuros de hierro, dawsonita ($\text{NaAlCO}_3(\text{OH})_2$), etc., mientras que los

líquidos inmiscibles que aparecen con mayor frecuencia son: fase acuosa junto con líquido CO₂ presencia de $\pm\text{CH}_4 \pm \text{N}_2$, y/o $\pm \text{H}_2\text{S}$.

Según estos criterios que atienden a la composición se han propuesto varios tipos de clasificación. De todas ellas la más conocida es la de Nash (1976) que se reproduce en la Figura 52 y que distingue cuatro tipos de inclusiones:

- Tipo L de moderada salinidad, con dos fases: una líquida (agua) y otra gaseosa (vapor de agua) con diferente volumen según la temperatura de atrape.
- Tipo V ricas en gas (normalmente vapor de agua representado más del 60% de la inclusión); como se ha comentado previamente suelen interpretarse como buenos indicadores de la existencia de ebullición, especialmente cuando se encuentran coexistiendo con las de tipo L. aunque sean predominantemente acuosas, pueden contener algo de CO₂.
- Tipo S muy salinas, conteniendo pequeños cristales de halita cúbica y en ocasiones de silvita, anhidrita, hematites, etc.
- Tipo C ricas en CO₂, con una relación CO₂/H₂O variable pero casi siempre comprende entre 3 y 30% del volumen, según se acerquen a los tipos anteriores.

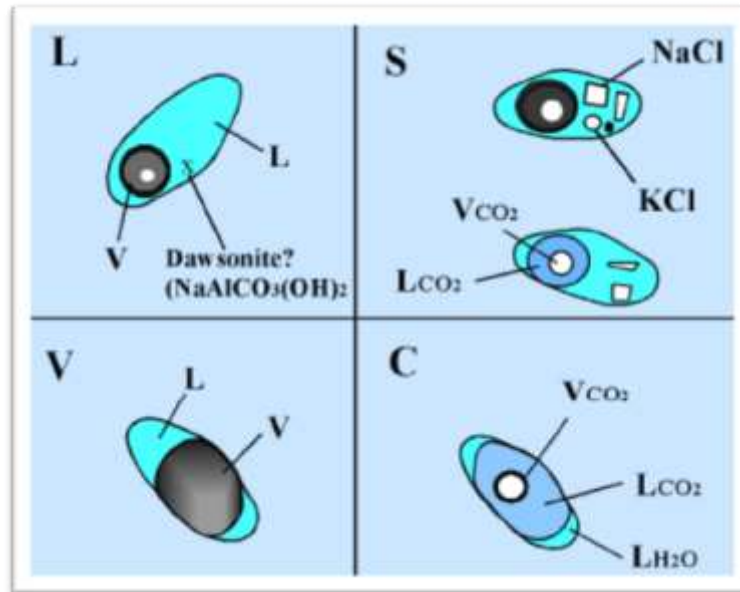


Figura 52. Clasificación de Nash (1976) mostrando los cuatro tipos más importantes de inclusiones fluidas. (L=Líquido; V=Vapor; S=Sólido; C=Carbónicas). Tomado de Velasco 2004.

11.5. Clasificación Genética

Todas las inclusiones formadas durante las etapas de crecimiento de un cristal deben ser consideradas como primarias. Estas contienen información relativa a los procesos genéticos formadores de minerales, y por tanto son las que suscitan mayor interés en cualquier estudio metalogénico, ya que se trata de fracciones de soluciones hidrotermales incorporadas o atrapadas por el cristal.

Por otro lado, todas aquellas inclusiones que se encuentran en el interior de los cristales, pero que se han formado por mecanismos posteriores a la cristalización vamos a considerarlas como secundarias. Estas últimas se forman tras la apertura y circulación de soluciones por microfisuras desarrolladas por esfuerzo o térmicamente, y ocupadas por fluidos completamente distintos a los originales.

Los mecanismos de atrape de las inclusiones primarias pueden ser muy variados. Roedder (1984) distingue varios tipos e mecanismos que son representados en los esquemas de la figura 53:

- a) Crecimiento dendrítico rápido que permite la aparición de zonas del cristal en donde puede quedar atrapada la solución.
- b) Etapas de redisolución parcial de los cristales con desarrollo de “caries”, caras curvas y microhuecos y crecimiento rápido posterior que los recubre y permite el atrapamiento.
- c) Atrape de líquidos en las zonas del centro de una espiral de crecimiento
- d) Caras cristalinas con crecimiento subparalelo pueden llegar a encerrar la solución generadora
- e) Microfracturas desarrolladas en el cristal durante las etapas de crecimiento originan un crecimiento imperfecto y favorecen que queden alojadas en su interior pequeñas porciones de la solución
- f) El atrapamiento de sustancias ajenas al cristal pueden también favorecer el atrapamiento de fluidos.

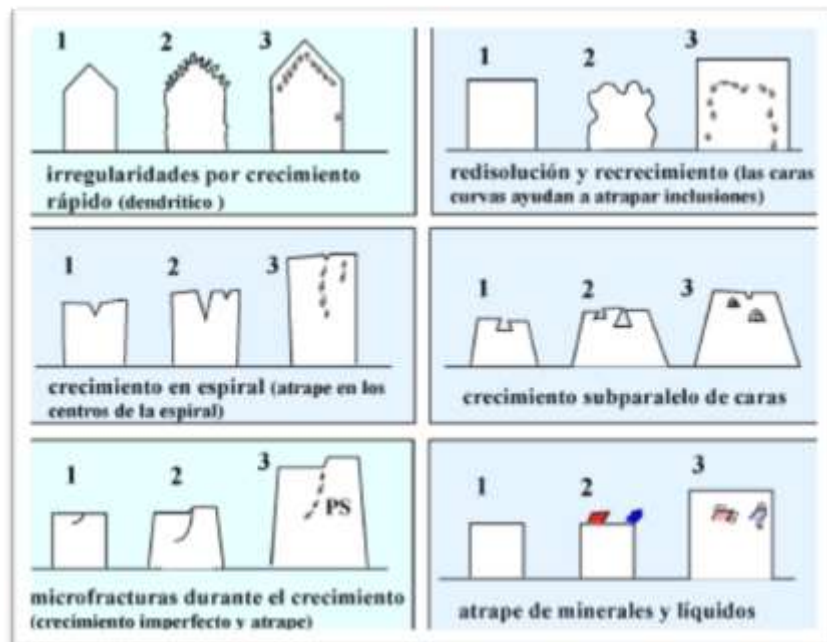


Figura 53. Diferentes mecanismos de atrape de las inclusiones primarias (según Roedder, 1984). Tomado de Velasco 2004.

11.6. Inclusiones de origen primario, secundario y pseudosecunario.

Uno de los problemas más importantes durante el estudio de las inclusiones, es la distinción entre las que son contemporáneas con la formación del mineral encajante (Primarias o pseudosecunarias), y las que se han formado con posterioridad (secundarias), la solución a esta cuestión no es fácil, habiéndose elaborado una serie de criterios (Roedder, 1984: Shepherd et al., 1985) que ayudan a resolver las ambigüedades para decidir la clasificación, de estos vamos a extractar los que parecen más útiles y fiables.

a) Criterios para un origen primario:

- Distribución de las inclusiones paralelas las caras de crecimiento, siguiendo una distribución zonada típica (Figura 54): esta zonación puede ponerse de manifiesto, no solo contemplando las caras finales del cristal, sino por medio de la observación de variaciones composicionales en el cristal y cambios de coloración.
- Pequeños grupos de inclusiones con distribución al azar en las tres direcciones espaciales. Este criterio no es del todo seguro cuando el cristal presenta abundantes inclusiones secundarias entrecruzadas.
- Presencia de inclusiones aisladas, claramente separadas entre sí. Entre inclusiones e inclusiones debería de haber una distancia mayor de cinco veces el diámetro medio de las inclusiones
- Tamaño relativamente grande respecto a los tamaños que exhiban las inclusiones de claro origen secundario.

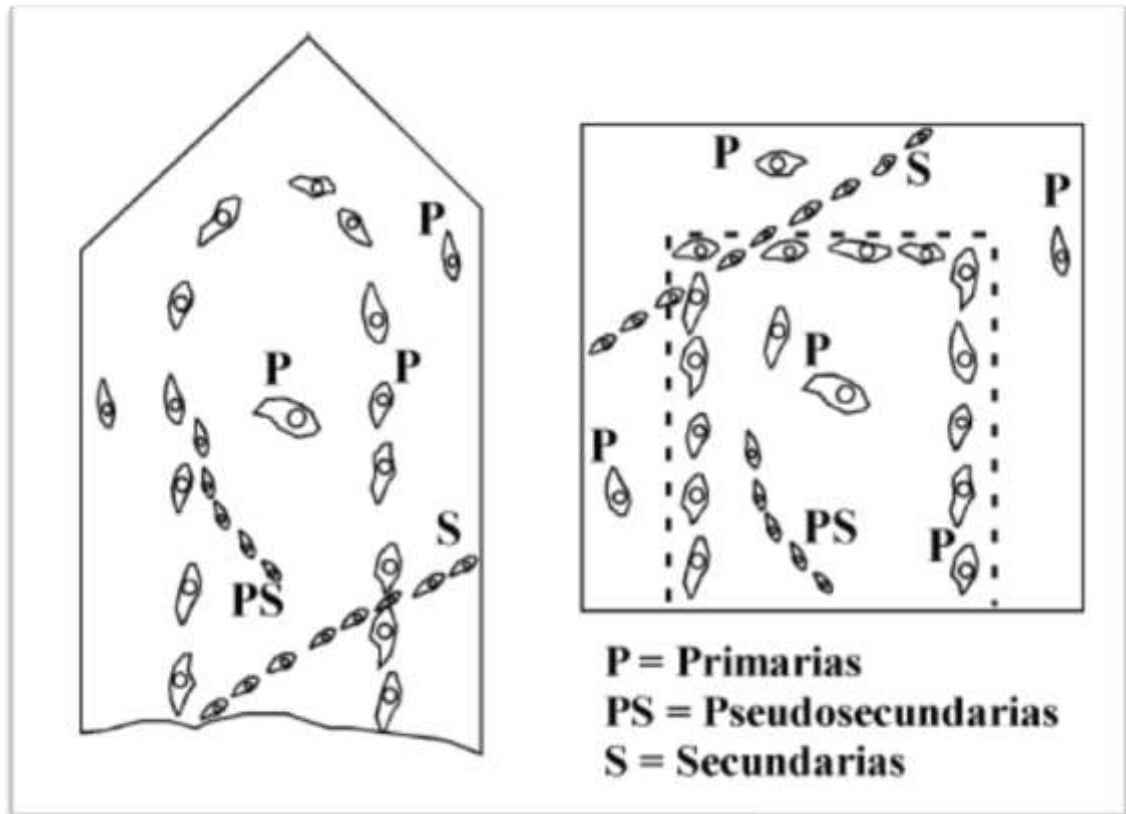


Figura 54. Distribución de las inclusiones: primarias (P) siguiendo zonas concéntricas, paralelas a las caras de crecimiento; pseudosecundarias (PS) que se ordenan oblicuamente a las caras, siguiendo microfisuras que empiezan en el núcleo del cristal y terminan antes de que este se acabe; y secundarias que cruzan sin ninguna regla el cristal pasando por sus bordes (S).

b) Criterios para un origen secundario:

- Grupos muy numerosos, con una disposición planar claramente referible a una microfisura que corta los bordes del cristal o superficies de exfoliación. Pueden encontrarse varias generaciones superpuestas en el tiempo.
- Morfologías irregulares con hábitos ovoides de tamaños muy variables, pero en general muy pequeñas. Morfologías y

distribución claramente referibles a grados de relleno muy distintos en inclusiones adyacentes.

c) Criterios para un origen pseudosecundario:

- Son inclusiones que aparecen alineadas en microfisuras que se extienden desde el núcleo de los cristales hacia los bordes, pero no llegan a cortar sus límites.

11.7. Interpretación de los resultados obtenidos

11.7.1. Petrografía de las inclusiones fluidas

El análisis de las inclusiones fluidas se llevó cabo en los cristales de cuarzo bipiramidal presentes en las muestras. El respectivo estudio se realizó en la muestra TLG-E5-O1, ya que por alteración no se pudo llevar a cabo el estudio en la muestra TLG-E6-O1, pues luego de ser introducida en acetona esta muestra se desintegró. Teniendo en cuenta las características de las inclusiones presentes en la muestra se logró identificar inclusiones secundarias ya que por la naturaleza del cuarzo se estableció que estas inclusiones eran de origen secundario. En la muestra se realizó un promedio de 9 pruebas con el fin de tener más precisión en la estimación de los datos.

- **Muestra TLG-E5-O1**

Esta muestra corresponde a una roca porfirítica, nombrada Riolita, con tamaño de grano grueso lo cual permitió ubicar inclusiones fluidas de gran tamaño.

Primera Prueba: Se muestra una inclusión fluida secundaria, bifásica la cual está compuesta de 2 fases L + V, en donde la burbuja ocupa el 1.951% del

volumen de la inclusión, por lo que el grado de relleno (F) se estimó en 0.85 (Velasco, 2004). Se encuentra aislada con forma regular, con tamaño de 13.9 μm de ancho y 21.7 μm de largo (Figura 55).



Figura 55. Inclusión fluida secundaria bifásica de la muestra TLG-E5-O1. Correspondiente a la primera prueba realizada. Fotografía tomada en nicóles paralelos. Microscopio de luz transmitida.

Segunda Prueba: Se muestra una inclusión fluida secundaria bifásica la cual está compuesta de 2 fases L + V, en donde la burbuja ocupa el 1.76% del volumen de la inclusión, por lo que el grado de relleno (F) se estimó en 0.83 (Velasco, 2004). Se encuentra rodeada de otras inclusiones fluidas, con forma regular, con tamaño de 13.3 μm de ancho y 24.3 μm de largo (Figura 56).



Figura 56. Inclusión fluida secundaria bifásica de la muestra TLG-E5-O1. Correspondiente a la segunda prueba realizada. Fotografía tomada en nicóles paralelos. Microscopio de luz transmitida.

Tercera Prueba: Se muestra una inclusión fluida secundaria, bifásica la cual está compuesta de 2 fases L + V, en donde la burbuja ocupa el 0.6% del volumen de la inclusión, por lo que el grado de relleno (F) se estimó en 0.815 (Velasco, 2004). Se encuentra en una familia de inclusiones fluidas con forma tabular, con tamaño de 5.4 μm de ancho y 17.1 μm de largo (Figura 57).

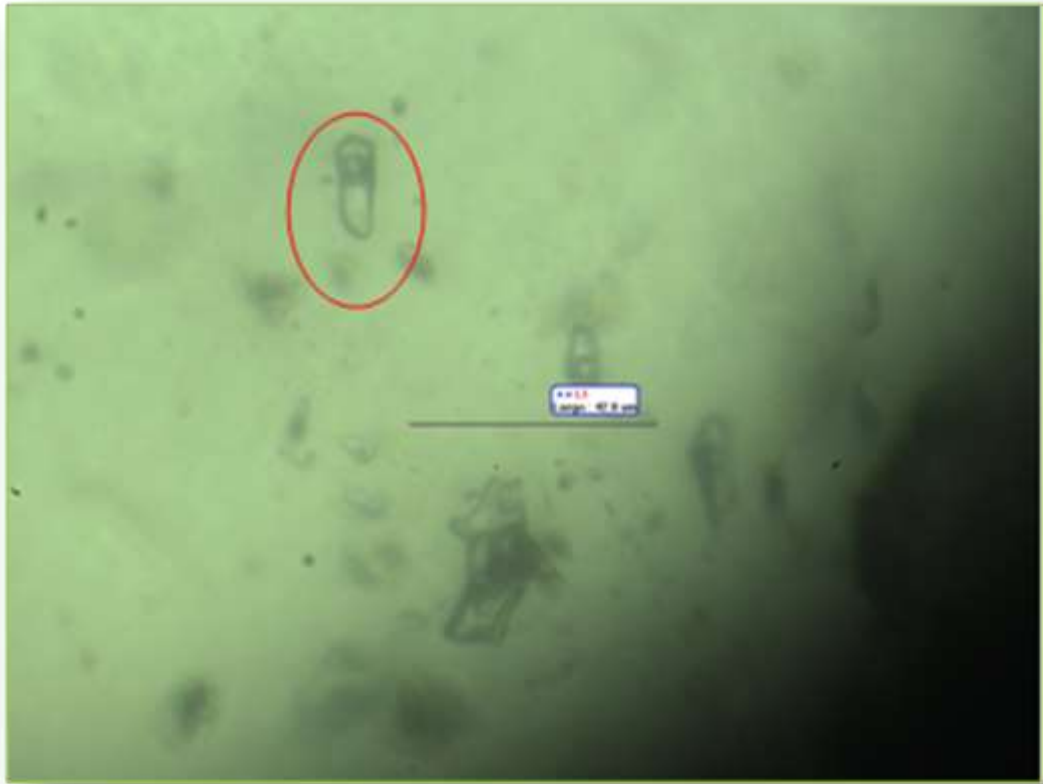


Figura 57. Inclusión fluida secundaria bifásica de la muestra TLG-E5-O1. Correspondiente a la tercera prueba realizada. Fotografía tomada en nicoles paralelos. Microscopio de luz transmitida.

Cuarta Prueba: Se muestra una inclusión fluida secundaria, bifásica la cual está compuesta de 2 fases L + V, en donde la burbuja ocupa el 2.236% del volumen de la inclusión, por lo que el grado de relleno (F) se estimó en 0.87 (Velasco, 2004). Se encuentra aislada con forma irregular, con tamaño de 14.5 μm de ancho y 20.3 μm de largo (Figura 58).



Figura 58. Inclusión fluida secundaria bifásica de la muestra TLG-E5-O1. Correspondiente a la cuarta prueba realizada. Fotografía tomada en nicoles paralelos. Microscopio de luz transmitida.

Quinta Prueba: Se muestra una inclusión fluida secundaria, bifásica la cual está compuesta de 2 fases L + V, en donde la burbuja ocupa el 0.5% del volumen de la inclusión, por lo que el grado de relleno (F) se estimó en 0.86 (Velasco, 2004). Se encuentra rodeada de otras inclusiones fluidas de menor tamaño, con forma regular, con tamaño de 6.9 μm de ancho y 11.4 μm de largo (Figura 59).



Figura 59. Inclusión fluida secundaria, bifásica de la muestra TLG-E5-O1. Correspondiente a la quinta prueba realizada. Fotografía tomada en nicóles paralelos. Microscopio de luz transmitida.

Sexta Prueba: Se muestra una inclusión fluida secundaria, bifásica la cual está compuesta de 2 fases L + V, en donde la burbuja ocupa el 0.7% del volumen de la inclusión, por lo que el grado de relleno (F) se estimó en 0.80 (Velasco, 2004). Se encuentra rodeada de otras inclusiones fluidas de menor tamaño, con forma regular, con tamaño de 8.0 μm de ancho y 12.3 μm de largo (Figura 60).



Figura 60. Inclusión fluida secundaria, bifásica de la muestra TLG-E5-O1. Correspondiente a la sexta prueba realizada. Fotografía tomada en nicols paralelos. Microscopio de luz transmitida.

Séptima Prueba: Se muestra una inclusión fluida secundaria, bifásica la cual está compuesta de 2 fases L + V, en donde la burbuja ocupa el 1.615% del volumen de la inclusión, por lo que el grado de relleno (F) se estimó en 0.86 (Velasco, 2004). Se encuentra aislada, con forma irregular, con tamaño de 12.9 μm de ancho y 13.9 μm de largo (Figura 61).



Figura 61. Inclusión fluida secundaria, bifásica de la muestra TLG-E5-O1. Correspondiente a la séptima prueba realizada. Fotografía tomada en nicóles paralelos. Microscopio de luz transmitida.

Octava Prueba: Se muestra una inclusión fluida secundaria, bifásica la cual está compuesta de 2 fases L + V, en donde la burbuja ocupa el 0.638% del volumen de la inclusión, por lo que el grado de relleno (F) se estimó en 0.83 (Velasco, 2004). Se encuentra en una familia de inclusiones fluida, con forma irregular, con tamaño de 9 μm de ancho y 12.3 μm de largo (Figura 62).



Figura 62. Inclusión fluida secundaria, bifásica de la muestra TLG-E5-O1. Correspondiente a la octava prueba realizada. Fotografía tomada en nicóles paralelos. Microscopio de luz transmitida.

Novena Prueba: Se muestra una inclusión fluida secundaria, bifásica la cual está compuesta de 2 fases L + V, en donde la burbuja ocupa el 0.8% del volumen de la inclusión, por lo que el grado de relleno (F) se estimó en 0.84 (Velasco, 2004). Se encuentra en una familia de inclusiones fluida, con forma regular, con tamaño de 9.6 μm de ancho y 11.1 μm de largo (Figura 63).



Figura 63. Inclusión fluida secundaria, bifásica de la muestra TLG-E5-O1. Correspondiente a la novena prueba realizada. Fotografía tomada en nicoles paralelos. Microscopio de luz transmitida.

11.7.2. Datos Microtermométricos

A partir de los datos recolectados durante el análisis de microtermometría de inclusiones fluidas, se destacan tres valores fundamentales los que son:

- Temperatura eutéctica (T_e): Temperatura de la primera fusión detectable
- Temperatura de fusión (T_f): Temperatura fusión parcial del hielo
- Temperatura de homogenización (T_h): Temperatura de atrape

Con base en los registros tomados se llevaron a cabo los respectivos análisis para determinar las condiciones generadoras de estas inclusiones, para lo cual se trabajaron los datos siguiendo parámetros en las tablas de clasificación tanto para compuestos como para sistemas químicos (Tablas 24 y 25).

System	Molar mass (g·mol ⁻¹)	T _{triple} (°C)	P _{triple} (MPa)	T _{critical} (°C)	P _{critical} (MPa)	V _{m, critical} (cm ³ ·mol ⁻¹)
H ₂	2.0159	-259.15	0.0072	-239.9	1.297	65.0
O ₂	31.999	-218.79	0.00015	-118.57	5.043	73.37
N ₂	28.0134	-210	0.0125	-146.95	3.398	90.10
CO	28.01	-205	0.013	-140.3	3.494	93.1
C ₃ H ₈	44.097	-188	1.7x10 ⁻⁴	96.68	4.248	200.0
Ar	39.948	-185.37	6.80	-122.29	4.898	74.57
CH ₄	16.04	-182.5	0.012	-82.59	4.599	98.6
C ₂ H ₆	30.07	-182	1.1x10 ⁻⁶	32.17	4.872	145.5
H ₂ S	34.08	-85.5	0.0232	100.15	8.963	98.0
NH ₃	17.031	-77.66	0.0061	132.25	11.333	72.47
SO ₂	64.065	-75.51	0.0017	157.65	7.884	122
CO ₂	44.01	-56.57	0.5185	30.978	7.377	94.0
H ₂ O	18.0153	0.010	0.00061	373.95	22.064	55.95
KCl	74.56	770	5x10 ⁻⁴	2910 ^o	44.07	
NaCl	58.44	800	< 0.1	3090 ^o	62.07	

Data from Pitzer (1955), Poling *et al.* (2001) and Lemmon *et al.* (2001)

Tabla 24. Datos Microtermométricos para diferentes compuestos químicos. Tomado de Mantilla, 2005. Introducción al estudio de Inclusiones Fluidas. Trabajo inédito, Universidad Industrial de Santander.

Sistema salino	Temp. eutéctico (°C)	Fases sólidas
H ₂ O-NaCl-CaCl ₂	-55 (-52)	hielo+NaCl.2H ₂ O+CaCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O-MgCl ₂ -CaCl ₂	-52.2	hielo+ MgCl ₂ .12H ₂ O+CaCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O-KCl-CaCl ₂	-50.5	hielo+ CaCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O-CaCl ₂	-49.8	hielo+ CaCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O-Na ₂ CO ₃ -K ₂ CO ₃	-37.0	hielo+ (Na,K) ₂ CO ₃ .6H ₂ O+ K ₂ CO ₃ .6H ₂ O
H ₂ O-NaCl-FeCl ₂	-37.0	hielo+ NaCl.2H ₂ O+FeCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O-FeCl ₂	-35.0	hielo+ FeCl ₂ .6H ₂ O
H ₂ O-NaCl-MgCl ₂	-35.0	hielo+ NaCl.2H ₂ O+MgCl ₂ .12H ₂ O
H ₂ O-MgCl ₂	-33.6	hielo+ MgCl ₂ .12H ₂ O
H ₂ O-NaCl-KCl	-23.5 (-22.9)	hielo+ NaCl.2H ₂ O+ KCl.nH ₂ O
H ₂ O-NaCl-NaSO ₄	-21.7	hielo+ NaCl.2H ₂ O+Na ₂ SO ₄ .5H ₂ O
H ₂ O-NaCl-NaHCO ₃	-21.8	hielo+ NaCl.2H ₂ O+NaHCO ₃
H ₂ O-NaCl-Na ₂ CO ₃	-21.4	hielo+ NaCl.2H ₂ O+Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O
H ₂ O-NaCl	-21.2 (-21.8)	hielo+ NaCl.2H ₂ O
H ₂ O-KCl	-10.6	hielo+ KCl.nH ₂ O
H ₂ O-NaHCO ₃ -Na ₂ CO ₃	-3.3	hielo+NaHCO ₃ +Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O
H ₂ O-NaHCO ₃	-2.3	hielo+NaHCO ₃
H ₂ O-Na ₂ CO ₃	-2.1	hielo+Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O
H ₂ O-Na ₂ SO ₄	-1.2	hielo+Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O

Tabla 25. Datos del punto eutéctico o primera fusión para diferentes sistemas salino-acuoso (a 1atm). Tomado de Velasco, 2004.

Para calcular la salinidad del sistema, se tiene en cuenta la ecuación de Potter, et al 1978 (Ecuación 1), donde Tm es igual a la T° de fusión:

$$\% \text{ NaCl} = 1.76958T_m + 4.2384 \times 10^{-2} \times T_m^2 + 5.2778 \times 10^{-4} \times T_m^3 (\pm 0.028)$$

En la tabla 26 se muestran los datos obtenidos de los análisis de microtermométrie realizados en Guatiguará:

MUESTRA TLG-E5-O1	MINERAL	CLASIFICACION GENETICA	FASES	Te (°C)	Tf (°C)	Th (°C)	HOMOGENIZA
1ra Prueba	Cuarzo	Secundaria	L+V	-55,9?	-3,2	279.6	L+V=L
2da Prueba	Cuarzo	Secundaria	L+V	-29,6?	-3,1	297.7	L+V=L
3ra Prueba	Cuarzo	Secundaria	L+V	-24,9?	-3,1	268.9	L+V=L
4ta Prueba	Cuarzo	Secundaria	L+V	-25,1?	-2,6	254	L+V=L
5ta Prueba	Cuarzo	Secundaria	L+V	-21,6?	-4,3	281.9	L+V=L
6ta Prueba	Cuarzo	Secundaria	L+V	-22,8?	-3,6	279.3	L+V=L
7ma Prueba	Cuarzo	Secundaria	L+V	-21,4?	-0,7	257.8	L+V=L
8va Prueba	Cuarzo	Secundaria	L+V	-22,3?	-0,9	277.7	L+V=L
9na Prueba	Cuarzo	Secundaria	L+V	-20,6?	-0,8	244.5	L+V=L

Tabla 26. Datos obtenidos de los análisis de microtermométrie. Muestra TLG-E5-O1.

Porcentaje de salinidad (%NaCl), obtenidos de la ecuación 1, los datos son interpretados de forma positiva (Tabla 27):

MUESTRA TLG-E5-O1	%NaCl
1ra Prueba	3.35
2da Prueba	3.2615
3ra Prueba	3.2615
4ta Prueba	4.3516
5ta Prueba	6.8954
6ta Prueba	5.8738
7ma Prueba	1.2446
8va Prueba	1.5586
9na Prueba	1.4127

Tabla 27. Datos de la Ecuación 1 para la Muestra TLG-E5-O1.

- **Muestra TLG-E5-O1**

Después de obtener las mediciones correspondientes a los análisis de microtermometría de las inclusiones fluidas secundarias en el cuarzo, se llega a concluir que la muestra presenta una temperatura eutéctica (T_e) entre un amplio rango de valores de los que se toman el más alto y más bajo, a modo de sintetizar los resultados, por lo que estos valores son: -55.9°C y -20.6°C , lo cual indica la adición de sustancias de las que se reconoce posiblemente los iones Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , SO_4^{2-} ; la temperatura de fusión (T_f), para esta muestra de igual forma, también representa un amplio rango de valores entre los que extraemos el mayor y el menor siendo: -0.8°C y -4.3°C ; lo que indica que entre este rango de temperaturas se dio la fusión final del hielo; y finalmente tenemos la temperatura de homogenización (T_h), para la que también se resume con el valor más alto y más bajo tomado experimentalmente, los cuales son: 244°C y 297.7°C , por lo que se puede decir que la temperatura de atrapamiento sería proporcional a esta temperatura. De lo anterior se concluye que el sistema presenta una salinidad tal como lo muestra la Tabla 27).

12.DISCUSION

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de los análisis elaborados de DRX, petrografía; se estableció dos litologías para el cuerpo porfírico, las cuales reciben el nombre de riolitas y dacita. Estas rocas se caracterizan por la presencia de fenocristales de plagioclasa para la riolita y fenocristales de cuarzo bipiramidal para la dacita. La fase mineral presente en la riolita como en la dacita establece asociaciones minerales como cuarzo, sericita, ortoclasa, caolinita, plagioclasa tipos albita y oligoclasa, illita. Así mismo, después de instaurar esta fase mineral se logra establecer que la roca ha sido afectada por alteración hidrotermal la cual recibe el nombre de Alteración Argilica Avanzada, por la gran cantidad de sericita presente en las muestras, entre otros minerales.

Teniendo en cuenta los datos geoquímicos realizados para elementos mayores, se concluyó que estas rocas carecen de la presencia de minerales máficos, lo cual había sido expuesto mediante los análisis de DRX; de igual forma se observó mediante estos análisis el gran porcentaje de plagioclasa presente en la riolita, lo cual contrastaba con el porcentaje en la dacita. De la misma manera, fue posible establecer algunos procesos como diferenciación magmática y cristalización fraccionada los cuales estuvieron afectando la roca. Con los análisis de elementos traza y tierras raras se corrobora los resultados para elementos mayores, estos análisis permitieron observar que estas rocas se originaron en un ambiente de subducción, las cuales por su contenido anómalo de Nb y Ta, podría haber tenido contaminación de sedimentos de la corteza.

El análisis petrográfico y microtermométrico de inclusiones fluidas permitieron observar temperaturas entre -55.9°C y -20.6°C para la temperatura eutéctica; -0.8°C y -4.3°C para la temperatura de fusión; 244°C y 297.7°C para la temperatura de homogenización, por lo que se podría decir que el atrapamiento es proporcional a esta temperatura; así mismo, las salinidades reportadas en la IF están alrededor de $\sim 6.8\%$ $\sim 1.2\%$ en peso de NaCl.

Después de establecer estas características para el cuerpo porfirítico, se podría construir una relación con la mineralización presente en el Municipio de California; ya que este pórfido presenta algunas características que permiten la asociación de eventos relacionados con la mineralización.

Se podría referir con el tipo de rocas presentes en el cuerpo porfirítico, ya que estos depósitos se presentan en rocas ácidas (riodacita); el pórfido presenta un control estructural marcado por las fallas satélites de la falla Bucaramanga la cual pudo ejercer control sobre el emplazamiento; en otras características la presencia de cuarzo bipiramidal permitiría relacionar con algún tipo de mineralización dada a profundidad superpuesta al cuerpo porfirítico. Teniendo en cuenta que estos depósitos presentan un rango de temperatura de formación generalmente entre 200° y 300°C con una salinidad de 1-24% en peso de NaCl (Camprubí *et al.*, 2003), estas condiciones permiten establecer que el cuerpo porfirítico objeto de estudio con una edad de 8.4 ± 9 Ma (Mantilla *et al.*, 2009), presenta tales características por lo cual cabría la posibilidad de relacionarlo con la mineralización. Sin embargo se recomienda realizar análisis que permitan corroborar los datos obtenidos.

13. CONCLUSIONES

- El presente estudio se basó en un cuerpo porfirítico localizado sobre la ladera de la Quebrada Móngora, el cual se ubica en un costado de la carretera que del Municipio de California conduce al Municipio de Vetas.
- Con base en los resultados obtenidos a partir de análisis en muestras macroscópicas, petrográficas, así como en la distribución de fases minerales presentes en el cuerpo porfirítico y los resultados de DRX, se determinaron dos composiciones para el pórfido: 1. Roca con presencia de fenocristales de plagioclasa, matriz afanítica, presencia de minerales de alteración como sericita y caolinita, plagioclasa Na-Ca, cristales de moscovita opaquizados, ortoclasa con presencia de fracturamiento propia de alteración hidrotermal; a esta roca le fue el asignado el nombre de riolita por su composición química., 2. Roca con presencia de cuarzo bipiramidal, matriz afanítica, presencia de ortoclasa, moscovita, plagioclasa tipo albita; se le asignó el nombre de dacita, teniendo en cuenta su composición química.
- La fase mineral presente en las riolitas y dacitas, la cual fue determinada por DRX se compone de cuarzo, caolinita, ortoclasa, moscovita, plagioclasa Na-Ca, sericita, biotita, sanidina, hematita, calcita, illita, goetita. Los cristales de moscovita sufren proceso de opaquización debido a la alteración hidrotermal de baja temperatura, lo que origina el reemplazamiento en estos cristales; esta fase mineral hace pensar que las rocas se vieron afectadas por proceso de alteración hidrotermal posterior al emplazamiento; así mismo la asociación de minerales presentes en la muestra indica que la roca presenta alteración Argilica Avanzada.

- Según los datos químicos de riolitas y dacitas, se establece que hacen parte de la serie calcoalcalina, la cual presenta enriquecimiento en K, propio de rocas con ausencia de minerales máficos. Del mismo modo los datos que se interpretaron mediante Diagramas Harker corroboran la ausencia de minerales máficos con el bajo contenido de CaO, sin embargo este óxido permite notar la presencia de algunas plagioclasas Na-Ca en la riolita. Así mismo, la presencia de fenocristales es tomada por cristalización fraccionada, la cual se observa por la tendencia negativa del MgO. Los minerales de plagioclasa Na tipo albita en la muestra de riolita y dacita, así como los minerales de feldespato potásico (ortoclasa), presentan alto grado de alteración el cual es fácilmente apreciable en el diagrama de Na₂O; para la muestra de riolita se aprecia un valor anómalo, el cual está marcado por el alto contenido de fenocristales de plagioclasa.
- Estos diagramas a su vez permitieron observar que las riolitas y dacita, presentan procesos de diferenciación magmática y cristalización fraccionada, ya que dichos procesos pudieron ser los responsables de la generación de composiciones félsicas en los fundidos, habiendo desplazado los minerales máficos.
- Los resultados geoquímicos que se interpretaron a través de diagramas multi-elementales de elementos traza y tierras raras de discriminación tectono-magmática, confirma el resultado de los análisis de elementos mayores, ya que estos diagramas muestran una relación entre elementos del radio iónico elevado (LILE) y los elementos de alta carga iónica (HFSE). Las rocas estudiadas en el análisis geoquímico presentan una relación **Nb, Ta** que reflejan anomalías negativas en los diagramas. Esta característica normalmente se ha asociado a rocas generadas en un ambiente geotectónico de subducción, aunque cabe la posibilidad de que tal característica se deba en parte a contaminación cortical.

- En general, en los diagramas Na₂O-K₂O-CaO que se interpretaron teniendo en cuenta los datos de microsonda electrónica, se confirma que en la riolita se presenta plagioclasa tipo Na y Na-Ca, la cual se puede clasificar como albita y oligoclasa.
- El análisis petrográfico junto con los estudios de microtermometría de IF, permitió observar inclusiones secundarias, bifásicas (L+V), la mayoría de forma regular. En la riolita se presenta un sistema compuesto de H₂O+Na⁺+Ca²⁺+K⁺+Mg²⁺+SO₄²⁻, los fluidos acuosos salinos comprenden eventos que alcanzaron temperaturas entre -55.9°C y -20.6°C para la temperatura eutéctica; -0.8°C y -4.3°C para la temperatura de fusión; 244°C y 297.7°C para la temperatura de homogenización, por lo que se podría decir que el atrapamiento es proporcional a esta temperatura; así mismo, las salinidades reportadas en la IF están alrededor de ~6.8% y ~1.2 % en peso de NaCl.

14.RECOMENDACIONES

- Se recomienda elaborar una cartografía detallada que permita contextualizar a fondo el pórfido que aflora en la Quebrada Móngora con el área aledaña al presente estudio, y del mismo modo poder rediseñar la geometría del cuerpo porfirítico.
- Se recomienda la determinación del contenido de isótopos con el fin de realizar aproximaciones geocronológicas, modelación de procesos genéticos y evolución de magmas.
- Se recomienda realizar análisis geoquímicos y de inclusiones fluidas estudiados a fondo, con el fin de verificar los datos anteriormente obtenidos.

15. 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.
- Castellanos, O.; Rios, C., 2005. Microsonda electrónica; Principios de funcionamiento. Revista colombiana de tecnología avanzada. Vol. 2, No 6, pp 1-6.
- 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.
- Conde, J. Estudio de las alteraciones post-magmáticas del intrusivo la Corona, municipio de la Victoria, Departamento de Boyaca. Bucaramanga 2007. 156 p. Tesis de pregrado: Universidad Industrial de Santander.
- Cordiani, U., Cardona, A., Jimenez, D., Liu, D., Nutham, P. 2005. Geochronology of Proterozoic basement inliers in the Colombian Andes: tectonic history of remnants of a fragmented Grenville belt. En: Geological society, London. Pp, 329-346.
- Delvige, J. atlas of micromorfology of mineral alteration and weatherinf. Pp. 50-152.

- Dorr, W., Groserr, J., Rodríguez, G., Kramm, U. 1995. Zircon U-Pb age the Paramo Rico tonalite-granodiorite, Santander Massif (Cordillera Oriental, Colombia) and its geotectonic significance. En: Journal of South American Earth Sciences, Vol. 8, N°. 2, pp. 187-195.
- Factores determinantes de la Metalogénia Andina. {Artículo en internet} <http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/METALOGENIA/factores-metalogenia>.
- Felder, F., Ortiz, G., Campo, C., Monsalve, I., Silva, A., Honer, J. 2005. ANGOSTURA PROJECT, A High Sulfidation Gold-Silver Deposit located in the Santander Complex of North Eastern Colombia. 15 p.
- Galvis, J. 1998. Una Caldera Volcánica en el Macizo de Santander, Colombia. En: Revista Académica de Colombia, Vol. 12, N°. 84, pp. 355-362.
- García Ch., H., Zambrano A., J. E. 1995. Paragénesis y Evaluación de los yacimientos de oro del Distrito Minero de Vetas. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Dirección de Investigaciones. Universidad Industrial de Santander. 106 p.
- García, C. 2003 Los Delirios: Un yacimiento hidrotermal de oro y plata en la región de Vetas, Santander (Colombia). En: Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander, Vol. 25, N° 40, pp. 91-103.
- García, C. 2007. Manual de Practicas de Petrología Metamórfica. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Pp. 75-88.
- Hedenquist, J., Arribas, A., Gonzales, E. 2000. Exploration for epithermal gold deposits. Reviews in Economic Geology. Gold 2000. Editors: Hagemann and Brow. Society of Economic Geologist, pp. 245-277.

- Jaramillo, J., Rojas, P., Garver, J. 2005. Neogene's Volcanism in the Cordillera Oriental of the Andes, Colombia. En: Journal Research Earth Sciences, Vol. 9, N° 1, pp. 19-29.
- Keiman, E. 2001. Petrología, geoquímica e implicaciones tectónicas del volcanismo triásico (Formación Pasto Viejo), Bloque de San Rafael Mendoza. En Revista de Asociación Geológica Argentina. Vol. 56, N° 4. Pp. 559-570. [Artículo en Internet] <http://www.google.com/books>
- Kerr, P. Mineralogía Óptica. Traducido por José Huidobro. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 1965.
- Kostadinoff, F. 2001. Geological interpretation of geophysical data from eastern La Pampa province. Revista Asociación Geológica de Argentina. Vol. 56, N°4, Pp. 466-480. [Artículo en Internet] <http://www.google.com/books>
- López, L. 2007. Clasificación de Rocas Ígneas y Sedimentarias con elementos mayores. [Artículo en internet] <http://www.u-cursos.cl/ingenieria/Elementos-may>
- Maya, M. 2001. Distribución, Facies y Edad de las Rocas Metamórficas en Colombia. En: INGEOMINAS, Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear.
- 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.
- Mantilla, L. C.; V.; Barra, F.; Pinto, J.; Colegial, J. 2009. Geocronología U-Pb de los cuerpos porfiríticos del distrito aurífero de Vetás-California (Departamento de Santander, Colombia). En: Boletín de Geología, Vol. 31, N° 1. Pp. 31-43.

- Mathur, R., Ruis, J., Herb, P., Hahn, L., Burgath, K. 2002. Re-Os isotopes applied to the epithermal gold deposits near Bucaramanga, northeastern Colombia. En: Journal of South American Sciences, N° 15, pp. 815-821.
- Medina, J. Ambiente Magmático. [Artículo en Internet] <http://www.slideboom.com/presentations/107940/Ambiente-magm%C3%Altico>
- Melgarejo, J. C. 1997. Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada. Pp. 680-1200.
- Pinto Camargo, J. L. 2005. Estudio del efecto del solvente sobre la cristalización del 3-(4-Fluorofenil)-2-(Naftil)-1-3-Tiazolidin-4-Ona, mediante difracción de Rayos X. Tesis de pregrado: Escuela de Química. Universidad Industrial de Santander. Pp. 24-34.
- Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de California. [Artículo en Internet] <http://california-santander.gov.co>
- Press, F. 2000. Understanding Earth. New York. [Artículo en Internet] <http://ansatte.uit.no/KKu000/webgeology/webgeology-files/spanish/magmatismo.html>
- Reed, M. H., Hydrothermal Alteration and Its Relationship to Ore Fluid Composition. En: Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Tercera Edición, Hubert L. Barnes (ed.), John Wiley and Sons Inc. Publication, 303-306
- Ríos, C., Castellanos, O. Atlas de minerales vistos bajo el microscopio de luz transmitida. Bucaramanga.; Ediciones UIS, 2005. ISBN 958-8187-38-9.

- Roedder, E. 1984. Fluid Inclusions. Mineralogical Society of America. Vol. 12, 590p.
- Rollinson, F. 1996. Using Geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation, Longman. Pp. 20-280.
- Sarmiento, L., Van Wess, J., Cloetingh, S. 2006. Mesozoic transtensional basin history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: Inferences from tectonic models. En: Journal of South American Earth Sciences, Vol. 21. Pp. 383-411.
- Spear, F. 1995. Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths. Rensselaer Polytechnic Institute. Department of Earth and environmental science. Troya, Nueva York. Pp. 71-105.
- Tarazona, C. Caracterización de los yacimientos de esmeraldas de la Formación Batá (Cretácico Inferior) en el sector de Buenavista (Ubalá-Cundinamarca). Bucaramanga 2008. 386 p. Tesis de pregrado: Universidad Industrial de Santander.
- Van den Kherko, A. M., Heins, U. F. 2001. Fluid Inclusion Petrography. En: Elsevier. Lithos 55, Pp. 27-47.
- Velasco, F. 2004. Introducción al estudio de las inclusiones Fluidas. XXIII Curso Latinoamericano de Metalogenía. Departamento de Mineralogía y Petrografía. Universidad del Vasco, España. 98p.
- Ventana Gold Corp. 2008. Technical report NI 43-101 On the California-Vetas Property, 37p. En: [Artículo en Internet] http://www.ventanagold.com/upload/technical_reports/CalVetasTechRepJune08_Final.pdf
- Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, J., Cruz, J., Restrepo, H. Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, Departamento de Santander. En: Boletín Geológico. 1973. Vol. XXI N° 1-3.

ANEXOS 1.
DFRACCION DE RAYOS X



Laboratorio de Difracción de Rayos-X

INF-058-10

Bucaramanga, Septiembre 28 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 doce (12) muestras, identificadas como **“TLG-E1-01, TLG-E1-02, TLG-E2-01, TLG-E3-01, TLG-E4-01, TLG-E5-01, TLG-E6-01, TLG-E7-01, TLG-E8-01, TLG-E8-02, TLG-E9-02, TLG-E11-01”**.

Atentamente,

JOSÉ ANTONIO HENAO MARTÍNEZ

Director

Laboratorio de Difracción de Rayos-X

PQ 0321

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 canales activos	de estado sólido referencia PIXcel con 255
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.

*Los resultados se relacionan únicamente con las muestras analizadas.

RESULTADOS

1. TLG-E1-01 (C2HC)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-85-0794	Cuarzo	% (D.E = 0.)
	K Si ₃ Al O ₈	000-19-0931	Ortoclasa	% (D.E = 0.)
	K Al ₂ Si ₃ Al O ₁₀ (OH) ₂	010-76-0929	Moscovita	% (D.E = 0.)
	Fe ₂ O ₃	010-89-8104	Hematita	% (D.E = 0.)
	Fe O (OH)	000-29-0713	Goetita	% (D.E = 0.)
Total Cristalino				%
Amorfos y otros				%

2. TLG-E1-02 (C2HF)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-77-1060	Cuarzo	% (D.E = 0.)
	Fe ₂ O ₃	010-88-2359	Hematita	% (D.E = 0.)
	Ca CO ₃	010-76-2916	Calcita	% (D.E = 0.)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	000-58-2037	Moscovita	% (D.E = 0.)
Total Cristalino				%
Amorfos y otros				%

3. TLG-E2-01 (C2HG)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	010-86-1560	Cuarzo	% (D.E = 0.)
	$\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	010-80-0886	Caolinita	% (D.E = 0.)
	$(\text{K}_{.88}\text{Na}_{.10}\text{Ca}_{.02})(\text{Al}_{1.005}\text{Si}_{2.995}\text{O}_8)$	010-76-0825	Ortoclasa	% (D.E = 0.)
	$\text{K Al}_2(\text{Si, Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	000-58-2035	Moscovita	% (D.E = 0.)
	$(\text{K, H}_{30})\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot \text{X H}_2\text{O}$	000-58-2015	Illita	% (D.E = 0.)
	$\text{Fe O}(\text{OH})$	000-29-0713	Goetita	% (D.E = 0.)
Total Cristalino				%
Amorfos y otros				%

4. TLG-E3-01 (C2HB)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	010-85-0695	Cuarzo	% (D.E = 0.)
	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	000-58-2028	Caolinita	% (D.E = 0.)
	$(\text{K}_{0.931}\text{Na}_{0.055})(\text{Al}_{0.97}\text{Si}_{3.03}\text{O}_8)$	010-76-0824	Ortoclasa	% (D.E = 0.)
	$\text{K Al}_2(\text{Al Si}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	000-58-2037	Moscovita	% (D.E = 0.)
	Fe_2O_3	010-89-0596	Hematita	% (D.E = 0.)
	Ca CO_3	010-86-2343	Calcita	% (D.E = 0.)
	$(\text{K, H}_{30})\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot \text{X H}_2\text{O}$	000-58-2017	Illita	% (D.E = 0.)
Total Cristalino				%
Amorfos y otros				%

5. TLG-E4-01 (C2HJ)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	010-78-1253	Cuarzo	% (D.E = 0.)
	$\text{K Al Si}_3 \text{ O}_8$	010-71-0957	Ortoclasa	% (D.E = 0.)
	$\text{K Al}_2 (\text{Si, Al})_4 \text{ O}_{10} (\text{OH})_2$	000-58-2034	Moscovita	% (D.E = 0.)
	$(\text{K, H}_{30}) \text{ Al}_2 (\text{Si}_3 \text{ Al}) \text{ O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot \text{X H}_2\text{O}$	000-26-0911	Illita	% (D.E = 0.)
	$\text{K Fe}_3 (\text{S O}_4)_2 (\text{O H})_6$	000-22-0827	Jarosita	% (D.E = 0.)
Total Cristalino				%
Amorfos y otros				%

6. TLG-E5-01 (C2HD)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	000-33-1161	Cuarzo	% (D.E = 0.)
	$\text{Na} (\text{Al Si}_3 \text{ O}_8)$	010-71-3816	Albita	% (D.E = 0.)
	$\text{K Al Si}_3 \text{ O}_8$	010-71-1540	Ortoclasa	% (D.E = 0.)
	$\text{K Al}_2 (\text{Al Si}_3 \text{ O}_{10}) (\text{OH})_2$	000-58-2037	Moscovita	% (D.E = 0.)
	$(\text{Na, Ca}) \text{ Al} (\text{Si, Al})_3 \text{ O}_8$	000-41-1480	Albita Cálcida	% (D.E = 0.)
	$\text{Al}_2 (\text{Si}_2 \text{ O}_5) (\text{OH})_4$	000-58-2028	Caolinita	% (D.E = 0.)
	$\text{K} (\text{Al Si}_3 \text{ O}_8)$	010-80-2107	Sanidina	% (D.E = 0.)
	$\text{K} (\text{Fe}_{2.554} \text{Al}_{0.446}) ((\text{Al}_{1.55} \text{Si}_{2.45}) \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	010-74-3152	Biotita	% (D.E = 0.)
Total Cristalino				%
Amorfos y otros				%

TLG-E6-01 (C2HL)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-85-1054	Cuarzo	% (D.E = 0.)
	K Al Si ₃ O ₈	000-19-0931	Ortoclasa	% (D.E = 0.)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	010-89-6216	Moscovita	% (D.E = 0.)
	Fe S ₂	010-71-1680	Pirita	% (D.E = 0.)
Total Cristalino				%
Amorfos y otros				%

7. TLG-E7-01 (C2HK)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-85-1054	Cuarzo	% (D.E = 0.)
	Na (Al Si ₃ O ₈)	010-89-6427	Albita	% (D.E = 0.)
	K (Al Si ₃ O ₈)	010-71-1543	Ortoclasa	% (D.E = 0.)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	010-70-3665	Moscovita	% (D.E = 0.)
	(K, H ₃₀) Al ₂ (Si ₃ Al) O ₁₀ (OH) ₂ · X H ₂ O	000-58-2015	Illita	% (D.E = 0.)
	Ca CO ₃	010-86-2341	Calcita	% (D.E = 0.)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-01-0527	Caolinita	% (D.E = 0.)
Total Cristalino				%
Amorfos y otros				%

8. TLG-E8-01 (C2HE)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	010-75-8321	Cuarzo	% (D.E = 0.)
	Ca CO ₃	010-86-2342	Calcita	% (D.E = 0.)
	Fe O (OH)	010-75-5065	Goetita	% (D.E = 0.)
	Fe ₂ O ₃	010-72-0469	Hematita	% (D.E = 0.)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	000-58-2037	Moscovita	% (D.E = 0.)
	(K _{0.94} Na _{0.06}) (Al Si ₃ O ₈)	010-76-0823	Ortoclasa	% (D.E = 0.)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-29-1487	Halloisita	% (D.E = 0.)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	000-58-2004	Caolinita	% (D.E = 0.)
Total Cristalino				%
Amorfos y otros				%

9. TLG-E8-02 (C2HI)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O ₂	000-33-1161	Cuarzo	% (D.E = 0.)
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	010-74-1784	Caolinita	% (D.E = 0.)
	K Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	000-58-2037	Moscovita	% (D.E = 0.)
	(K _{0.931} Na _{0.055}) (Al _{0.97} Si _{3.03} O ₈)	010-76-0824	Ortoclasa	% (D.E = 0.)
	K _{0.7} Al _{2.1} (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	000-24-0495	Illita	% (D.E = 0.)
Total Cristalino				%
Amorfos y otros				%

10. TLG-E9-02 (C2H)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos				% (D.E = 0.)
				% (D.E = 0.)
				% (D.E = 0.)
				% (D.E = 0.)
Total Cristalino				%
Amorfos y otros				%

11. TLG-E11-01 (C2H)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos				% (D.E = 0.)
				% (D.E = 0.)
				% (D.E = 0.)
				% (D.E = 0.)
				% (D.E = 0.)
Total Cristalino				%
Amorfos y otros				%

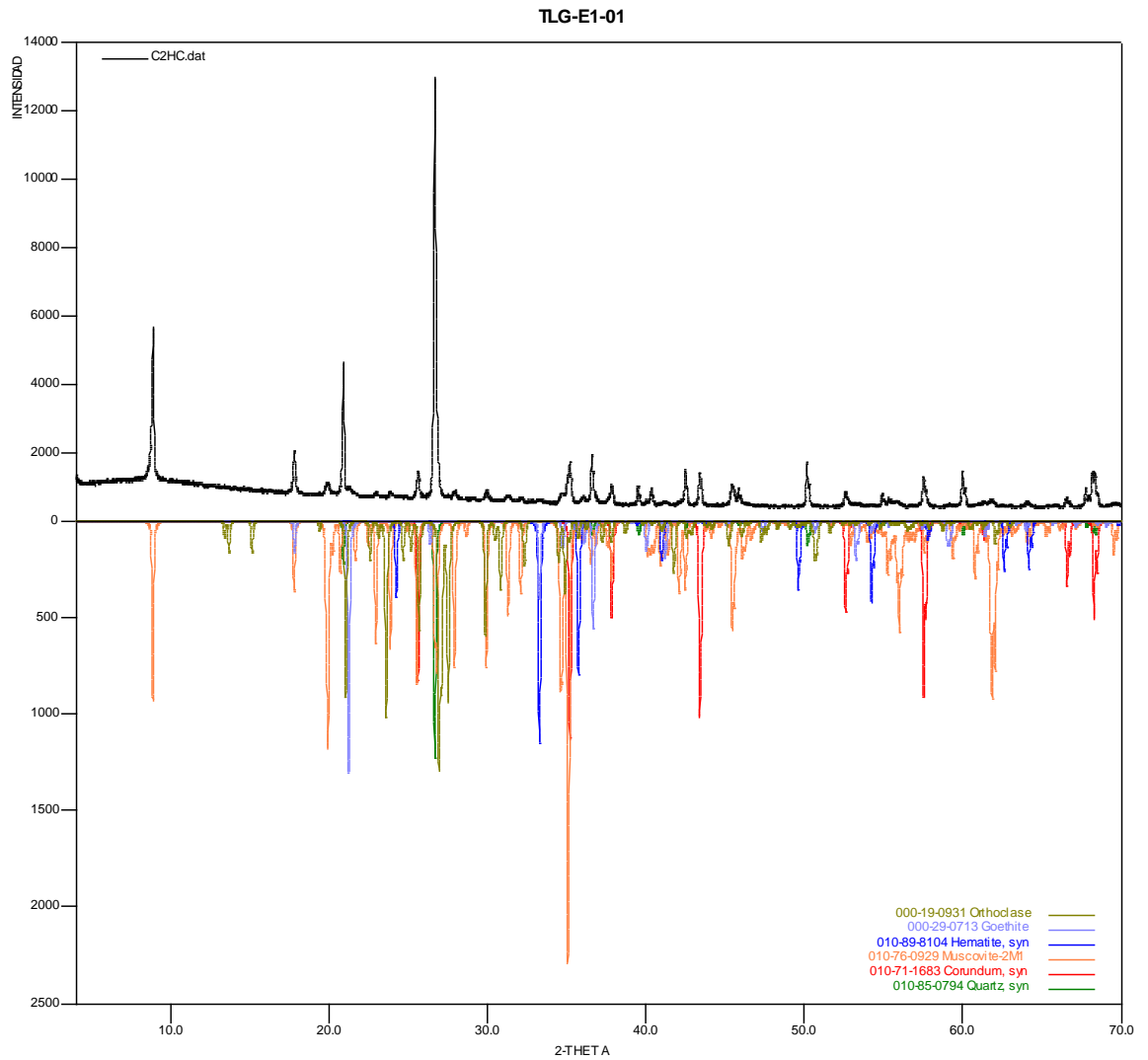
Nota:

D.E = Desviación estándar

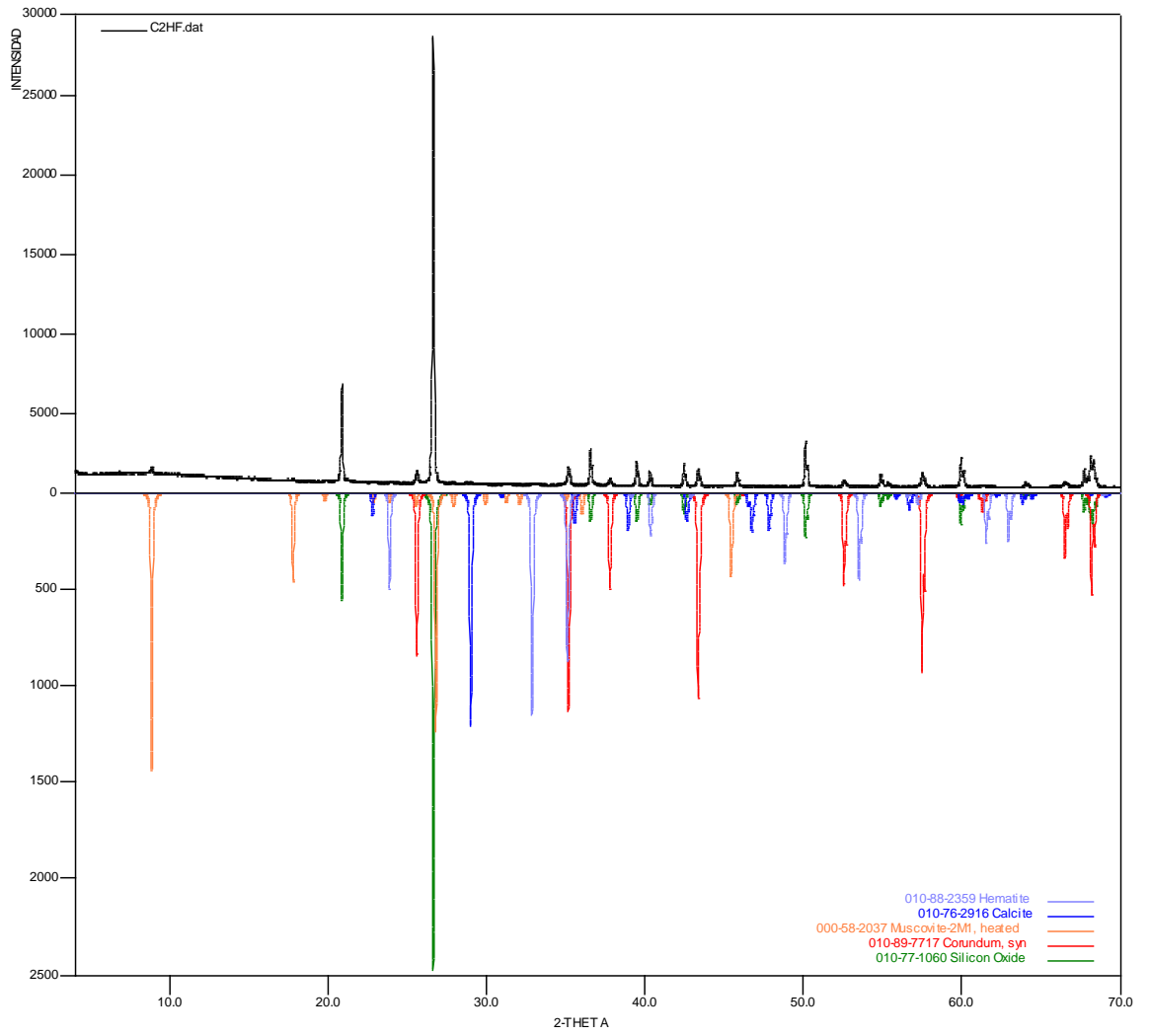
Observaciones:

- 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.

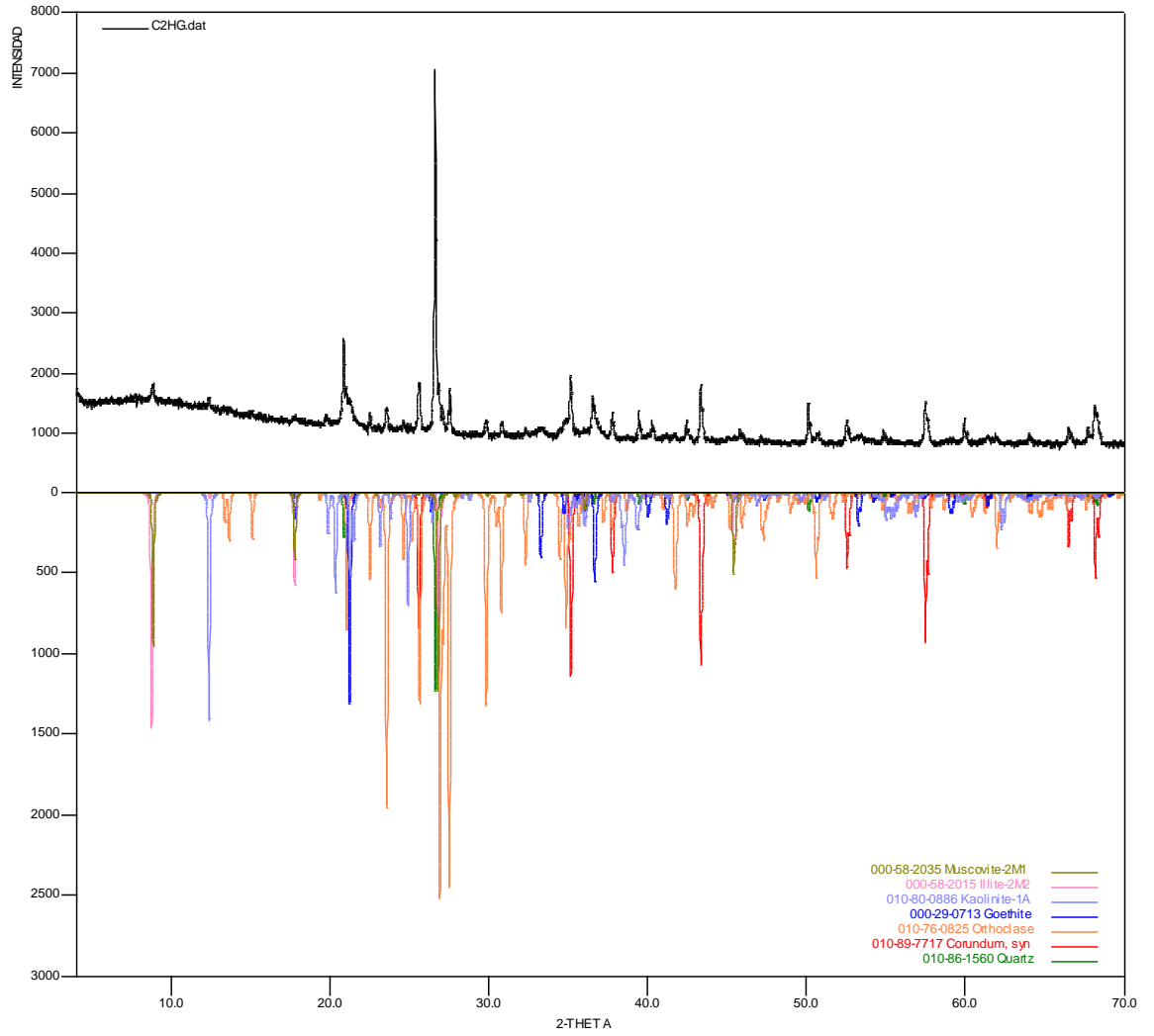
- En algunas muestras recibidas en el laboratorio, la fase *Halloisita* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) no fue cuantificada ya que no se tienen sus datos cristalográficos reportados en la base de datos para su respectiva cuantificación.



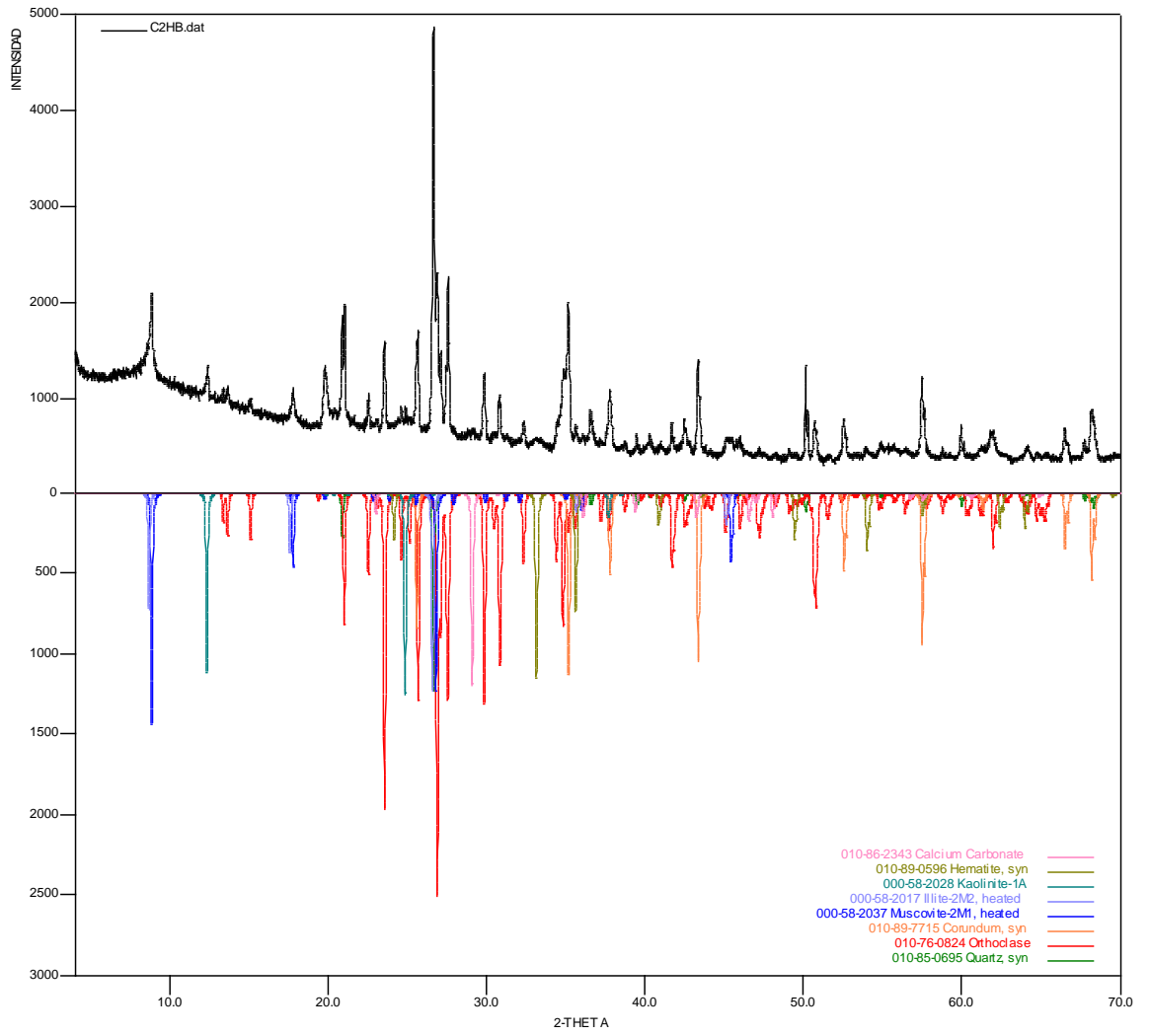
TLG-E1-02



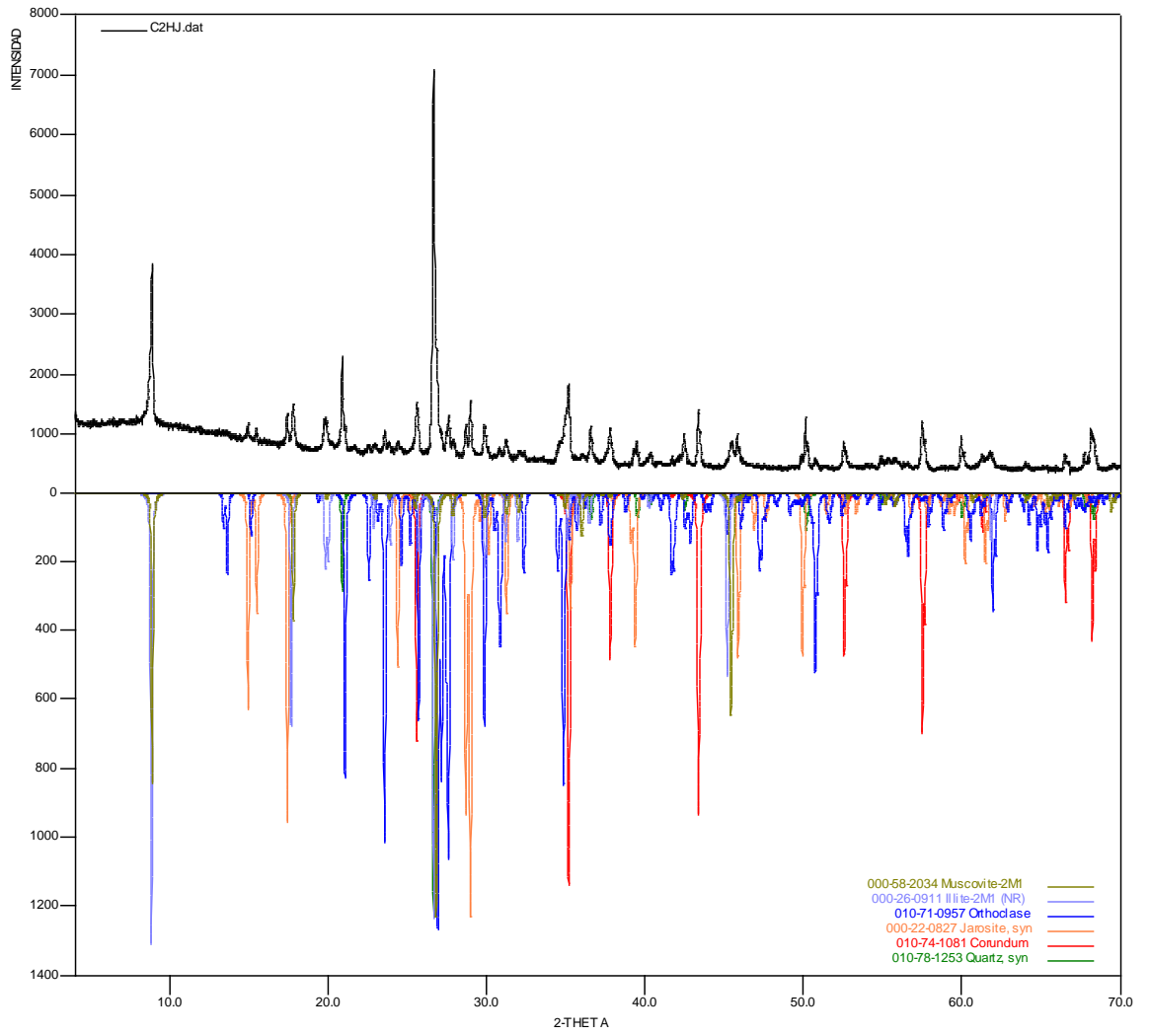
TLG-E2-01



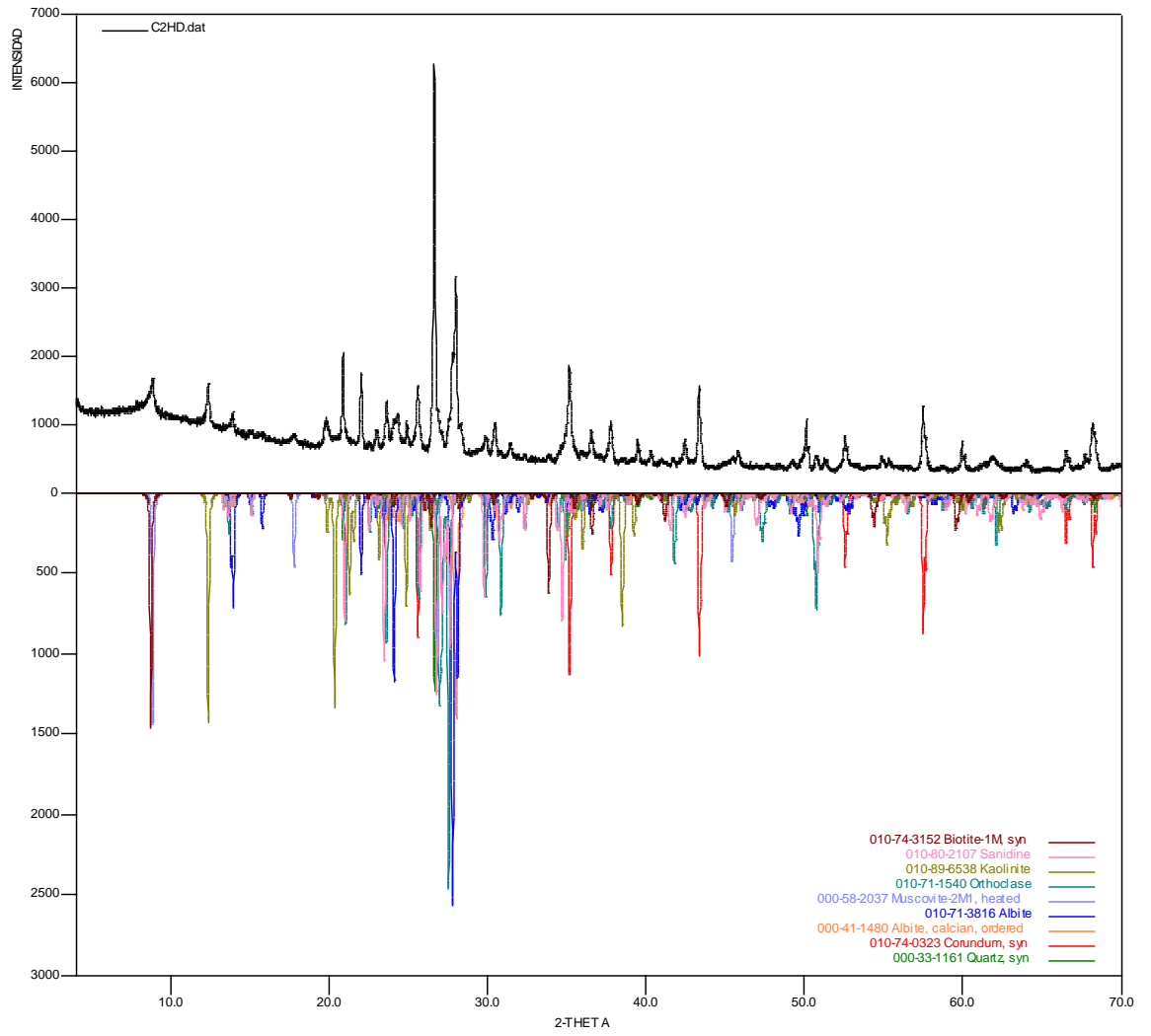
TLG-E3-01



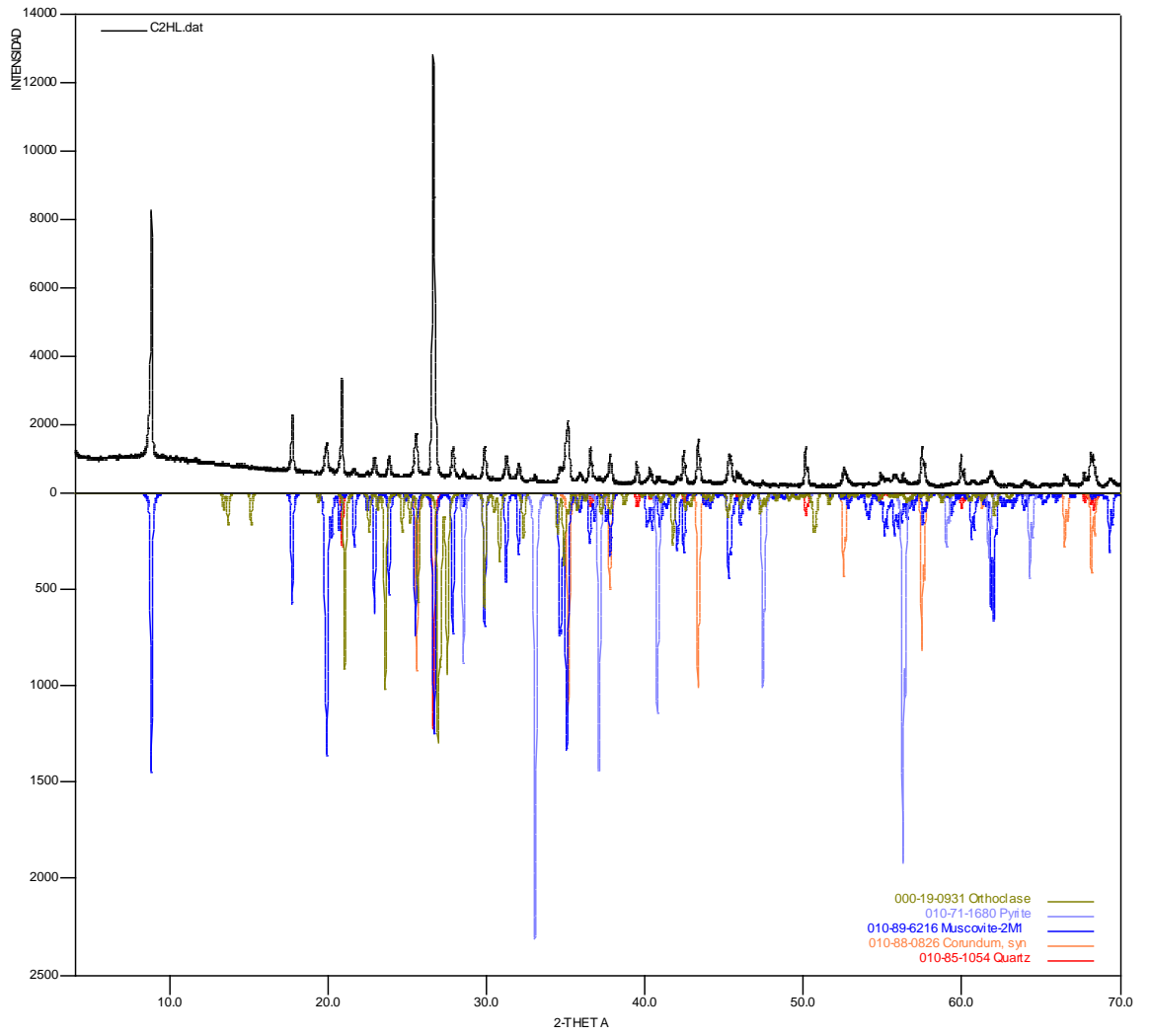
TLG-E4-01



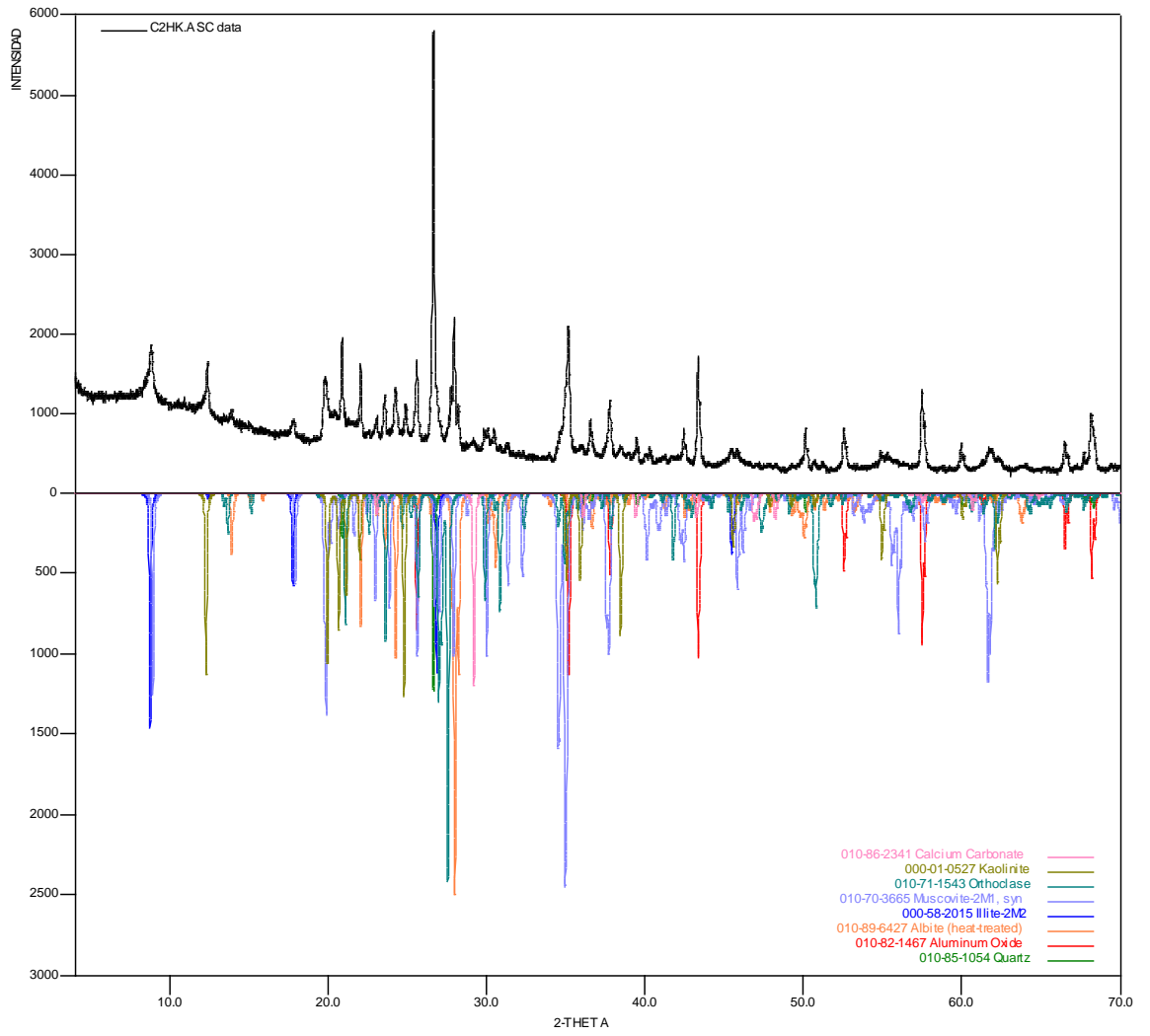
TLG-E5-01



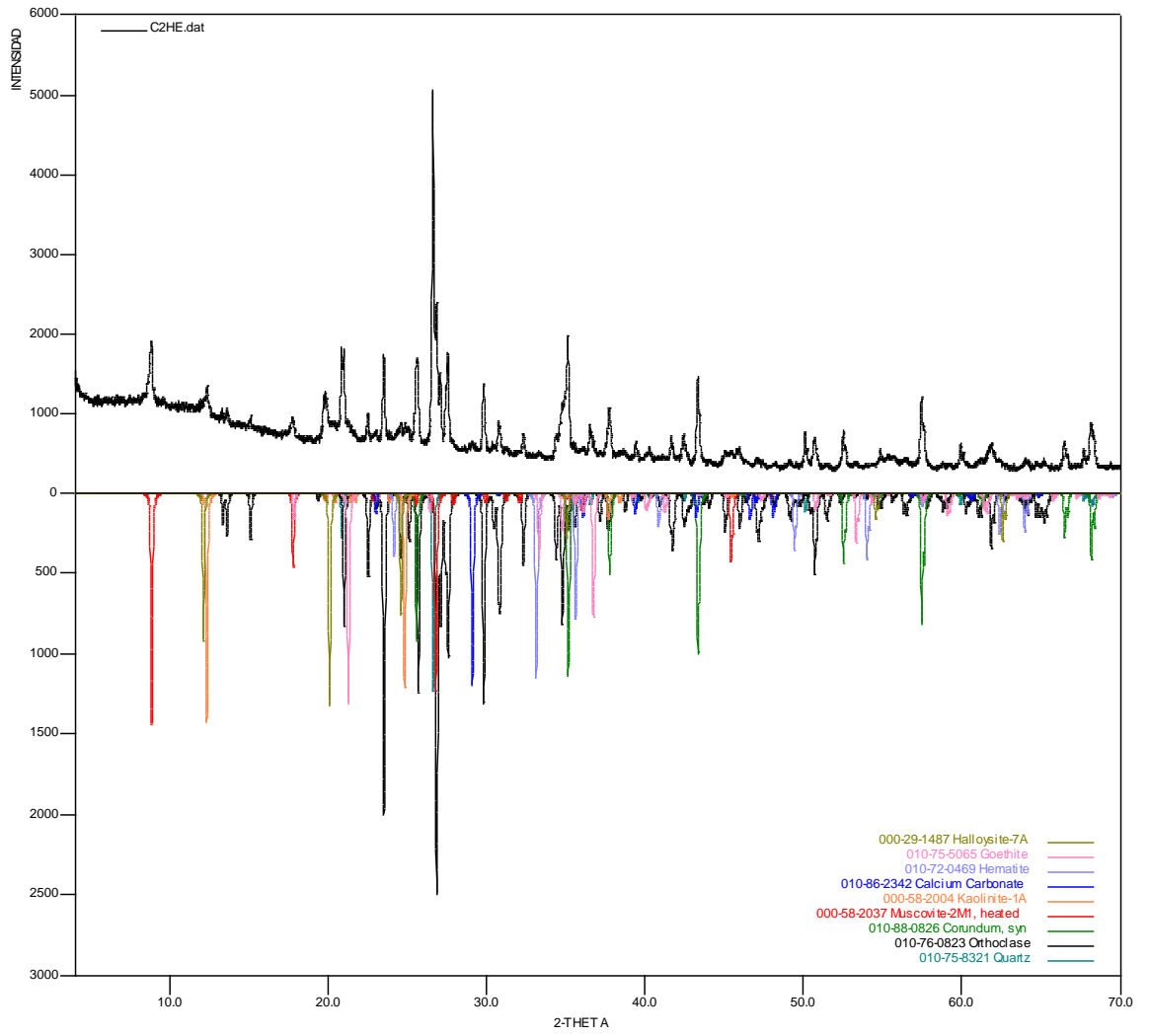
TLG-E6-01



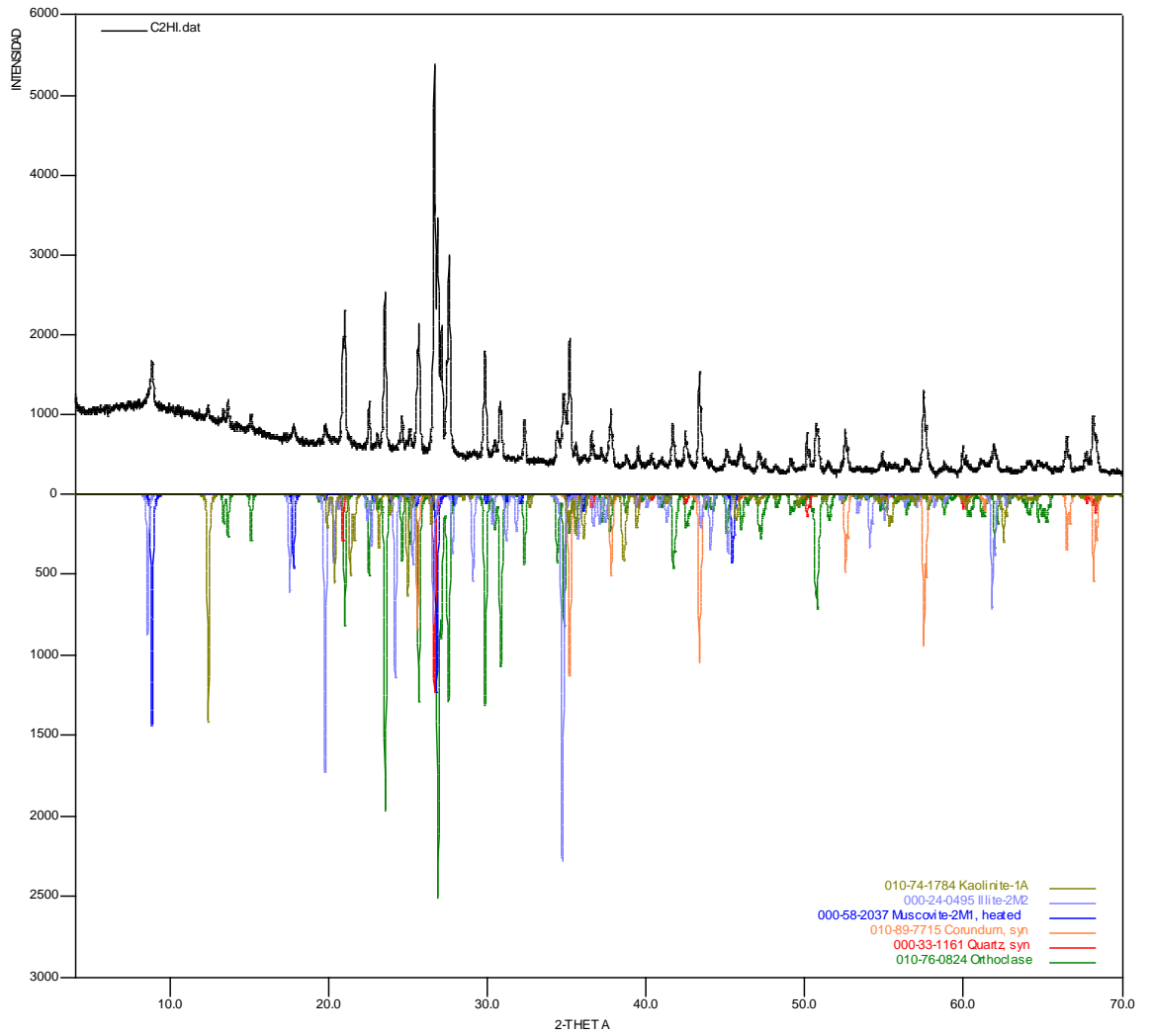
TLG-E7-01



TLG-E8-01



TLG-E8-02



Elaboró:

Revisó:

Qco. José Luis Pinto C.

Qco. MSc. Jesús Andelfo Pinilla A.

Profesional Analista

Director Técnico

PQ. 2009

PQ. 1585

ANEXO 2.
ANALISIS GEOQUIMICO



ALS Colombia Ltda
Parque Agroindustrial Perú
Bodega No. 4 (Km 2 vía Siberial)
Funza, Cundinamarca
Phone: (+57) 1 826 1633 www.alsglobal.com

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

Page: 1
Finalized Date: 12-OCT-2010
Account: VERSIS

CERTIFICATE BG10109937	
Project: MACIZO DE SANTANDER	
P.O. No.: This report is for 7 Rock samples submitted to our lab in Bogota, Colombia on 1-OCT-2010. The following have access to data associated with this certificate:	
ELGA GOMEZ	NHORA MANCILLA

SAMPLE PREPARATION	
ALS CODE	DESCRIPTION
WEI-21	Received Sample Weight
LDC-22	Sample login - Recd w/o BarCode
CRU-33	Fine crushing - 70% <2mm
CRU-QC	Crushing QC Test
PUL-QC	Pulverizing QC Test
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-XRF12xt	Whole rock by XRF-selected analytes XRF
QA-GRA05	Loss on Ignition at 1000C WST-SEQ
ME-MS41	51 anal. aqua regia ICFMS



ALS Colombia Ltda
Parque Agroindustrial Perú
Bodega No. 4 (Km 2 vía Siberial)
Funza, Cundinamarca
Phone: (+57) 1 826 1633 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 BG10109937																
Sample Description	Method Analyte Units LDR	MS-01 kg	MS-02 ppm	MS-03 %	MS-04 %	MS-05 ppm	MS-06 ppm	MS-07 %	MS-08 ppm	MS-09 %	MS-10 ppm	MS-11 %	MS-12 ppm	MS-13 %	MS-14 ppm	MS-15 %	MS-16 ppm	MS-17 %
TLC-E1-01		0.02	0.29	0.48	8.8	+0.2	+10	10	0.20	2.93	0.01	0.01	36.9	0.1	3	+0.05		
TLC-E2-02		0.22	0.13	0.50	10.5	+0.2	+10	130	0.58	0.99	0.01	0.28	26.1	2.0	4	0.06		
TLC-E3-01		0.26	0.39	0.35	9.9	+0.2	+10	30	0.35	1.74	0.01	0.01	0.23	0.1	2	0.18		
TLC-E5-01		0.29	0.08	0.30	7.3	+0.2	+10	400	0.58	0.01	0.13	0.88	38.0	3.6	2	0.44		
TLC-E7-01		0.34	0.15	0.75	10.0	0.3	+10	170	0.61	4.06	0.02	0.03	41.2	0.4	+1	0.16		
TLC-E8-01		0.34	0.39	0.74	3.4	+0.2	+10	170	0.36	0.16	0.01	0.01	36.7	0.3	1	0.68		
TLC-E8-03		0.28	0.16	0.38	9.9	+0.2	+10	30	0.12	0.99	0.02	-0.01	33.1	4.5	4	1.01		



ALS Colombia Ltda
Parque Agroindustrial Perú
Bodega No. 4 (Km 2 vía Siberial)
Funza, Cundinamarca
Phone: (+57) 1 826 1633 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 BG10109937																
Sample Description	Method Analyte Units LDR	MS-18 ppm	MS-19 %	MS-20 ppm	MS-21 ppm	MS-22 ppm	MS-23 ppm	MS-24 ppm	MS-25 %	MS-26 ppm	MS-27 %	MS-28 ppm	MS-29 %	MS-30 ppm	MS-31 %	MS-32 ppm	MS-33 %	
TLC-E1-01		387	7.38	4.01	0.14	+0.02	0.03	0.077	0.21	18.9	0.3	0.02	28	5.93	+0.01	0.12		
TLC-E2-02		661	8.19	1.01	0.14	+0.02	0.02	0.249	0.12	14.5	0.5	0.01	414	108.0	+0.01	0.18		
TLC-E3-01		43.9	1.55	1.62	+0.05	+0.02	0.01	0.046	0.16	4.5	0.2	0.03	26	8.75	+0.01	0.07		
TLC-E5-01		42.2	1.19	1.76	0.25	0.22	+0.01	0.006	0.17	17.1	0.6	0.01	3110	1.70	0.32	0.09		
TLC-E7-01		150.0	3.11	4.53	0.06	0.02	0.02	0.127	0.16	24.3	0.4	0.01	19	4.38	+0.01	0.17		
TLC-E8-01		30.6	0.45	2.02	+0.09	+0.02	0.01	0.198	0.19	18.6	0.3	0.02	19	3.85	+0.01	+0.26		
TLC-E8-03		100.5	2.05	1.25	0.08	+0.02	+0.01	0.071	0.10	15.0	0.3	0.01	25	8.68	0.04	0.07		



ALS Colombia Ltda
Parque Agroindustrial Perú
Bodega No. 4 (Km 2 vía Siberial)
Funza, Cundinamarca
Phone: (+57) 1 826 1633 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 BG10109937																
Sample Description	Method Analyte Units LDR	MS-34 ppm	MS-35 %	MS-36 ppm	MS-37 ppm	MS-38 %	MS-39 ppm	MS-40 ppm	MS-41 ppm	MS-42 ppm	MS-43 ppm	MS-44 ppm	MS-45 ppm	MS-46 ppm	MS-47 ppm	MS-48 ppm	MS-49 ppm	MS-50 ppm
TLC-E1-01		0.4	30	18.3	7.1	+0.001	0.05	0.11	0.0	9.8	3.7	2.3	+0.01	0.98	4.2	+0.005		
TLC-E2-02		1.5	790	68.4	6.3	0.002	0.07	0.16	2.6	1.1	0.2	9.3	+0.01	1.12	10.4	+0.005		
TLC-E3-01		0.5	170	15.5	0.3	+0.001	0.01	0.12	0.6	0.2	+0.3	0.6	+0.01	0.86	2.9	+0.005		
TLC-E5-01		1.7	430	8.7	9.3	+0.001	+0.01	+0.05	1.0	+0.2	+0.2	33.2	+0.01	+0.01	8.4	+0.006		
TLC-E7-01		0.3	510	27.0	8.2	+0.001	0.02	0.18	1.2	0.9	0.2	327	+0.01	3.55	19.0	+0.005		
TLC-E8-01		0.5	90	5.1	8.2	+0.001	0.06	+0.05	1.8	+0.2	+0.2	48.3	+0.01	0.19	8.8	+0.006		
TLC-E8-03		2.9	130	1.6	7.8	0.009	1.87	+0.05	2.8	2.1	0.8	12.2	+0.01	0.32	8.2	+0.006		



ALS Colombia Ltda.
 Parque Agroindustrial Perú
 Bodega No. 4 (Km 2 vía Siberia)
 Fuzca - Cundinamarca
 Phone: (+57) 3 826 1635 www.alsglobal.com

To: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 CARRERA 27 CALLE 9
 BUCARAMANCA 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 BG10109937

Sample Description	Method Analyte Units LOD	ME-MS41	ME-NS41	ME-NS41	ME-NS41	ME-NS41	ME-NS41	ME-NS41	Fe-VOL20	ME-XRF12r	ME-XRF12r	ME-XRF12r	ME-XRF12r	ME-XRF12r	ME-XRF12r	ME-XRF12r	ME-XRF12r
		Ti ppm 0.02	U ppm 0.05	V ppm 1	W ppm 0.05	Y ppm 0.05	Zr ppm 2	Zr ppm 0.5	Zr ppm 0.5	% %	% %	% %	% %	% %	% %	% %	% %
TLC-E1-01		0.06	0.04	19	0.06	1.20	3	-0.5	0.39	13.50	0.018	0.03	0.005	10.80	4.16	0.79	
TLC-E2-02		0.06	2.46	23	0.29	2.14	127	-0.5	0.48	10.80	0.068	0.03	0.002	11.85	5.79	0.24	
TLC-E5-01		0.07	0.32	4	0.21	1.25	3	-0.5	0.32	14.90	0.148	0.04	0.005	2.39	8.04	0.42	
TLC-E5-01		0.06	0.75	8	+0.05	12.80	253	-0.5	-0.01	16.70	0.108	0.03	0.004	2.16	3.88	0.21	
TLC-E7-01		0.07	1.65	5	+0.05	5.63	8	0.6	0.28	16.30	0.167	0.04	0.002	4.85	7.11	0.01	
TLC-E8-01		0.07	0.53	3	0.15	2.31	4	-0.5	0.28	16.25	0.164	0.14	0.005	1.18	4.02	0.27	
TLC-E8-05		0.06	0.91	8	0.08	4.84	2	-0.5	0.42	14.85	0.110	0.30	0.005	2.98	4.47	0.14	



ALS Colombia Ltda.
 Parque Agroindustrial Perú
 Bodega No. 4 (Km 2 vía Siberia)
 Fuzca - Cundinamarca
 Phone: (+57) 3 826 1635 www.alsglobal.com

To: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 CARRERA 27 CALLE 9
 BUCARAMANCA 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 BG10109937

Sample Description	Method Analyte Units LOD	ME-XRF12r	ME-XRF12r	ME-XRF12r	ME-XRF12r	ME-XRF12r	ME-XRF12r	DA-DRAGS
		MnO %	Fe2O %	P2O5 %	SiO2 %	Al2O %	TiO2 %	DRAGS %
TLC-E1-01		0.013	0.008	0.032	85.9	+0.001	0.80	3.67
TLC-E2-02		0.057	0.164	0.211	88.1	0.016	0.14	3.20
TLC-E3-01		0.058	0.305	0.050	72.5	0.034	0.37	1.65
TLC-E3-01		0.427	3.53	0.307	71.0	0.063	0.20	1.75
TLC-E7-01		0.020	0.108	0.134	64.9	0.024	0.58	3.07
TLC-E8-01		0.004	1.306	0.041	88.9	0.038	0.29	3.98
TLC-E8-03		0.004	1.79	0.036	89.5	0.044	0.35	2.46