

**ESTUDIO PETROGRAFICO Y GEOQUIMICO DE LAS ROCAS
ANDESITICAS Y MICROGABROS PORFIRÍTICOS DEL SECTOR VIJAGUAL
(MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, SANTANDER)**

ADRIANA CASTRO RAMIREZ

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

2010

**ESTUDIO PETROGRAFICO Y GEOQUIMICO DE LAS ROCAS
ANDESITICAS Y MICROGABROS PORFIRÍTICOS DEL SECTOR VIJAGUAL
(MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, SANTANDER)**

ADRIANA CASTRO RAMIREZ

Trabajo de Grado para optar al Título de Geólogo

Director

LUIS CARLOS MANTILLAFIGUEROA

GEOLOGO PhD

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

2010

DEDICATORIA

A DIOS por brindarme fortaleza y tranquilidad

*A MI PADRE por su apoyo incondicional en cada momento
de mi vida, por su esfuerzo y dedicación. Todo lo q soy es
gracias a ti*

*A MI MADRE por sus esfuerzos contantes, su gran valor y
todo su amor*

*A MIS HERMANOS, Alexa, Camila y Daniel quienes llenan mi
vida de gratos momentos y alegrías ,todos con sus locuras y
disparates*

Y con mucho amor a mí amoreee

AGRADECIMIENTOS

A mi director Luis Carlos Mantilla Figueroa, por sus valiosos conocimientos, sabios consejos y sus correctas apreciaciones en el desarrollo de este proyecto, por confiar en mí para la realización del mismo.

Al profesor Oscar Castellanos por su apoyo técnico y amigable compañía.

Al profesor Carlos Rios por su colaboración y paciencia.

Al profesor Jorge Pinto, por su apoyo académico y emocional, por su amistad. A los profesores de la Escuela de Geología, por su formación técnica y su lucha constante por crear mejores profesionales y personas en especial a Carlos García, Jairo Clavijo, Eliecer Uribe y Jorge Rubiano.

A Andelfo Pinilla, profesor de la Escuela de Química, por toda su colaboración y empeño en este trabajo.

A mis amigos de siempre Adriana, Leydy, Alvaro, Llamosa, Diego, Juan, Carlos Leonardo, Auris y Gio, en especial a mis dos amigas, con las cuales pasamos muy buenos momentos, aprendimos cosas valiosas y les deseo las mejores oportunidades, gracias.

Quiero agradecer de manera especial y cariñosa a Auris Uribe, por compartir esta etapa final conmigo, por sus consejos, por su compañía, por su amistad sincera, por sus locuras y sus gracias.

A Oscar Diaff, mi eterna compañía, por su dulzura y amor constante, por su apoyo incondicional, por sus consejos y por hacer de este camino una grata y expectante aventura.

A Alexa por su apoyo incondicional y valiosa compañía en las diferentes etapas de mi vida.

A don Lucho por su alegre compañía, por hacer gratos los meses de trabajo

A Sandra, Natalia y Astrid por su amistad y camaradería lo largo de todos estos años.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	18
1. OBJETIVOS.....	20
1.1 Objetivos específicos.....	20
2. METODOLOGIA.....	21
3. GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO.....	27
3.1 Localización.....	27
3.2 Vías de acceso.....	28
3.3 Clima, Vegetación y Topografía.....	28
4. ANTECEDENTES.....	30
4.1 Estratigrafía.....	31
4.2 Aspectos Estructurales.....	33
4.2.1 Falla de Bucaramanga- Santa Marta.....	33
4.2.2 Falla de Surata.....	33
5. RESULTADOS.....	36
5.1 Distribución Espacial y Rasgos Macroscópicos generales de las Rocas Ígneas objeto de Estudio.....	36
6. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE LAS ROCAS TIPO MICROGABROS Y ANDESITAS PORFIRÍTICAS.....	43
6.1 Andesitoide porfirítico.....	44
6.2 Micro gabro porfirítico.....	48

6.3 Basalto porfirítico.....	51
6.4 Granitoides (Roca Caja).....	54
7. IDENTIFICACION DE FASES MINERALES DE LAS ROCAS MEDIANTE DIFRACCION DE RAYOS X.....	57
8. CLASIFICACIÓN MODAL DE LAS ROCAS ESTUDIADAS.....	69
9. DATOS GEOQUIMICOS DE ROCA TOTAL.....	73
9.1 Análisis geoquímico de elementos mayores.....	73
9.2 Análisis geoquímico de elementos traza.....	88
10. CONCLUSIONES.....	94
11. RECOMENDACIONES.....	97
12. BIBLIOGRAFIA.....	98

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Localización de la microcuenca El Aburrido.....	18
FIGURA 2. Aspecto de la Lupa biocular marca NIKON N1-150, modelo C-PS. Laboratorio de lupas, Escuela de Geología, (UIS).....	21
FIGURA 3. Equipos de trabajo utilizados en la elaboración de secciones delgadas. a. cortadora MINOSECAR 2 ROW-RATHENO, b. horno ELCONAP, c. pulidora devastadora BUEHLER, d. Pulidora de paño MONTASUPAL. Laboratorio de preparación de muestras de la Escuela de Geología, (UIS)....	22
FIGURA 4. Microscopio de luz transmitida NIKON ECLIPSE E200 50/POL con cámara y pantalla incorporada: Digital Sight DS-SM y Digital Sight DS-L1 Laboratorio de microscopía óptica, Escuela de Geología, (UIS).....	23
FIGURA 5. Equipos de trabajo utilizados en la pulverización de muestras. a. trituradora de mandíbula RETSCH tipo BB200 SCHWERMETALLFREI, b. mortero de Agatha RM 100 RETSCH. Laboratorio de triturado, tamizado y pulverización de muestras de la Escuela de Geología, (UIS).....	23
FIGURA 6. Difractómetro RIGAKU modelo D/MAX IIIB, utilizado en el presente estudio. Laboratorio de Difracción de Rayos X, Escuela de Química, Universidad Industrial de Santander.....	24
FIGURA 7. Localización geográfica de la microcuenca El Aburrido, Corregimiento 1, municipio de Bucaramanga, Santander.....	27
FIGURA 8. Acceso por carretera, de Bucaramanga al sector de Vijagual y la Vereda El Aburrido.....	28
FIGURA 9. Vista panorámica de la microcuenca El Aburrido, Corregimiento 1, Municipio de Bucaramanga, Santander.....	29
FIGURA 10. Esquema geológico del área de estudio.....	31
FIGURA 11. División tectónica del departamento de Santander, localización del área de estudio dentro del Bloque de Ocaña, provincia Macizo de Santander.....	35
FIGURA 12. Esquema topográfico y geológico, en los cuales se indica la localización de las muestras objeto de estudio.....	37
FIGURA 13. Aspecto de los bloques de composición andesitoide (a), los cuales presentan fenocristales de plagioclasa de tamaños centimétricos, embebidos en una matriz de grano fino (b).....	39

FIGURA 14. Aspecto de los bloques rodados tipo microgabro porfirítico (a), conformados por fenocristales de plagioclasa, embebidos en una matriz afanítica.....	39
FIGURA 15. En la fotografía se observa el contacto entre el dique de andesita y el granito (a). A detalle podemos observar la composición y el tamaño de grano de la andesita (b.).....	40
FIGURA 16. Aspectos de las rocas Andesitoides porfiríticos.....	41
FIGURA 17. Aspecto de los microgabros porfiríticos.....	42
Figura 18. Aspecto del basalto porfirítico.....	42
FIGURA 19. Fenocristales de plagioclasa con fracturas rellenas de hidróxido de hierro, como producto de las biotitas (a). Plagioclasas con zonaciones concéntricas, en al cual se reconocen maclas tipo albita y plagioclasa cálcica (b). Microfotografía tomada con objetivo de 5x. Luz plana no analizada.....	45
FIGURA 20. Fenocristal de biotita con bordes oscuros. Microfotografía tomada con objetivo de 5x luz plana no analizada.....	46
FIGURA 21. Fenocristal de horblenda con bordes oxidados. Microfotografía tomada con objetivo de 5x a) Luz plana no analizada. Y b) Luz polarizada...	46
FIGURA 22. Matriz de Andesita, de grano fino, compuesta de plagioclasa, biotita, clorita, horblenda y epidota. Microfotografía tomada con objetivo de 5x a) Luz plana no analizada. Y b) Luz polarizada.....	47
FIGURA 23. Aspecto al microscopio de los fenocristales de plagioclasa con zonación concéntrica. Microfotografía tomada con objetivo de 5x, luz plana no analizada.....	48
FIGURA 24. En ésta figura se observa la presencia de cristales de diópsido (Di), augita (Aug) plagioclasa (Pl), clorita (Chl), biotitas (Bt) y epidota (Ep). Microfotografía tomada con objetivo de 5x. a) Luz polarizada y b) Luz plana no analizada.....	49
FIGURA 25. En las fotografías se ilustra dos vacuolas a y b, c y d, cada una de ellas compuesta de clorita y en el centro cristales de esfena. Microfotografía tomada con objetivo de 5x. a,c) Luz plana no analizada y b,d) Luz polarizada.....	50
FIGURA 26. Fenocristales de plagioclasa, que exhiben maclas polisintéticas tipo plagioclasa cálcica y tipo albita. Microfotografía tomada con objetivo de 5x y luz plana no analizada.....	52

FIGURA 27. En la figura se observa la presencia de fenocristales de plagioclasa (Pl) alterados a sericita (Sct), embebidos en la matriz de igual composición, con clorita (Chl) como mineral de alteración de la Augita (Aug) y diópsido (Di). Microfotografía tomada con objetivo de 10x. a) Luz polarizada y b) Luz plana no analizada.....	53
FIGURA 28. En la figura se observa la presencia de cristales de plagioclasa (Pl), horblenda (Hbl) y biotita (Bt) .Microfotografía tomada con objetivo de 5x. a) Luz polarizada y b) Luz plana no analizada.....	54
FIGURA 29. En la figura se observa la presencia de cristales plagioclasa (Pl), en algunas ocasiones alterada a sericita (Sct), horblenda (Hbl), epidota (Ep), biotita (Bt) y clorita (Chl). Microfotografía tomada con objetivo de 5x. a) Luz polarizada y b) Luz plana no analizada.....	55
FIGURA 30. Difractograma para la muestra TAA-1-M2 (andesitas porfíricas), en el cual se reconocen los minerales relacionados en la TABLA 10.....	59
FIGURA 31. Difractograma para la muestra TAA-3-M1 (andesitas porfíricas), en el cual se reconocen los minerales relacionados en la TABLA 10.....	60
FIGURA 32. Difractograma para la muestra TAA-5-M2 (andesitas porfíricas), en el cual se reconocen los minerales relacionados en la TABLA 10.....	61
FIGURA 33. Difractograma de la muestra TAA-2-M1 (microgabros porfíricas), en el cual se reconocen los minerales relacionados en la TABLA 11.....	63
FIGURA 34. Difractograma de la muestra TAA-4-M1 (microgabros porfíricas), en el cual se reconocen los minerales relacionados en la TABLA 11.....	64
FIGURA 35. Difractograma para la muestra TAA-3-M2 (microgabros porfíricas), en el cual se reconocen los minerales relacionados en la TABLA 12.....	66
FIGURA 36. Difractograma para la muestra TAA-5-M1, perteneciente al grupo de granitoides (roca caja).....	67
FIGURA 37. Difractograma para la muestra TAA-5-M3, perteneciente al grupo de granitoides (roca caja).....	68
FIGURA 38. Diagrama de clasificación de rocas basálticas y andesíticas, según el contenido mineralógico modal, usando el diagrama de QAPF. En rojo se muestran las andesitas y en verde el basalto.....	70
FIGURA 39. Diagrama de clasificación de rocas gabroicas.....	71

FIGURA 40. Diagrama de clasificación de rocas dioríticas, según el contenido mineralógico modal, usando el diagrama de QAPF.....	72
FIGURA 41. Clasificación química y nomenclatura de rocas ígneas, usando el diagrama de proyección de los álcalis versus sílice (TAS). a) diagrama para rocas volcánicas. b) Diagrama de rocas plutónicas. La línea gruesa subdivide las rocas alcalinas (parte superior) y subalcalinas (parte inferior).....	78
FIGURA 42. Clasificación de rocas volcánicas basada en elementos inmóviles.....	80
FIGURA 43. Diagrama álcalis vs. Sílice. Línea de división de series alcalina/subalcalina.....	82
FIGURA 44. Diagrama de distinción entre serie toleítica y calco-alcalina, para las rocas andesíticas, gabroicas, ubicadas en el sector de Vijagual.....	82
FIGURA 45. Subdivisión de rocas subalcalinas, usando el diagrama de proyección K ₂ O versus SiO ₂ , las bandas grises son los campos en los cuales caen los límites entre series.....	83
FIGURA 46. Diagramas de variación de Harker oxidos vs SiO ₂ para las rocas andesíticas, gabroicas y basaltos presentes en el sector de Vijagual.....	84
FIGURA 47. Diagrama de variación triangular AFM para las rocas andesíticas, gabroicas y basaltos presentes en el sector de Vijagual.....	87
FIGURA 48. Elementos traza normalizados al manto primitivo.....	89
FIGURA 49. Elementos traza normalizados respecto al N-MORB.....	90
FIGURA 50. Elementos traza normalizados respecto al condrito.....	90
FIGURA 51. Diagrama de variación Ba/Nb vs. Nb.....	91
FIGURA 52. Diagramas de Ba/Nb vs Nb/Y y Ba/Yvs Nb/Y mostrando la evolución de las fuentes y su componente de subducción.....	92

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Condiciones de trabajo, durante el análisis de muestras mediante determinación de DRX.....	24
TABLA 2. Analitos y porcentaje de rangos arrojado por análisis de roca total por fusión con metaborato de litio seguido de XRF con LOI (Perdida por ignición).....	25
TABLA 3. Analitos y porcentaje de rangos en ppm, arrojado por análisis de roca total en determinación de trazas con agua regia y análisis por ICP-MS.....	28
TABLA 4. Relación de estaciones con sus respectivas muestras y diferenciación del tipo de muestra.....	36
TABLA 5. Relación de muestras estudiadas en el presente trabajo.....	43
TABLA 6. Composición mineralógica modal de las rocas andesíticas.....	47
TABLA 7. Composición mineralógica modal de las rocas tipo microgabros porfíricos.....	51
TABLA 8. Composición mineralógica modal de las rocas tipo basaltos porfíricos.....	53
TABLA 9. Composición mineralógica modal de las rocas tipo granitoides (roca caja).....	56
TABLA 10. Fases minerales presentes en las rocas andesitas porfíricas. El rango de los porcentajes reportados (cálculos semicuantitativos), son tomados de los valores mínimos y máximos de los análisis de DRX.....	58
TABLA 11. Fases minerales presentes en las rocas tipo microgabros porfíricos. El rango de los porcentajes reportados (cálculos semicuantitativos), son tomados de los valores mínimos y máximos de los análisis de DRX.....	62
TABLA 12. Fases minerales presentes en las rocas tipo basaltos porfíricos. El porcentaje reportado es un cálculo semicuantitativo, derivado del análisis de DRX.....	65
TABLA 13. Fases minerales presentes en las rocas tipo granitoides. El porcentaje reportado es un cálculo semicuantitativo, derivado del análisis de DRX.....	67
TABLA 14. Resultados de Fluorescencia de rayos x, expresados en % en peso. Hierro total expresado como Fe ₂ O ₃	74

TABLA 15. Relación del índice químico de meteorización (<i>C/W</i>), para las rocas analizadas.....	75
TABLA 16. Clasificación de rocas ígneas de acuerdo a la concentración de sílice expresada en % en peso.....	75
TABLA 17. Clasificación de rocas de acuerdo al índice de saturación de Alúmina.....	76
TABLA 18. Composición normativa de las rocas andesíticas, micro gabros y basaltos porfíricos.....	77
TABLA 19. Resultados arrojados del análisis químico de ICP-MS.....	88

ANEXOS

ANEXO 1. Catalogo Petrográfico	98
ANEXO 2. Resultados Difracción de Rayos X.....	123
ANEXO 3. Resultados de Elementos Mayores, Menores y Traza	

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO PETROGRAFICO Y GEOQUIMICO DE LAS ROCAS ANDESITICAS Y GABROICAS PRESENTES EN EL SECTOR DE VIJAGUAL (MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, DEPARTAMENTO DE SANTANDER)¹

AUTORES: ADRIANA CASTRO RAMIREZ²

PALABRAS CLAVE: Petrografía, geoquímica, andesitas, basalto, gabros, clasificación.

DESCRIPCION

En el sector de referencia Vijagual, al norte de la ciudad de Bucaramanga, se localiza la quebrada La Vega. Esta quebrada pertenece a la microcuenca El Aburrido (corregimiento 1 del territorio de Bucaramanga) y a lo largo de ella se localizan manifestaciones de rocas subvolcánicas definidas en este trabajo como andesitas y microgabros porfíricos, las cuales se presentan en tamaños de bloques, cantos y guijarros.

El fin del proyecto consiste en clasificar las rocas de acuerdo a sus características mineralógicas, petrográficas y geoquímicas. Lo cual fue logrado mediante el análisis de las fases minerales por DRX, petrografía de láminas delgadas y diagramas geoquímicos establecidos para tal fin, como son los diagramas de variación de Harker, diagramas triangulares y diagramas multielemento.

Como resultado final, las rocas andesíticas y microgabros porfíricos son de series calco-alcálicas, de carácter metalúminoso, a las cuales se les atribuye un ambiente de formación típico de subducción. Sin embargo se sugieren dos pulsos diferentes para la formación de estas rocas, el primero de ellos estaría relacionado con los microgabros porfíricos y la subdivisión basaltos porfíricos, los cuales presentan características de magmas menos evolucionados y variaciones en los diferentes diagramas de clasificación respecto a las andesitas. Por otro lado a falta de datos geocronológicos, se establece que las andesitas porfíricas, posiblemente estén relacionadas con rocas de características similares tanto composicionales como texturales, reconocidas al sur del Municipio de California reportadas del Mioceno (Mantilla *et al.*, 2009).

¹ Proyecto de Grado

² Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-químicas. Escuela de Geología. Director Ph D. Luis Carlos Mantilla Figueroa

ABSTRAC

TITLE: PETROGRAPHIC AND GEOCHEMICAL STUDY OF THE ANDETISITE AND GABBROIC ROCKS, PRESENT IN THE VIJAGUAL SECTOR.

AUTORES: ADRIANA CASTRO RAMIREZ²

PALABRAS CLAVE: Petrographic, gechemistry, andesite, basalt, gabbro, classification.

DESCRPCION

In the reference field Vijagual, north of the city of Bucaramanga, is located the tributary La Vega. The tributary belongs to the micro-basin The Aburrido. (the territory 1. of Bucaramanga) and along it are located manifestations of subvolcanic rocks named here as porphyritic andesites and microgabros, which sizes consists of blocks and shingle ridges.

The goal of the project is to classify the rocks according to mineralogical, petrographic and geochemical characteristics, Which was achieved through the analysis of mineral phases by XRD, thin section petrography and geochemical diagrams established for that purpose, such as Harker variation diagrams, charts, triangular and multi-element diagrams.

As final results andesites rocks and porphyritic microgabros are of calc-alkaline series, of metaluminous character, to which are attributed a typical training environment of subduction. However, it suggests two different pulses for the formation of these rocks, the first of which would be related to the porphyritic microgabros and subdivision porphyritic basalts, which have characteristics of less evolved magmas and changes in the different diagrams of classification with respect to the andesites. In other way lack of data from the region, states that the porphyritic andesite, possibly are related with rocks with similar characteristics in both compositional and textural recognized at south of the Municipality of California reported the Miocene (Mantilla et al., 2009).

³ Graduate Project.

⁴ Universidad Industrial de Santander. Faculty of Physical and Chemical Engineering. Geology School. Director Ph D. Luis Carlos Mantilla Figueroa.

1. 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 algunas manifestaciones de rocas ígneas, tipo andesitoides y microgabros porfíricos, observadas a lo largo de la quebrada la Vega, la cual hace parte de la microcuenca El Aburrido, del corregimiento 1 del área del municipio de Bucaramanga (FIGURA 1)

FIGURA 1. Localización de la microcuenca El Aburrido



FUENTE: Google maps. <http://maps.google.es/>

La zona de estudio abarca un área de aproximadamente unos 3 Km², localizados geológicamente entorno a la falla de Bucaramanga, la cual divide dos importantes macromorfoestructuras de la Cordillera Oriental: El Macizo de Santander y la Cuenca del Valle Medio del Magdalena. Las rocas objeto de estudio, se presentan a manera de bloques, guijarros y cantos, distribuidos de manera errática a lo largo de la quebrada la Vega, la cual corta la división antes

mencionada. Por otro lado, es importante resaltar que solo las andesitas fueron reconocidas *in situ* (cortando la granodiorita de Rio Negro, considera de edad Triasico-Jurasico) en el bloque localizado al lado este de la falla anteriormente citado (dominio Macizo de Santander). Contrariamente, las rocas gabroicas porfiríticas, no fueron reconocidas *in situ*. Sin embargo, éstas fueron estudiadas, considerando su importancia en la evolución magmática del área de estudio, dada su naturaleza tan restringida, comparada con la abundancia de litologías metamórficas e ígneas graníticas del sector.

Los estudios de las rocas ígneas andesíticas y microgabros porfiríticos, permitieron establecer que su formación esta relacionada con un magmatismo, desarrollado en un contexto de subducción, tal como lo indica el hecho de ser rocas de serie calco-alkalina. Por otro lado, su naturaleza metalumínica, entre otros rasgos geoquímicos, permite establecer que estas derivan de una fuente ígnea cortical o mantélica.

1. OBJETIVOS

Estudiar los cuerpos ígneos de composición andesítica y gabroica, encontrados en el sector de Vijagual, para su estudio mineralógico, petrográfico y geoquímico.

1.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar un análisis bibliográfico sobre la geología del área de estudio, en aras de contextualizar geológicamente el sector donde se presentan las rocas andesíticas y gabroicas porfiríticas.
- Realizar un esquema geológico del área de estudio (con base en información existente y con controles de campo) para identificar la distribución espacial de los materiales ígneos objeto de estudio.
- Realizar análisis mineralógico-petrográficos de láminas delgadas de las rocas ígneas de composición andesítica y gabroica porfirítica.
- Realizar análisis geoquímicos de elementos mayores, menores y trazas (MMT), para establecer la serie y el posible contexto tectónico de su emplazamiento, con base en diagramas geoquímicos propuestos para tal fin, y disponibles en la bibliografía especializada.

2 METODOLOGIA DE ESTUDIO

Con el fin de cumplir a cabalidad los objetivos propuestos anteriormente, se diseñaron las fases mencionadas a continuación.

Fase pre-campo

Esta fase consistió en la identificación, compilación y análisis de la información geológica disponible sobre el área de estudio.

Fase de campo

Durante esta fase se realizó una salida de campo al sector de Vijagual, municipio de Bucaramanga, con el fin de llevar a cabo el muestreo en la quebrada La Vega, la cual corta en sentido NE la morfología del área de trabajo. Esta salida a campo, tenía como objetivo principal el reconocimiento del área y la colección de muestras concretas para su correspondiente estudio.

Fase de Laboratorio

Durante esta fase, se realizó la descripción macroscópica de las muestras colectadas en campo, utilizando para tal fin, una lupa biocular, marca NIKON N1-150, modelo C-PS (FIGURA 2), disponible en el laboratorio de lupas de la escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander.

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



Con posterioridad a los análisis macroscópicos, se realizaron láminas delgadas para su correspondiente estudio mineralógico -petrográfico. Para tal fin, las láminas fueron elaboradas en el laboratorio de preparación de muestra, de la escuela de geología, siguiendo la metodología existente y con la ayuda de los equipos mostrados en la FIGURA 3.

FIGURA 3. Equipos de trabajo utilizados en la elaboración de secciones delgas. **a.** cortadora MINOSECAR 2 ROW-RATHENO, **b.** horno ELCONAP, **c.** pulidora devastadora BUEHLER, **d.** pulidora de paño MONTASUPAL. Laboratorio de preparación de muestras de la Escuela de Geología, (UIS).



a.



b.



c.



d.

La descripción petrográfica fue realizada en el laboratorio de microscopia óptica, con la ayuda del microscopio de luz transmitida NIKON ECLIPSE E200 50/POL con cámara y pantalla incorporada: Digital Sight DS-SM y Digital Sight DS-L1 respectivamente (FIGURA 4), la práctica se llevo a cabo en las instalaciones de la Universidad Industrial de Santander, en la escuela de geología; las respectivas descripciones se encuentran en el catalogo petrográfico.

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



Para apoyar los trabajos de identificación de las diferentes fases minerales presentes en las rocas objeto de estudio, se pulverizaron muestras de rocas hasta un tamaño de $-53\mu\text{m}$, utilizando una trituradora de mandíbula RETSCH tipo BB200 SCHWERMETALLFREI con un poder $1 \sim 220\text{V} \sim 60\text{HZ}$ graduada a 0.5 mm (FIGURA 5. a), el mortero de Agatha RM 100 RETSCH durante 10min (FIGURA 5. b), y finalmente un tamiz en una maya de 250, para obteniendo el tamaño requerido. Las fueron pulverizadas en el laboratorio de de Trituración, tamizado y pulverizado de muestras de escuela de Geología, de la Universidad.

FIGURA 5. Equipos de trabajo utilizados en la pulverización de muestras. **a.** trituradora de mandíbula RETSCH tipo BB200 SCHWERMETALLFREI, **b.** mortero de Agatha RM 100 RETSCH.



Posteriormente, estas muestras (agregados en polvo), fueron analizadas mediante DRX, utilizando un difractómetro de polvo marca RIGAKU modelo D/MAX IIIB, del laboratorio de DRX de la Escuela de Química, y bajo las siguientes condiciones de operatividad mostradas en la tabla 1.

FIGURA 6. Difractómetro RIGAKU modelo D/MAX IIIB, utilizado en el presente estudio.

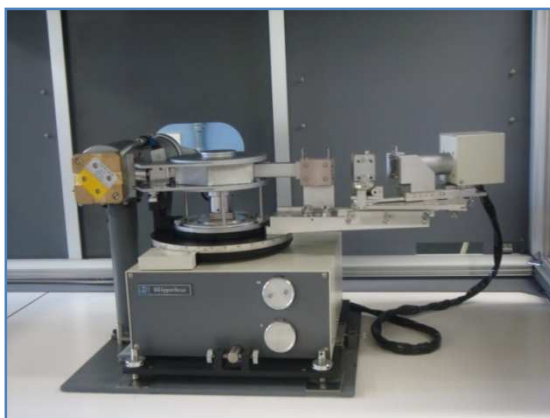


TABLA 1. Condiciones de trabajo, durante el análisis de muestras mediante DRX

Voltaje	45 (KV)
Corriente	40 (mA)
Rendijas Soller	0.04 rad (incidencia y difracción)
Rendijas fijas	$\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{8}$ (incidencia) y $\frac{1}{4}$ (difracción)
Muestreo	0.013° 2 theta
Rango de Medición	$4-70^\circ$ 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

Los análisis de química elemental de las muestras seleccionadas (elementos mayores, menores y trazas), fueron realizados en el laboratorio ALS Chemix, Funza, Cundinamarca. El cual es un laboratorio internacionalmente reconocido por su apoyo analítico a las empresas mineras del mundo. Para obtener mayor información sobre las condiciones para el análisis de elementos mayores, menores y traza en las rocas, consultar la página web de ALS Chemix.

En términos generales, los elementos mayores y menores fueron analizados mediante espectroscopia por fluorescencia de rayos X, y los elementos traza mediante espectroscopia de masas (ICP- MS). Los analitos y porcentaje de rangos arrojado por cada análisis, se encuentran especificados en las TABLAS 3 y 4.

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

Elemento	Simbolo	Unidades	Limite inferior	Límite superior
Oxido de Aluminio	Al ₂ O ₃	%	0.01	60
Oxido de Bario	BaO	%	0.001	6
Oxido de Calcio	CaO	%	0.01	50
Oxido de Cromo	Cr ₂ O ₃	%	0.001	10
Oxido Ferrico	Fe ₂ O ₃	%	0.01	100
Oxido de Potasio	K ₂ O	%	0.001	15
Oxido de Magnesio	MgO	%	0.01	50
Oxido de Manganeso	MnO	%	0.001	75
Oxido de Sodio	Na ₂ O	%	0.001	10
Oxido de Fosforo	P ₂ O ₅	%	0.001	35
Oxido de Silicio	SiO ₂	%	0.01	100
Oxido de Estroncio	SrO	%	0.001	1
Oxido de Titanio	TiO ₂	%	0.01	100
Perdida por Ignición	LOI	%	0.01	100

TABLA 3. Analitos y porcentaje de rangos en ppm, arrojado por análisis de roca total en determinación de trazas con agua regia y análisis por ICP-MS.

Au	0.01-100	Cs	0.05-500	Mo	0.05-10,000	Sn	0.2-500
Al	0.01% - 25%	Cu	0.2-10,000	Na	0.01%-10%	Sr	0.2-10,000
As	0.1-10,000	Fe	0.01%-50%	Nb	0.05-500	Ta	0.01-500
Au	0.2-25	Ga	0.05-10,000	Ni	0.2-10,000	Te	0.01-500
B	10-10,000	Ge	0.05-500	P	10-10,000	Th	0.2-10,000
Ba	10-10,000	Hf	0.02-500	Pb	0.2-10,00	Ti	0.005%-40%
Be	0.05-1,000	Hg	0.01-10,000	Rb	0.1-10,000	Tl	0.02-10,000
Bi	0.01-10,000	In	0.005-500	Re	0.001-50	U	0.05-10,000
Ca	0.01%-25%	K	0.01%-10%	S	0.01%-10%	V	1-10,000
Cd	0.01-1,000	La	0.2-10,000	Sb	0.05-10,000	W	0.05-10,000
Ce	0.02-500	Li	0.1-10,000	Mo	0.05-10,000	Y	0.05-500
Co	0.1-10,00	Mg	0.01%-25%	Sc	0.1-10,000	Zn	2-10,000
Cr	1-10.000	Mn	5-50.000	Se	0.2-1,000	Zr	0.5-500

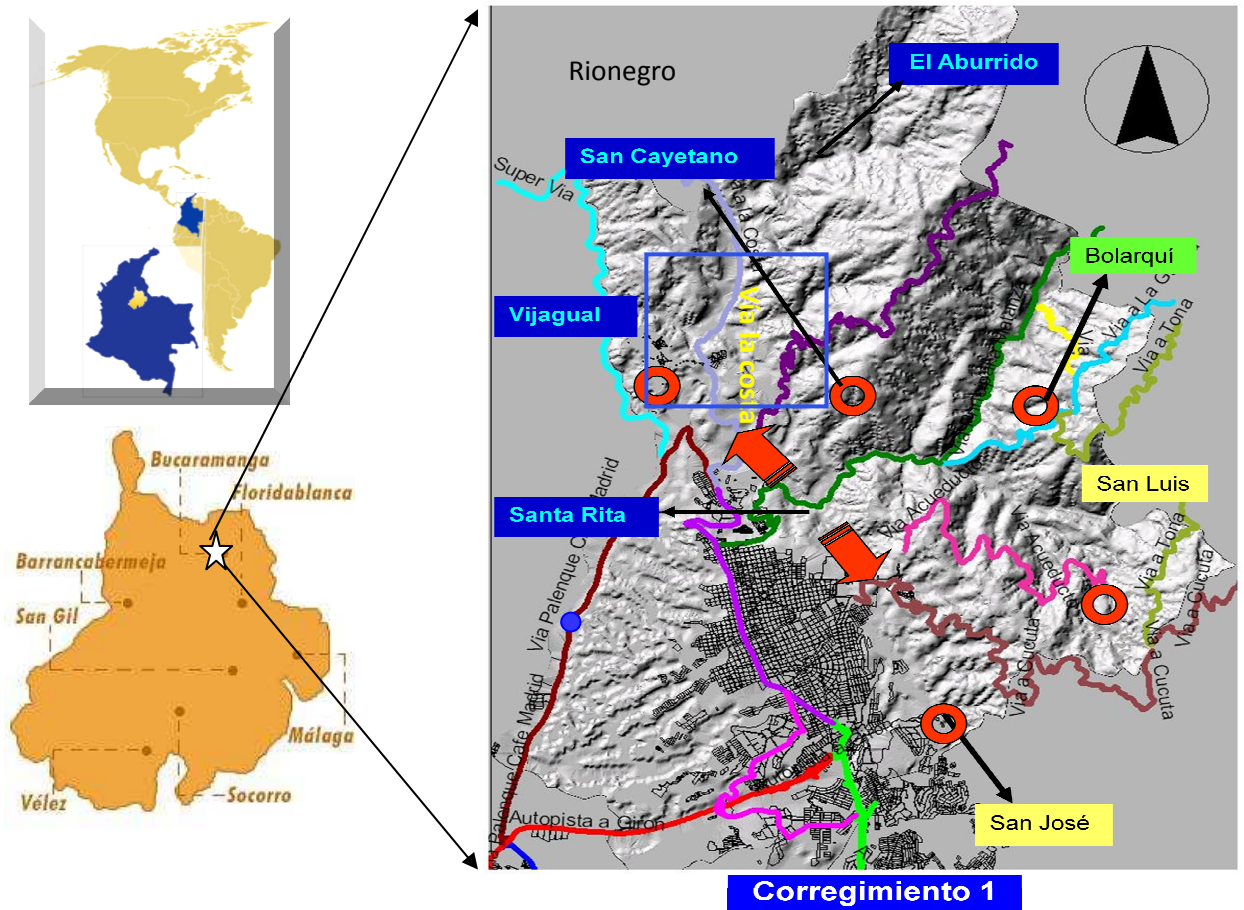
Para el tratamiento de los datos petrográficos y geoquímicos, se utilizó el software IGPET 05, estructurado por Terra Softa Inc. Mediante el cual es posible realizar diagramas de variación de Harker, diagramas triangulares AFM y diagramas de normalización tipo araña.

3. GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO

3.1 LOCALIZACIÓN

La zona de estudio se localiza en la cordillera Oriental, en el departamento de Santander, corregimiento 1, del municipio de Bucaramanga. Vijagual corresponde al sector de referencia más importante de esta zona, y delimita hacia el sur por la ciudad y hacia el norte por el municipio de Rionegro. Este sector pertenece a la microcuenca El Aburrido, por la cual atraviesa la quebrada denominada localmente La Vega (El Aburrido), sobre la cual se localiza el presente estudio. Las cotas promedio en el área son de 800 a 900 m.s.n.m.

FIGURA 7. Localización geográfica de la microcuenca El Aburrido, Corregimiento 1, municipio de Bucaramanga, Santander; en donde se ubica el área de estudio dentro del cuadrado azul.

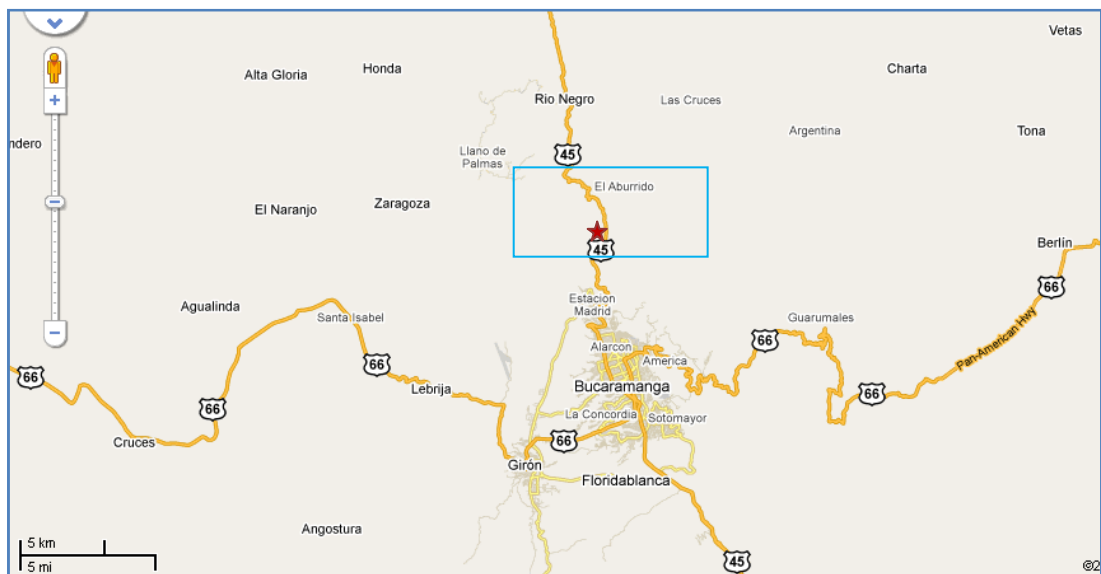


Fuente: plan de ordenamiento territorial de Bucaramanga, http://socorro-Santander.gov.co/apc-aa-files/64373133653164333035393663613866/mapa_santander.jp

3.2 VIAS DE ACCESO

Las veredas Vijagual y El Aburrido, localizadas dentro de los límites de la denominada microcuenca El Aburrido, se localizan en el corregimiento 1, según la división realizada en el marco del plan territorial del municipio de Bucaramanga. Estas zonas, a su vez, se localizan al norte de la ciudad. La vía principal que conduce a estas localidades, es la vía que comunica al municipio de Rionegro, a 8 Km de Bucaramanga. Existen carreteras satélites que comunican que comunican el sector con los municipios de las Cruces, Argentina y algunas veredas como San Pedro Bajo, San Pedro Alto, San Cayetano, Santa Rita y La Esmeralda.

FIGURA 8. Acceso por carretera, de Bucaramanga al sector de Vijagual y la Vereda El Aburrido.



★ Frigorífico Vijagual (Sector de referencia)

Fuente: <http://maps.google.es/>

3.3 CLIMA, VEGETACION Y TOPOGRAFIA

La microcuenca de la quebrada El Aburrido, según la CDMB (Plan de ordenamiento y manejo ambiental de la microcuenca El Aburrido, 2004), presenta un régimen de precipitación bimodal, con periodos de alta precipitación que varían entre los 66.4 mm y 193 mm mensuales (abril, mayo,

septiembre, noviembre). Asimismo, éstas áreas presentan periodos de menor precipitación con valores de 66.4 y 75 mm mensuales, durante los meses de junio y julio.

La microcuenca de la quebrada El Aburrido tiene un área de 37.2 Km², con una forma ovalada tipo embudo. La cuenca presenta un relieve muy accidentado, de altas pendientes las cuales generan altas velocidades de agua y por ende alta capacidad de erosión de la misma.

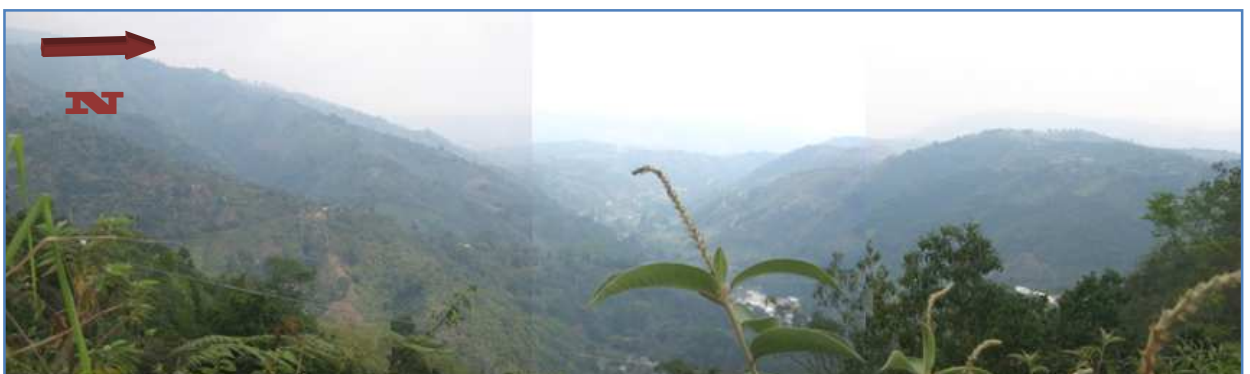
El clima es cálido semi húmedo, con tipos de relieves de lomeríos de topografía moderada a fuertemente escarpada, con erosión moderada a severa por la presencia de deslizamientos causados por la escorrentía y la escasa vegetación.

Existen dos formaciones vegetales el bosque inferior tropical y el bosque subandino. El primero de ellos se distribuye desde los 525 a los 1000 m.s.n.m. con temperaturas de 24 y 26° C en promedio anual y precipitaciones ente 1200 y 1300 mm, en la microcuenca se presentan pequeñas y esporádicas manchas de rastrojo alto como unidad de cobertura de mayor complejidad. Se destacan entre ellas el manchador, artigó, copillo, látigo y yarumo (CDMB, 2004).

El bosque Subandino se distribuye de los 1000 a 2200 m.s.n.m. las temperaturas oscilan entre los 15 y 24 ° C y las precipitaciones presentan un rango de los 1160 a 1280 mm de promedio anual.

En general en la I microcuenca el Aburrido el suelo se distribuye en: Bosque natural secundario, rastrojo alto, rastrojo bajo, bosque plantando de coníferas y latofoliadas, cultivos permanentes, cultivos transitorios, pastos mejorados, pastos naturales y tierras eriales.

FIGURA 9. Vista panorámica de la microcuenca El Aburrido (Corregimiento 1, Municipio de Bucaramanga)



4. ANTECEDENTES

Con el propósito de contextualizar geológicamente la zona de estudio, se describen a continuación los rasgos estratigráficos y tectónicos más importantes del área, haciendo especial énfasis en los cuerpos de diques y en la falla de Bucaramanga (rasgos generales de su distribución espacial), por ser estos los aspectos que preliminarmente se consideran de mayor relevancia para los objetivos del proyecto.

Desde el punto de vista estratigráfico, el Macizo de Santander se conforma por las siguientes litologías: a) Unidades Metamórficas conformadas por las formaciones Neis de Bucaramanga, (estudiada por Restrepo *et al.*, 1997; Cordani *et al.*, 2005) la cual es considerada de edad Precámbrica, con condiciones metamórficas de facies anfibolita, generada durante la orogenia Grenviliana; Formación Silgara, (estudiada por Ward *et al.*, 1973; García y Ríos, 1999; Castellanos *et al.*, 2004), a esta unidad se le atribuyen dos edades diferentes, la primera de ellas corresponde a la formación del protolito, considerado de edad Precámbrica, y la segunda, al metamorfismo de facies esquistos verdes o anfibolita baja, de edad Ordovícica; Ortoneis, esta unidad es considerada de edad Devónico Inferior a Ordovícico, intruye la formación Silgará y presenta composición granítica variando a tonalita y diorita (Ward *et al.*, 1973; Restrepo, 1995; Royero y Clavijo, 2001). b) Unidades Ígneas, conformadas por intrusivos Paleozoicos como el Batolito de Mogotes (Etayo, *et al.*, 1983), Granito de Durania (Ward *et al.*, 1973) y Monzonita de Onzaga (Boinet *et al.*, 1985). Complejo Ígneo Triásico-Jurásico conformado por el Grupo Plutónico de Santander (estudiado por Ward *et al.*, 1973, Goldsmith *et al.*, 1971, Polania *et al.*, 1980, Dorr *et al.*, 1995), del cual hacen parte las siguientes unidades: Granito de Pescadero, Batolito de Santa Bárbara, Cuarzo monzonita de la Corcova, Batolito de Rionegro y Tonalita de Paramo Rico. Magmatismo del Cretácico Inferior, conformado por diques riolíticos y diabasas (Ward *et al.*, 1973) y magmatismo Terciario relacionado a cuerpos porfiríticos y filones auríferos del área de California (Ward *et al.*, 1973; Door *et al.*, 1995; Mathur *et al.*, 2005; Mantilla *et al.*, 2009). c) Unidades Sedimentarias. Este grupo está representado en primer lugar, por unidades de edad Jurásica, de origen continental, dadas por las Formaciones Jordán y Girón, y unidades Cretácicas de origen Marino, las cuales están representadas en las cuencas del Valle Medio del Magdalena y del Catatumbo. (Ward *et al.*, 1973, Clavijo y Royero, 2001). d) Sedimentos recientes constituidos por depósitos no consolidados de origen fluvial, aluvial en abanicos y terrazas y derrubios glaciares (Clavijo y Royero, 2001).

Según Ward *et al.* (1973), en el Macizo de Santander existen diferentes composiciones de diques, siendo la mayor parte de éstos productos diferenciados que están relacionados genéticamente con las rocas de los batolitos mayores presentes en el Macizo, debido a las semejanzas texturales y mineralógicas entre estos. Los diques pófiríticos de andesitas predominan en rocas granodioríticas y tonalíticas a diferencia de los diques de basaltos y diabasas, los cuales tienen ocurrencias restringidas y no parecen estar relacionados a la serie batolítica.

Ward *et al.* (1973), menciona la presencia de pequeños diques porfiríticos de andesita de grano fino, de color gris a verde oscuro, o dioritas de grano fino, especialmente en aquellos sectores donde afloran el Batolito de Rionegro y en algunas áreas de la cuarzomonzonita de la Corcova. Estos diques están compuestos de fenocristales de andesina con algunos cristales de horblenda de menor tamaño, envueltos en una matriz diabásica de plagioclasa y horblenda. Algunos de ellos presentan trazas de cuarzo y pigeonita. Los principales productos de alteración corresponden a clorita, epidota y calcita.

Por otro lado, los mismos autores reportan la presencia de lamprófidos, los cuales se presentan principalmente en áreas de los Batolitos de Rionegro y Mogotes. Estos, se caracterizan por ser de grano fino, de color gris oscuro y ligeramente porfiríticos. Su composición corresponde principalmente a plagiocasa saussuritizada y horblenda café verdosa alterada a clorita, al igual que la biotita. Además presenta cuarzo y feldespato potásico.

Algunos diques de basaltos y diabasas, se presentan a lado y lado de la Falla de Bucaramanga. Estas rocas son de color negro a verde intenso, varían en tamaño de grano de afaníticas a grano fino. Especialmente, los diques de Basaltos y Diabasas cortan las rocas tipo paraneises de alto grado y el Batolito de Rionegro, al norte de la Ciudad de Bucaramanga, pero también se presentan en la Mesa de los Santos, cortando algunas rocas sedimentarias como el límite Giron-Tambor (Ward *et al.*, 1973). Las rocas más frescas presentan textura diabásica, con fenocristales de labradorita y augita. Los minerales de alteración consisten de clorita, óxidos de hierro, calcita y epidota. Estos diques, probablemente son contemporáneos con las rocas de los Batolitos mayores por ello se atribuyen al Jurásico-Triásico (Ward *et al.*, 1973).

4.2 ASPECTOS ESTRUCTURALES

Desde el punto de vista estructural y tectónico, se describen los rasgos geológicos más relevantes, relacionados con la estructura de primer orden (Falla de Bucaramanga), que contrala en gran medida los estilos de deformación en el área de estudio, y una segunda estructura que puede estar influenciando en menor medida, el área.

Falla de Bucaramanga

Falla de Suratá

El departamento de Santander se localiza en una región tectónicamente compleja, la cual ha sido subdividida en tres provincias tectónicas para fines de clasificación. Estas provincias corresponden al Macizo de Santander, Valle Medio del Magdalena y Cordillera Oriental (Clavijo *et al.*, 1993). La provincia Macizo de Santander, se ubicada en la región oriental del departamento y se encuentra subdividida en cuatro bloques, Bloque Ocaña, Bloque Cucutilla, Bloque Floresta y Bloque Pamplona. El sector Vijagual (área de estudio) se localiza dentro del Bloque Ocaña, entre las fallas de Bucaramanga y de Surata (FIGURA 11).

El Bloque Ocaña se caracteriza por presentar un estilo estructural 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 (Royero y Clavijo 2001). Los rasgos estructurales predominantes en la zona corresponden a la Falla de Bucaramanga- Santa Marta y la Falla de Suratá.

4.2.1 FALLA BUCARAMANGA-SANTA MARTA

Esta falla atraviesa el departamento, en la región centro-oriental en dirección N 20° W aproximadamente. Considerada como un sistema de fallas de rumbo, (Campbell, 1965; León, 1991; Vargas y Niño 1992; Clavijo, *et al.*, 1993; Clavijo, 1994a), con movimiento sinistral, lo cual produce que en algunos sectores se comporte como falla inversa.

La historia geológica de la Falla Bucaramanga- Santa Marta es bastante compleja y en cuanto a la edad máxima de su actividad tectónica, se puede establecer que es posterior al Neis de Bucaramanga; es decir, se encuentra cortado por esta falla en los sectores entre Río de Oro (Cesar) y El Carmen (Norte de Santander) dentro de la Plancha 76, Ocaña (Daconte y Salinas, 1980). Boinet, *et al.*

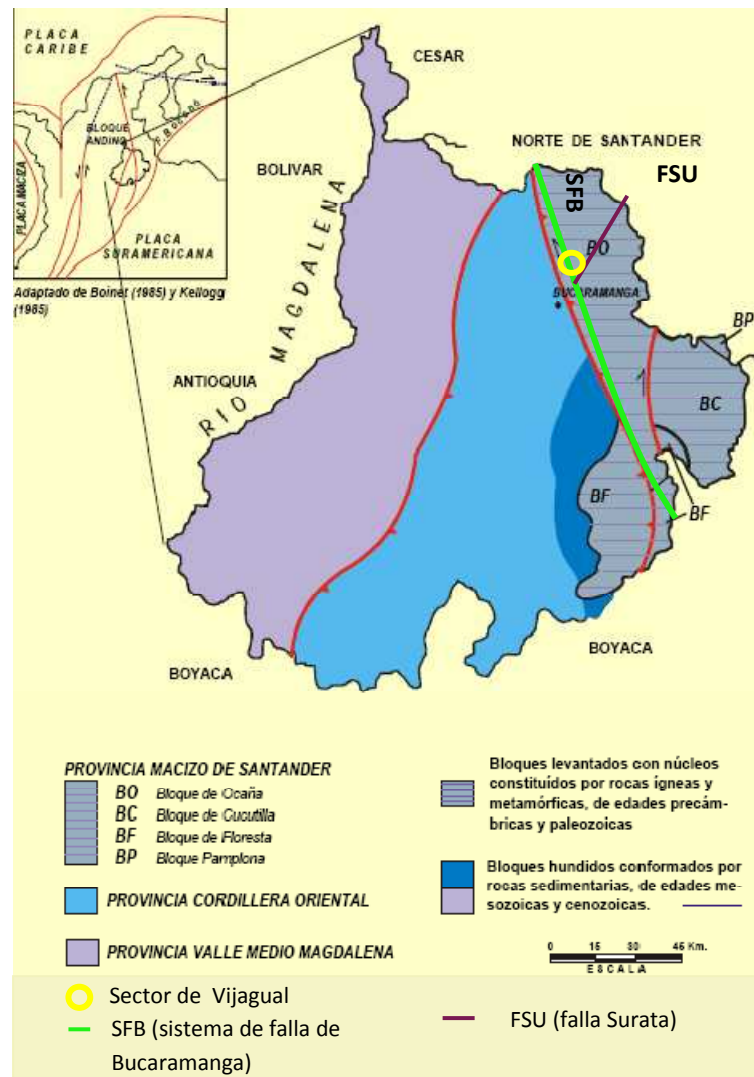
(1989) considera que durante el Cretácico inferior hasta el Paleoceno no hubo actividad tectónica de la falla; además los mismos autores, señalan que la importancia de la mayor actividad de esta falla es el desplazamiento de rumbo sinestral, el cual ocurrió a partir del Mioceno superior, simultáneamente con la Orogenia Andina (Royero y Clavijo 2001). La falla de Bucaramanga se formó durante el desarrollo del actual Valle del Magdalena y el levantamiento del Macizo de Santander. El efecto de Falla de rumbo puede apreciarse en el área de estudio, pues el Batolito de Rionegro, se presenta de forma alargada y delgada en su lado sur, lo cual se interpreta como una cola arrastrada a lo largo de una falla de desplazamiento lateral izquierdo .Ward et al., 1973.

4.2.2 FALLA DE SURATA

Se prolonga en el departamento siguiendo el curso del río Suratá, con un rumbo de N 15° E. es una falla inversa de alto ángulo y su plano de falla buza al noroccidente. Es la más grande de las fallas de dirección noreste sobre el lado oriental de Bucaramanga.

La evolución tectónica de esta falla es compleja, con movimientos relativos precretácicos de distensión en donde el bloque occidental se hunde y poscretácicos de tipo compresivo relacionado con la orogénesis terciaria, según Julivert y Téllez (1963). La Falla de Suratá actualmente es inversa con el bloque noroccidental levantado y también tiene desplazamiento de rumbo lateral derecho, la falla de surata se ramifica en su extremo sur, desplazando la falla de Bucaramanga y por lo menos en unos 750 m, al norte de Bucaramanga (Ward, *et al.*, 1973).

FIGURA 11. División tectónica del departamento de Santander, localización del área de estudio dentro del Bloque de Ocaña, provincia Macizo de Santander.



Fuente: Mapa Generalizado del Departamento de Santander, Memoria Explicativa, Ingeominas (2001)

5. RESULTADOS

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

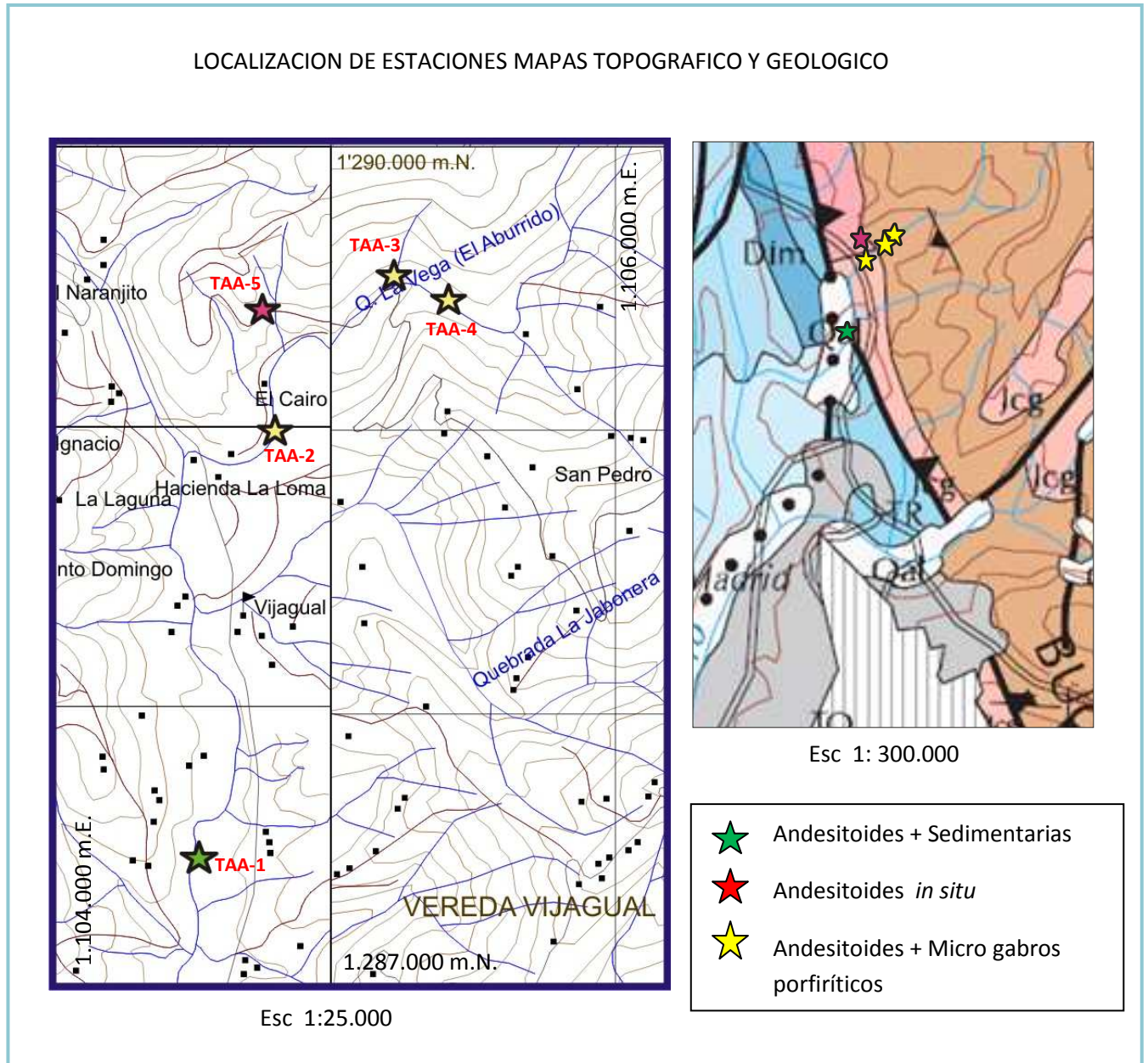
El área de estudio se localiza en el sector de Vijagual, entre las veredas Vijagual y El Aburrido. En dirección Norte del Municipio de Bucaramanga. Este sector se encuentra dividido por la Falla de Bucaramanga en dos zonas, a un lado (oeste), afloran unidades sedimentarias de edades del Jurásico, y al otro lado (este) se localiza el Macizo de Santander. Las dos zonas mencionadas son surcadas por la quebrada La Vega (El Aburrido), a lo largo de la cual se concentró el muestreo de rocas y en general el presente estudio (FIGURA 12).

En la salida a campo se realizaron cinco estaciones recorriendo la quebrada La Vega (El Aburrido) en dirección Sur – Norte. Las cuatro primeras estaciones corresponden a toma de muestras de bloques y la última estación identifica un pequeño dique de material andesitoide con su respectiva roca encajante (TABLA 4)

TABLA 4. Relación de estaciones con sus respectivas muestras y diferenciación del tipo de muestra

ESTACIÓN	MUESTRAS	TIPO DE MUESTRA
TAA-1	TAA-1-M1 Sedimentaria; TAA-1-M2 Andesitoide porfirítico	In situ; bloque rodado
TAA-2	TAA-2-M1 Microgabro porfirítico TAA-2-M2 Andesitoide porfirítico TAA-2-M3 Vena de Cuarzo	Bloques rodados In situ
TAA-3	TAA-3-M1 Andesitoide porfirítico TAA-3-M2 Microgabro porfirítico	Bloques rodados
TAA-4	TAA-4-M1 Microgabro porfirítico TAA-4-M2 Andesitoide porfirítico	Bloques rodados
TAA-5	TAA-5-M1 Roca Caja TAA-5-M2 Andesitoide porfirítico TAA-5-M3 Roca Caja	In situ

FIGURA 12. Esquema topográfico y geológico, en los cuales se indica la localización de las muestras objeto de estudio.



En el sector oeste de la Falla de Bucaramanga, se observa una gran variedad de litologías, presentes a manera de bloques y cantos de roca, los cuales se

correlacionan con las litologías previamente descritas en trabajos anteriores (Ward *et al.*, 1973), tales como neises y migmatitas del Neis de Bucaramanga, rocas ígneas plutónicas, las cuales por sus rasgos composicionales y textuales, se corresponderían con los cuerpos ígneos del límite Jurásico-Triásico.

Distinto a toda la variedad litológica antes mencionada, se observaron algunos bloques de tamaños que superan ocasionalmente un metro de diámetro, de un aspecto verde blanquizco, de textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa, anfíboles y ocasionalmente cuarzo, embebidos en una matriz que presenta igual composición. Estas rocas, fueron inicialmente denominadas, con base en su textura y composición, como **andesitoides porfiríticos**. Estas muestras, inicialmente se observaron al lado oeste de la falla a manera de cantos rodados, de igual forma fueron observadas al lado este de la falla, sobre la Quebrada la Vega. En ésta zona, los bloques de andesitoides, se presentan con tamaños mayores, en algunas ocasiones de hasta de 1 m de diámetro o superior a este (FIGURA 13). Lo descrito anteriormente sugiere que la fuente de estos materiales, posiblemente se confíen hacia las estribaciones del Macizo de Santander, el cual es bordeado por la falla de Bucaramanga.

Por otro lado, se observaron ciertas litologías que destacan por su aspecto y singularidad, ya que no son litologías dominantes en el área del macizo de Santander. Estas litologías (a manera de bloques rodados), presentan un aspecto verde oscuro, de textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa, embebidos en una matriz compuesta de minerales máficos y plagioclasa en proporciones similares. Estos bloques fueron considerados como litologías ígneas básicas. A nivel de campo, se denominaron inicialmente como **microgabros porfiríticos** (FIGURA 14). Estudios petrográficos posteriores, los cuales se describen en los capítulos siguientes, permitieron caracterizar mejor estas litologías (se logró diferenciarlas como micro **gabros y basaltos porfiríticos**).

FIGURA 13. Aspecto de los bloques de composición andesitoide (a), los cuales presentan fenocristales de plagioclasa de tamaños centimétricos, embebidos en una matriz de grano fino (b).



a.

b.

FIGURA 14. Aspecto de los bloques rodados tipo microgabro porfírico (a), conformados por fenocristales de plagioclasa, embebidos en una matriz afanítica.



a.

b.

Adicionalmente se identifico y localizo in situ, un dique de material andesitoide (FIGURA 15). Las dimensiones aproximadas del dique son de 1 mt de largo por 3 de alto y presenta un azimut de 240. El dique corta una roca ígnea de

composición granítica-micácea, con presencia de biotita de tamaño de grano grueso. Según la bibliografía, la unidad aflorante en este sector corresponde a la Granodiorita de Rionegro (*mapa geológico de Santander*).

FIGURA 15. En la fotografía se observa el contacto entre el dique de andesita y el granito (a). A detalle podemos observar la composición y el tamaño de grano de la andesita (b.)



a.



b.

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

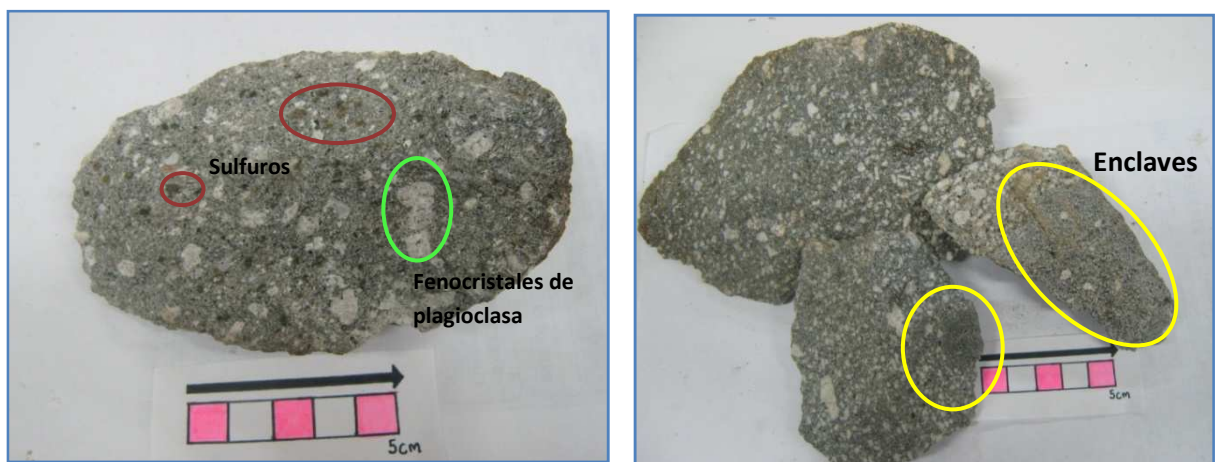
Los bloques de andesitoides presentan textura porfírica con matriz de grano fino y fenocristales que varían en tamaño de 1.5 a 6 mm. Estas rocas están compuestas principalmente de plagioclasa, clorita, horblenda y biotitas, asociados se encuentran cuarzo, minerales opacos (sulfuros) y escasamente feldespato potásico (FIGURA 16.).

Los fenocristales son de plagioclasa, en menor proporción biotitas y en ocasiones horblenda distribuidos en la matriz de composición similar.

Las muestras presentan leves variaciones de unas a otras, por ejemplo, de la primera muestra, a la última recolectada in situ en forma de dique, se observa un aumento en el porcentaje de fases máficas. Otra variación observada, son

enclaves que presentan la misma composición andesitoide, con disminución en el tamaño de grano, de fino a muy fino, además presentan una reducción en el porcentaje de fenocristales de plagioclasa (FIGURA 16.). Por último, se distingue un porcentaje de porosidad que presenta una de las muestras respecto a las demás que no lo presentan. De manera general, los andesitoides están presentes a lo largo de la quebrada, en el área delimitada para este estudio.

FIGURA 16. Aspectos de las rocas Andesitoides porfiríticos

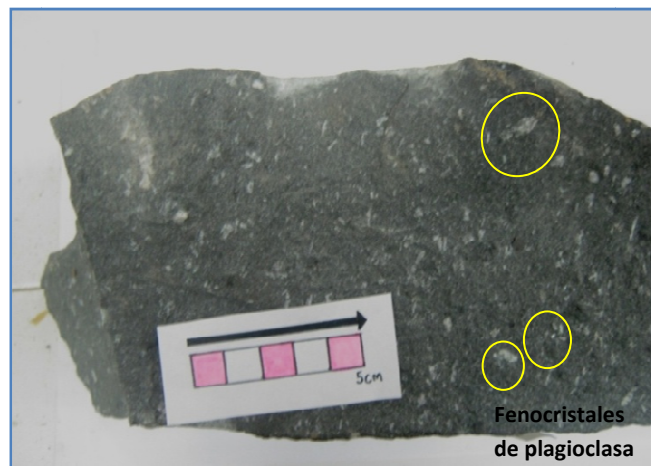


Los microgabros porfiríticos son rocas de color verde oscuro, de textura porfirítica, inequigranular, con matriz de grano fino y fenocristales que varían en tamaño de 1.2 mm a 5mm. Estas rocas están compuestas principalmente de plagioclasas, piroxenos, anfíboles, cloritas y biotitas, asociados se encuentran minerales opacos (sulfuros) y escasamente cuarzo.

Los fenocristales de mayor tamaño corresponden a plagioclasas, los de tamaños menores están distribuidos entre fases máficas. La matriz consiste de un material de características básicas, homogéneo, en la cual la diferencia de porcentajes entre las fases máficas y la plagioclasa es mínima (FIGURA 17). De acuerdo a la textura, se observa una leve diferencia entre las rocas microgabroicas, dos de las muestras recolectadas (TAA-2-M1, TAA-4-M1) presentan textura porfirítica y matriz de grano fino, mientras que una de las muestras (TAA-3-M2) presenta textura porfirítica en matriz afanítica. Debido a esto, son divididas las rocas en microgabro porfirítico y basalto porfirítico.

Dentro de las muestras obtenidas de microgabros porfiríticos, no se observan grandes cambios macroscópicos, son muy similares, a pesar de que el lugar de toma de cada una está separado considerablemente de la otra. Los microgabros fueron identificados en campo, acompañados de los andesitoides, pero en este caso no fue posible realizar una localización in situ de ellos.

FIGURA 17. Aspecto de los microgabros porfiríticos



El basalto porfirítico es de color verde oscuro, presenta textura microporfirítica en una matriz afanítica. Presenta fenocristales de aproximadamente 2 mm. La roca está compuesta por plagioclase, minerales máficos, clorita y sulfuros. (FIGURA 18) Los fenocristales están compuestos de plagioclase, embebidos en una matriz básica, homogénea. Presenta igual composición que los microgabros porfiríticos.

Figura 18. Aspecto del basalto porfirítico.



6. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE LAS ROCAS TIPO MICROGABROS Y ANDESÍAS PORFIRÍTICOS

Se realizó el análisis petrográfico de ocho laminas delgadas (relacionadas en la TABLA 5), correspondientes a las muestras más representativas del área de estudio, con el fin de determinar las características texturales y mineralógicas de las rocas. El análisis modal se llevo a cabo mediante conteo de puntos, con un mínimo de 120 puntos.

Durante el análisis petrográfico, fue posible dividir las rocas denominadas inicialmente microgabros porfiríticos en dos tipos litológicos: microgabros porfiríticos y basaltos porfiríticos. Por esta razón, en adelante se hará referencia a tres tipos de litología relacionadas con los cuerpos ígneos tipo diques, objeto del presente estudio.

TABLA 5. Relación de muestras estudiadas en el presente trabajo.

<u>GRUPO</u>	<u>NUMERO DE MUESTRA</u>
Andesitas Porfiríticas	TAA-3-M1 TAA-5-M2
Microgabros porfiríticos	TAA-2-M1 TAA-4-M1
Basalto porfiríticos	TAA-3-M2
Roca graníticas	TAA-5-M1 TAA-5-M3

A continuación se presentan los resultados del análisis microscópico, siguiendo el orden establecido en la TABLA 5.

6.1 ANDESITOIDES PORFIRÍTICOS

Estas rocas presentan textura porfirítica. El mayor contenido de fenocristales esta dado por plagioclasas como componente principal, seguido de biotitas y horblendas. Los fenocristales están embebidos en una matriz holocristalina, de plagioclasa, anfíbol, biotita, clorita y minerales opacos en proporciones distintas. A pesar de las pequeñas diferencias mostradas en algunas rocas respecto a los porcentajes de fenocristales, o las abundancias de las fases minerales, para las tres muestras analizadas, las características petrográficas son similares.

Los fenocristales de plagioclasa están dados por composiciones intermedias, sódico-cálcica, en las cuales se reconocen maclas polisintéticas tipo albita y tipo plagioclasa cálcica. En la mayoría de ocasiones los fenocristales exhiben zonaciones concéntricas (FIGURA 19). Algunas plagioclasa presentan bordes irregulares, oscuros, de color amarillento en nicoles paralelos, que penetran a lo largo de las fracturas y son producto de impregnación por compuestos ricos en hierro, para estas rocas la fuente de hierro serian las biotitas, algunas de estas incluidas en los fenocristales de plagioclasa. Otras inclusiones presentes en las plagioclasas son esfena y epidota. Los fenocristales de menor tamaño presentan a menudo hábitos aciculares (FIGURA 19). Las plagioclasas presentan alteración a y caolín, las cuales se desarrollan a manera de parches sobre los cristales. Estas alteraciones representan procesos hidrotermales de bajo grado.

Los fenocristales de biotita son de grano medio (hasta 2 mm), de color marrón, pleocroicas, con exfoliación en una dirección, de colores de birrefringencia del tercer orden. Presentan alteración a clorita, que se desarrolla en algunos cristales con un patrón de bandeamiento paralelo regular, los colores de birrefringencia son altos, varían de purpuras a azules, enmascarados por el color del mineral. Algunas biotitas presentan bordes oscuros y opacos lo cual puede ser debido a la perdida de volátiles durante la erupción (FIGURA 20).

Los fenocristales de anfíbol, corresponden a horblenda o magnesio horblenda, de acuerdo a los resultados de DRX, donde el elemento principal de este mineral es el magnesio. Los fenocristales son de grano fino a medio, se presenta en la roca a manera de cristales euhedrales de color verde, pleocroicos, prismáticos, con relieve moderado, muestran colores de birrefringencia del segundo orden y exfoliación en dos direcciones; algunos presentan bordes oxidados y alteración a clorita. La horblenda es el fenocristal en menor proporción en casi todas las muestras de andesita (FIGURA 21).

La matriz de estas rocas, presenta la misma composición de los fenocristales, principalmente plagioclasa ($\geq 30\%$), biotita ($\geq 15\%$) y hornblenda ($\geq 12\%$), además de minerales opacos ($\leq 10\%$). Como minerales de alteración están clorita ($\geq 12\%$), sericita ($\geq 7\%$), caolín ($\leq 4\%$), y epidota ($\leq 3\%$). El cuarzo está presente en la roca con un porcentaje mínimo y finalmente como minerales accesorios están la esfena, el circón y el apatito (FIGURA 22).

FIGURA 19. Fenocristales de plagioclasa con fracturas rellenas de hidróxido de hierro, como producto de las biotitas (**a**). Plagioclasas con zonaciones concéntricas, en el cual se reconocen maclas tipo albita y plagioclasa cálcica (**b**). Microfotografía tomada con objetivo de 5x. Luz plana no analizada.

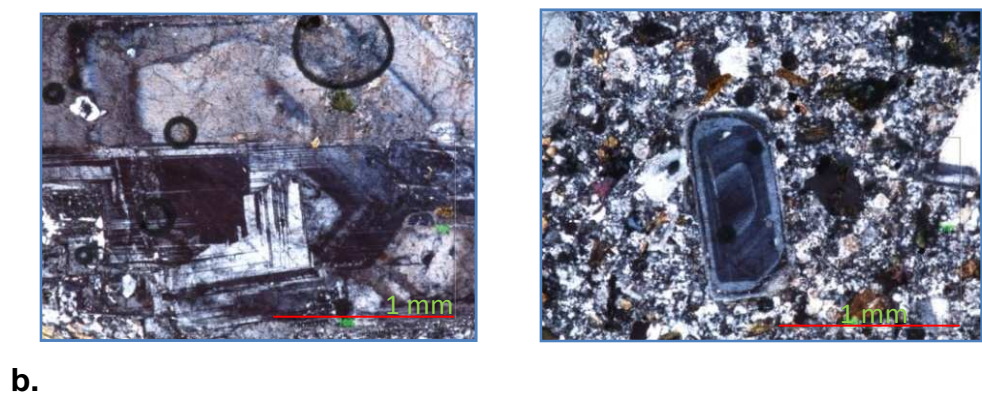
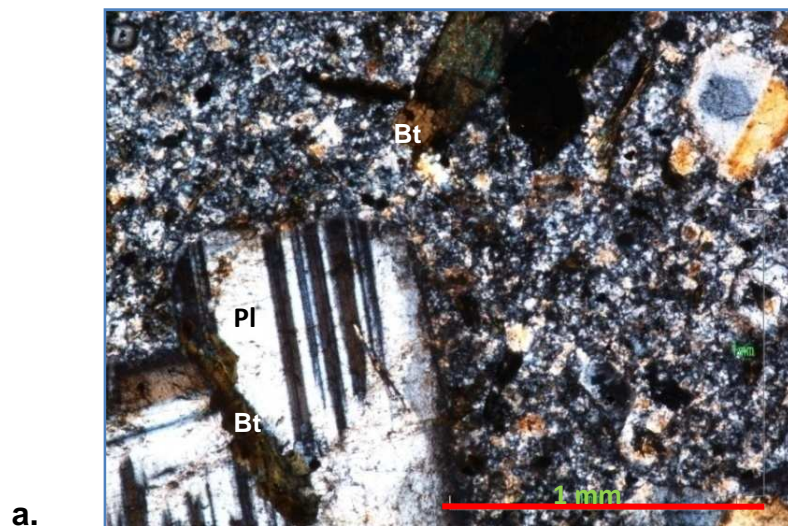


FIGURA 20. Fenocristal de biotita con bordes oscuros. Microfotografía tomada con objetivo de 5x luz plana no analizada.

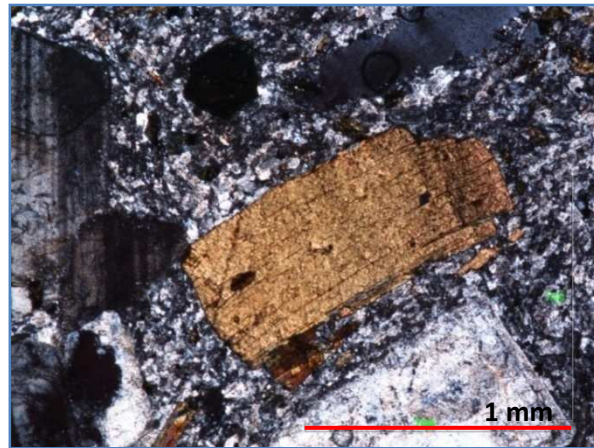
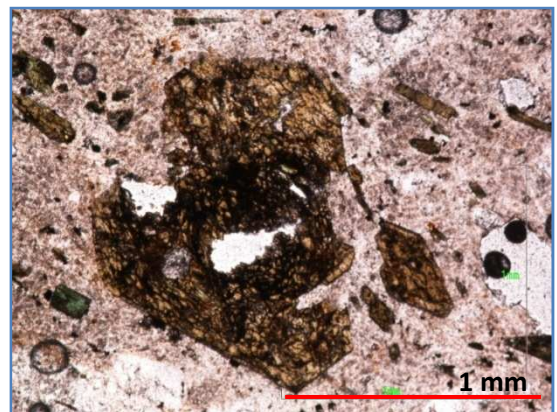


FIGURA 21. Fenocristal de horblenda con bordes oxidados. Microfotografía tomada con objetivo de 5x **a)** Luz plana no analizada. Y **b)** Luz polarizada.



a.



b.

FIGURA 22. Matriz de Andesita, de grano fino, compuesta de plagioclasa, biotita, clorita, hornblenda y epidota. Microfotografía tomada con objetivo de 5x
a) Luz plana no analizada. Y **b)** Luz polarizada.

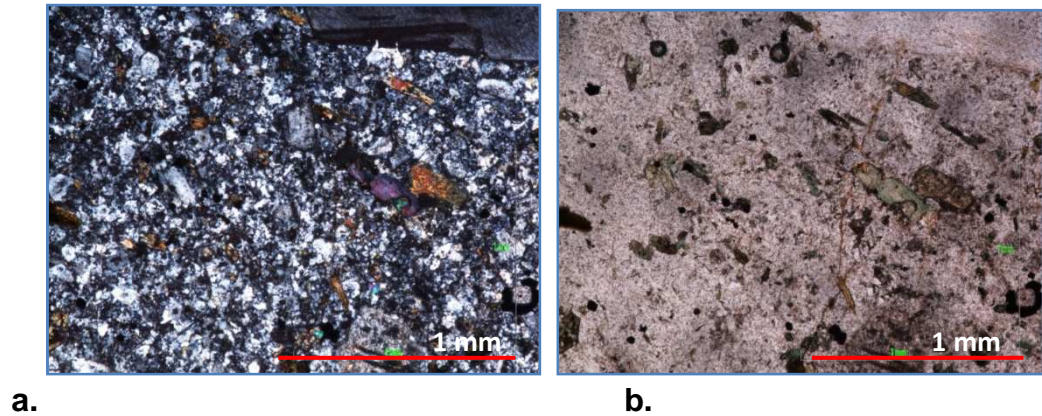


TABLA 6. Composición mineralógica modal de las rocas andesíticas.

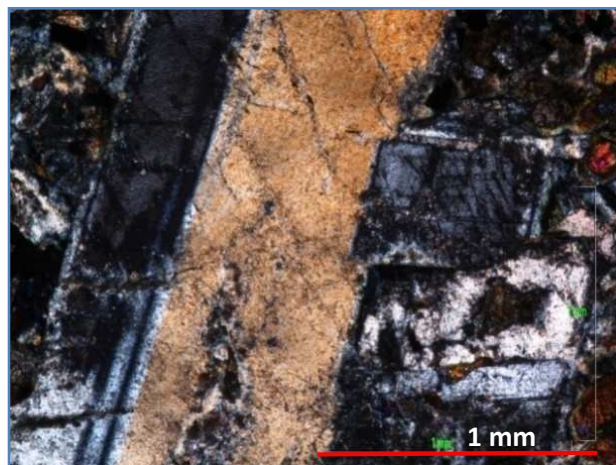
FASES MINERAL	PORCENTAJE
Plagioclasa (Serie Ca-Na)	30 %
Biotita	15 – 20 %
Magnesio hornblenda	7 – 12 %
Cloritas (Clinocloro)	6 – 13 %
Piroxeno-Diópsido (serie Diópsido-Hedenbergita: Mg-Ca)	5 – 7 %
Opacos	5 – 7 %
Sericita	0 – 7 %
Epidota	5 – 6 %
Caolinita	0 – 5%
Feldespatos (Serie Na-K) (Ortoclasa+Anortoclasa)	3 – 5 %
Cuarzo	3 %
Esfena	0 – 2 %
Moscovita	0 – 2 %
Circón	0 – 1 %
Corindón	0 – 1 %

6.2 MICROGABROS PORFIRITICOS

En general, estas rocas exhiben una textura porfídica, inequigranular, con porcentaje de los fenocristales variables. Los fenocristales de mayor porcentaje corresponden a las plagioclasas, seguido de clinopiroxenos. Los fenocristales están embebidos en una matriz holocristalina, de la misma composición, además de ortopiroxenos, minerales opacos en proporciones distintas y minerales de alteración, siendo la clorita la más abundante.

La plagioclasa representa el mineral más abundante en la todas las rocas, son de composiciones intermedias, sódico-cálcica, en los fenocristales se reconocen maclas polisintéticas tipo albita y tipo plagioclasa cálcica, predominando las cálcicas (FIGURA 23). En la mayoría de ocasiones, los fenocristales de plagioclasa exhiben zonaciones concéntricas, algunas se extinguen del centro hacia afuera y otras lo hacen de afuera hacia a dentro. La forma de las plagioclasas es tabular (FIGURA 23) y el tamaño de los fenocristales alcanza su máximo de 2.5 mm, algunos cristales presentan inclusiones de epidota

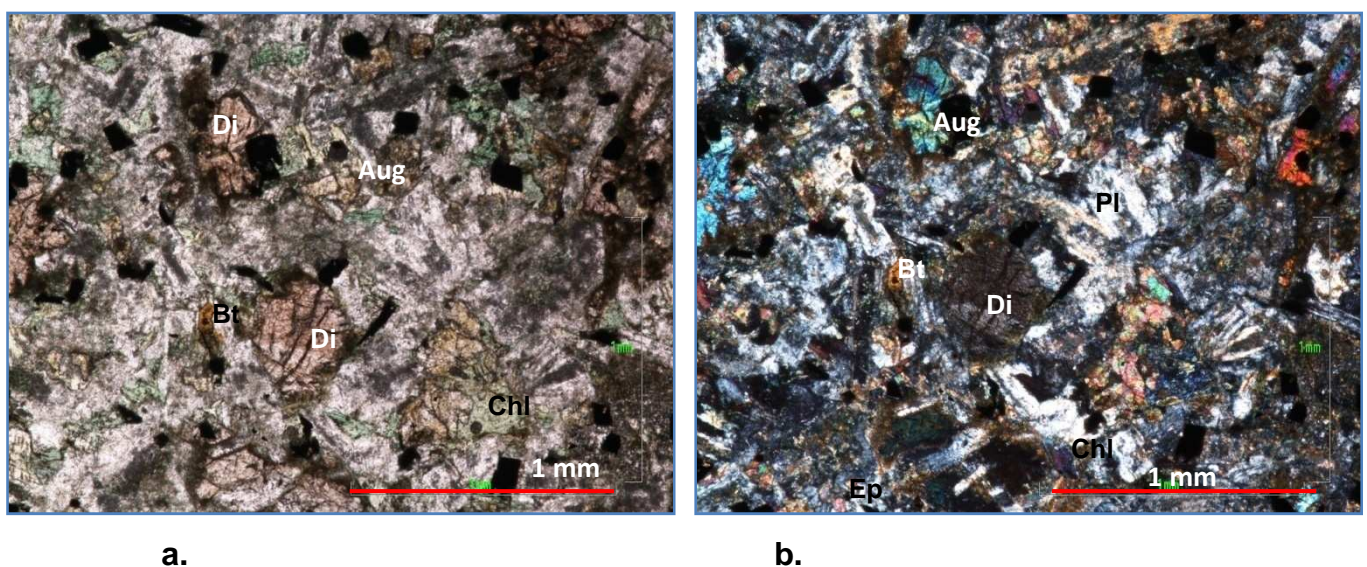
FIGURA 23. Aspecto al microscopio de los fenocristales de plagioclasa con zonación concéntrica. Microfotografía tomada con objetivo de 5x, luz plana no analizada.



Los fenocristales de clinopiroxeno, están dados por diópsidos y augitas, siendo los diópsidos los de mayor porcentaje, estos se presentan en la roca con tamaño de grano medio, son incoloros, de relieve moderado, de colores de interferencia de primer orden, se distinguen de las augitas por su pleocroísmo pardo pálido y su exfoliación (FIGURA 24). Las augitas son similares a estos, se presentan como individuos subhedrales de color ligeramente pardo, de relieve alto y colores de birrefringencia hasta del segundo orden, presenta pleocroísmo amarillento y es poco observable su exfoliación. Las augitas están alterando a clorita (FIGURA 24).

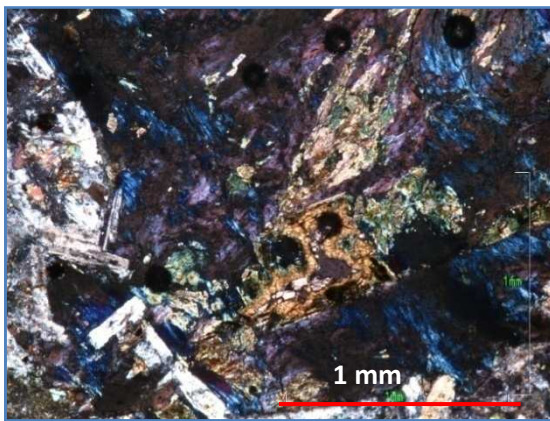
La muestra TAA-4-M1 presenta vacuolas de clorita y esfena, de forma esferoidal, que varían en tamaño de 1 a 3 mm, y abarcan un porcentaje en la muestra de 5%. Las cloritas presentan alta birrefringencia, enmascaradas por el color del mineral, con tonos violáceos y coloridos, se presentan con textura pumosa (FIGURA 25). Pueden significar en la roca, escape de gases, donde los poros son posteriormente rellenados con las cloritas provenientes de alteración hidrotermal sufrida por la roca.

FIGURA 24. En ésta figura se observa la presencia de cristales de diópsido (Di), augita (Aug) plagioclasa (Pl), clorita (Chl), biotitas (Bt) y epidota (Ep). Microfotografía tomada con objetivo de 5x. **a)** Luz polarizada y **b)** Luz plana no analizada.

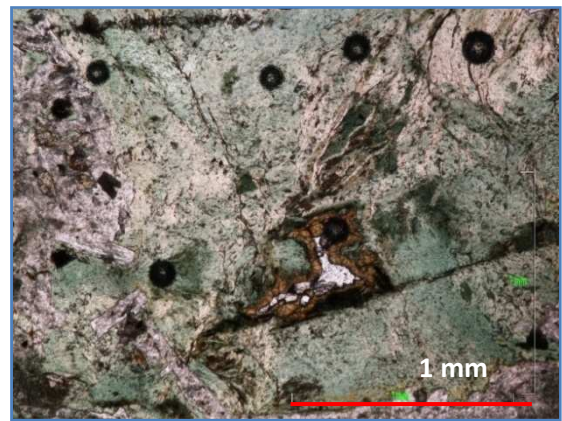


La matriz de la roca está compuesta en su mayoría por plagioclasa ($\geq 25\%$), piroxenos, representados en diópsido ($\geq 12\%$), augita ($\geq 10\%$), e hiperstena ($\geq 10\%$) además de biotita (5-10%) y minerales opacos (10%). Los minerales de alteración son clorita ($\geq 10\%$), sericita ($\leq 6\%$) y caolín ($\leq 5\%$), otros minerales presentes en la roca son esfena, apatito, circón, epidota y cuarzo en muy poca proporción.

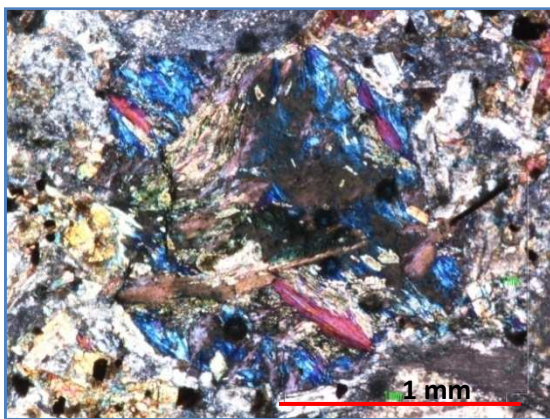
FIGURA 25. En las fotografías se ilustra dos vacuolas a y b, c y d, cada una de ellas compuesta de clorita y en el centro cristales de esfena. Microfotografía tomada con objetivo de 5x. **a,c)** Luz plana no analizada y **b,d)** Luz polarizada.



a.



b.



c.



d.

TABLA 7. Composición mineralógica modal de las rocas tipo microgabros porfiríticos.

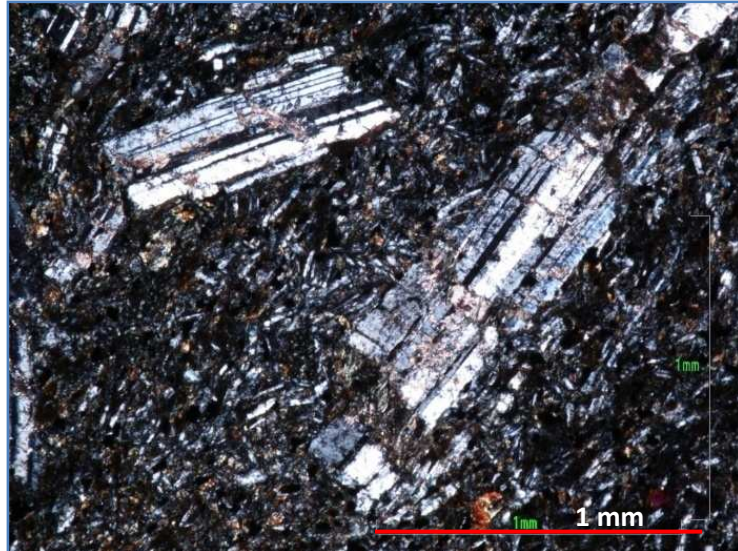
FASES MINERAL	PORCENTAJE
Piroxeno-Diópsido (serie Diópsido-Hedenbergita: Mg-Ca)	25 – 30 %
Plagioclasa (Serie Ca-Na)	22 - 30 %
Cloritas (Clinocloro)	11 – 13 %
Opacos	10 %
Biotita	5 – 7 %
Epidota	3 – 6 %
Sericita	5 %
Caolinita	0 – 5%
Esfena	3 – 4 %
Cuarzo	2 %
Circón	0 – 1 %
Apatito	1 %

6.3 BASALTO PORFIRITICO

En general, esta roca exhibe una textura microporfídica, en matriz afanítica y inequigranular. Los fenocristales de mayor porcentaje corresponden a las plagioclasas, seguido de clinopiroxenos. Los fenocristales están embebidos en una matriz de la misma composición, además de minerales opacos en proporciones distintas y minerales de alteración, siendo la clorita la más abundante.

Los fenocristales de plagioclasa son subhedrales incoloros, de bajo relieve, con colores de birrefringencia de primer orden, alargados con formas tabulares, presentan tamaños que varían entre 1.4 mm a 1.6 mm, con maclas polisintéticas tipo Plagioclasa cálcica, y otros tipo albita, siendo la primera de estas la más abundante (FIGURA 26).

FIGURA 26. Fenocristales de plagioclasa, que exhiben maclas polisintéticas tipo plagioclasa cálcica y tipo albita. Microfotografía tomada con objetivo de 5x y luz plana no analizada.



Los fenocristales de clinopiroxenos presentan menor tamaño que los de plagioclasa, estos son de grano fino y están compuestos por diópsido y augita. Los diópsidos son incoloros, de relieve moderado, de colores de interferencia de primer orden, se distinguen de las augitas por su pleocroísmo pardo pálido y su exfoliación (FIGURA 27). Las augitas son similares a estos, se presentan como individuos subhedrales de color ligeramente pardo, de relieve alto y colores de birrefringencia hasta del segundo orden, presenta pleocroísmo amarillento y es poco observable su exfoliación. Las augitas están alterando a clorita (FIGURA 27).

La matriz de la roca presenta la misma composición de los fenocristales, plagioclasa (26%), diópsido (13%), augita (12%), minerales de alteración como clorita (16%) y sericita (12%), asociados se encuentran minerales opacos (10%), y minerales accesorios como epidota, circón, escasamente cuarzo y vidrio volcánico

FIGURA 27. En la figura se observa la presencia de fenocristales de plagioclasa (PI) alterados a sericita (Sct), embebidos en la matriz de igual composición, con clorita (Chl) como mineral de alteración de la Augita (Aug) y diópsido (Di). Microfotografía tomada con objetivo de 10x. **a)** Luz polarizada y **b)** Luz plana no analizada.

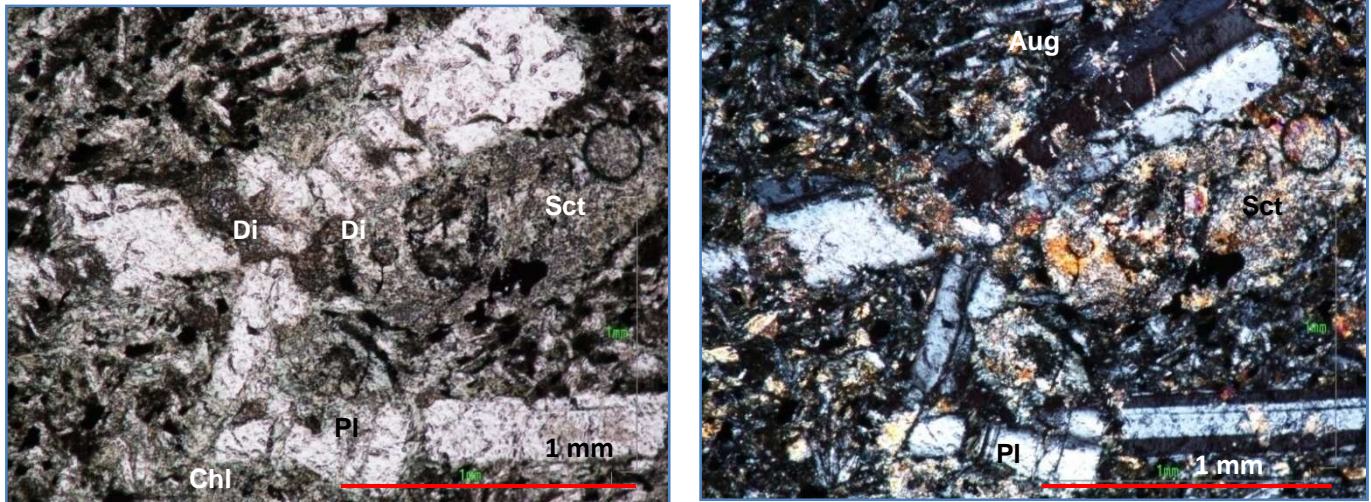


TABLA 8. Composición mineralógica modal de las rocas tipo basaltos porfíricos.

FASES MINERAL	PORCENTAJE
Plagioclasa (Serie Ca-Na)	26 %
Piroxeno-Diópsido (serie Diópsido-Hedenbergita: Mg-Ca)	25 %
Cloritas (Clinocloro)	16 %
Sericita	12 %
Opacos	10 %
Epidota	6 %
Cuarzo	2 %
Circón	1 %

6.4 GRANITOIDE (ROCA CAJA DE LOS DIQUES ANDESÍTICOS)

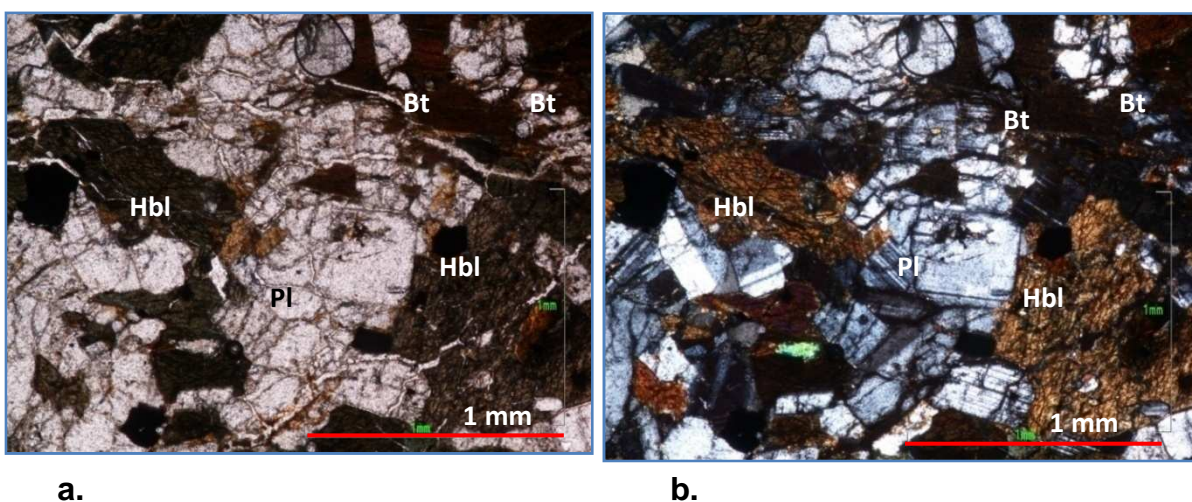
La composición de la roca encajante varía de Cuarzomonzodiorita a Cuarzodiorita de acuerdo a la distancia de esta, con el dique andesítico, del más cercano al más lejano respectivamente.

La Cuarzomonzodiorita, en contacto con el dique andesítico, es de grano medio a grueso, compuesta principalmente de plagioclasa (24%), biotita (17%), y hornblenda (12%), presenta cuarzo y feldespatos potásicos como minerales menores; las alteraciones corresponden a clorita, sericita y caolín, como minerales accesorios presenta circon, apatito y epidota (FIGURA 28).

Las plagioclasas presentan maclas polisintéticas tipo Plagioclasa cálcica y otro tipo albita, Algunos cristales presentan fracturas, las cuales han sido rellenadas con hidróxido de hierro y se observan pequeños canales de color café rojizo, posiblemente con presencia de minerales arcillosos, producto de la alteración por parte de los piroxenos presentes en la roca dique.

Las biotitas se presentan en la roca, con tamaño de grano grueso y se encuentran alteradas a clorita. Presentan una leve dirección de orientación, pero sin grado de metamorfismo. La hornblenda presenta tamaño de grano grueso y se altera a biotita y a clorita.

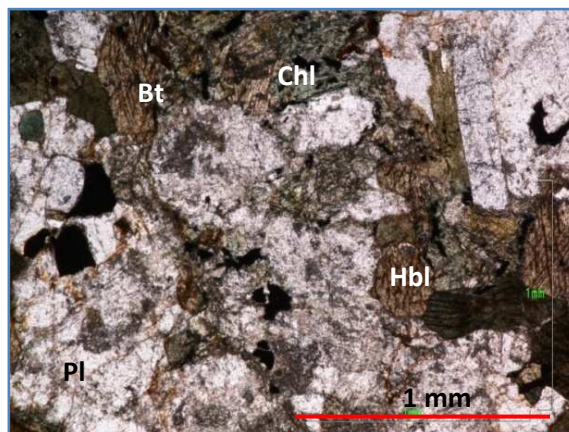
FIGURA 28. En la figura se observa la presencia de cristales de plagioclasa (Pl), hornblenda (Hbl) y biotita (Bt). Microfotografía tomada con objetivo de 5x. **a)** Luz polarizada y **b)** Luz plana no analizada.



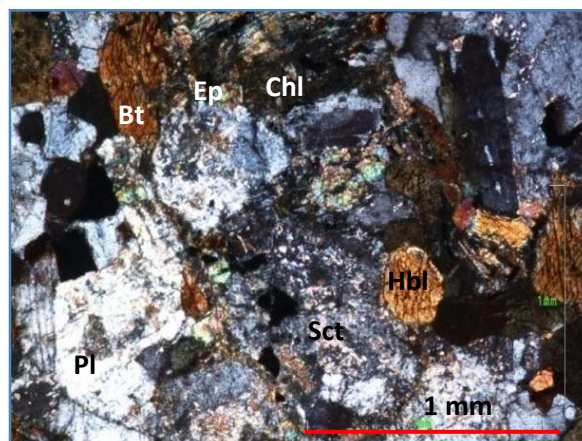
La Cuarzo-diorita, separada del dique unos 4 mt. Es de grano medio, compuesta principalmente por plagioclasa (20%), hornblenda (10%) y biotita (8%), la roca está altamente alterada a clorita y sercita (16%), además de presentar cuarzo y ortoclasa en menor proporción. Como minerales accesorios presenta epidota y rutilo (FIGURA 29).

Las plagioclasas se presentan en la roca con tamaño de grano medio, exhiben maclas polisintéticas tipo Plagioclasa cálcica y tipo albita, además se encuentran altamente alteradas a Sericita y en menores proporciones a epidota. La hornblenda presenta tamaño de grano medio, y está alterada a clorita igual que la biotita.

FIGURA 29. En la figura se observa la presencia de cristales plagioclasa (Pl), en algunas ocasiones alterada a sericita (Sct), hornblenda (Hbl), epidota (Ep), biotita (Bt) y clorita (Chl). Microfotografía tomada con objetivo de 5x. **a)** Luz polarizada y **b)** Luz plana no analizada



a.



b.

TABLA 9. Composición mineralógica modal de las rocas tipo granitoides (roca caja)

FASES MINERAL	PORCENTAJE
Plagioclasa (Serie Ca-Na)	20 - 24 %
Biotita	8 - 17 %
Sericita	6 – 16 %
Cloritas (Clinocloro)	5 – 16 %
Magnesio hornblenda	10 – 12 %
Opacos	10 %
Feldespatos (Serie Na-K) (Ortoclasa+Anortoclasa)	3 – 8 %
Cuarzo	5 %
Epidota	4 - 5 %
Caolinita	0 – 5%
Circón	0 – 3 %
Apatito	0 – 2 %
Leucoxeno	0 – 1 %

7. IDENTIFICACIÓN DE FASES MINERALES MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

A continuación se presentan los resultados de los análisis de DRX realizados en las muestras colectadas en campo (TABLAS 10-13), los cuales se llevaron a cabo fundamentalmente para identificar las fases minerales presentes y el porcentaje (semicuantificación) de cada uno de éstos en la roca. En este sentido, se presentan primero los resultados de los análisis de las rocas que fueron inicialmente definidas como andesitoides, posteriormente aquellas de tipo microgabro y basaltos porfíricos, y finalmente los resultados de algunas rocas encajantes de éstas litologías, aflorantes en el área de estudio.

Rocas Andesíticas porfíricas

Para este grupo de rocas se analizaron tres muestras (TAA-1-M2, TAA-3-M1, TAA-5-M2). Los resultados puntuales de cada una de estas muestras, se relacionan en el anexo 2 (resultados de DRX).. A continuación, se presenta un resumen de los análisis de las tres muestras analizadas mediante DRX. Estas fueron agrupadas para ser relacionadas en el presente apartado, considerando que todas ellas presentan similitudes composicionales. En este sentido, se resalta que las fases minerales identificadas, de mayor a menor cantidad en la roca, son las siguientes: plagioclasa (serie calco-sódica); feldespato (serie sódico-potásica), cuarzo, biotita, magnesio-horblenda, diópsido, magnetita, clinocloro y kaolinita. Estos dos últimos minerales, se consideran como generados por procesos alteración supergénica o hidrotermal (TABLA 10). Estas fases minerales, son fácilmente detectadas en los difractogramas de las FIGURAS 30,31 y 32.

TABLA 10. Fases minerales presentes en las rocas andesitas porfiriticas. El rango de los porcentajes reportados (cálculos semicuantitativos), son tomados de los valores mínimos y máximos de los análisis de DRX.

FASES MINERALES	FORMULA	PORCENTAJE
Plagioclasa (Serie Ca-Na)	$\text{Na}_{0.75} \text{Ca}_{0.25} \text{Al}_{1.26} \text{Si}_{2.74} \text{O}_8$)- Ca ($\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8$)	39 - 50%
Feldespatos (Serie Na-K) (Ortoclasa+Anortoclasa)	$\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$ $\text{Na}_{0.75} \text{K}_{0.25}$ ($\text{Al Si}_3 \text{O}_8$)	18.3-24.4%
Cuarzo	Si O_2	8.2 - 17%
Magnesio hornblenda	Ca_2 (Mg, Fe) ₄ Al ($\text{Si}_7 \text{Al}$) O_{22} (OH, F) ₂	3 – 5.4%
Piroxeno-Diópsido (serieDiópsido-Hedenbergita: Mg-Ca)	$\text{Mg}_{0.964} \text{Fe}_{0.036}$ ($\text{Ca}_{0.94} \text{Na}_{0.06}$) ($\text{Si}_2 \text{O}_6$)	N.C – 4.1%
Cloritas (Clinocloro)	Mg, Fe, Al) ₆ (Si, Al) ₄ O_{10} (OH) ₈	0 – 5%
Caolinita	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5$ (OH) ₄	0 - 4.7%

N.C. No cuantificada.

FIGURA 30. Difractograma para la muestra TAA-1-M2 (andesitas porfiriticas), en el cual se reconocen los minerales relacionados en la TABLA 10.

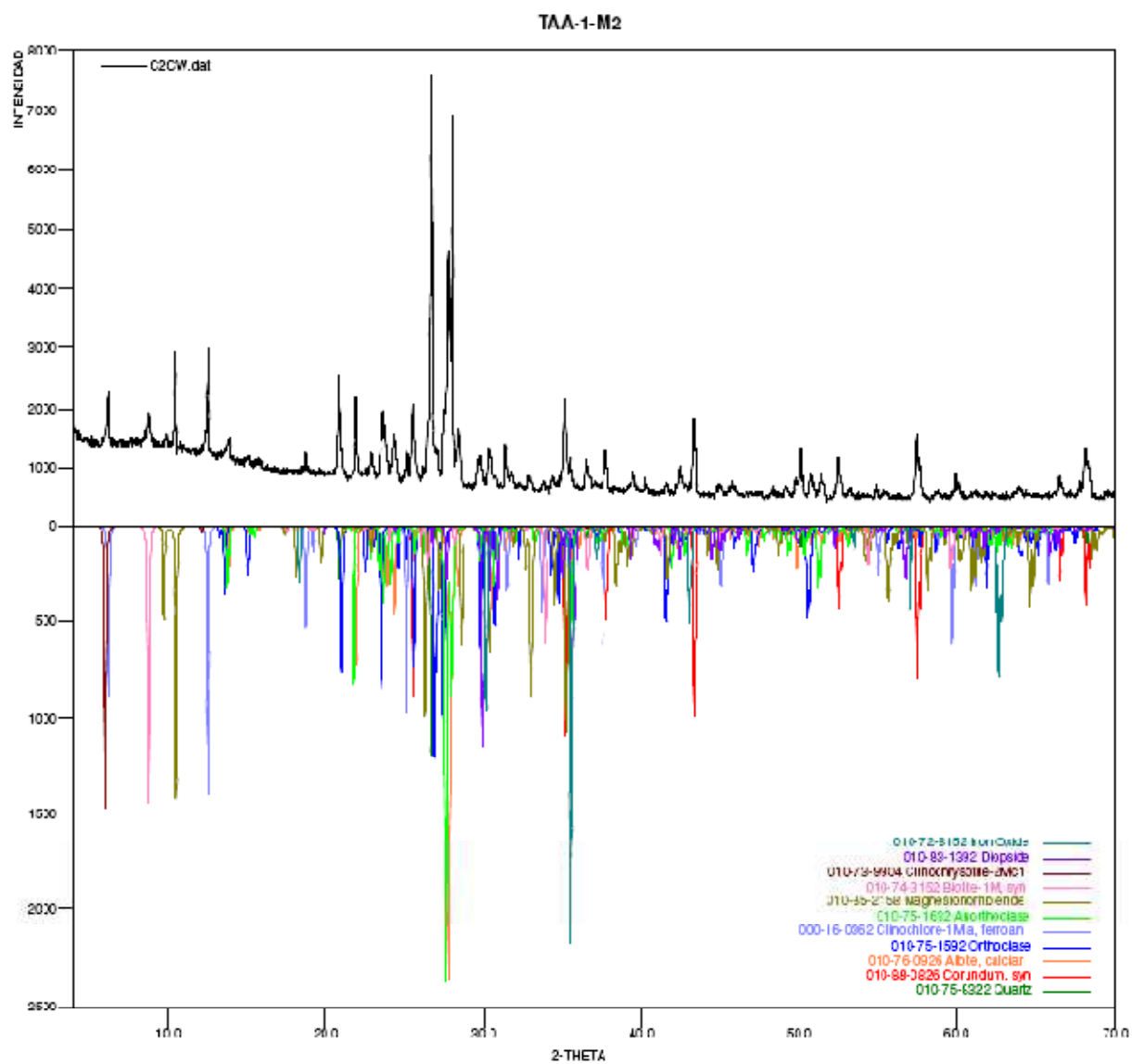


FIGURA 31. Difractograma para la muestra TAA-3-M1 (andesitas porfíricas), en el cual se reconocen los minerales relacionados en la TABLA 10.

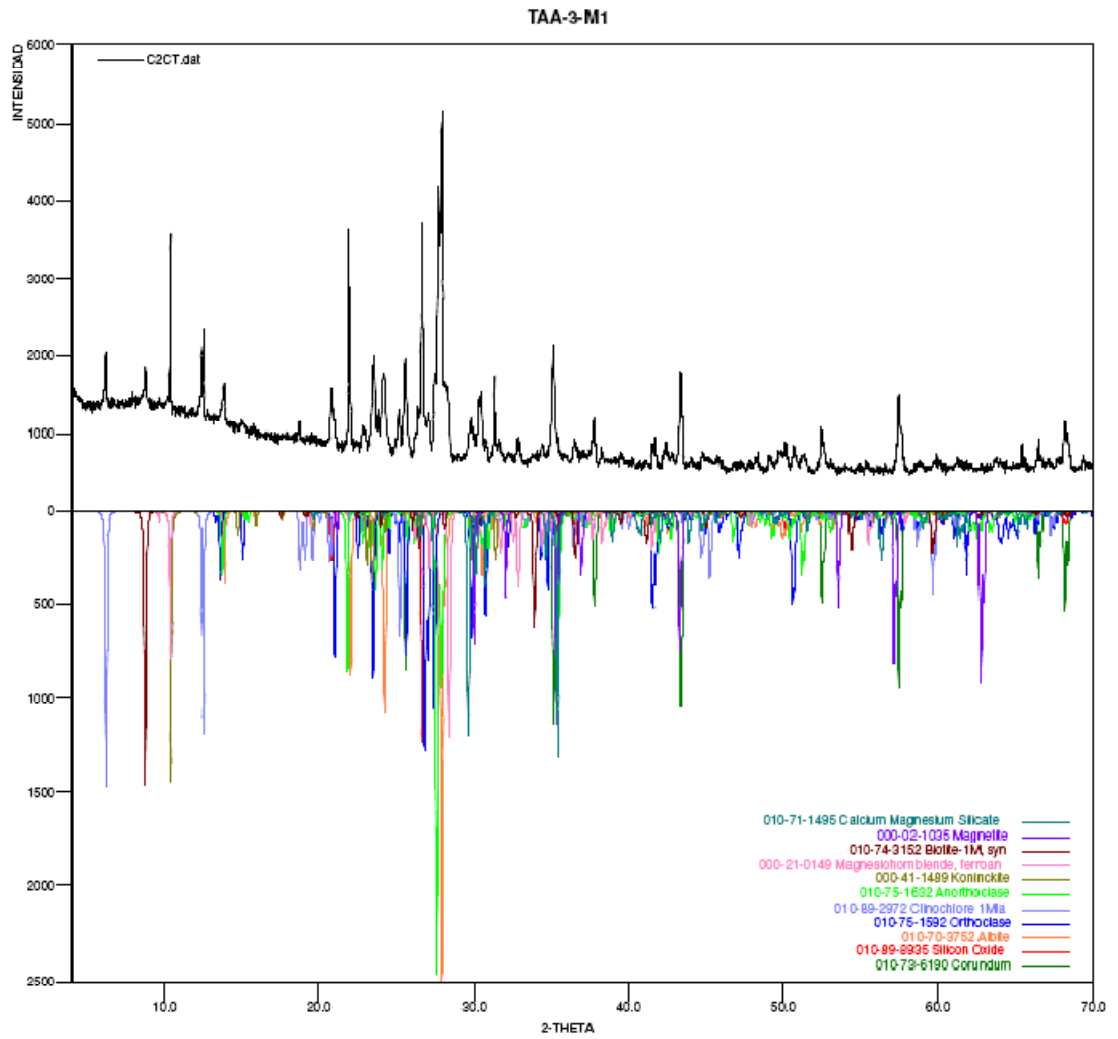
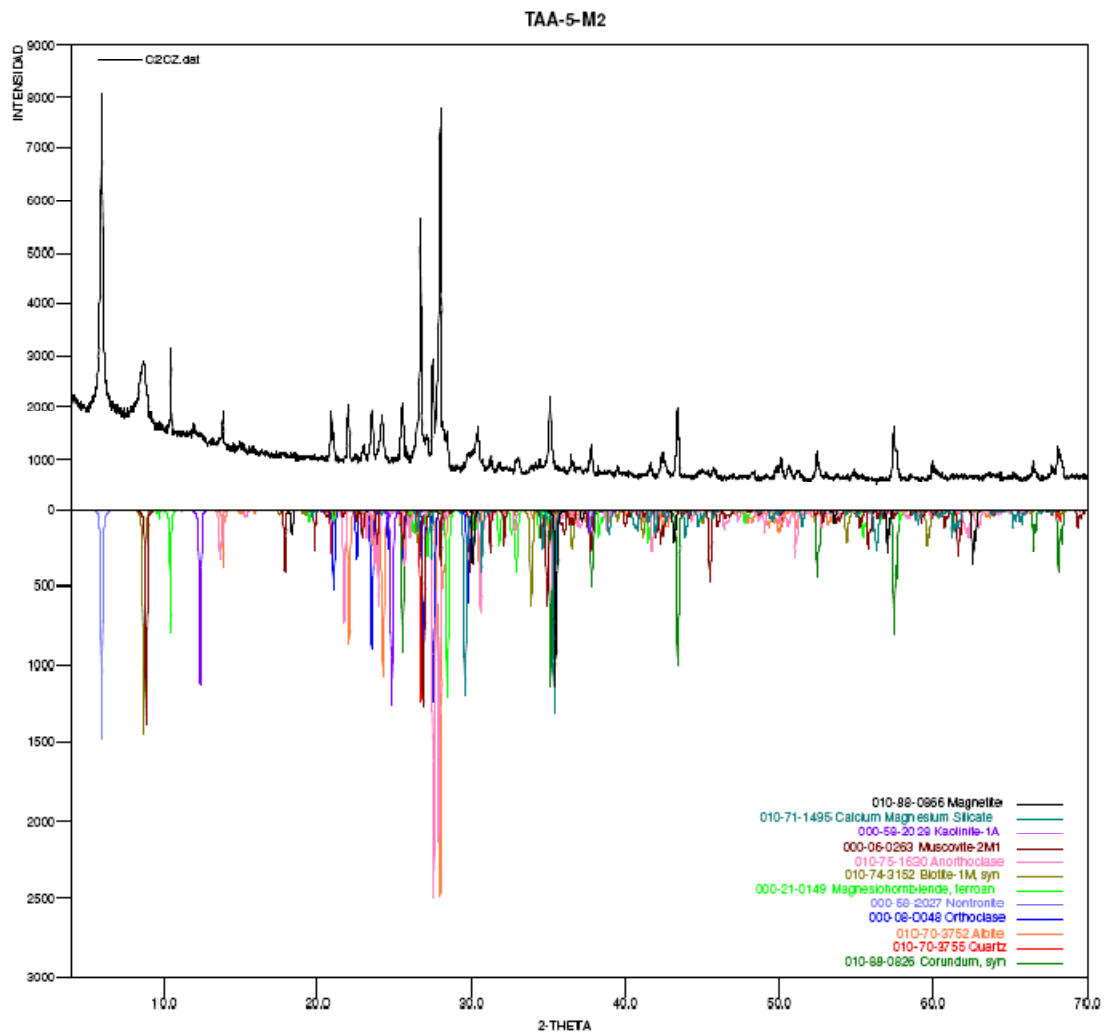


FIGURA 32. Difractograma para la muestra TAA-5-M2 (andesitas porfíricas), en el cual se reconocen los minerales relacionados en la TABLA 10.



Microgabros Porfíricos

Para este grupo de rocas se analizaron dos muestras (TAA-2-M1, TAA-4-M1). Los resultados puntuales de cada una de estas muestras, se relacionan en el anexo 2 (resultados de DRX). A continuación, se presenta un resumen de los análisis de las dos muestras analizadas mediante DRX. Estas fueron agrupadas para ser relacionadas en el presente apartado, considerando que éstas presentan similitudes composicionales. En este sentido, se resalta que las fases minerales identificadas, de mayor a menor cantidad en la roca, son

los siguientes: plagioclasa (serie calco-sódica); feldespato (serie sódico-potásica), biotita, piroxenos (augita y diópsido), cuarzo, magnesio-hornblenda, clinocloro y magnetita. El clinocloro se considera como generado por procesos de alteración hidrotermal (TABLA 11). Estas fases minerales, son fácilmente reconocibles en los difractogramas de de las FIGURAS 33 y 34.

TABLA 11. Fases minerales presentes en las rocas tipo microgabros porfíricos. El rango de los porcentajes reportados (cálculos semicuantitativos), son tomados de los valores mínimos y máximos de los análisis de DRX.

FASES MINERALES	FORMULA	PORCENTAJE
Plagioclasa (Serie Ca-Na)	$\text{Na}_{0.75} \text{Ca}_{0.25} \text{Al}_{1.26} \text{Si}_{2.74} \text{O}_8$)- $\text{Ca} (\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8)$	27 – 36.9 %
Feldespatos Anortoclasa (Serie Na-K)	$\text{Na}_{0.75} \text{K}_{0.25} (\text{Al} \text{Si}_3 \text{O}_8)$	0 – 15.2 %
Cloritas (Clinocloro)	$\text{Mg, Fe, Al})_6 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	13 – 17 %
Biotita	$\text{K} (\text{Fe}_{2.554} \text{Al}_{0.446}) ((\text{Al}_{1.55} \text{Si}_{2.45}) \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	5.7 – 7.7 %
Piroxeno-Augita (serie Diópsido-Hedenbergita: Mg-Ca-Fe)	$\text{Ca}_{0.61} \text{Mg}_{0.76} \text{Fe}_{0.49} (\text{Si} \text{O}_3)_2$	6.4 %
Cuarzo	$\text{Si} \text{O}_2$	3.3 – 6 %
Magnesio hornblenda	$\text{Ca}_2 (\text{Mg, Fe})_4 \text{Al} (\text{Si}_7 \text{Al}) \text{O}_{22} (\text{OH, F})_2$	4 %
Piroxeno-Diópsido (serie Diópsido-Hedenbergita: Mg-Ca)	$\text{Mg}_{0.964} \text{Fe}_{0.036} (\text{Ca}_{0.94} \text{Na}_{0.06}) (\text{Si}_2 \text{O}_6)$	N.C – 2.1 %
Magnetita	$\text{Fe}_3 \text{O}_4$	N.C.

N.C. No cuantificada.

FIGURA 33. Difractograma de la muestra TAA-2-M1 (microgabros porfíricos), en el cual se reconocen los minerales relacionados en la TABLA 11.

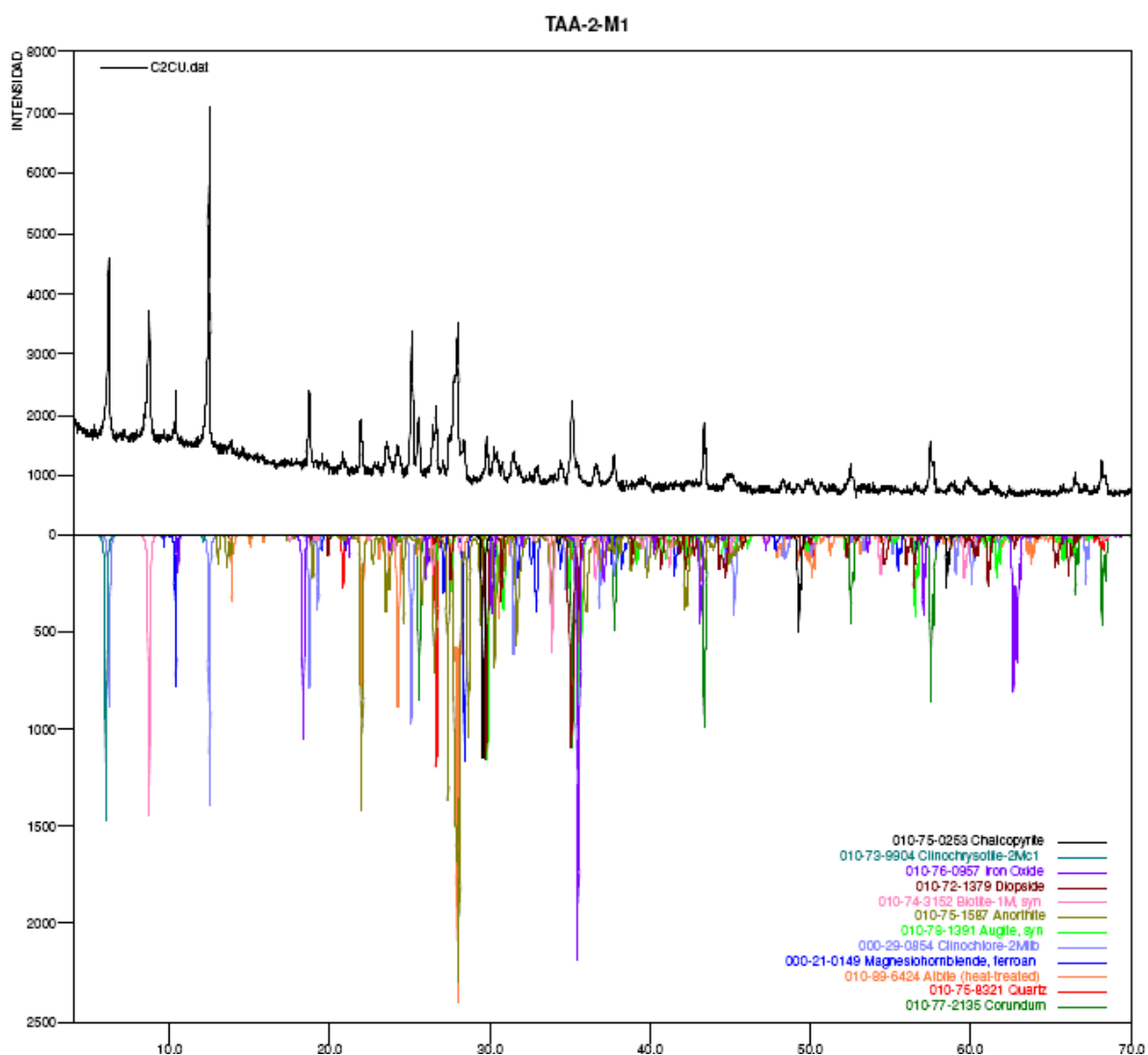
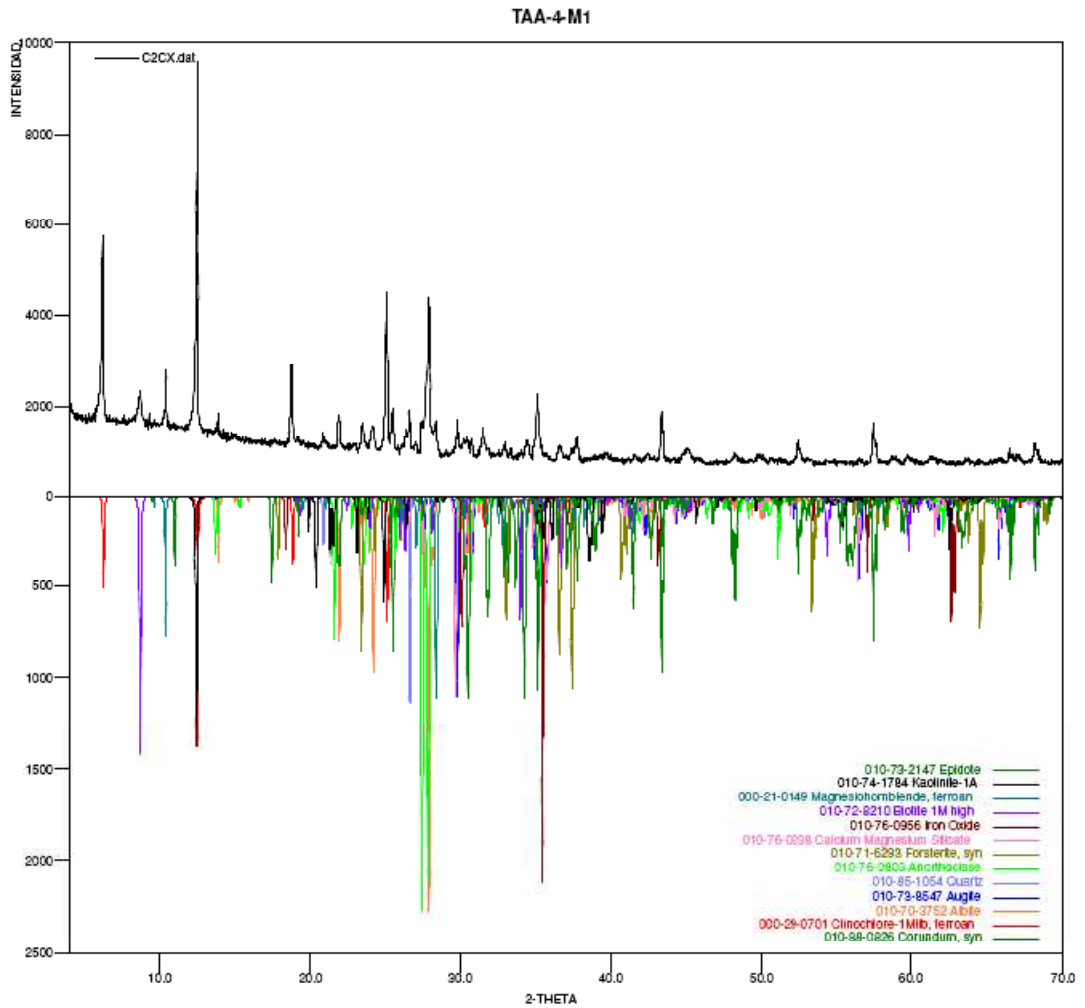


FIGURA 34. Difractograma para la muestra TAA-4-M1 (microgabros porfiriticos), en el cual se reconocen los minerales relacionados en la TABLA 11.



Basaltos porfíricos

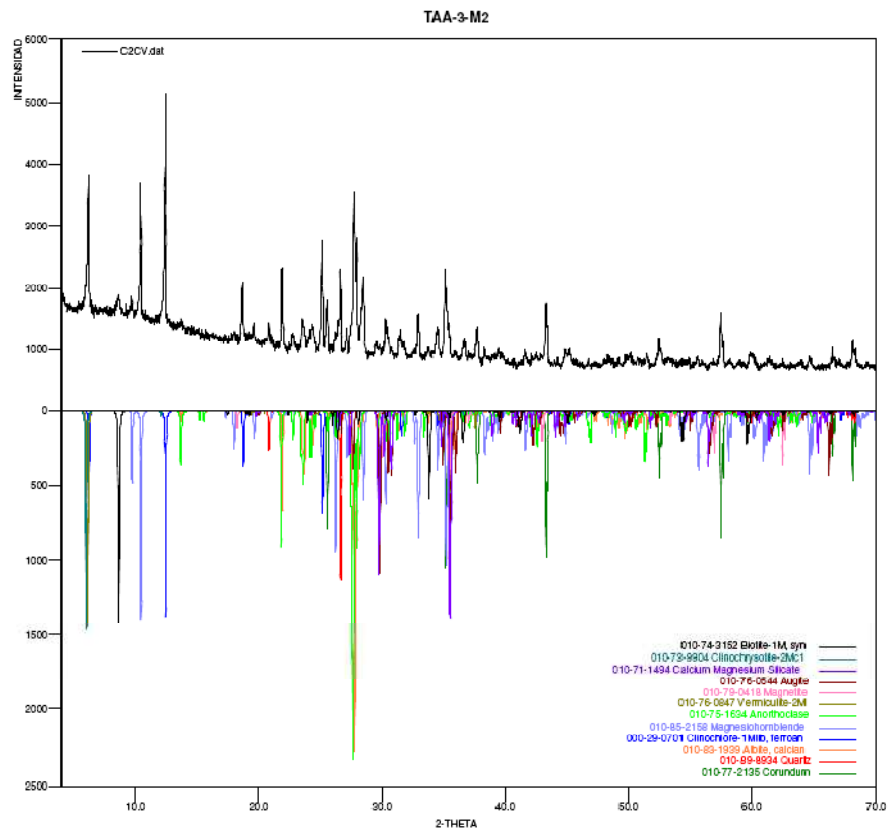
Para este grupo de rocas se analizó una muestra (TAA-3-M2). Los resultados puntuales de ésta muestran, se relacionan en el anexo 2 (resultados de DRX). A continuación, se presenta un resumen del análisis de la muestra analizada mediante DRX. En este sentido, se resalta que las fases minerales identificadas, de mayor a menor cantidad en la roca, son los siguientes: plagioclasa (serie calco-sódica); magnesio-hornblenda, clinocloro, biotita, piroxenos (augita y diópsido), cuarzo, y magnetita. El clinocloro se considera como generado por procesos de alteración hidrotermal (TABLA 12). Estas fases minerales, son fácilmente reconocibles en el difractograma de de la FIGURA 35.

TABLA 12. Fases minerales presentes en las rocas tipo basaltos porfíricos. El porcentaje reportado es un cálculo semicuantitativo, derivado del análisis de DRX.

FASES MINERALES	FORMULA	PORCENTAJE
Plagioclasa (Serie Ca-Na)	$\text{Na}_{0.75} \text{Ca}_{0.25} \text{Al}_{1.26} \text{Si}_{2.74} \text{O}_8$)- Ca ($\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8$)	45.3 %
Magnesio hornblenda	$\text{Ca}_2 (\text{Mg}, \text{Fe})_4 \text{Al} (\text{Si}_7 \text{Al}) \text{O}_{22} (\text{OH}, \text{F})_2$	17.6 %
Cloritas (Clinocloro)	$\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_6 (\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	12.5 %
Biotita	$\text{K} (\text{Fe}_{2.554} \text{Al}_{0.446}) ((\text{Al}_{1.55} \text{Si}_{2.45}) \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	7.4 %
Cuarzo	Si O_2	4.5 %
Piroxeno-Augita (serie Diópsido-Hedenbergita: Mg-Ca-Fe)	$\text{Ca}_{0.61} \text{Mg}_{0.76} \text{Fe}_{0.49} (\text{Si O}_3)_2$	3.2 %
Magnetita	$\text{Fe}_3 \text{O}_4$	1.8 %
Piroxeno-Diópsido (serie Diópsido-Hedenbergita: Mg-Ca)	$\text{Mg}_{0.964} \text{Fe}_{0.036} (\text{Ca}_{0.94} \text{Na}_{0.06}) (\text{Si}_2 \text{O}_6)$	N.C %

N.C. No cuantificada.

FIGURA 35. Difractograma para la muestra TAA-3-M2 (microgabros porfiriticos, en el cual se reconocen los minerales relacionados en la TABLA 12.



Rocas Graníticas (Roca Caja)

Para este grupo de rocas se analizaron dos muestras (TAA-5-M1 y TAA-5-M3). Los resultados puntuales de ésta muestran, se relacionan en el anexo 2 (resultados de DRX). A continuación, se presenta un resumen del análisis de las muestras analizadas mediante DRX. En este sentido, se resalta que las fases minerales identificadas, de mayor a menor cantidad en la roca, son las siguientes: plagioclasa (serie calco-sódica); magnesio-hornblenda, biotita, cuarzo, clinocloro, feldespato (serie sódico-potásica), epidota y magnetita. El clinocloro se considera como generado por procesos de alteración hidrotermal (TABLA 13). Estas fases minerales, son fácilmente reconocibles en los difractogramas de las FIGURA 36 y 37.

TABLA 13. Fases minerales presentes en las rocas tipo granitoides. El porcentaje reportado es un cálculo semicuantitativo, derivado del análisis de DRX.

FASES MINERALES	FORMULA	PORCENTAJE
Plagioclasa (Serie Ca-Na)	$\text{Na}_{0.75} \text{Ca}_{0.25} \text{Al}_{1.26} \text{Si}_{2.74} \text{O}_8$ - $\text{Ca} (\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8)$	35.3 - 52 %
Magnesio hornblenda	$\text{Ca}_2 (\text{Mg}, \text{Fe})_4 \text{Al} (\text{Si}_7 \text{Al}) \text{O}_{22} (\text{OH}, \text{F})_2$	14.3 – 19.2 %
Biotita	$\text{K} (\text{Fe}_{2.554} \text{Al}_{0.446}) ((\text{Al}_{1.55} \text{Si}_{2.45}) \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	7.4 – 12.4 %
Cuarzo	Si O_2	7.1 – 7.4 %
Cloritas (Clinocloro)	$\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_6 (\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	0 – 7.2 %
Feldespatos Ortoclasa y microclina (Serie Na-K)	$\text{Na}_{0.75} \text{K}_{0.25} (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	4 – 5.4 %
Epidota	$\text{Ca}_2 \text{Al}_{0.93} \text{Fe}_{0.05} \text{Al Al}_{0.24} \text{Fe}_{0.76} \text{Si}_3 \text{O}_{13} \text{H}$	0 – 1.5 %
Magnetita	$\text{Fe}_3 \text{O}_4$	1.8 %

FIGURA 36. Difractograma para la muestra TAA-5-M1, perteneciente al grupo de granitoides (roca caja).

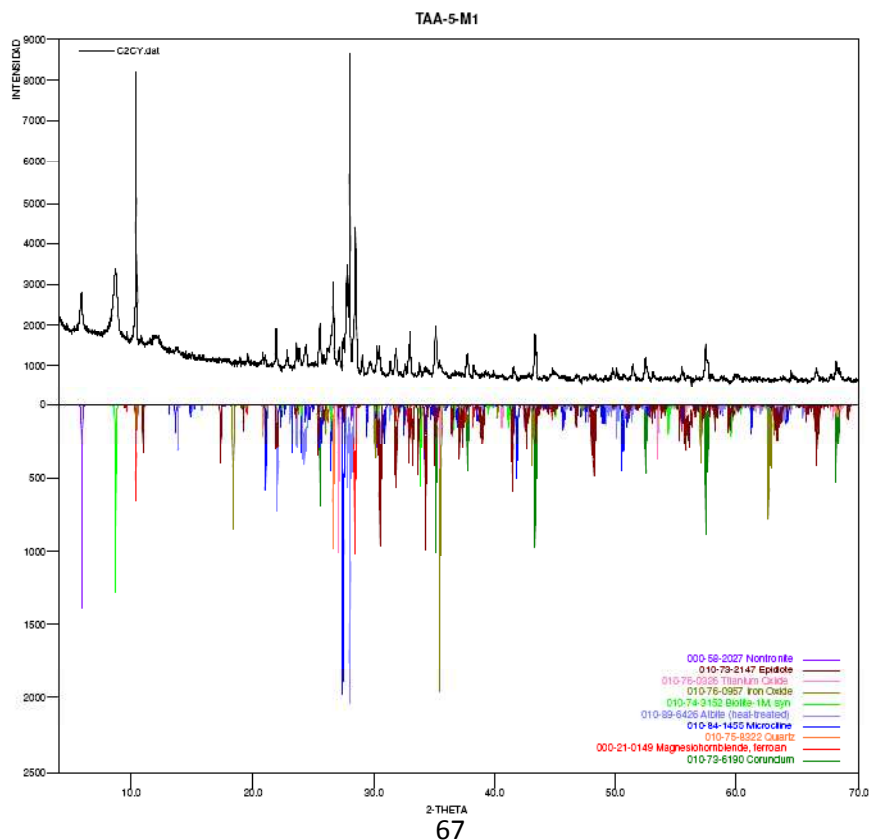
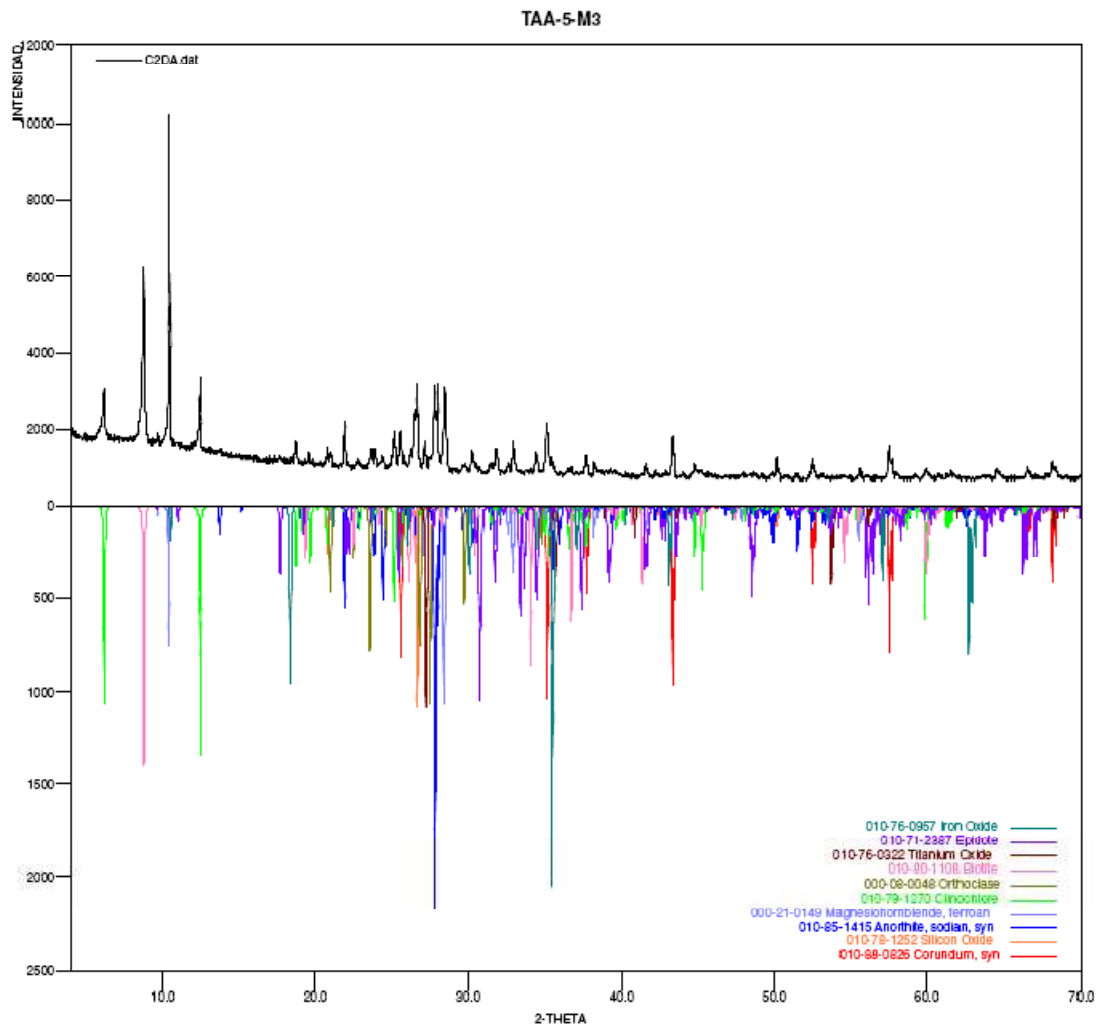


FIGURA 37. Difractograma para la muestra TAA-5-M3, perteneciente al grupo de granitoides (rocas caja).



8. CLASIFICACIÓN MODAL DE LAS ROCAS ESTUDIADAS

Las rocas denominadas inicialmente para este estudio como andesitas y microgabros porfiríticos son clasificados en este capítulo de acuerdo a los resultados composicionales arrojados por el estudio petrográfico (ver Anexo 3. Catalogo petrográfico), y con ayuda de los diagramas propuestos en la bibliografía para tal fin.

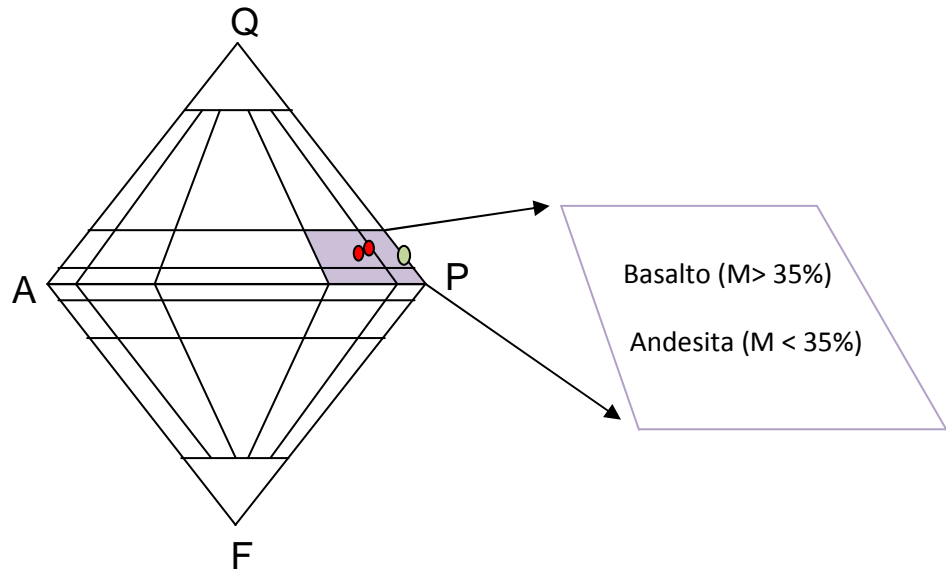
Según Streckeisen (1979), las andesitas son rocas volcánicas de composición intermedia, compuestas generalmente por plagioclasa, piroxeno y hornblenda. Frecuentemente están asociadas a biotita, cuarzo, magnetita y esfena. Son rocas de textura porfídica y de tonalidades claras.

La clasificación modal de las rocas volcánicas recomendada por la IUGS para la sistematización de rocas ígneas, se basa en la clasificación de Streckeisen (1979), estas divisiones son las mismas que las empleadas para las rocas plutónicas, existiendo así un equivalente volcánico para cada una de estas.

La distinción de las andesitas y los basaltos se basa en la composición de la plagioclasa, para el caso de las andesitas el porcentaje de anortita debe ser menor a 50 %. En algunas ocasiones, cuando no es posible diferenciar el tipo de plagioclasa, se recurre a un criterio adicional, este es el contenido de minerales máficos, para ingresar en el intervalo de las andesitas, el porcentaje de máficos debe ser menor a 35 %, de lo contrario la roca es clasificada como basalto.

De acuerdo a los criterios anteriormente mencionados, las muestras de rocas denominadas andesitas porfiríticas son graficadas en el diagrama de clasificación modal QAPF, junto con la muestra de basalto porfirítico. básicamente la diferencia entre estas dos rocas consiste en el porcentaje de máficos. De acuerdo a los porcentajes obtenidos en el estudio petrográfico, se deinen las rocas como andesitas y basaltos respectivamente (FIGURA 38).

FIGURA 38. Diagrama de clasificación de rocas basálticas y andesíticas, según el contenido mineralógico modal, usando el diagrama de QAPF. En rojo se muestran las andesitas y en verde el basalto.



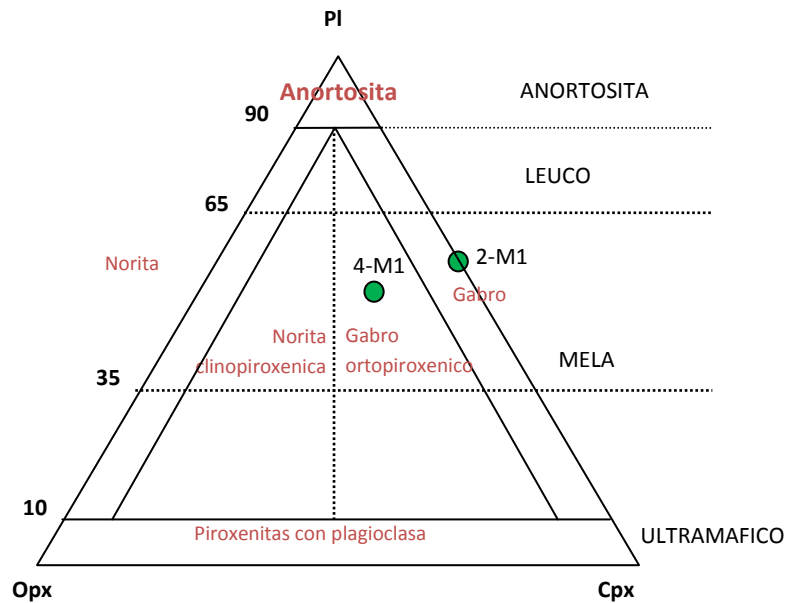
FUENTE: Esquema apoyado en la clasificación de Streckeisen (1979), Recomendado por la IUGS (1989). Graficado en QAPF 1.0

Los gabros son rocas ígneas plutónicas, de composición básica, compuestos de plagioclasas cálcicas, olivinos, piroxenos y anfíboles. Son rocas, de colores grises y verdes oscuros. Están asociados a biotita, magnetita y esfena.

Según Streckeisen (1976) las rocas gabroicas, constituyen menos del 90% y más del 10% de minerales máficos, presentando valores normales entre 35 y 65%. Para su clasificación se debe utilizar el diagrama de clasificación de las rocas gabroicas, recomendado por la IUGS (Le Maitre, 1989).

De acuerdo los criterios anteriormente mencionados las muestras de rocas denominadas microgabros porfiriticos son graficadas en el diagrama de clasificación modal QAPF, en el cual de acuerdo a los porcentajes obtenidos en el estudio petrográfico, se localizan en el campo de los gabros, estas a su vez son reclasificadas en el diagrama de clasificación de rocas gabroicas definiendo así la nomenclatura de rocas gabroicas y gabro ortopiroxenicas por la IUGS (Le Maitre, 1989). Ver FIGURA 39.

FIGURA 39. Diagrama de clasificación de rocas gabroicas.



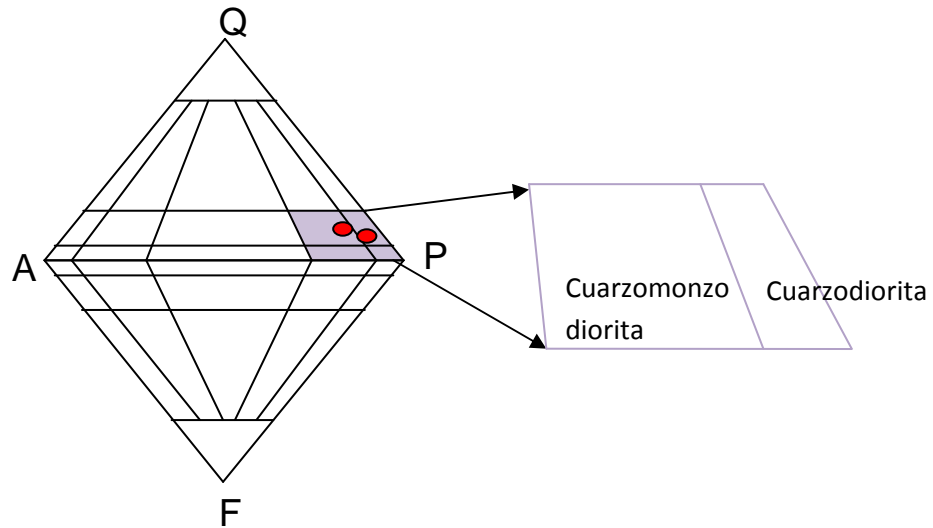
FUENTE: Recomendado por la IUGS (Le Maitre, 1989).

De acuerdo a las clasificaciones realizadas por Streckeisen (1976), las rocas dioríticas son proyectadas en el mismo campo que las rocas gabroicas y anortositicas, según el diagrama QPAF. Se diferencian de los gabros por presentar un contenido de minerales máficos menor al 10%, y de las anortositicas por presentar plagioclasas con una composición de anortita menor a 50 %.

Este grupo de rocas es subdividido según él con contenido de QAPF en Cuarzo-monzodioritas, Cuarzo-dioritas, Monzodioritas y dioritas.

De acuerdo los criterios anteriormente mencionados las muestras de rocas caja denominadas Cuarzo-monzodiorita y Cuarzodioritas son graficadas en el diagrama de clasificación modal QAPF, de acuerdo a los porcentajes obtenidos en el estudio petrográfico, definiendo así la misma nomenclatura para estas rocas.

FIGURA 40. Diagrama de clasificación de rocas dioríticas, según el contenido mineralógico modal, usando el diagrama de QAPF.



FUENTE: Esquema apoyado en la clasificación de Streckeisen (1979), recomendado por la IUGS 1989).

De acuerdo a las clasificaciones modales establecidas para cada grupo de rocas, se corroboran las denominaciones dadas inicialmente para los andesitoides, microgabros y basaltos porfíricos, expuestas en la descripción macroscópica.

9. DATOS GEOQUIMICOS DE ROCA TOTAL

En este capítulo se presentan las características geoquímicas de algunas muestras representativas, de las rocas andesíticas y microgabros porfíricos analizadas en el presente estudio. El análisis geoquímico es realizado con el propósito de clasificar las rocas andesíticas y gabroicas, según la serie, establecer su contexto tectónico de formación, y determinar algunas características representativas de los magmas. El estudio se basa en la composición química de elementos mayores, menores y trazas (MMT) obtenidos para cada muestra. El fin es de identificar afinidades geoquímicas entre ellas y rasgos petrogenéticos importantes. Los análisis químicos de las muestras, fueron realizados por ALS Laboratory Group, ubicado en Fuza, Cundinamarca, por los métodos de Fluorescencia de rayos X (FRX) y Espectroscopia de masa (ICP-MS), los resultados de los análisis químicos se relacionan en el Anexo 5. Para el análisis de los datos se utilizó el software IGPET 2005, para la construcción de los diagramas de Harper, diagramas AFM y los diagramas araña para normalización de condrito.

9.1 ANALISIS GEOQUIMICO DE OXIDOS MAYORES

Las rocas son clasificadas de acuerdo a su concentración absoluta de sílice, saturación de alúmina, Clasificación TAS (Total-álcalis-sílice), minerales normativos, y series magmáticas. Para realizar este análisis se utilizaron los diagramas de variación de Harker, con el fin de determinar la variación de los principales componentes químicos como CaO, Na₂O, K₂O, FeO*, MgO, TiO₂, Al₂O₃, P₂O₅ respecto a SiO₂. Los datos de óxidos están expresados en % peso. También se utilizó el diagrama AFM (álcalis+ hierro total + óxido de magnesio) para establecer afinidades entre éstos.

Los análisis geoquímicos se realizaron a cinco muestras representativas (TABLA 14), seleccionadas entre las muestras que previamente fueron analizadas mediante petrografía. Las muestras corresponden a:

Andesitas: TAA-3-M1, TAA-5-M2

Gabros: TAA-2-M1, TAA-4-M1

Basalto: TAA-3-M2

TABLA 14. Resultados de Fluorescencia de rayos x, expresados en % en peso. Hierro total expresado como Fe₂O₃.

COMPUESTO	TAA-2-M1	TAA-3-M1	TAA-3-M2	TAA-4-M1	TAA-5-M2
Al ₂ O ₃	16.75	18.45	16.85	16.65	18.65
BaO	0.053	0.345	0.028	0.058	0.319
CaO	7.59	2.84	8.66	7.04	3.24
Cr ₂ O ₃	0.012	0.004	0.019	0.013	0.003
Fe ₂ O ₃	10.2	3.51	11.3	10.55	4.08
K ₂ O	1.63	3.36	0.676	1.605	3.19
MgO	5.3	1.25	7.45	5.28	1.32
MnO	0.182	0.116	0.18	0.192	0.1
Na ₂ O	3.48	5.98	2.58	3.79	5.74
P ₂ O ₅	0.53	0.174	0.306	0.53	0.229
SiO ₂	50.4	63.3	47.3	50.4	62.1
SrO	0.045	0.155	0.044	0.052	0.166
TiO ₂	1.78	0.47	1.68	1.79	0.55
LOI	1.82	0.6	2.69	2.03	0.77

Antes de realizar la clasificación geoquímica de rocas, se calculó el índice químico de meteorización (CIW). Este calculo es realizado con el fin de medir de alguna manera el grado de pérdida de componentes móviles respecto a los componentes inmóviles. Por ejemplo, durante la meteorización de granitos o basaltos, el Si, Mg, Ca y Na, son lixiviados, mientras que el Al y Ti, se mantienen en el sistema y se acumulan en el residuo. El Fe y el K, presentan un comportamiento más complejo (Harnois, 1998). En este sentido, se seguirá la propuesta de Harnois (1988), por ser ésta la que mejor propuesta que permitirá definir el grado de meteorización de la roca. Esta relación es la siguiente:

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

De acuerdo a esta ecuación, se presenta el índice de meteorización para cada muestra, realcionado en la TABLA 15.

TABLA 15. Relación del índice químico de meteorización (*CIW*), para las rocas analizadas.

	TAA-2-M1 Microgabros	TAA-4-M1 Microgabros	TAA-3M2 Basalto	TAA-3-M1 Andesitas	TAA-5-M2 Andesitas
CIW	60.20	60.5	60	67.65	67.5

De acuerdo a la TABLA 15 y a los datos petrográficos los cuales se presentarán en el siguiente apartado, se concluye que los valores más bajos obtenidos, corresponden a los microgabros y el basalto porfirítico, siendo estos los que mayor grado de alteración o meteorización presentan. Las andesitas porfiríficas, por su parte, serían las que menor meteorización tendrían, comparadas con las rocas básicas aquí analizadas.

Concentración de sílice

El SiO_2 constituye el óxido principal de las rocas ígneas, y se utiliza de base para la clasificación de estas mismas. Los resultados de SiO_2 obtenidos de los análisis químicos, clasifican las rocas andesíticas en composición intermedia, y para los microgabros y basaltos porfiríticos los resultados de sílice están incluidos en el rango de rocas básicas.

TABLA 16. Clasificación de rocas ígneas de acuerdo a la concentración de sílice expresada en % en peso.

Concentración de Sílice % en peso	Nombre	TAA-2-M1 Microgabro	TAA-4-M1 Microgabro	TAA-3-M2 Basalto	TAA-3-M1 Andesita	TAA-5-M2 Andesita
> 66	Acida					
52-66	Intermedia				X	X
45-52	Básica	X	X	X		
45% o menos	Ultrabásica					

Saturación de Alúmina

El índice de álcalis, también definido como saturación de alúmina, define la relación molecular de $Al_2O_3 / (K_2O + Na_2O + CaO)$, la cual es utilizada como criterio de clasificación, y es útil en el análisis de los procesos evolutivos.

TABLA 17. Clasificación de rocas de acuerdo al índice de saturación de Alúmina.

Índice de Saturación	Nombre	TAA 2-M1	TAA 3-M1	TAA 3-M2	TAA 4-M1	TAA 5-M2
$Al_2O_3 > K_2O + Na_2O + CaO$	Peralumínicas					
$Al_2O_3 < K_2O + Na_2O + CaO$	Metalumínicas	X	X	X	X	X
$Al_2O_3 < K_2O + Na_2O$	Peralcalinas					

FUENTE: Shand (1927)

En las rocas *metalumínicas*, o subsaturadas en alúmina, la deficiencia de ésta se acomoda en la horblenda, biotita pobre en aluminio y esfena. Como minerales normativos se presenta la anortita y el diópsido. De acuerdo a la petrografía presentada en el capítulo anterior (Ver Anexo petrográfico), se puede concluir que las rocas andesíticas, micro gabros y basaltos porfíricos coinciden con estas afirmaciones, pues en los principales minerales formadores de estas rocas se presentan la horblenda, la biotita, el diópsido, la esfena y la anortita.

Composición normativa

El cálculo normativo **CIPW** (propuesto por W. Cross, J.P. Inddings, L.V. Pirsson y H.S. Washintong), es utilizado para calcular la mineralogía aproximada de las rocas de acuerdo a los resultados químicos de los análisis de roca total. La norma son paragénesis minerales ideales que se suponen han cristalizado de un magma anhidro. Para realizar el cálculo normativo se utilizó el programa Igpert 2005, los resultados de normativo registrados en la TABLA 18.

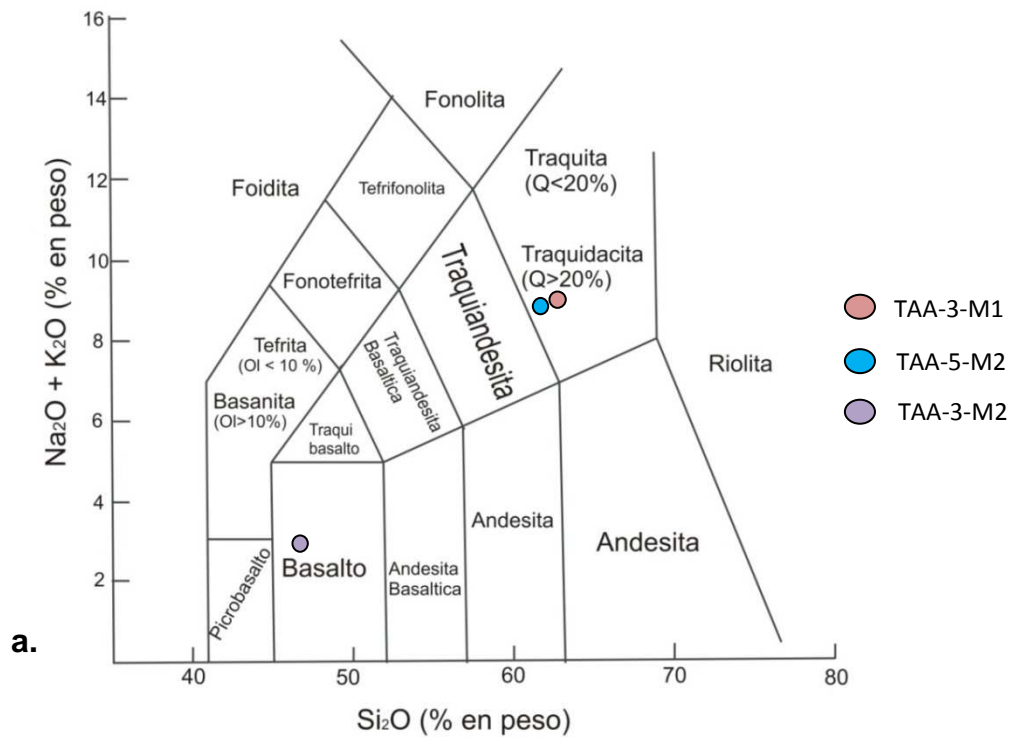
TABLA 18. Composición normativa de las rocas andesíticas, micro gabros y basaltos porfiriticos

Minerales normativos	TAA-2-M1 Microgabro	TAA-4-M1 Microgabro	TAA-3-M2 Basalto	TAAA-3-M1 Andesita	TAA-5-M2 Andesita
% AN	46,18174	42,47326	59,74313	20,38011	23,08449
CUARZO	0,4059828	0	0	8,094745	7,892478
ORTOCLASA	9,914428	9,767198	4,153354	19,99685	19,04285
ALBITA	30,30912	33,02541	22,69792	50,96097	49,06449
ANORTITA	26,00842	24,38338	33,6848	13,04436	14,72562
DIOPSIDO	7,419945	6,492999	7,187867	0	0
HIPERSTENA	16,29315	15,00549	20,59016	3,494493	4,268819
OLIVINO	0	1,635929	2,81625	0	0
MAGNETITA	4,894916	4,912269	4,793698	2,876603	3,002524
ILMENITA	3,479502	3,500781	3,317253	0,8989537	1,055167
APATITO	1,263827	1,264453	0,7370644	0,4059788	0,5359306

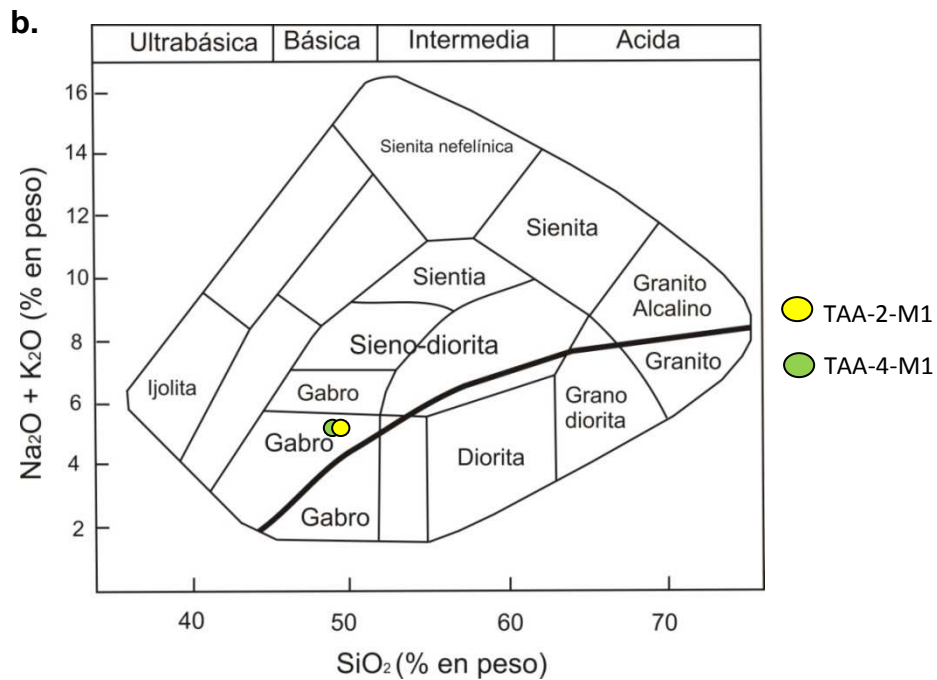
Clasificación TAS

Las muestras son clasificadas de acuerdo a los diagramas TAS (total –álcalis-sílice) para rocas volcánicas y plutónicas (FIGURA 46). De acuerdo a estas clasificaciones se obtienen tres tipos diferentes de rocas. En primer lugar las muestras TAA-3-M1 y TAA-5-M2, clasificadas en la petrografía como andesitas, ocupan en este diagrama el rango de traquitas ($Qtz < 20\%$). En segundo lugar la muestra TAA-3-M2 cae en el rango de basaltos, esta clasificación está acorde con la realizada en la petrografía. Estas dos clasificaciones son realizadas para las muestras volcánicas. Respecto a las rocas plutónicas, TAA-2-M1 Y TAA- 4-M1, las cuales se localizan en el rango del gabro, están acorde a los resultados obtenidos en la petrografía.

FIGURA 41. Clasificación química y nomenclatura de rocas ígneas, usando el diagrama de proyección de los álcalis versus sílice (TAS). a) diagrama para rocas volcánicas. b) Diagrama de rocas plutónicas. La línea gruesa subdivide las rocas alcalinas (parte superior) y subalcalinas (parte inferior).



FUENTE: Le Maitre (1989).

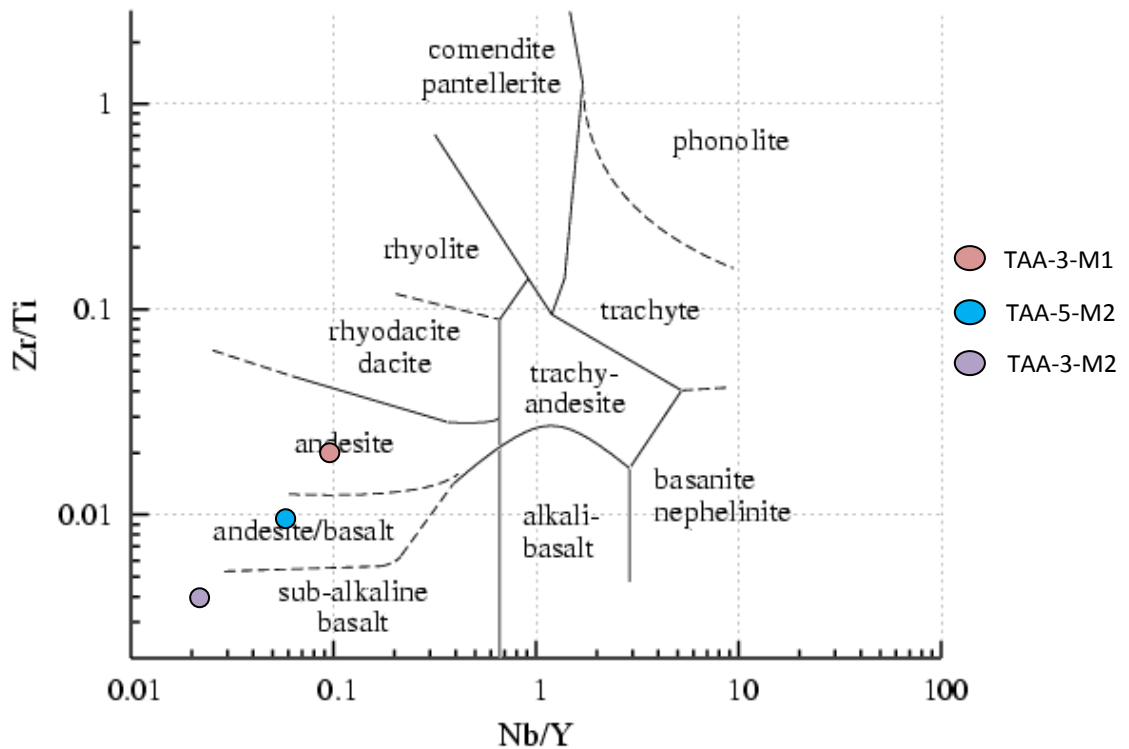


FUENTE: Rollinson (1993).

De acuerdo a los datos obtenidos de DRX, se observa que las rocas andesíticas analizadas, se proyectan muy cerca al límite de las rocas traquíticas, más específicamente con las latitas. Por esta razón, seguramente el polvo de roca utilizado durante el análisis químico, contenía más componentes de feldespato potásico. Aunque el cuarteo realizado a la muestra, permitía considerarla como una muestra representativa, también es probable que existan algunas ligeras variaciones composicionales en ésta. Por esta razón, considerando los análisis petrográficos, de cuantificación de fases (DRX) y geoquímicos, es posible sugerir que estas rocas, puedan igualmente denominarse como traquiandesitas, esto como término intermedio entre los análisis realizados a estas rocas, sin embargo, a falta de un mayor muestreo de estas, en adelante se seguirá denominado en sentido amplio como rocas andesíticas.

En la búsqueda de una mejor clasificación para las rocas tipo andesitas porfíricas, se recurre al diagrama de clasificación de rocas volcánicas propuesto por Winchester & Floyd (1977), el cual realiza la clasificación de acuerdo a los elementos inmóviles presentes en estas rocas. En la figura 42, se puede observar que las rocas en cuestión, son ubicadas en los rangos de andesita y andesita/ basalto. De esta manera y en congruencia con el desarrollo del trabajo, las rocas serán denominadas andesitas.

FIGURA 42. Clasificación de rocas volcánicas basada en elementos inmóviles.



FUENTE: Winchester & Floyd (1977)

Series magmáticas

Para determinar las series de las muestras analizadas, se debe utilizar la composición de los álcalis vs. porcentaje de sílice. Varios autores realizaron diferentes trabajos para clasificar los tipos de series, sin embargo Irvine y Baragan (1971) intentaron unificar la creciente diversidad de nomenclatura de las rocas magmáticas y las series, recomendando una clasificación en la cual se mantiene la serie alcalina, subalcalina y las subdivisiones de esta última.

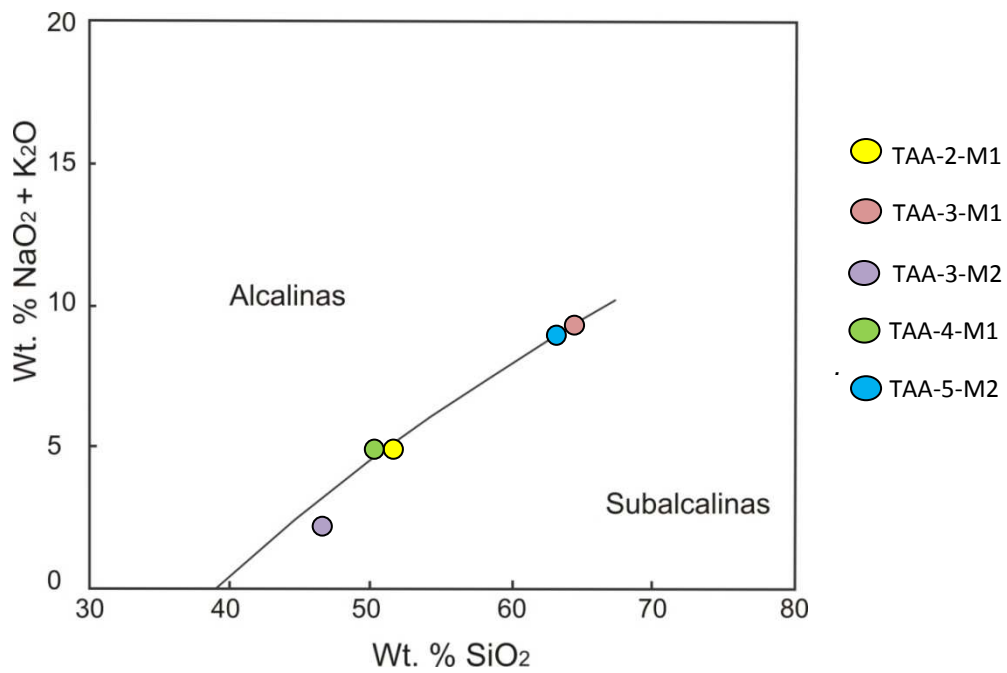
En primer lugar las muestras son graficadas en el diagrama álcalis vs. sílice (FIGURA 43), para determinar la serie. De acuerdo a la anterior clasificación, las rocas andesíticas y gabroicas se ubican exactamente en la línea divisoria, mientras que el basalto cae dentro de la región subalcalina. Para obtener un segundo criterio de clasificación, dentro de la subdivisión de rocas toleíticas o subalcalinas, las muestras son graficadas en el diagrama triangular AFM

(FIGURA 44), en el cual su comportamiento es reflejado en la zona calcoalcalina. Finalmente las muestras se grafican en el diagrama de subdivisión para rocas calcoalcalinas, sílice vs. K₂O % en peso, en el cual las andesitas y los gabros se ubican en el campo alto en potasio y el basalto medio en potasio (FIGURA 55).

La clasificación de estas rocas nos indica un ambiente de suprasubducción, en el cual corteza está o estuvo sobre una zona de subducción, en el caso andino es corteza continental. El ambiente supra-subducción es un ambiente tectónico muy prolífico para la formación de depósitos metalíferos de origen hidrotermal.

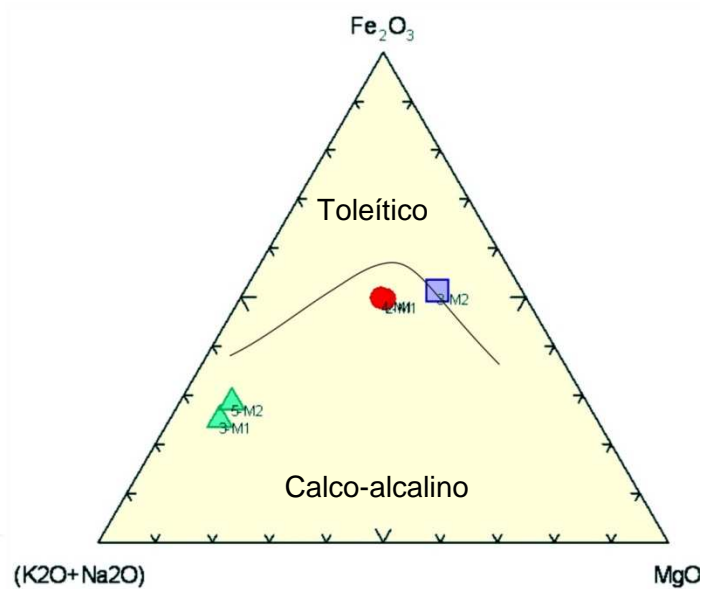
El magmatismo asociado a zonas de subducción se presenta típicamente en un frente paralelo a la zona de subducción con actividad intrusiva y volcánica que constituye el arco magmático. De acuerdo a los estudios petrológicos los magmas de arco derivan de la fusión parcial del manto astenosférico, la cual es inducida principalmente por volátiles (agua) y una pequeña proporción de magmas que son liberados de la placa oceánica en subducción, cuyas rocas son sometidas progresivamente a condiciones de mayor temperatura y presión al subductarse, sufriendo metamorfismo, formando nuevos minerales anhidros más estables en condiciones de profundidad y liberando fluidos. La adición de componentes volátiles en rocas del manto astenosférico, sometidas a alta temperatura y presión, resulta en su fusión parcial y los magmas basálticos así generados ascienden debido a diferencia de densidad con las rocas que los contienen. Procesos subsecuentes de diferenciación (cristalización fraccionada) y asimilación de rocas suprayacentes (contaminación cortical) dan origen en último término a las rocas volcánicas o intrusivas ígneas características de los arcos magmático.

FIGURA 43. Diagrama álcalis vs. Silice. Línea de división de series alcalina/subalcalina.



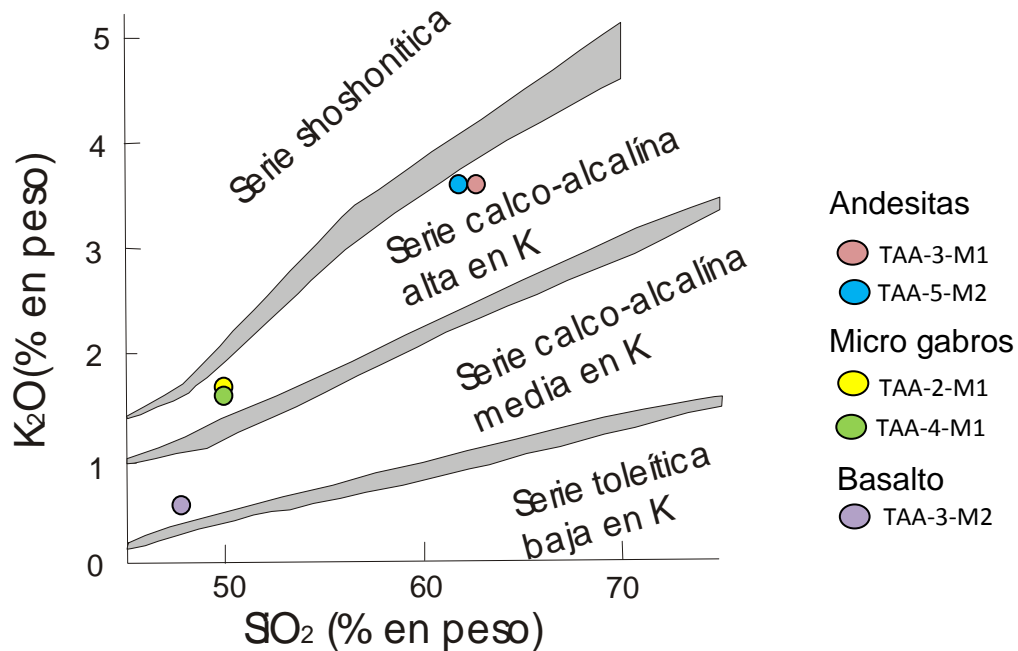
Fuente: Irvine y Baragar (1971)

FIGURA 44. Diagrama de distinción entre serie toleítica y calco-alcalina, para las rocas andesíticas, gabroicas, ubicadas en el sector de Vijagual.



Fuente: Irving y Baragar (1971)

FIGURA 45. Subdivisión de rocas subcalcinas, usando el diagrama de proyección K₂O versus SiO₂, las bandas grises son los campos en los cuales caen los límites entre series.

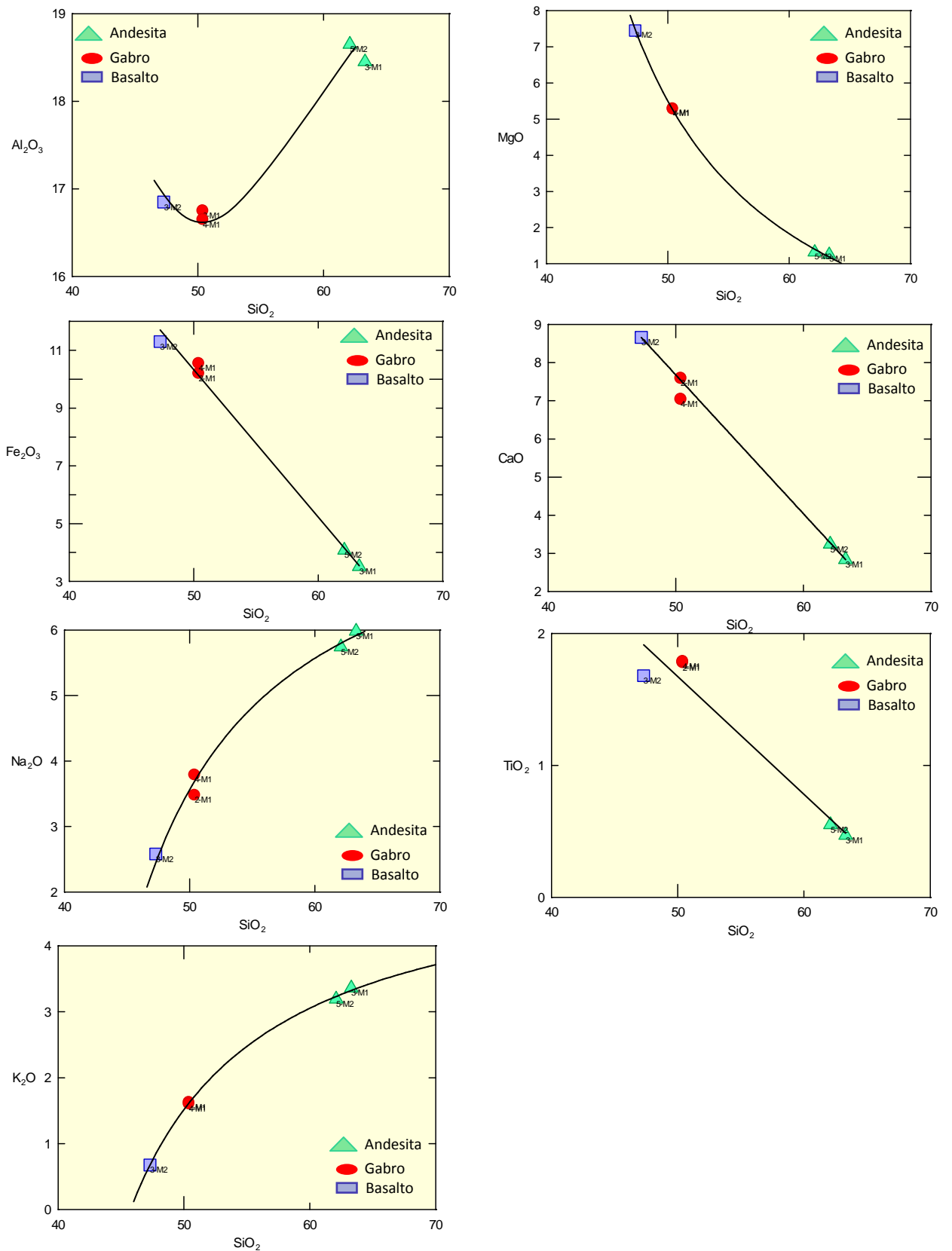


Fuente: Irvine y Baragar (1971), modificado de Rollinson (1993) (a). Rickwood (1989) (b).

Diagramas de Variación

Los diagramas de variación de Harker, son utilizados para visualizar y reconocer las variaciones de los principales componentes de las rocas como son CaO, MgO, FeO_{Total}, Na₂O, TiO₂, Al₂O₃, y K₂O respecto al sílice. Los datos de los óxidos son expresados en % peso (FIGURA 46). De acuerdo a estos diagramas es posible identificar la evolución del magma, de acuerdo a la cristalización fraccionada de minerales.

FIGURA 46. Diagramas de variación de Harker oxidos vs SiO₂ para las rocas andesíticas, gabroicas y basaltos presentes en el sector de Vijagual.



En el diagrama CaO vs. SiO₂, se observan altos contenidos de CaO para el basalto y los gabros (7.04-8.66 %), y valores bajos para las andesitas (2.84-3.24 %), (ver FIGURA 46). La pendiente negativa en la grafica, indica que la disminución en el porcentaje de CaO en las andesitas, puede ser debido a la remoción de plagioclasas cálcicas y clinopiroxenos, del magma ascendente, y el bajo contenido del oxido es reflejado en la presencia de magnesio horblenda. Por otro lado el alto porcentaje de CaO en el basalto y los gabros indican la presencia de plagioclasas cálcicas y piroxenos, en el magma del cual fueron formados.

El diagrama MgO vs. SiO₂ las muestras presentan una tendencia negativa definida por el aumento en el contenido de SiO₂ a medida que decrece el contenido de MgO (FIGURA 46). Al igual que el análisis realizado en la grafica anterior, el porcentaje de MgO, disminuye para las andesitas, siendo inverso este comportamiento para el basalto y los gabros. El mayor porcentaje de este oxido en las rocas básicas indica la presencia de hiperstena acompañada de diópsido, horblenda y biotita como minerales primarios, y clorita como mineral de alteración. En el caso de las andesitas, las cuales presentan menor porcentaje de MgO, se refleja la disminución de minerales máficos y minerales de alteración como la clorita. El porcentaje de ella es correlacionado con el porcentaje de horblenda y biotita descrito en la petrografía de estas rocas.

El diagrama Fe₂O_{3t} vs. SiO₂ está definido por una tendencia negativa desde el basalto hasta las andesitas (FIGURA 46). El alto contenido de MgO y de Fe₂O_{3t} en el basalto y los gabros es debido a la formación de minerales máficos, como hiperstena, augita, diópsido, horblenda y biotita, los cuales disminuyen para las andesitas, en ellas solo ha quedado horblenda y biotita, los demás minerales máficos han sido eliminados posiblemente por cristalización fraccionada.

En el diagrama de variación de Harker para el Na₂O vs SiO₂, se observan altos contenidos de Na₂O para las andesitas, valores entre 5.98 -5-74% peso. Por el contrario el valor más bajo corresponde al basalto, seguido de un leve aumento del oxido para los gabros (FIGURA 46). El aumento progresivo del porcentaje de Na₂O puede relacionarse con el K₂O (FIGURA 46) y ser reflejado en la presencia de albita y feldespatos potásicos. En el caso de las andesitas estos minerales presentan mayores proporciones que en los otros dos tipos de rocas. Estas relaciones son correlacionadas con los resultados de difracción de rayos X expuestos en el capítulo 6.

El diagrama de variación de Harker para el K_2O vs. SiO_2 es correlacionado con el diagrama anterior. Es posible identificar en ambos diagramas el aumento de álcalis en las rocas andesíticas, mientras que las rocas básicas presentan menores contenidos.

Para el diagrama TiO_2 vs. SiO_2 , se observa una tendencia general negativa, reflejada por el aumento en el contenido de SiO_2 a medida que disminuye el contenido de TiO_2 (FIGURA 46). Las muestras con mayores contenidos de TiO_2 corresponden a los gabros y el basalto, los cuales podrían ser correlacionados con el diagrama Fe_2O_{3t} vs. SiO_2 . De esta forma, teóricamente las muestras de rocas básicas podrían presentar en su mineralogía ilmenita, esfena y biotita titanífera. Amarrando los datos de petrografía y de difracción de rayos X, las muestras de basaltos y gabros presentan un leve aumento en el porcentaje de esfena, respecto a las andesitas. Respecto a la ilmenita no es identificada por el análisis de difracción.

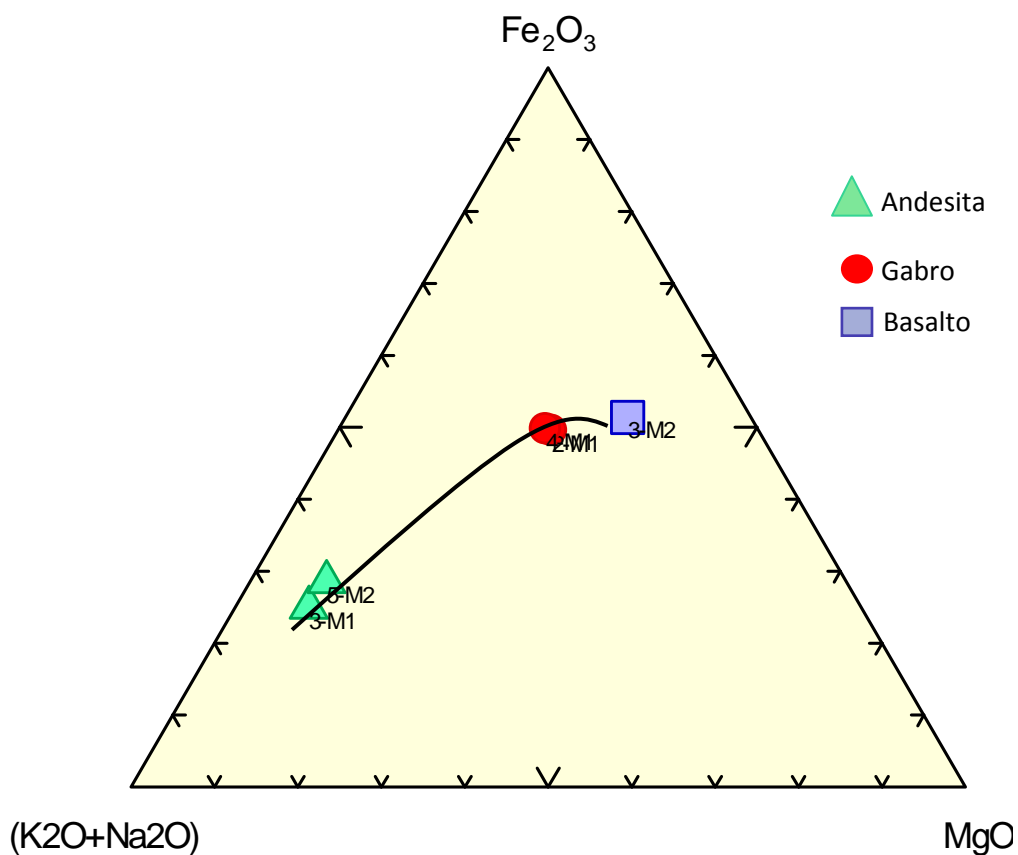
En el diagrama Al_2O_3 vs SiO_2 se observan diferentes valores de aluminio para los tres tipos de rocas. Si comparamos este diagrama con el CaO , podemos definir la formación de plagioclasa cálcica (anortita) y clinopiroxeno para el basalto. Los gabros respecto al basalto disminuyen levemente el porcentaje de anortita y el de clinopiroxeno. Finalmente las andesitas presentan mayores contenidos de feldespato potásico y horblenda, notándose así el empobrecimiento de los minerales constituyentes del basalto y los gabros.

Los diagramas de Harker son utilizados para demostrar los procesos de cristalización fraccionada. Estas observaciones derivan de suponer que los magmas formadores de los tres tipos de rocas provendrían de una misma cámara magmática. Esta hipótesis se soporta en la relación espacial de las rocas, mas no es probada debido a la falta de información para realizar una correlación temporal de estas mismas. Teniendo en cuenta esta hipótesis, se supone que el contenido de sílice se relaciona con el proceso evolutivo, a mayor porcentaje en peso de SiO_2 más evolucionado es el magma. Para nuestro caso, las rocas andesíticas corresponderían a la parte más evolucionada del magma y el basalto correspondería al magma primario.

Diagrama triangular

Las muestras son ilustradas en el diagrama de variación triangular AFM, donde A son los álcalis $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, F total de hierro Fe_2O_3 y M óxido de magnesio MgO . Cada uno traza una esquina del triángulo.

FIGURA 47. Diagrama de variación triangular AFM para las rocas andesíticas, gabroicas y basaltos presentes en el sector de Vijagual.



Generalmente la eliminación de sólidos por cristalización fraccionada reduce el porcentaje de MgO , el fundido restante es enriquecido en hierro y los álcalis entran en fase sólida durante las últimas etapas de cristalización. En la FIGURA 47 se puede reconocer una curva de evolución, en la cual, el magma más evolucionado estaría cerca a la esquina de los álcalis, en este caso corresponden a las muestras andesíticas, mientras que el basalto y los gabros presentan un leve enriquecimiento de hierro en las primeras etapas de evolución magmática.

9.2 ANALISIS GEOQUIMICO DE ELEMENTOS TRAZA.

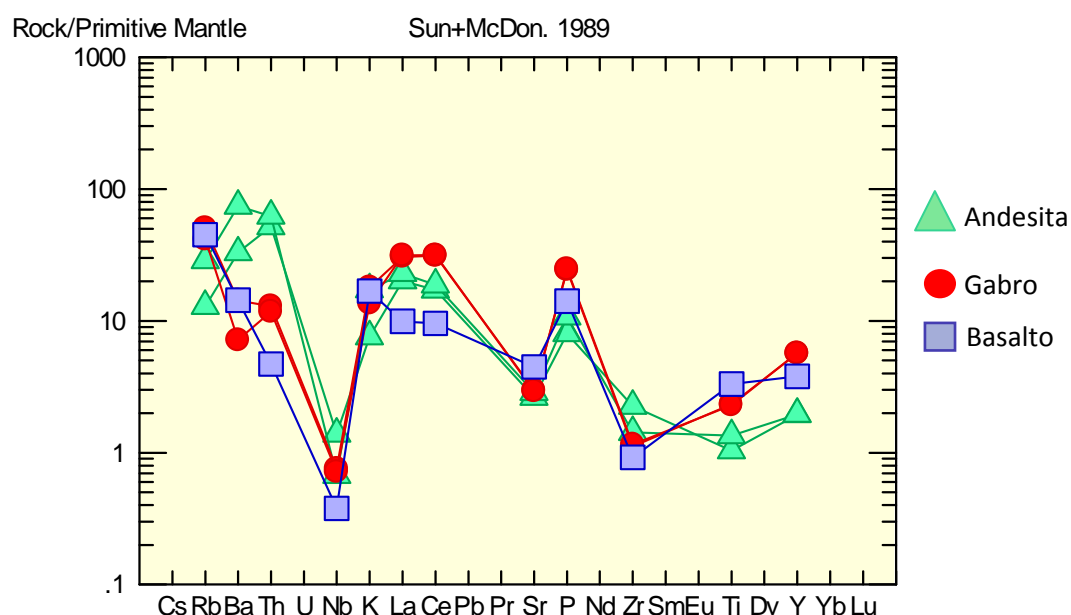
El análisis geoquímico de elementos traza, se basa en diagramas araña multielementos normalizados, útiles para diferenciar los ambientes tectónicos de formación y evolución de las rocas.

TABLA 19. Resultados arrojados del análisis químico de ICP-MS

Traza	TAA 2-M1	TAA 3-M1	TAA 3-M2	TAA 4-M1	TAA 5-M2	Traza	TAA 2-M1	TAA 3-M1	TAA 3-M2	TAA 4-M1	TAA 5-M2
Ag	0.03	0.03	0.04	0.04	0.02	Mo	1.33	0.41	0.56	1.14	0.28
Al%	2.88	0.91	3.98	2.8	1.1	Na %	0.19	0.14	0.3	0.12	0.12
As	0.3	< 0.1	< 0.1	< 0.1	<0.1	Nb	0.54	0.99	0.27	0.51	0.48
Au	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	Ni	40.4	2	50.7	40	2.4
B	<10	<10	<10	<10	<10	P	2310	760	1340	2350	1020
Ba	100	230	100	50	520	Pb	3.6	7.6	3	3.3	1.6
Be	0.35	0.29	0.18	0.33	0.24	Rb	32.1	8.2	28.6	26.4	18.2
Bi	0.02	0.02	0.01	0.02	0.04	Re	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Ca%	1.32	0.55	2.1	1.22	0.57	S %	0.11	<0.01	0.08	0.08	<0.01
Cd	0.07	0.05	0.04	0.14	0.01	Sb	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Ce	55.5	30.5	17	55.9	33.3	Sc	3.1	2.8	4.6	3.3	4.2
Co	23.3	4.6	28.2	23.8	6.8	Se	0.5	<0.2	0.5	0.5	0.2
Cr	49	4	70	48	3	Sn	0.8	0.5	0.3	0.6	0.5
Cs	1.38	0.11	1.09	1.04	0.18	Sr	62.7	55.7	94.7	61.8	60.4
Cu	29.4	31.3	39.9	30	30.3	Ta	0.01	<0.01	0.01	0.01	<0.01
Fe%	4.79	1.73	5.33	4.79	2.22	Te	0.02	0.01	0.02	0.02	0.04
Ga	10.25	5.05	8.86	9.92	5.95	Th	1.1	4.4	0.4	1	5.3
Ge	0.18	0.1	0.15	0.18	0.13	Ti %	0.303	0.135	0.431	0.298	0.175
Hf	0.37	0.7	0.39	0.4	0.59	Tl	0.24	0.04	0.22	0.17	0.11
Hg	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	U	0.11	2.75	0.09	0.11	1.42
In	0.012	0.015	0.01	0.013	0.022	V	75	65	116	66	94
K%	0.45	0.19	0.42	0.34	0.43	W	0.09	0.08	0.05	0.09	<0.05
La	21	13.8	6.8	21.6	15.7	Y	25.8	8.84	17.25	25.9	8.91
Li	19.1	10.4	20.9	17.2	4.3	Zn	79	43	55	80	41
Mg%	1.9	0.45	2.62	2.01	0.57	Zr	12.5	25.3	10.3	12.9	16
Mn	617	604	645	710	545						

En la FIGURA 48 se encuentra el diagrama tipo spider para las rocas de la zona de estudio. Para normalizar los elementos incompatibles respecto al manto se tomaron los valores reportados por Sun & McDonough (1989). En el gráfico se observan contenidos bajos de Nb, contrarios a los elementos de fuerza de campo iónico baja o grupo LFSE (Cs, Rb, K, Ba, Pb) y al La, que se consideran una evidencia geoquímica de arcos volcánicos.

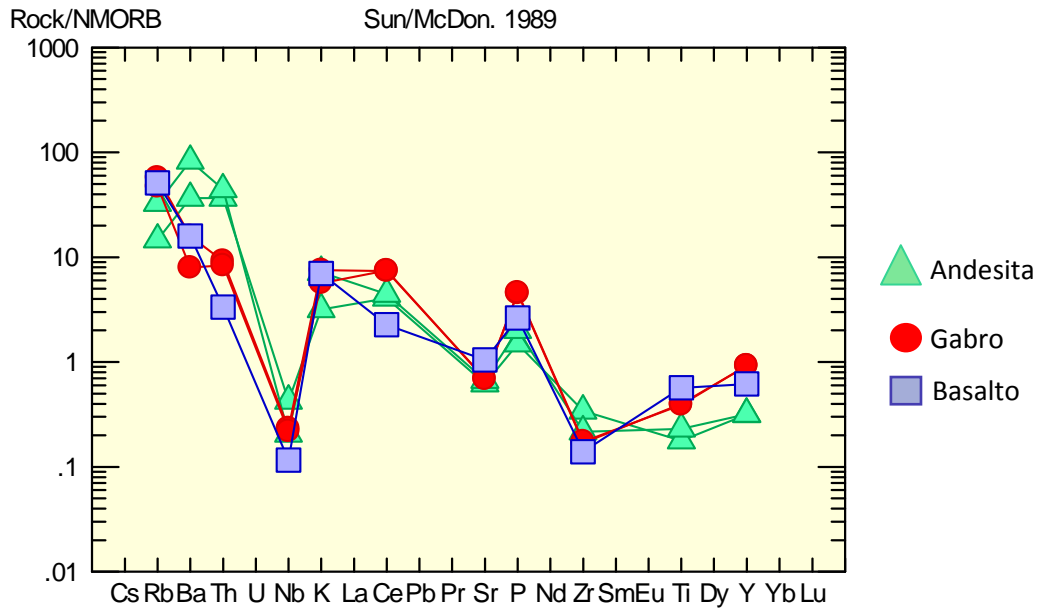
FIGURA 48. Elementos traza normalizados al manto primitivo.



FUENTE: Sun & McDonough (1989).

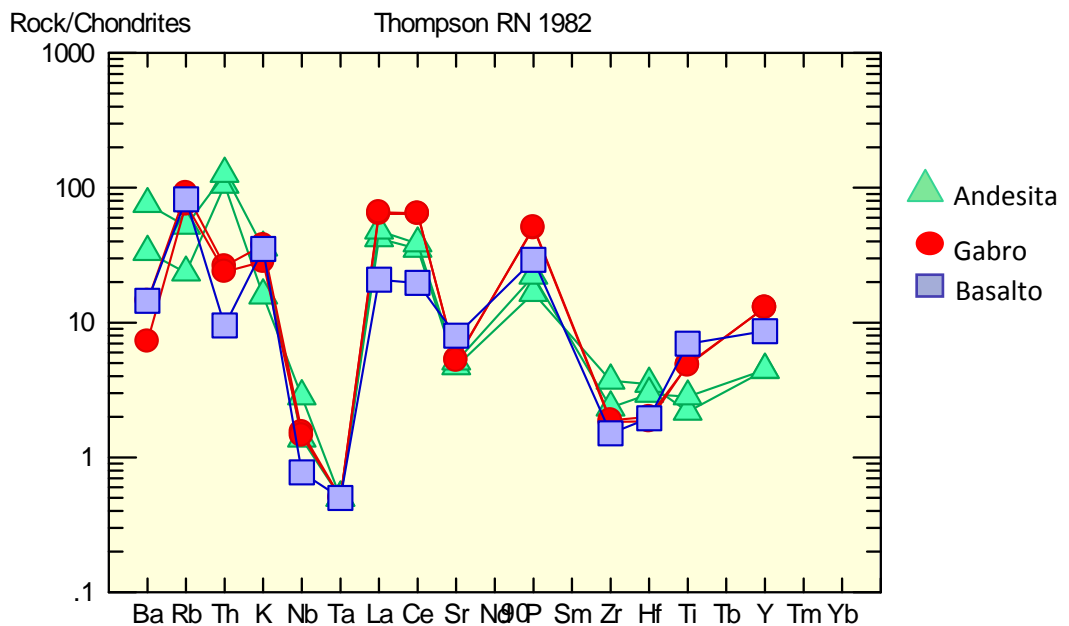
El diagrama de elementos normalizados respecto al MORB (FIGURA 49), según Rollinson (1996) es el más apropiado para basaltos evolucionados, andesitas y rocas de corteza, en las que el material parental se asemeja más al MORB que al manto primitivo. Las rocas del área de estudio muestran patrones de elementos traza que son típicos de magmas de arco continental, tales como un enriquecimiento marcado de LILE (Sr, K, Rb, Ba), con respecto a los HFSE (Th, Nb, Zr,). Según Pearce (1996) la anomalía negativa de Nb respecto a Th y Ce, apreciada en la figura, es una característica distintiva de los basaltos de arco volcánico.

FIGURA 49. Elementos traza normalizados respecto al N-MORB



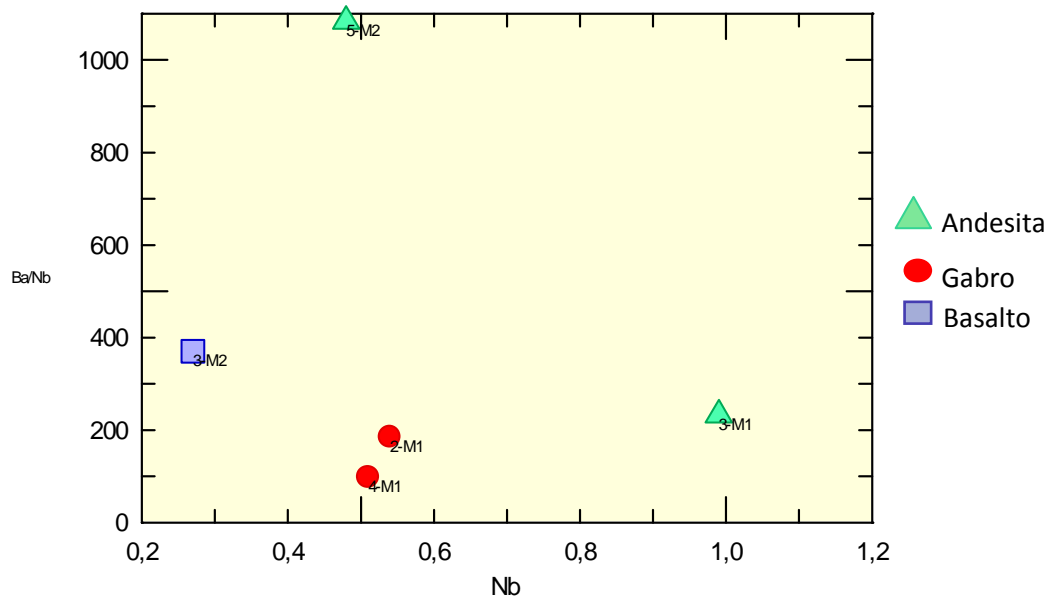
Los basaltos de arco volcánico están caracterizados por un enriquecimiento general de los elementos incompatibles de bajo potencial iónico (LIL) tales como Sr, K, Rb y Ba comparados respecto a Ta. Las rocas calcoalcalinas muestran un enriquecimiento respecto a Ce y P, el que es atribuido a la introducción de fluidos acuosos y posiblemente a la fusión de sedimentos incorporados a la cuña astenosférica desde la litosfera oceánica (Kay 1977; Pearce 1982, 1983).

FIGURA 50. Elementos traza normalizados respecto al condrito.



Otra señal de subducción útil en la clasificación de las rocas, está dada por la elevada relación Ba/Y (Perfit *et al.*, 1980), la cual difieren de los basaltos de dorsales oceánicas y de islas oceánicas para los cuales dicha relación es menor (Hickey *et al.*, 1986). Las muestras analizadas en el presente estudio reflejan altos valores de esta relación, entre 100-1000 (FIGURA 51). Las diferencias entre las dos muestras de andesitas pueden estar relacionadas con el tipo de muestra, pues para cada caso el tipo de muestreo realizado es diferente. La muestra 5-M2 fue recolectada de un dique *in situ*, mientras que la muestra 3-M1 corresponde a un bloque rodado. Según la anterior aclaración, los resultados más confiables corresponde a los arrojados por la muestra 5-M2, la cual representa los valores más altos de la relación Ba/Nb vs. Nb, de esta manera se atribuye a estas rocas una señal más de subducción.

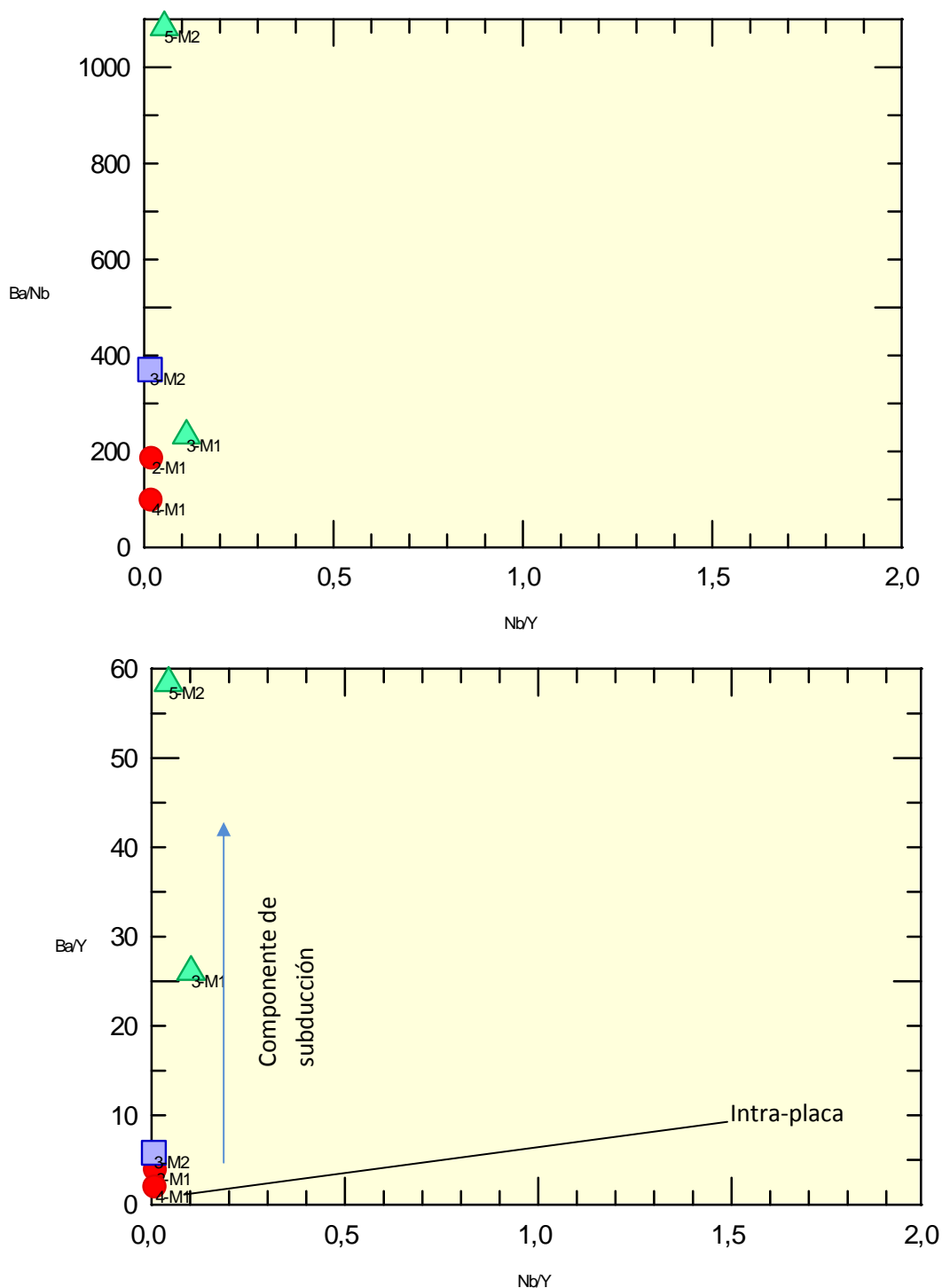
FIGURA 51. Diagrama de variación Ba/Nb vs. Nb.



En el diagrama de la FIGURA 51, se observa una considerable diferencia entre las rocas andesitas y los micro gabros y basaltos porfiriticos, esta diferencia podría sugerir dos tipos diferentes de emplazamiento para estas rocas, considerando igualmente para los micro gabros y basaltos una señal de subducción menos fuerte a la mostrada por las andesitas.

Las concentraciones en Ba, Y y Nb permiten caracterizar el grado de metasomatismo de la fuente de los magmas basálticos. En el diagrama se han reportado a manera de comparación, los cocientes Ba/Nb, Ba/Y y Nb/Y de las muestras, los datos son interpretados como resultado de la fusión parcial de un manto litosférico afectado por subducciones anteriores (Cameron *et al.*, 1989).

FIGURA 52. Diagramas de Ba/Nb vs Nb/Y y Ba/Y vs Nb/Y mostrando la evolución de las fuentes y su componente de subducción



FUENTE: Según Fitton (1988 y 1991)

En la FIGURA 51, al igual que en la FIGURA 52, se observa una marcada diferencia entre los micro gabros y basaltos porfiriticos respecto a la muestra de andesita recolectada *in situ* , este diagrama confirma nuevamente la diferencia de emplazamiento para estas rocas.

10. CONCLUSIONES

- ✓ La manifestación de rocas andesíticas, micro gabros y basaltos porfiríticos, se localizan en el sector de Vijagual, sobre la quebrada la Vega (El Aburrido) El muestro de estas litologías fue realizado sobre la quebrada, en dirección S-N a cada lado de la falla de Bucaramanga.
- ✓ Los estudios mineralógicos, petrográficos y geoquímicos realizados en las rocas antes mencionadas, permitieron establecer que los andesitoides (rocas andesíticas *-sensu lato*), tal como fueron denominadas inicialmente estas rocas con base en sus rasgos macroscópicos, se corresponden con rocas andesíticas (*sensu strictus*). Por otro lado, las rocas tipo microgabros porfiríticos, tal como fueron denominadas inicialmente con base en sus rasgos macroscópicos, fueron divididas y clasificadas como gabros porfiríticos y basaltos porfiríticos.
- ✓ Las andesitas presentan en su composición, la asociación mineral de plagioclasa, anfíbol y biotita, dispuestas en las muestras a manera de fenocristales, de los cuales la plagioclasa es el mineral de mayor proporción, la matriz presenta igual composición a los fenocristales con tamaño de grano fino.
- ✓ Los micro gabros presentan asociación mineral de plagioclasa, piroxenos y anfíboles, dispuestos en la roca a manera de fenocristales y formando igualmente parte de la matriz. La fase mineral en mayor proporción corresponde a las plagioclasas, de composiciones intermedias distinguidas mediante el maclado tipo albita combinado con el de tipo plagioclasa cálcica. Los piroxenos son en su mayoría clinopiroxenos como diópsido y augita, también es posible identificar hiperstena como ortopiroxeno.
- ✓ De las muestras que conforman el grupo de micro grabos porfiríticos, se reconoció en una de ellas la presencia de vacuolas rellenas con clorita y esfena, estas vacuolas representan la ex solución de volátiles del magma a distancias menores de 2 km de profundidad, seguido de una fuerte alteración hidrotermal la cual afecta toda la roca y rellena especialmente los espacios vacíos, esta alteración es atribuida a un

fluido de baja temperatura lo cual produce la formación de clorita en toda la roca.

- ✓ El basalto porfirítico presenta asociación mineral de plagioclasa, piroxeno y anfíbol, dispuestos en la roca a manera de fenocristales e igualmente formando parte de la matriz de grano muy fino. La fase mineral en mayor proporción corresponde a las plagioclasas, las cuales están dadas por composiciones intermedias distinguidas mediante el maclado tipo albita combinado con el de tipo plagioclasa cálcica, los piroxenos corresponden a augita y diópsido. La roca presenta alteración hidrotermal de baja temperatura determinada por el alto contenido de clorita.

- ✓ Los análisis de difracción de rayos X, respecto a la petrografía, muestran resultados semejantes para las fases minerales presentes en cada muestra, pero difieren de esta, en el valor porcentual, sin causar cambios significativos en las composiciones de las rocas, más bien ubicándolas en el mismo rango de clasificación o en el rango continuo.

- ✓ Las rocas analizadas se ubican dentro del rango de series calcoalcalinas, en la subdivisión alta en potasio, lo cual las sitúa en un contexto tectónico de subducción, único para la formación de estas series.

- ✓ De acuerdo a los diagramas de variación de Harker, las rocas más evolucionadas, debido a su alto contenido de sílice, son las andesitas, igualmente son las rocas con menores contenidos de MgO y Fe_2O_{3t} , pero mayores proporciones de álcalis, esto refleja una disminución en el contenido de minerales máficos, y aumento en las plagioclasas sódicas y en los feldespatos potásicos, respecto a los micro grabos y basaltos porfiríticos. Esta rocas hipótesis igualmente es sustentada en el diagrama triangular AFM, para el cual las andesitas se ubican cerca a la esquina de los álcalis, mientras las demás rocas se localizan cerca al hierro, demostrando así poca evolución magmática.

- ✓ La asociación mineralógica observada en las laminas delgadas (plagioclasa, piroxenos, anfíbol, óxidos de Fe-Ti) podrían explicar el incremento coherente del contenido de SiO_2 y la disminución de Fe_2O_3 tot y CaO al disminuir la concentración de MgO en ambas secuencias.

- ✓ Los rasgos petrográficos y geoquímicos de estas rocas, permitieron establecer el carácter calco alcalino para ambas litologías, lo cual implica un contexto de emplazamiento tipo subducción.
- ✓ A falta de datos geocronológicos, se establece que la edad de los andesitoides, posiblemente se corresponda con los 8,4 Ma (Mioceno), reportado por Mantilla *et al.* (2009), para rocas de similares características composicionales y texturales, reconocidas al sur del Municipio de California (Santander).
- ✓ En lo que respecta a los basaltos y gabros porfíricos, se sugiere que ambas rocas se relacionan con un solo pulso magmático, en donde sus diferencias derivan de la profundidad de emplazamiento y su evolución post-cristalización. La edad de estas rocas se desconoce completamente, pero considerando lo reportado en otras zonas del Macizo de Santander, es posible considerar que éste pulso magmático sea de edad Mesozoico o Cenozoico.

11. RECOMENDACIONES

Realizar estudios de re-levantamiento cartográfico-geológico en sectores concretos del Macizo de Santander (especialmente confinados a la falla de Bucaramanga), para establecer mejor la distribución espacial de los diques estudiados y la posible relación con gran estructura.

Realizar dataciones radiométricas para determinar la edad de los cuerpos ígneos estudiados en el presente estudio, con el fin de establecer su relación temporal en el marco de la evolución geológica del Macizo de Santander.

12. BIBLIOGRAFIA

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, República de Colombia. 2001.

Conde Jairo. Estudio de las alteraciones postmagmáticas del intrusivo la Corona, municipio de la Victoria, departamento de Boyaca. Bucaramanga 2007, 156 p. Tesis de pregrado: Universidad Industrial de Santander.

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

Hickey, P. L., Frey, D. C., y Lopez, E. Multiple source for basaltic arc rocks from the Southern Volcanic Zone of the Andes (34-41°S): trace element and isotopic evidence for contributions from subducted oceanic crust, mantle, and continental crust. *Journal Geophysic.* 1986. (B 6): 5963-5983.

INGEOMINAS. Caracterización de unidades litogeoquímicas de la cordillera Occidental, fase 1, plancha 156. Bogotá, marzo 2005. [artículo en Internet] http://www.ingegominas.gov.co/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=4015&Itemid=1

Irvine, T. N., Baragar, W. R. A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 8, 523-548

J. López Ruiz, J. M. Cebriá. Procesos y riesgos volcánicos. En: *Estudios Geológicos*. Julio-Diciembre, 2007 Vol. 63 N° 2 ISSN: 0367-0449

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

Klein, C., Hurlbut, C. S. Jr., 1997. *Manual de Mineralogía*. Basado en la obra de J. D. Dana. Cuarta Edición. p. 585.

Maksaev, J. V. Reseña metalogénica de Chile y de los procesos que determinan la metalogénesis andina. Septiembre, 2001. [artículo en Internet] <http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/METALOGENESIS%20DE%20CHILE.pdf>

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

Mantilla, L. C.; Valencia, V.; Barra, F.; Pinto, J.; Colegial, J. 2009. Geocronología U-Pb de los cuerpos porfiríticos del distrito aurífero de Vetas-California (Dpto. de Santander, Colombia). En: Boletín de Geología, Vol. 31, N° 1., pp. 31-43

Mathur, R. et al 2003. Re-Os isotopes applied to the epithermal gold deposits near Bucaramanga, northeastern Colombia. En: Journal of South American Earth Sciences, N°15, pp. 815-821.

Mori Laura. Origen del magmatismo miocénico en el sector central de la FVTM y sus implicaciones en la evolución del sistema de subducción mexicano. México D. C. 2007, 136 p. Tesis de Doctorado: Universidad Autónoma de México.

Niz Leydy. Geoquímica del neis de San Lucas, esquistos de Armenia y formación la Virgen. Bucaramanga 2007, 156 p. Tesis de pregrado: Universidad Industrial de Santander.

Oyarzun, J. Metalogénesis Andina. Andean Metallogenesis: A Synoptical Review and Interpretation. En: Tectonic Evolution Of South America, Rio De Janeiro, 2000, P. 725-753

Perfit, M.R., Gust, D.A., Bence, A.E., Arculus, P.J. y Taylor, S.R. Chemical characteristics of island arc basalt: Implications for mantle sources. Chemical Geologic, 1980. Vol 30 P227-256.

Rios, C., Castellanos, O. Atlas de minerales vistos bajo el microscopio de luz transmitida. Bucaramanga.: Ediciones UIS, 2005. ISBN 958-8187-38-9.

Sanchez, B. Los basaltos post-orogénicos de la región de Piriápolis Pan de Azúcar, República Oriental del Uruguay. En: Revista de la Asociación geológica Argentina, 1997. Vol 52(1) P 3-16.

Spalletti, L., A. Meteorización e Intemperismo. Cátedra de Sedimentología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, 2007. Universidad Nacional de la Plata.[artículo en Internet] <http://cig.museo.unlp.edu.ar/docencia/sed/meteorizacion.pdf>.

Suarez, O., Cuesta, A., Gallastegui, G. y Corretgé, L. G. Mineralogía y petrología de las rocas plutónicas de Infesto (zona Cantábrica, N. de España). Trabajos de Geología, 1993, Universidad de Oviedo, p 19, 123-153, ISSN 0474-9588.

Ward, D., Goldsmith, R., 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.

Winter, Jhon. An introduction to igneous and metamorphic petrology. New Jersey.:Prentice Hall, 2001.

ANEXOS
ANEXO 1. CATALOGO PETROGRAFICO

MUESTRAS ANALISADAS TAA-1-M2; TAA-2-M1; TAA-3-M1; TAA-3-M2; TAA-4-M1; TAA-5-M1; TAA-5-M2; TAA-5-M3.

Sección delgada No. TAA-1-M2

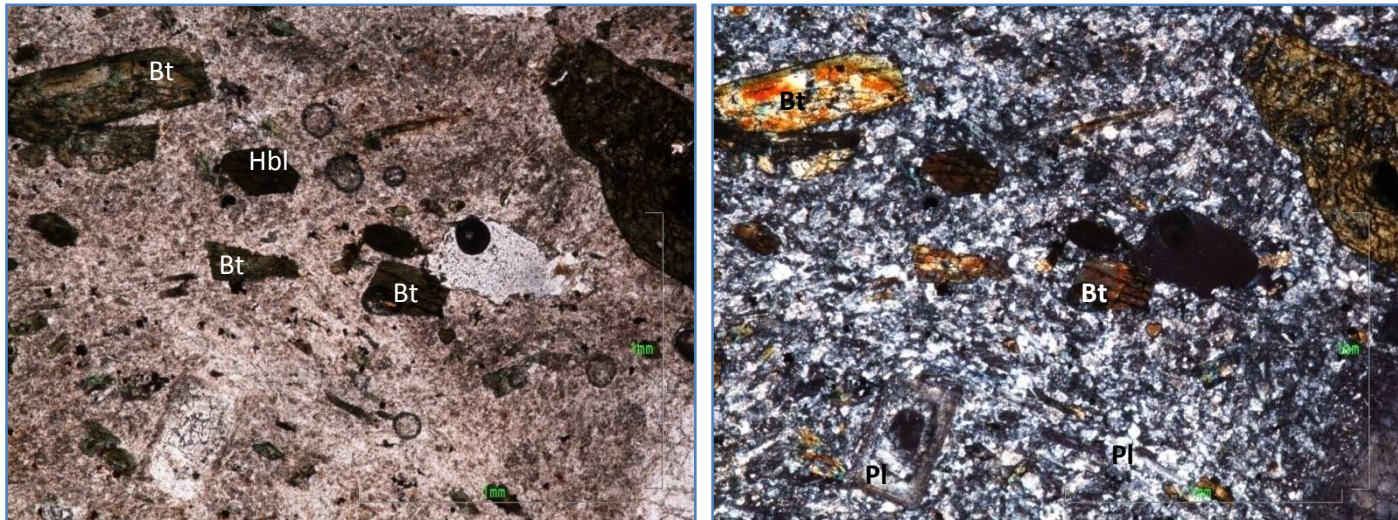


Figura 1. En la figura se observan fenocristales de plagioclasa (Pl), biotita (Bt) y horblenda (Hbl), embebidos en una matriz de plagioclasa. Microfotografía tomada con objetivo de 5x. **a)** Luz polarizada y **b)** Luz plana no analizada.

1. Composición mineralógica

Minerales:

Plagioclasa: 30%	Horblenda: 14%	Clorita: 12%	Biotita: 10%
Opacos: 9%	Sericita: 7%	Ortoclasa: 4%	Diopsido: 4%
Epidota: 3%	Cuarzo: 3%	Esfena: 2%	Apatito: 1%
Circón: 1%			

Plagioclasa: individuos subhedrales incoloros, de bajo relieve, con colores de birrefringencia de primer orden, alargados con formas tabulares; la plagioclasa se presenta de dos formas en la roca, formando parte de la matriz con tamaño de grano fino y a manera de fenocristales de tamaños que varían entre 2.4 mm

y 3.2 mm, algunos fenocristales presentan maclas polisintéticas tipo albita, otros tipo plagioclasa cálcica, y en algunos casos, estas últimas presentan zonación.

Dentro de los fenocristales de plagioclasa se presentan inclusiones de Biotitas, en algunas ocasiones esto produce relleno en las fracturas de hidróxido de hierro.

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

Horblenda: cristales euhedrales de color verde, pleocroicos, prismáticos, con relieve moderado, muestran colores de birrefringencia del segundo orden; la horblenda se presenta en la roca con tamaño de grano de 0.6 mm, embebidas en la matriz de plagioclasa. Algunos cristales presentan alteración a biotita

Biotita: individuos hojosos de color marrón, pleocroicos, con exfoliación en una dirección y colores de birrefringencia del tercer orden. Se presentan en la roca con variaciones de tamaño, algunos cristales hacen parte de la matriz con tamaño de grano fino, por otro lado se presentan con tamaños de hasta 2 mm, en forma de fenocristales. Algunas biotitas se encuentran alteradas a clorita, y otras presentan bordes oscuros y opacos.

Clorita: individuos xenomorfos de color verde, de pleocroísmo débil, de colores de birrefringencia enmascarados por el color del mineral, en ocasiones tonos violáceos, se presenta como alteración de la Horblenda y de la Biotita desarrollándose de los bordes hacia el centro.

Epidota: individuos incoloros de alto relieve, con pleocroísmo y colores de interferencia hasta del tercer orden, de hábito granular, se presenta como inclusiones sobre algunos cristales de plagioclasa.

Ortoclasa: individuos anhedrales incoloros, de bajo relieve, de colores de birrefringencia de primer orden y presentan tamaño de grano medio.

Diópsido: individuos subhedrales incoloros, de relieve moderado, de colores de interferencia de primer orden, con pleocroísmo pardo pálido, fracturados. Se presentan en la roca a manera de fenocristales en poco porcentaje.

Cuarzo: individuos xenomorfos incoloros, de bajo relieve con colores de birrefringencia del primer orden, se presentan en la roca con tamaño de grano fino.

Esfena: individuos subhedrales a euhedrales, de color café amarillento, de alto relieve con colores de birrefringencia de órdenes elevados, con pleocroísmo

amarillento y detectable fácilmente en algunas ocasiones por su forma de rombo, su tamaño en la roca es de grano fino.

Circón: individuos euhedrales, de muy alto relieve, incoloros, sin pleocroísmo y colores de birrefringencia hasta finales del tercer orden. Se presentan en la roca como inclusiones de la Biotita, con tamaño de grano de 0.2 mm.

Texturas y microestructuras

Textura kelifítica

Textura poikilítica

Textura Porfírica: se presenta en la muestra dos tipos diferentes de tamaños, uno conformado por la matriz de la roca de tamaño de grano fino, y otro correspondiente a los fenocristales que varían de 2.4 mm a 3.2 mm.

3. Secuencia de formación de los minerales

Mineral	Etapas magmáticas	Alteración secundaria
Plagioclasa	x	
Horblenda	x	
Biotita	x	
Diópsido	x	
Clorita		x
Ortoclasa	x	
Epidota	x	
Sericita		x
Cuarzo	x	
Apatito	x	
Circón	x	

4. Nombre de la roca: Andesita. (Según clasificación de Streckeisen, 1979, recomendado por la IUGS)

Sección delgada No. TAA-2-M1

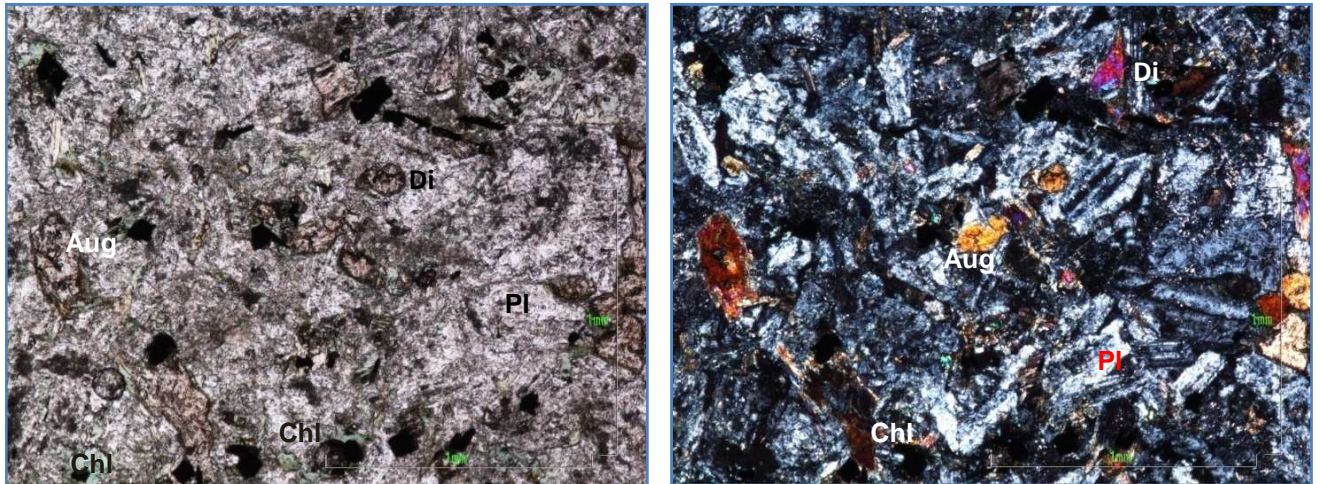


Figura 2. En la figura se observan cristales de plagioclasa (Pl), augita (Aug), clorita (Chl), diopsido (Di) y minerales opacos (Op), embebidos en una matriz de plagioclasa. Microfotografía tomada con objetivo de 5x. **a)** Luz polarizada y **b)** Luz plana no analizada.

1. Composición mineralógica

Minerales:

Plagioclasa: 30%	Diópsido: 14%	Clorita: 13%	Augita: 11%
Opacos: 10%	Biotita: 7%	Sericita: 5%	Epidota: 3%
Esfena: 3%	Cuarzo: 2%	Circón: 1%	Apatito: 1%

Plagioclasa: individuos subhedrales incoloros, de bajo relieve, con colores de birrefringencia de primer orden, alargados con formas tabulares; la Plagioclasa se presenta de dos formas en la roca, formando parte de la matriz con tamaño de grano fino y a manera de fenocristales de tamaños que varían entre 2.0 mm y 2.5 mm, algunos fenocristales presentan maclas polisintéticas tipo Plagioclasa cálcica, otros tipo albita y en algunos casos presentan zonación. En algunos cristales se pueden observar inclusiones de epidota.

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

Diópsido: individuos subhedrales incoloros, de relieve moderado, de colores de interferencia de primer orden, con pleocroísmo pardo pálido, fracturados. Se presentan en la roca formando parte de la matriz, en pocas ocasiones se presentan a manera de fenocristales de menor tamaño que la plagioclasa.

Augita: individuos anhedrales de color ligeramente pardo, de relieve alto y colores de birrefringencia hasta del segundo orden, su presencia en la roca es igual al diopsido, hacen parte de la matriz y de los fenocristales, en menor proporción que la Plagioclasa.

Biotita: individuos hojosos de color marrón, pleocroicos, con exfoliación en una dirección, alargadas y de colores de birrefringencia del tercer orden, tamaño de grano fino, forman parte de la matriz, presentan cloritización.

Clorita: individuos xenomorfos de color verde, de pleocroísmo débil, de colores de birrefringencia enmascarados por el color del mineral, en ocasiones tonos violáceos, se presenta como alteración de la Biotita desarrollándose de los bordes hacia el centro.

Epidota: individuos incoloros de alto relieve, con pleocroísmo y colores de interferencia hasta del tercer orden, de hábito granular, se presenta en la roca como mineral accesorio.

Esfena: individuos subhedrales a euhedrales, de color café amarillento, de alto relieve con colores de birrefringencia de órdenes elevados, con pleocroísmo amarillento y detectable fácilmente en algunas ocasiones por su forma de rombo, su tamaño en la roca es de grano fino.

Cuarzo: individuos xenomorfos incoloros, de bajo relieve con colores de birrefringencia del primer orden, se presentan en la roca con tamaño de grano fino.

Circón: individuos euhedrales, de muy alto relieve, incoloros, sin pleocroísmo y colores de birrefringencia hasta finales del tercer orden. Se presentan en la roca como inclusiones de la biotita y la plagioclasa, con tamaño de grano de 0.2 mm.

Apatito: individuos euhedrales incoloros, de relieve moderado y colores de birrefringencia del primer orden, aparece en la roca como mineral accesorio.

2. Texturas y microestructuras

Textura kelifítica

Textura poikilítica

Textura Porfirítica: se presenta en la muestra dos tipos diferentes de tamaños, uno conformado por la matriz de la roca de tamaño de grano fino, y otro correspondiente a los fenocristales que varían de 2.0 mm a 2.4 mm.

3. Secuencia de formación de los minerales

Mineral	Etapas magmática	Alteración secundaria
Plagioclasa	x	
Diópsido	x	
Augita	x	
Biotita	x	
Cuarzo	x	
Clorita		x
Epidota	x	
Sericita		x
Esfena	x	
Apatito	x	
Circón	x	

4. Nombre de la roca: Gabro (En le Maitre, 1989, recomendado por la IUGS)

Sección delgada No. TAA-3-M1

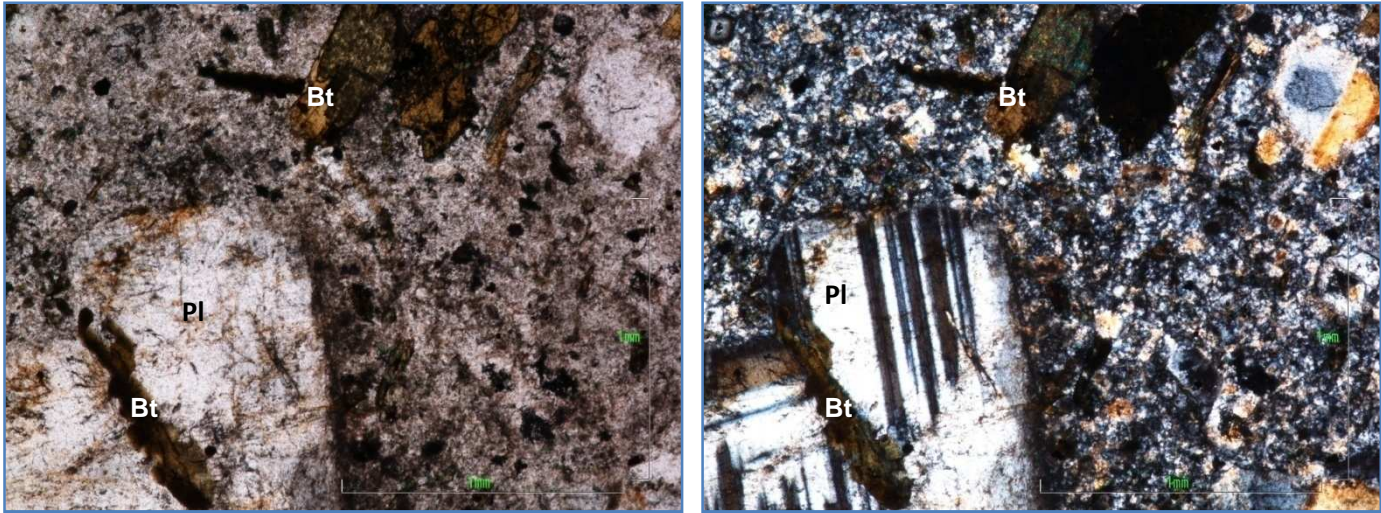


Figura 3. En la figura se observan los fenocristales de plagioclasa (Pl) con presencia de maclas tipo plagioclasa cálcica y un cristal de biotita (Bt) alterando a epidota embebidos en la matriz de la roca. Microfotografía tomada con objetivo de 5x. **a)** Luz polarizada y **b)** Luz plana no analizada.

1. Composición mineralógica

Minerales:

Plagioclasa: 30%	Biotita: 15%	Clorita: 13%	Horblenda: 12%
Diópsido: 7%	Epidota: 6%	Opacos: 5%	Ortoclase: 5%
Cuarzo: 3%	Esfena: 2%	Circón: 1%	Corindón: 1%

Plagioclasa: individuos subhedrales incoloros, de bajo relieve, con colores de birrefringencia de primer orden, alargados con formas tabulares; la Plagioclasa se presenta de dos formas en la roca, formando parte de la matriz con tamaño de grano fino a medio y a manera de fenocristales de tamaños que varían entre 2.2 mm a 2.8 mm, algunos fenocristales presentan maclas polisintéticas tipo Plagioclasa cálcica, otros tipo albita y en algunos casos presentan zonación. La zonación predominante es del centro hacia a fuera pero se puede observar en sentido contrario.

Las plagioclasas presentan bordes oscuros, que rellenan las fracturas, debido a la presencia de hidróxidos de hierro causado por las biotitas. Además presentan inclusiones de esfena.

Biotita: individuos hojosos de color marrón, pleocroicos, con exfoliación en una dirección, de colores de birrefringencia del tercer orden. Se presentan en la roca variando de tamaño de grano medio a fino, las más pequeñas formando parte de la matriz. Presentan saussuritización y cloritización.

Epidota: individuos incoloros de alto relieve, con pleocroísmo y colores de interferencia hasta del tercer orden, de hábito granular, se desarrolla como alteración sobre algunos cristales de Biotita del centro hacia los bordes.

Horblenda: cristales euhedrales de color verde, pleocroicos, prismáticos, con relieve moderado, muestran colores de birrefringencia del segundo orden; presentes en la matriz con tamaño de grano medio, presenta alteración a clorita.

Clorita: individuos xenomorfos de color verde, de pleocroísmo débil, de colores de birrefringencia enmascarados por el color del mineral, en ocasiones tonos violáceos, se presenta como alteración de la Horblenda desarrollándose del centro hacia afuera.

Diópsido: individuos subhedrales incoloros, de relieve moderado, de colores de interferencia de primer orden, con pleocroísmo pardo pálido, fracturados. Se presentan en la roca formando parte de la matriz, en pocas ocasiones se presentan a manera de fenocristales de menor tamaño que la plagioclasa.

Ortoclasa: individuos anhedrales incoloros, de bajo relieve, de colores de birrefringencia de primer orden y presentan tamaño de grano medio.

Cuarzo: individuos xenomorfos incoloros, de bajo relieve con colores de birrefringencia del primer orden, se presentan en la roca con tamaño de grano fino.

Esfena: individuos subhedrales a euhedrales, de color café amarillento, de alto relieve con colores de birrefringencia de órdenes elevados, con pleocroísmo amarillento y detectable fácilmente en algunas ocasiones por su forma de rombo, su tamaño en la roca es de grano fino.

Circón: individuos euhedrales, de muy alto relieve, incoloros, sin pleocroísmo y colores de birrefringencia hasta finales del tercer orden. Se presentan en la roca como inclusiones de la biotita y la plagioclasa, con tamaño de grano fino.

Corindón: individuos euhedrales, incoloros, de alto relieve y colores de birrefringencia hasta del segundo orden, se presentan en la roca con tamaño de grano fino a manera de accesorio.

2. Texturas y microestructuras

Textura Poikilitica

Textura Porfirítica: se presenta en la muestra diferentes tamaños de grano, uno está conformado por la matriz de la roca que varía entre fino y medio, y otro correspondiente a los fenocristales que varían de 2.2 mm a 2.8 mm.

3. Secuencia de formación de los minerales

Mineral	Etapa magmática	Alteración secundaria
Plagioclasa	x	
Horblenda	x	
Diópsido	x	
Ortoclasa	x	
Biotita	x	
Cuarzo	x	
Clorita		x
Epidota	x	
Esfena	x	
Circón	x	
Corindón	x	

4. Nombre de la roca: Andesita. (Según clasificación de Streckeisen, 1979, recomendado por la IUGS.

Sección delgada No. TAA-3-M2

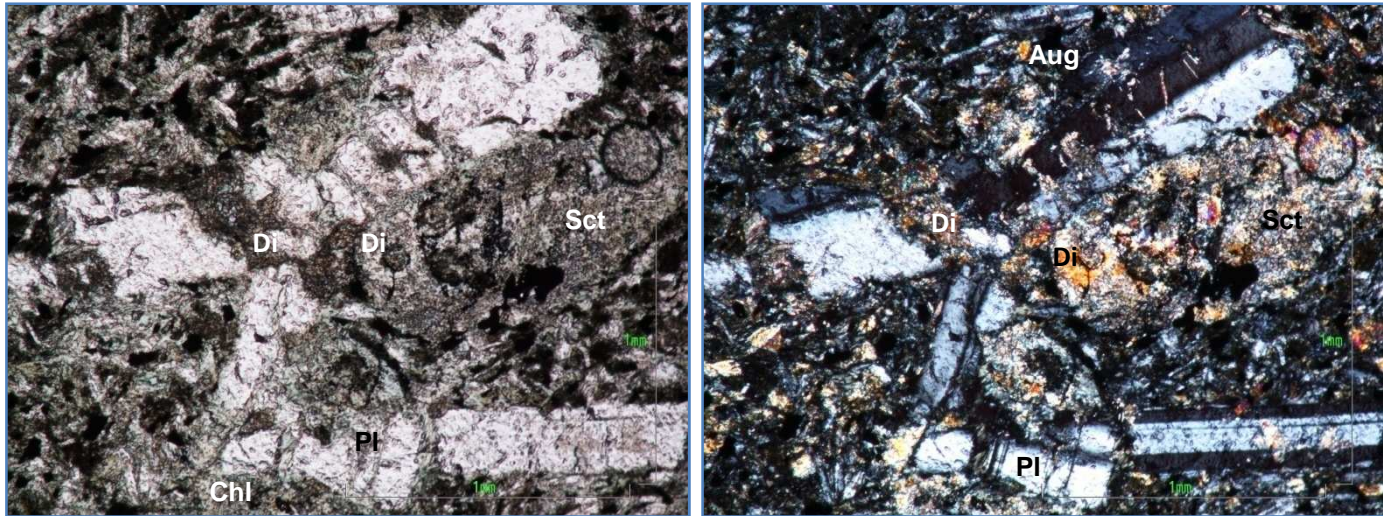


Figura 4. En la figura se observa la presencia de fenocristales de plagioclasa (Pl) alterados a sericita (Sct), embebidos en la matriz de igual composición, con clorita (Chl) como mineral de alteración de la Augita (Aug) y diópsido (Di). Microfotografía tomada con objetivo de 5x. **a)** Luz polarizada y **b)** Luz plana no analizada.

1. Composición mineralógica

Minerales:

Plagioclasa: 26%	Clorita: 16%	Diópsido: 13%	Sericita: 12%
Augita: 12%	Opacos: 10%	Epidota: 6%	Cuarzo: 2%
Vidrio Volcánico: 2%	Circón: 1%		

Plagioclasa: individuos subhedrales incoloros, de bajo relieve, con colores de birrefringencia de primer orden, alargados con formas tabulares; la Plagioclasa se presenta de dos formas en la roca, formando parte de la matriz con tamaño de grano fino a muy fino, y a manera de fenocristales de tamaños que varían entre 1.4 mm a 1.6 mm, algunos fenocristales presentan maclas polisintéticas tipo Plagioclasa cálcica, otros tipo albita.

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

Augita: individuos subhedrales de color ligeramente pardo, de relieve alto y colores de birrefringencia hasta del segundo orden, se presenta en la roca formando parte de la matriz en menor proporción que la plagioclasa. Presenta alteración a clorita.

Diópsido: individuos subhedrales incoloros, de relieve moderado, de colores de interferencia de primer orden, con pleocroísmo pardo pálido, fracturados. Se presentan en la roca formando parte de la matriz, de tamaño fino a muy fino. Presenta cloritización.

Clorita: individuos xenomorfos de color verde, de pleocroísmo débil, de colores de birrefringencia enmascarados por el color del mineral, en ocasiones tonos violáceos o coloreados, se presenta como alteración de la Augita y del Diópsido desarrollándose a manera de parches.

Epidota: individuos incoloros de alto relieve, con pleocroísmo y colores de interferencia hasta del tercer orden, de hábito granular, de tamaño de grano muy fino, incluido en algunos cristales de plagioclasa.

Cuarzo: individuos xenomorfos incoloros, de bajo relieve con colores de birrefringencia del primer orden, se presentan en la roca con tamaño de grano fino.

Circón: individuos euhedrales, de muy alto relieve, incoloros, sin pleocroísmo y colores de birrefringencia hasta finales del tercer orden. Se presentan en la roca como inclusiones de la biotita y la plagioclasa, con tamaño de grano fino.

Vidrio Volcánico: se distingue por el desarrollo de formas de cavidades de gas, por su carácter óptico isométrico y su simetría amorfa.

2. Texturas y microestructuras

Textura kelifítica

Textura Porfirítica: se presenta en la muestra dos tipos diferentes de tamaños, uno conformado por la matriz de la roca de tamaño de grano fino, y otro correspondiente a los fenocristales que varían de 1.4 mm a 1.6 mm.

3. Secuencia de formación de los minerales

Mineral	Etapas magmática	Alteración secundaria
Plagioclasa	x	
Diópsido	x	
Augita	x	
Cuarzo	x	
Clorita		x
Sericita		x
Epidota	x	
Circón	x	

4. Nombre de la roca: Basalto toleítico (En le Maitre, 1989, recomendado por la IUGS)

Sección delgada No. TAA-4-M1

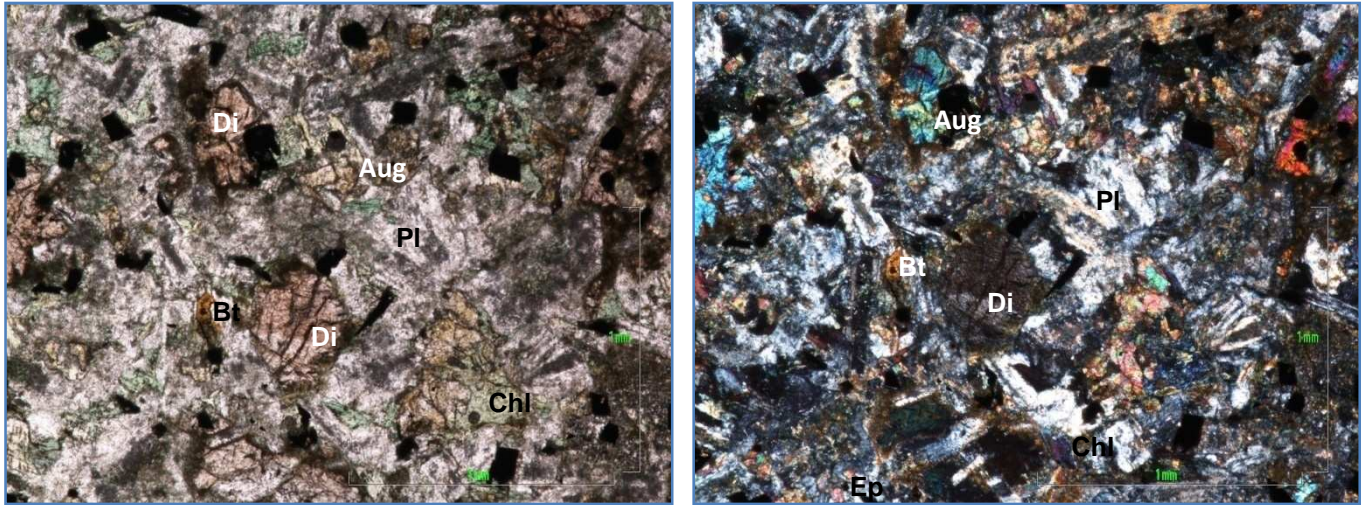


Figura 5. En la figura se observa la presencia de cristales de diópsido (Di), augita (Aug) plagioclasa (Pl), clorita (Chl), biotitas (Bt) y epidota (Ep) .Microfotografía tomada con objetivo de 5x. **a)** Luz polarizada y **b)** Luz plana no analizada.

1. Composición mineralógica

Minerales:

Plagioclasa: 22%	Diópsido: 12%	Clorita: 11%	Hiperstena: 10%
Opacos: 10%	Augita: 8%	Epidota: 6%	Sericita: 5%
Caolin: 5%	Biotita: 5%	Esfena: 4%	Cuarzo: 2%
Apatito: 1%			

Plagioclasa: individuos subhedrales incoloros, de bajo relieve, con colores de birrefringencia de primer orden, alargados con formas tabulares; la Plagioclasa se presenta de dos formas en la roca, formando parte de la matriz con tamaño de grano fino y a manera de fenocristales de tamaños de 2.4 mm, algunos fenocristales presentan maclas polisintéticas tipo Plagioclasa cálcica y otros tipo albita, predominando la plagioclasa cálcica.

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

Caolín: se presenta en agregados escamosos muy finos, de aspecto terroso, desarrollado a manera de parches sobre los individuos de Plagioclasa.

Diópsido: individuos subhedrales incoloros, de relieve moderado, de colores de interferencia de primer orden, con pleocroísmo pardo pálido, fracturados. Se presentan en la roca formando parte de la matriz, de tamaño fino.

Hiperstena: individuos incoloros, de alto relieve, con pleocroísmo débil, de colores de birrefringencia del primer orden. Se presentan en la roca con tamaño de grano fino, se pueden distinguir de los diópsidos por su marcada exfoliación en dos direcciones.

Augita: individuos subhedrales de color ligeramente pardo, de relieve alto y colores de birrefringencia hasta del segundo orden, se presenta en la roca formando parte de la matriz en menor proporción que la plagioclasa. Presenta alteración a clorita.

Epidota: individuos incoloros de alto relieve, con pleocroísmo y colores de interferencia hasta del tercer orden, de hábito granular, con bordes rectos y curvilíneos, y en algunas ocasiones fracturados.

Biotita: individuos hojosos de color marrón, pleocroicos, con exfoliación en una dirección, de colores de birrefringencia del tercer orden, tamaño de grano fino, forman parte de la matriz y presentan cloritización.

Clorita: individuos xenomorfos de color verde, de pleocroísmo débil, de colores de birrefringencia enmascarados por el color del mineral, en ocasiones tonos violáceos o coloreados, se presenta como alteración de la Biotita la cual se encuentra casi en su totalidad reemplazada. Además son producto de alteración de los piroxenos.

Cuarzo: individuos xenomorfos incoloros, de bajo relieve con colores de birrefringencia del primer orden, se presentan en la roca con tamaño de grano fino.

Esfena: individuos subhedrales a euhedrales, de color café amarillento, de alto relieve con colores de birrefringencia de órdenes elevados, con pleocroísmo amarillento y detectable fácilmente en algunas ocasiones por su forma de rombo, su tamaño en la roca es de grano fino.

Apatito: individuos euhedrales incoloros, de relieve moderado y colores de birrefringencia del primer orden, aparece en la roca como mineral accesorio.

2. Texturas y microestructuras

Textura Kelifítica

Textura Holocristalina

Textura Porfirítica: se presenta en la muestra dos tipos diferentes de tamaños, uno conformado por la matriz de la roca de tamaño de grano fino, y otro correspondiente a los fenocristales de 2.4 mm.

3. Secuencia de formación de los minerales

Mineral	Etapas magmática	Alteración secundaria
Plagioclasa	x	
Diópsido	x	
Hiperstena	x	
Augita	x	
Biotita	x	
Cuarzo	x	
Epidota	x	
Clorita		x
Sericita		x
Caolín		x
Apatito	x	
Esfena	x	

4. Nombre de la roca: Gabro Ortopiroxénico (En le Maitre, 1989, recomendado por la IUGS)

Sección delgada No. TAA-5-M1

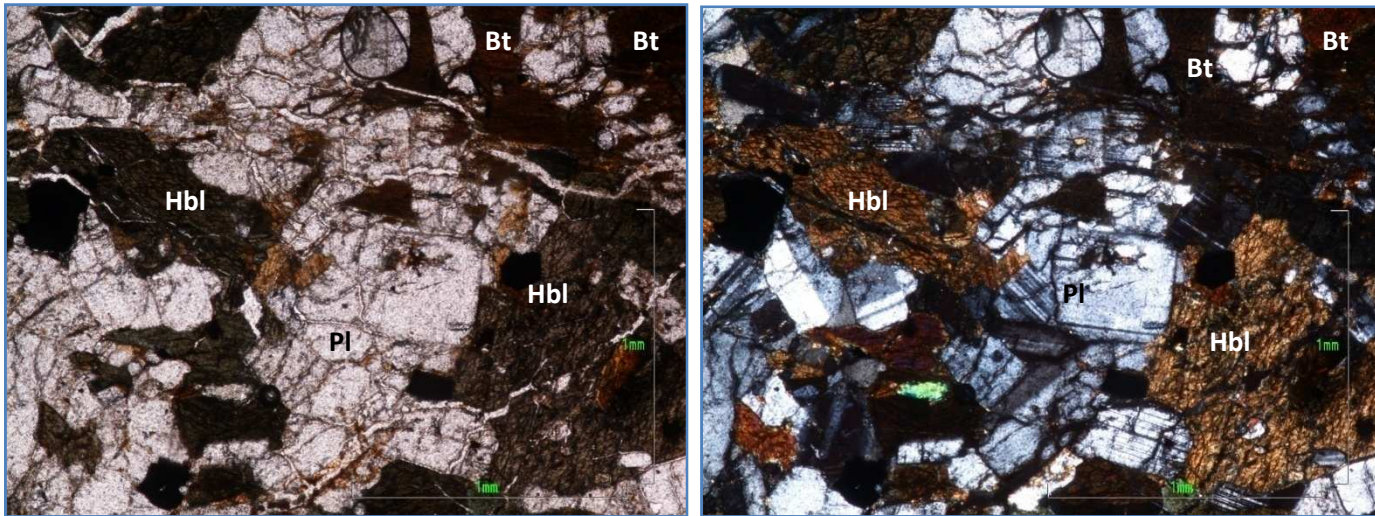


Figura 6. En la figura se observa la presencia de cristales de plagioclasa (Pl), hornblenda (Hbl) y biotita (Bt). Microfotografía tomada con objetivo de 5x. **a)** Luz polarizada y **b)** Luz plana no analizada.

1. Composición mineralógica

Minerales:

Plagioclasa: 24%	Biotita: 17%	Hornblenda: 12%	Opacos: 10%
Sericita: 6%	Cuarzo: 5%	Clorita: 5%	Caolín: 5%
Epidota: 4%	Ortoclasa: 3%	Microclina: 3%	Circón: 3%
Apatito: 2%	Leucoxeno: 1%		

Plagioclasa: individuos subhedrales incoloros, de bajo relieve, con colores de birrefringencia de primer orden, alargados con formas tabulares; la Plagioclasa se presenta en la roca de tamaño de grano que varía de medio a grueso, presentan maclas polisintéticas tipo Plagioclasa cálcica y otros tipo albita. Algunos cristales presentan fracturas, las cuales han sido rellenadas con hidróxido de hierro y se observan pequeños canales de color café rojizo, posiblemente con presencia de minerales arcillosos.

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

Caolín: se presenta en agregados escamosos muy finos, de aspecto terroso, desarrollado a manera de parches sobre los individuos de Plagioclasa.

Biotita: individuos hojosos de color marrón, pleocroicos, con exfoliación en una dirección, de colores de birrefringencia del tercer orden, tamaño de grano grueso, presentan cloritización y saussuritización, las biotitas presentan una leve orientación, esta puede ser debido a la interacción de la roca caja con el fluido penetrante.

Clorita: individuos xenomorfos de color verde, de pleocroísmo débil, de colores de birrefringencia enmascarados por el color del mineral, en ocasiones tonos violáceos o coloreados, se presenta como alteración de la Biotita.

Epidota: individuos incoloros de alto relieve, con pleocroísmo y colores de interferencia hasta del tercer orden, se presenta siguiendo la orientación de la Biotita.

Horblenda: cristales euhedrales de color verde, pleocroicos, prismáticos, con relieve moderado, muestran colores de birrefringencia del segundo orden; se distingue en la muestra por su tamaño de grano medio, presentando cloritización al mismo tiempo que se altera a biotita, la cual se desarrolla a manera de parches del centro hacia fuera del mineral.

Cuarzo: individuos xenomorfos incoloros, de bajo relieve con colores de birrefringencia del primer orden, se presentan en la roca con tamaño de grano medio. Por otro lado, se presentan unos pequeños cristales de tamaño de grano muy fino, incluidos en un cristal de circón.

Ortoclasa: individuos anhedrales incoloros, de bajo relieve, de colores de birrefringencia de primer orden y presentan tamaño de grano medio

Microclina: individuos anhedrales, incoloros, de bajo relieve, de colores de birrefringencia del primer orden, se distingue por presentar macla polisintética en parrilla, por combinación de las leyes de la albita y la periclina. Se presenta en la roca con tamaño de grano medio.

Apatito: individuos euhedrales incoloros, de relieve moderado y colores de birrefringencia del primer orden, aparece en la roca como mineral accesorio, incluido en otros minerales.

Circón: individuos euhedrales, de muy alto relieve, incoloros, sin pleocroísmo y colores de birrefringencia hasta finales del tercer orden. Se presentan en la roca como inclusiones de la biotita y la plagioclasa, con tamaño de grano fino y en algunas ocasiones de tamaño de grano medio con inclusiones de cuarzo.

Leucoxeno: se presenta como alteración de los minerales de titanio, se presenta diseminado como producto de alteración hidrotermal, se identifica con la esfena.

2. Texturas y microestructuras

Textura Poikilítica

Textura Kelifítica

3. Secuencia de formación de los minerales

Mineral	Etapa magmática	Alteración secundaria
Plagioclasa	x	
Horblenda	x	
Ortoclasa	x	
Cuarzo	x	
Microclina	x	
Biotita	x	x
Epidota		x
Clorita		x
Sericita		x
Apatito	x	
Circón	x	
Leucoxeno		x

4. Nombre de la roca: Cuarzomonzo-diorita (diagrama de clasificación de rocas dioríticas, apoyado en la clasificación de Streckeisen, 1976)

Sección delgada No. TAA-5-M2

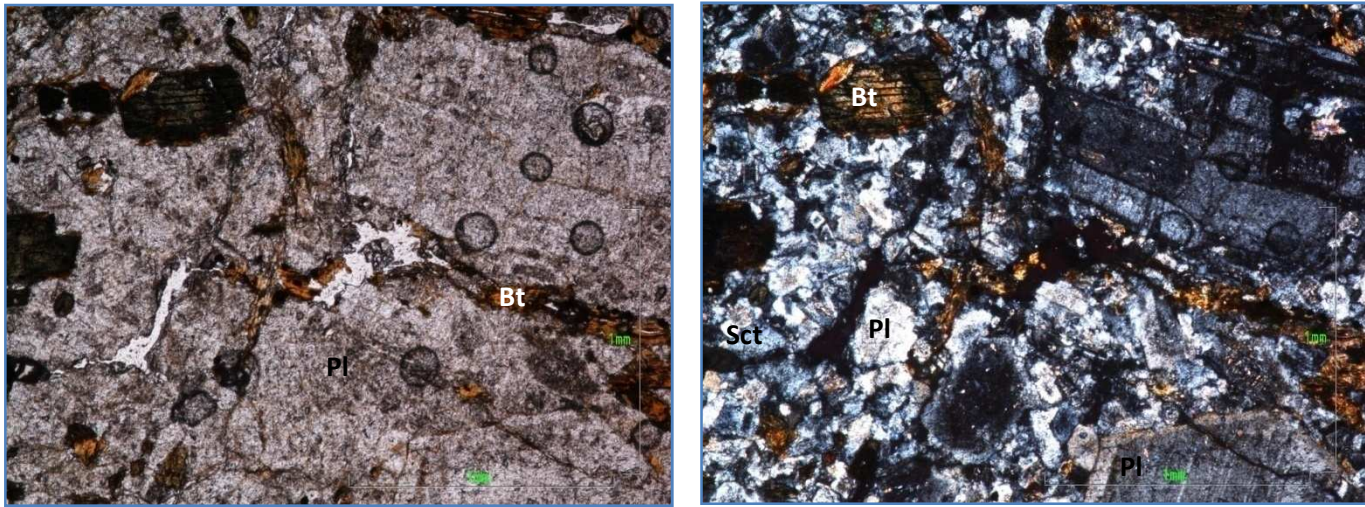


Figura 7. En la figura se observa la presencia de fenocristales plagioclasa (Pl), algunas alteradas a sericita (Sct), y biotitas (Bt) en una matriz de la misma composición. Microfotografía tomada con objetivo de 5x. **a)** Luz polarizada y **b)** Luz plana no analizada.

1. Composición mineralógica

Minerales:

Plagioclasa: 30%	Biotita: 20%	Opacos: 7%	Horblenda: 7%
Sericita: 7%	Clorita: 6%	Diópsido: 5%	Epidota: 5%
Caolín: 5%	Ortoclasa: 3%	Cuarzo: 3%	Moscovita: 2%

Plagioclasa: individuos subhedrales incoloros, de bajo relieve, con colores de birrefringencia de primer orden, alargados con formas tabulares; la Plagioclasa se presenta de dos formas en la roca, formando parte de la matriz con tamaño de grano fino y a manera de fenocristales de tamaños que varían entre 2.0 mm a 4.0 mm, algunos fenocristales presentan maclas polisintéticas tipo Plagioclasa cálcica, otros tipo albita y en algunos casos presentan zonación. La zonación predominante es del centro hacia a fuera pero se puede observar en sentido contrario

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

Caolín: se presenta en agregados escamosos muy finos, de aspecto terroso, desarrollado a manera de parches sobre los individuos de Plagioclasa.

Biotita: individuos hojosos de color marrón, pleocroicos, con exfoliación en una dirección, de colores de birrefringencia del tercer orden, con tamaño de grano fino, presente en la matriz y a manera de fenocristales de tamaño de 2.6 mm, la biotita alterando a epidota.

Epidota: individuos incoloros de alto relieve, con pleocroísmo y colores de birrefringencia hasta del tercer orden, de hábito granular, con bordes rectos y curvilíneos, y en algunas ocasiones fracturados. Se presenta en la muestra de dos formas, una de ellas es en la etapa de alteración de la biotita y la otra como mineral de formación magmática.

Horblenda: cristales euhedrales de color verde, pleocroicos, prismáticos, con relieve moderado, muestran colores de birrefringencia del segundo orden y exfoliación en dos direcciones; se presenta en la muestra con tamaño de grano medio y se esta cloritizando.

Clorita: individuos xenomorfos de color verde, de pleocroísmo débil, de colores de birrefringencia enmascarados por el color del mineral, en ocasiones tonos verdes, se presenta como alteración de la Horblenda.

Diópsido: individuos subhedrales incoloros, de relieve moderado, de colores de interferencia de primer orden, con pleocroísmo pardo pálido, fracturados. Se presentan en la roca formando parte de la matriz, de tamaño fino.

Ortoclasa: individuos anhedrales incoloros, de bajo relieve, de colores de birrefringencia de primer orden y presentan tamaño de grano medio.

Cuarzo: individuos xenomorfos incoloros, de bajo relieve con colores de birrefringencia del primer orden, se presentan en la roca con tamaño de fino.

Moscovita: individuos subhedrales de forma tabular, incoloros de bajo relieve, de colores de birrefringencia hasta del segundo orden, se presenta en la muestra como accesorio, y se encuentran en la matriz con tamaño de grano fino.

2. Texturas y microestructuras

Textura Antipertítica

Textura Poikilítica

Textura Porfirítica: se presenta en la muestra dos tipos diferentes de tamaños, uno conformado por la matriz de la roca de tamaño de grano fino, y otro correspondiente a los fenocristales que varía de 2.0 mm a 4.0 mm.

3. Secuencia de formación de los minerales

Mineral	Etapa magmática	Alteración secundaria
Plagioclasa	x	
Horblenda	x	
Diópsido	x	
Ortoclasa	x	
Biotita	x	
Cuarzo	x	
Moscovita	x	
Epidota		x
Clorita		x

4. Nombre de la roca: Andesita. (Según clasificación de Streckeisen, 1979, recomendado por la IUGS)

Sección delgada No. TAA-5-M3

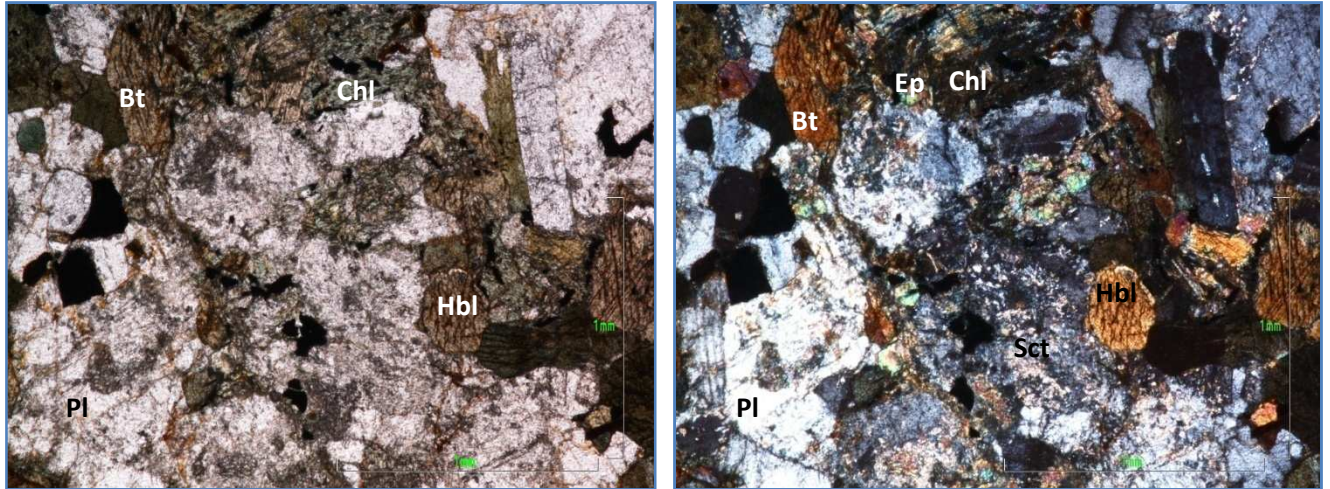


Figura 8. En la figura se observa la presencia de cristales plagioclasa (Pl), en algunas ocasiones alterada a sericita (Sct), hornblenda (Hbl), epidota (Ep), biotita (Bt) y clorita (Chl). Microfotografía tomada con objetivo de 5x. **a)** Luz polarizada y **b)** Luz plana no analizada.

1. Composición mineralógica

Minerales:

Plagioclasa: 20%	Sericita: 16%	Clorita: 16%
Hornblenda: 10%	Opacos: 10%	Biotita: 8%
Cuarzo: 5%	Epidota: 5%	Rutilo: 5%
Ortoclasa: 5%		

Plagioclasa: individuos subhedrales incoloros, de bajo relieve, con colores de birrefringencia de primer orden, alargados con formas tabulares; la Plagioclasa se presenta tamaño de grano medio con maclas polisintéticas tipo Plagioclasa cálcica y tipo albita. Se encuentra altamente alterada a Sericita.

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

Hornblenda: cristales euhedrales de color verde, pleocroicos, prismáticos, con relieve moderado, muestran colores de birrefringencia del segundo orden; se presenta en la muestra con tamaño de medio y se esta cloritizando.

Biotita: individuos hojosos de color marrón, pleocroicos, con exfoliación en una dirección, de colores de birrefringencia del tercer orden, con tamaño de grano medio, presenta cloritización.

Clorita: individuos xenomorfos de color verde, de pleocroísmo débil, de colores de birrefringencia enmascarados por el color del mineral, en ocasiones tonos violáceos o coloridos, se presenta como alteración de la Horblenda y de la biotita.

Cuarzo: individuos xenomorfos incoloros, de bajo relieve con colores de birrefringencia del primer orden, se presentan en la roca con tamaño de grano medio.

Epidota: individuos incoloros de alto relieve, con pleocroísmo y colores de birrefringencia hasta del tercer orden, de hábito granular, con bordes rectos y curvilíneos, y en algunas ocasiones fracturados.

Rutilo: individuos prismáticos, de color rojizo, de relieve muy alto con colores de birrefringencia altos, se presenta en la roca de tamaño de grano fino.

Ortoclasa: individuos anhedrales incoloros, de bajo relieve, de colores de birrefringencia de primer orden y presentan tamaño de grano medio.

2. Texturas y microestructuras

Textura Kelifítica

Textura Fanerítica

Textura Holocristalina

3. Secuencia de formación de los minerales

Mineral	Etapas magmática	Alteración secundaria
Plagioclasa	x	
Horblenda	x	
Cuarzo	x	
Biotita	x	
Ortoclasa	x	

Epidota	x	
Clorita		x
Sericita		x
Rutilo	x	

4. Nombre de la roca: Cuarzo-diorita (diagramas de clasificación de rocas dioríticas apoyados en Streckeisen 1976)

ANEXO 2.
RESULTADOS DIFRACCIÓN DE RAYOS X



Laboratorio de Difracción de Rayos-X

Bucaramanga, 23 de agosto de 2010

**SEÑORES:
ESCUELA DE GEOLOGÍA**

Atn: Dr. Luis Carlos Mantilla Figueroa

Director del proyecto 7429

UIS/Presente

Cordial saludo:

Por medio de la presente estoy haciendo entrega de los resultados de los análisis cuantitativos por Difracción de Rayos-X de ocho (8) muestras identificadas como "TAA-1-M2, TAA-2-M1, TAA-M3-M1, TAA-M3-M2, TAA-4-M1, TAA-5-M1, TAA-5-M2 y TAA-5-M3"

Atentamente,

JOSE ANTONIO HENAO MARTINEZ

Director

Laboratorio de Difracción de Rayos-X

PQ 0321

Universidad Industrial de Santander, Escuela de Química, Laboratorio de Postgrado 111

Edificio Camilo Torres, Bucaramanga, PBX 6344000 Ext. 22 26, Telefax 6347166

Apartado Aéreo N° 678, Email: rayosx@uis.edu.co NIT 890. 201.213-4

METODOLOGÍA

1. Preparación y Montaje de las muestras

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

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
Tiempo por paso	59 segundos

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.

♦ El resultado se relaciona únicamente con las muestras analizadas.

RESULTADOS

1. TAA-1-M2 (C2CW)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	$(\text{Na}_{0.75} \text{Ca}_{0.25}) (\text{Al}_{1.26} \text{Si}_{2.74} \text{O}_8)$	010-76-0926	Albita	43.5 % (D.E = 0.3)
	SiO_2	010-75-8322	Cuarzo	17.0 % (D.E = 0.1)
	$(\text{Mg, Fe, Al})_6 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	000-16-0362	Clinocloro	3.6 % (D.E = 0.1)
	$\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$	010-75-1592	Ortoclasa	8.6 % (D.E = 0.1)
	$(\text{Na}_{0.75} \text{K}_{0.25}) (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	010-75-1632	Anortoclasa	9.5 % (D.E = 0.2)
	$\text{Ca}_2 (\text{Mg, Fe})_4 \text{Al} (\text{Si}_7 \text{Al}) \text{O}_{22} (\text{OH, F})_2$	010-85-2158	Magnesio hornblenda	3.0 % (D.E = 0.1)
	$\text{K} (\text{Fe}_{2.554} \text{Al}_{0.446}) ((\text{Al}_{1.55} \text{Si}_{2.45}) \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	010-74-3152	Biotita	2.7 % (D.E = 0.1)
	$(\text{Mg}_{0.964} \text{Fe}_{0.036}) (\text{Ca}_{0.94} \text{Na}_{0.06}) (\text{Si}_2 \text{O}_6)$	010-83-1392	Diopside	1.2 % (D.E = 0.1)
	$\text{Fe}_3 \text{O}_4$	010-72-8152	Magnetita	N.C.
Total cristalinos				89.1 %
Amorfos y otros				10.9 %

2. TAA-2-M1 (C2CU)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	$\text{Na (Al Si}_3\text{ O}_8)$	010-89-6424	Albita	27.4 % (D.E = 0.4)
	Si O_2	010-75-8321	Cuarzo	6.1 % (D.E = 0.1)
	$\text{Mg}_5\text{ Al (Si}_3\text{ Al) O}_{10}\text{ (OH)}_8$	000-29-0854	Clinocloro	13.2 % (D.E = 0.2)
	$\text{Mg}_3\text{ (Si}_2\text{ O}_5)\text{ (OH)}_4$	010-73-9904	Clinocrisotilo	0.1 % (D.E = 0.1)
	Cu Fe S_2	010-75-0253	Calcopirita	N.C
	$\text{Ca (Al}_2\text{ Si}_2\text{ O}_8)$	010-75-1587	Anortita	29.0 % (D.E = 0.4)
	$\text{Ca}_2\text{ (Mg, Fe)}_5\text{ (Si, Al)}_8\text{ O}_{22}\text{ (OH)}_2$	000-21-0149	Magnesio hornblenda	4.2 % (D.E = 0.1)
	$\text{K (Fe}_{2.554}\text{ Al}_{0.446}\text{) ((Al}_{1.55}\text{ Si}_{2.45}\text{) O}_{10}\text{) (OH)}_2$	010-74-3152	Biotita	5.7 % (D.E = 0.2)
	$\text{(Mg}_6\text{ Fe}_2\text{ Al}_2\text{) Ca (Si}_{1.5}\text{ Al}_{.5}\text{) O}_6$	010-72-1379	Diopside	2.1 % (D.E = 0.2)
	$\text{Ca (Mg}_{0.85}\text{ Al}_{0.15}\text{) (Si}_{1.85}\text{ Al}_{0.15}\text{) O}_6$	010-78-1391	Augita	6.3 % (D.E = 0.2)
	$\text{Fe}_3\text{ O}_4$	010-76-0957	Magnetita	N.C.
	Total cristalinos			
Amorfos y otros				5.9 %

Nota:

N.C = No Cuantificable (La(s) fase(s) son identificadas pero debido a su baja proporción no es posible refinar sus datos cristalográficos necesarios para su respectiva cuantificación)

D.E = Desviación estándar

3. TAA-3-M1 (C2CT)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	$(\text{Na}_{0.98} \text{Ca}_{0.02}) (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	010-70-3752	Albita	49.9 % (D.E = 0.4)
	Si O_2	010-89-8935	Cuarzo	8.2 % (D.E = 0.1)
	$\text{Mg}_{2.5} \text{Fe}_{1.65} \text{Al}_{1.5} \text{Si}_{2.2} \text{Al}_{1.8} \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	010-89-2972	Clinocloro	5.0 % (D.E = 0.1)
	$\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$	010-75-1592	Ortoclasa	9.0 % (D.E = 0.1)
	$(\text{Na}_{0.75} \text{K}_{0.25}) (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	010-75-1632	Anortoclasa	12.6 % (D.E = 0.3)
	$\text{Ca}_2 (\text{Mg, Fe})_5 (\text{Si, Al})_8 \text{O}_{22} (\text{OH})_2$	000-21-0149	Magnesio hornblenda	5.4 % (D.E = 0.1)
	$\text{K} (\text{Fe}_{2.554} \text{Al}_{0.446}) ((\text{Al}_{1.55} \text{Si}_{2.45}) \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	010-74-3152	Biotita	3.2 % (D.E = 0.1)
	$\text{Fe PO}_4 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$	000-41-1489	Koninckita	N.C.
	$\text{Ca Mg Si}_2 \text{O}_6$	010-71-1495	Diopside	4.1 % (D.E = 0.1)
	$\text{Fe}_3 \text{O}_4$	000-02-1035	Magnetita	N.C.
Total cristalinos				97.4 %
Amorfos y otros				2.6 %

4. TAA-3-M2 (C2CV)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	$\text{Na}_{0.685} \text{Ca}_{0.347} \text{Al}_{1.46} \text{Si}_{2.54} \text{O}_8$	010-83-1939	Albita	45.3 % (D.E = 0.3)
	Si O_2	010-89-8934	Cuarzo	4.5 % (D.E = 0.1)
	$(\text{Mg, Fe})_6 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	000-29-0701	Clinocloro	12.5 % (D.E = 0.2)
	$\text{Mg}_3 (\text{Si}_2 \text{O}_5) (\text{OH})_4$	010-73-9904	Clinocrisotilo	0.1 % (D.E = 0.1)
	$(\text{Na}_{0.85} \text{K}_{0.14}) (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	010-75-1634	Anortoclasa	N.C
	$\text{Ca}_2 (\text{Mg, Fe})_5 (\text{Si, Al})_8 \text{O}_{22} (\text{OH})_2$	010-85-2158	Magnesio hornblenda	17.6 % (D.E = 0.2)
	$\text{K} (\text{Fe}_{2.554} \text{Al}_{0.446}) ((\text{Al}_{1.55} \text{Si}_{2.45}) \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	010-74-3152	Biotita	7.4 % (D.E = 0.2)
	$\text{Mg}_{3.41} \text{Si}_{2.86} \text{Al}_{1.14} \text{O}_{10} (\text{OH})_2 (\text{H}_2\text{O})_{3.72}$	010-76-0847	Vermiculita	0.4 % (D.E = 0.1)
	$\text{Ca Mg Si}_2 \text{O}_6$	010-71-1494	Diopside	N.C
	$\text{Ca}_{0.61} \text{Mg}_{0.76} \text{Fe}_{0.49} (\text{Si O}_3)_2$	010-76-0544	Augita	3.2 % (D.E = 0.2)
	$\text{Fe}_3 \text{O}_4$	010-79-0418	Magnetita	1.8 % (D.E = 0.1)
Total cristalinos				92.8 %
Amorfos y otros				7.2 %

Nota:

N.C = No Cuantificable (La(s) fase(s) son identificadas pero debido a su baja proporción no es posible refinar sus datos cristalográficos necesarios para su respectiva cuantificación)

D.E = Desviación estándar

5. TAA-4-M1 (C2CX)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	$(\text{Na}_{0.98} \text{Ca}_{0.02}) (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	010-70-3752	Albita	34.1 % (D.E = 0.3)
	Si O_2	010-85-1054	Cuarzo	3.3 % (D.E = 0.1)
	$(\text{Mg, Fe})_6 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	000-29-0701	Clinocloro	16.9 % (D.E = 0.2)
	$\text{Ca}_2 \text{Fe Al}_2 \text{Si}_3 \text{O}_{12} \text{OH}$	010-73-2147	Epidota	N.C
	$(\text{Na}_{0.7} \text{K}_{0.3}) (\text{Al}_{1.02} \text{Si}_{2.98} \text{O}_8)$	010-76-0803	Anortoclasa	15.2 % (D.E = 0.3)
	$\text{Ca}_2 (\text{Mg, Fe})_5 (\text{Si, Al})_8 \text{O}_{22} (\text{OH})_2$	000-21-0149	Magnesio hornblenda	4.0 % (D.E = 0.1)
	$\text{K} (\text{Fe}_{2.554} \text{Al}_{0.446}) ((\text{Al}_{1.55} \text{Si}_{2.45}) \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	010-72-8210	Biotita	7.7 % (D.E = 0.1)
	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	010-74-1784	Caolinita	N.C
	$\text{Mg}_2 (\text{Si O}_4)$	010-71-6293	Forsterita	N.C
	$\text{Ca}_{0.8} \text{Mg}_{1.2} (\text{Si O}_3)_2$	010-76-0238	Diopside	N.C
	$\text{Ca}_{0.61} \text{Mg}_{0.76} \text{Fe}_{0.49} (\text{Si O}_3)_2$	010-73-8547	Augita	6.4 % (D.E = 0.1)
	$\text{Fe}_3 \text{O}_4$	010-76-0956	Magnetita	N.C
Total cristalinos				87.6 %
Amorfos y otros				12.4 %

6. TAA-5-M1 (C2CY)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	$\text{Na (Al Si}_3\text{ O}_8)$	010-89-6426	Albita	52.0 % (D.E = 0.2)
	Si O_2	010-75-8322	Cuarzo	7.1 % (D.E = 0.1)
	Ti O_2	010-76-0326	Rutilo	N.C
	$\text{Ca}_2\text{ Fe Al}_2\text{ Si}_3\text{ O}_{12}\text{ OH}$	010-73-2147	Epidota	N.C
	$\text{Ca}_2 (\text{Mg, Fe})_5 (\text{Si, Al})_8 \text{ O}_{22} (\text{OH})_2$	000-21-0149	Magnesio hornblenda	14.3 % (D.E = 0.1)
	$\text{K (Fe}_{2.554}\text{ Al}_{0.446}) ((\text{Al}_{1.55}\text{ Si}_{2.45}) \text{ O}_{10}) (\text{OH})_2$	010-74-3152	Biotita	12.4 % (D.E = 0.1)
	$(\text{K}_{0.95}\text{ Na}_{0.05}) (\text{Al Si}_3\text{ O}_8)$	010-84-1455	Microclina	4.0 % (D.E = 0.1)
	$(\text{Na, Ca})_{0.3}\text{ Fe}_2 (\text{Si, Al})_4 \text{ O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot x \text{ H}_2\text{O}$	000-58-2027	Nontronita	--
	$\text{Fe}_3\text{ O}_4$	010-76-0957	Magnetita	N.C
Total cristalinos				89.8 %
Amorfos y otros				10.2 %

Nota:

N.C = No Cuantificable (La(s) fase(s) son identificadas pero debido a su baja proporción no es posible refinar sus datos cristalográficos necesarios para su respectiva cuantificación)

D.E = Desviación estándar

7. TAA-5-M2 (C2CZ)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	$(\text{Na}_{0.98} \text{Ca}_{0.02}) (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	010-70-3752	Albita	38.8 % (D.E = 0.3)
	Si O_2	010-70-3755	Cuarzo	9.6 % (D.E = 0.1)
	$\text{K} (\text{Al, Fe}) \text{Si}_2 \text{O}_8$	000-08-0048	Ortoclasa	8.5 % (D.E = 0.1)
	$(\text{Na}_{0.667} \text{K}_{0.333}) (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	010-75-1630	Anortoclasa	15.4 % (D.E = 0.3)
	$\text{Ca}_2 (\text{Mg, Fe})_5 (\text{Si, Al})_8 \text{O}_{22} (\text{OH})_2$	000-21-0149	Magnesio hornblenda	4.3 % (D.E = 0.1)
	$\text{K} (\text{Fe}_{2.554} \text{Al}_{0.446}) ((\text{Al}_{1.55} \text{Si}_{2.45}) \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	010-74-3152	Biotita	9.3 % (D.E = 0.2)
	$\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	000-58-2028	Caolinita	4.7 % (D.E = 0.2)
	$\text{K Al}_2 (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	000-06-0263	Moscovita	N.C
	$\text{Ca Mg Si}_2 \text{O}_6$	010-71-1495	Diopside	N.C
	$(\text{Na, Ca})_{0.3} \text{Fe}_2 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$	000-58-2027	Nontronita	---
	$\text{Fe}_3 \text{O}_4$	010-88-0866	Magnetita	N.C
Total cristalinos				90.6 %
Amorfos y otros				9.4 %

8. TAA-5-M3 (C2DA)

FASE		No. TARJETA PDF-2	NOMBRE	CUANTITATIVO
Cristalinos	Si O_2	010-78-1252	Cuarzo	7.4 % (D.E = 0.1)
	$(\text{Mg}_{2.96} \text{Fe}_{1.55} \text{Fe}_{.136} \text{Al}_{1.275}) (\text{Si}_{2.622} \text{Al}_{1.376} \text{O}_{10}) (\text{OH})_8$	010-79-1270	Clinocloro	7.2 % (D.E = 0.3)
	$\text{Ca}_2 \text{Al}_{0.93} \text{Fe}_{0.05} \text{Al}_{0.24} \text{Fe}_{0.76} \text{Si}_3 \text{O}_{13} \text{H}$	010-71-2387	Epidota	1.5 % (D.E = 0.1)
	$\text{Ca}_2 (\text{Mg}, \text{Fe})_5 (\text{Si}, \text{Al})_8 \text{O}_{22} (\text{OH})_2$	000-21-0149	Magnesio hornblenda	19.2 % (D.E = 0.2)
	$\text{K Fe Mg}_2 (\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}) (\text{OH})_2$	010-80-1108	Biotita	7.4 % (D.E = 0.1)
	$\text{K} (\text{Al}, \text{Fe}) \text{Si}_2 \text{O}_8$	000-08-0048	Ortoclasa	5.4 % (D.E = 0.2)
	$(\text{Na}_{.45} \text{Ca}_{.55}) (\text{Al}_{1.55} \text{Si}_{2.45} \text{O}_8)$	010-85-1415	Anortita	35.3 % (D.E = 0.4)
	Ti O_2	010-76-0322	Rutilo	N.C
	$\text{Fe}_3 \text{O}_4$	010-76-0957	Magnetita	N.C
Total cristalinos				83.4 %
Amorfos y otros				16.6 %

Nota:

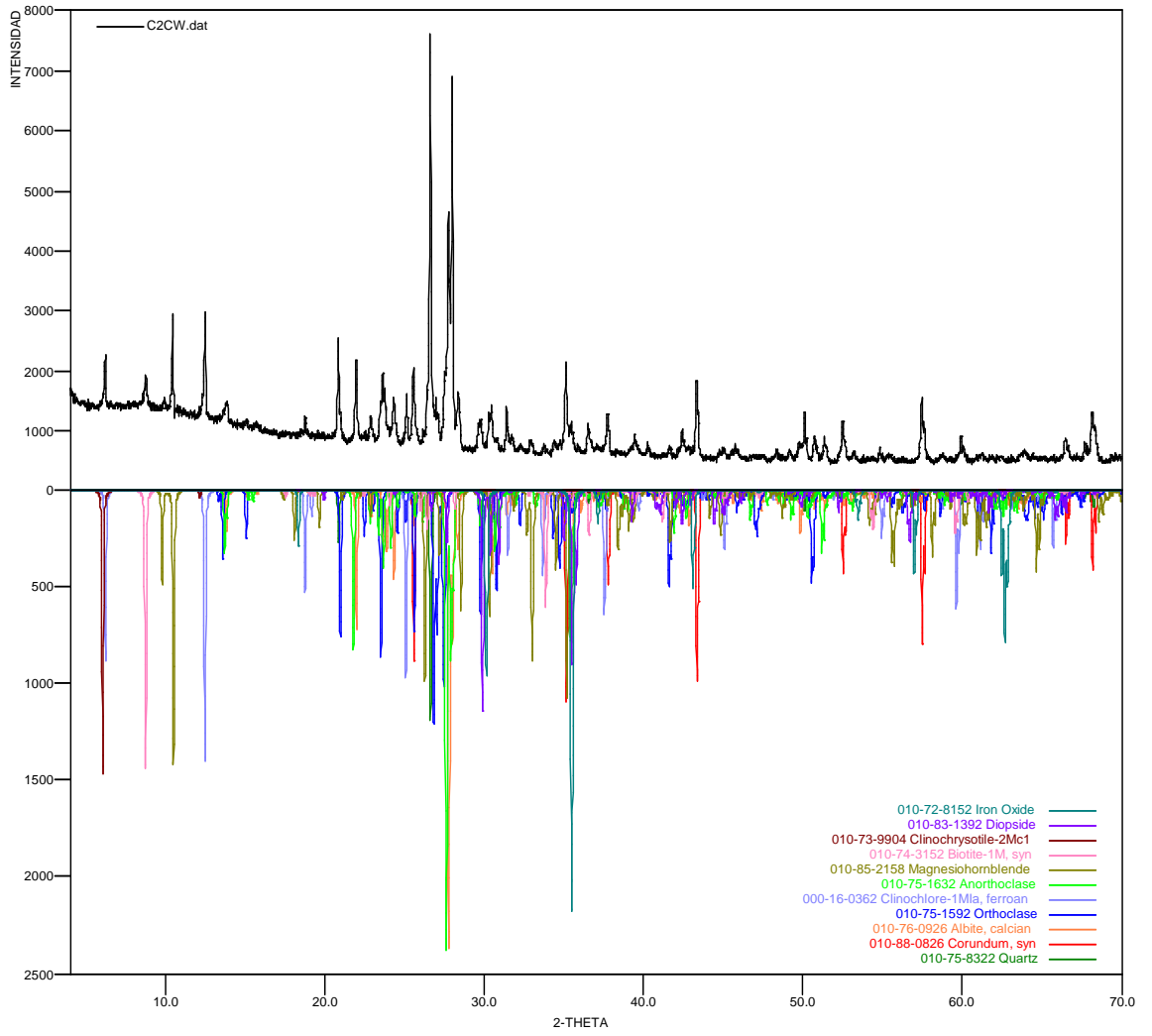
N.C = No Cuantificable (La(s) fase(s) son identificadas pero debido a su baja proporción no es posible refinar sus datos cristalográficos necesarios para su respectiva cuantificación)

D.E = Desviación estándar

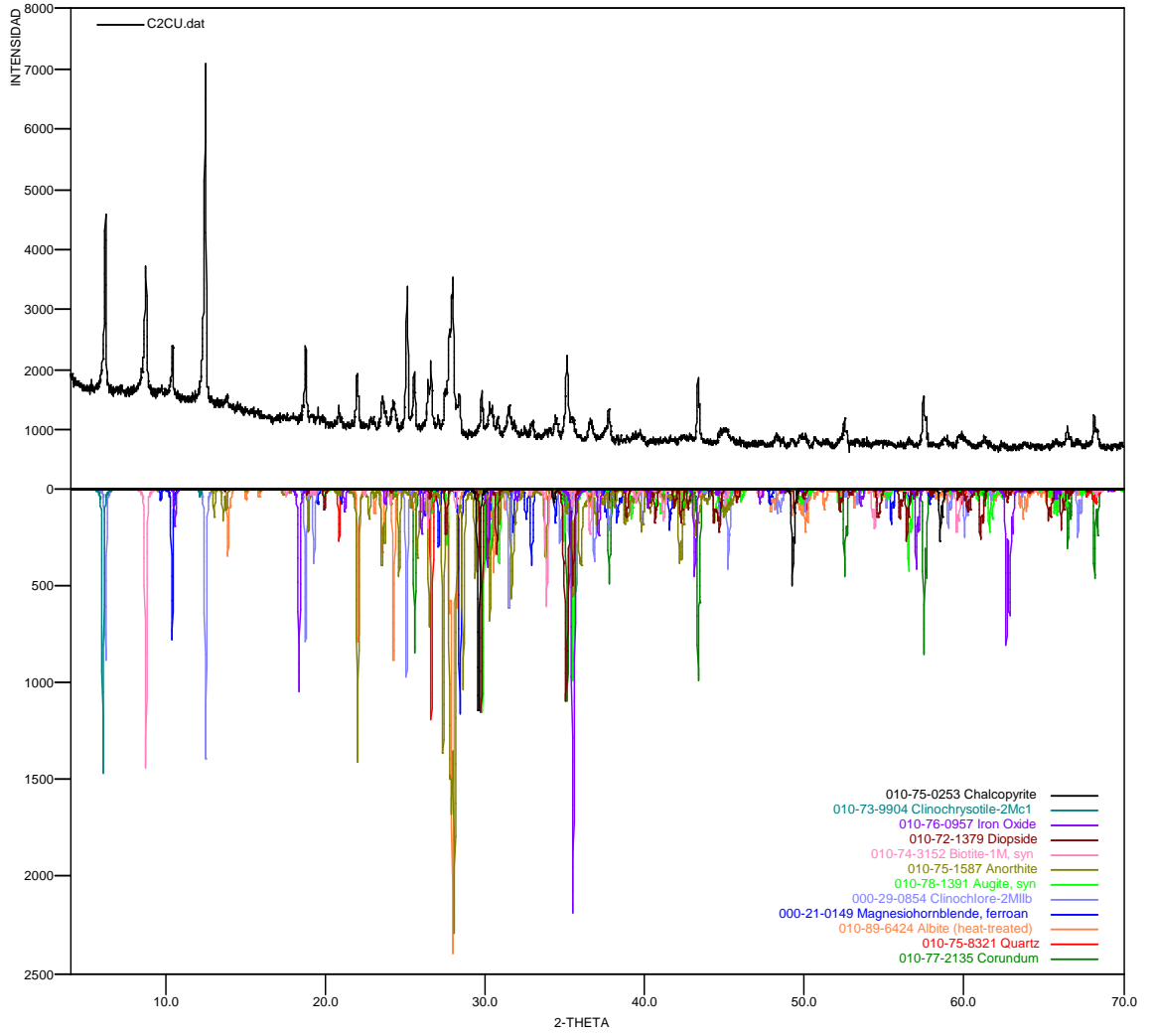
Observaciones:

- En el perfil 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.
- Se recomienda realizar análisis elemental para corroborar la presencia de las fases reportadas.
- En la muestra analizada **TAA-5-M1** y **TAA-5-M2**, la fase **Nontronita**, no fue cuantificada ya que no se tienen sus datos cristalográficos reportados en la base de datos para su respectiva cuantificación.

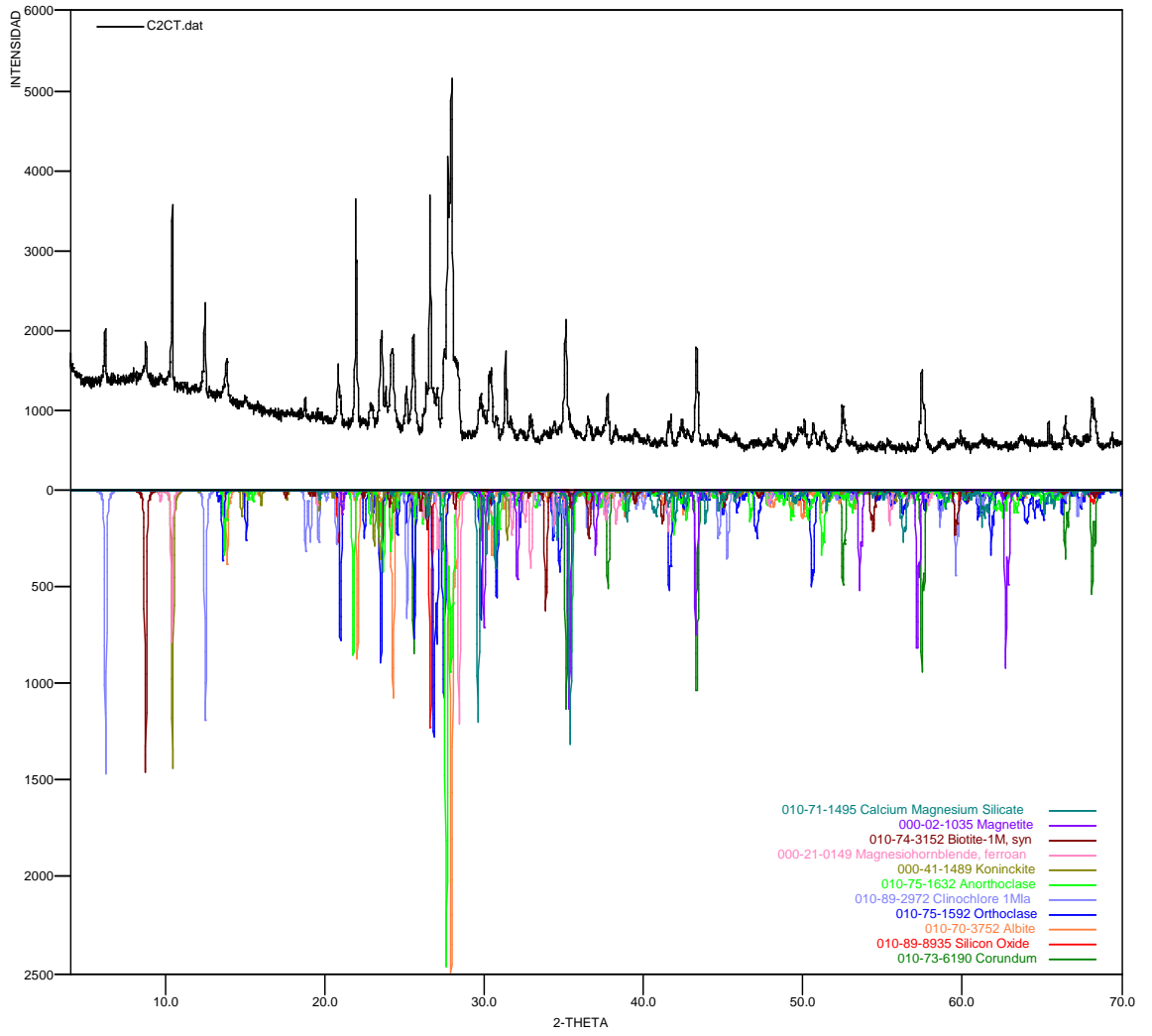
TAA-1-M2



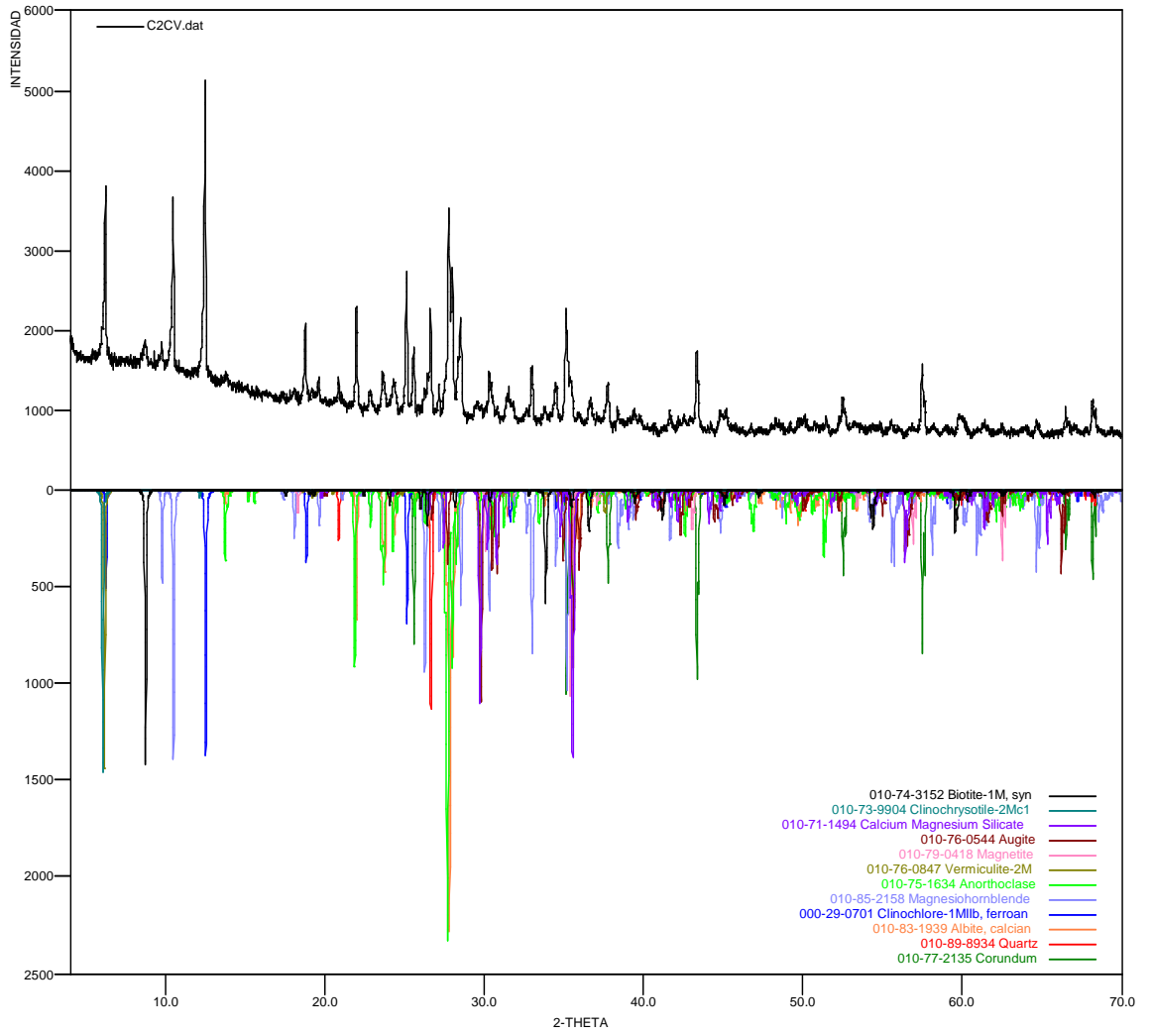
TAA-2-M1



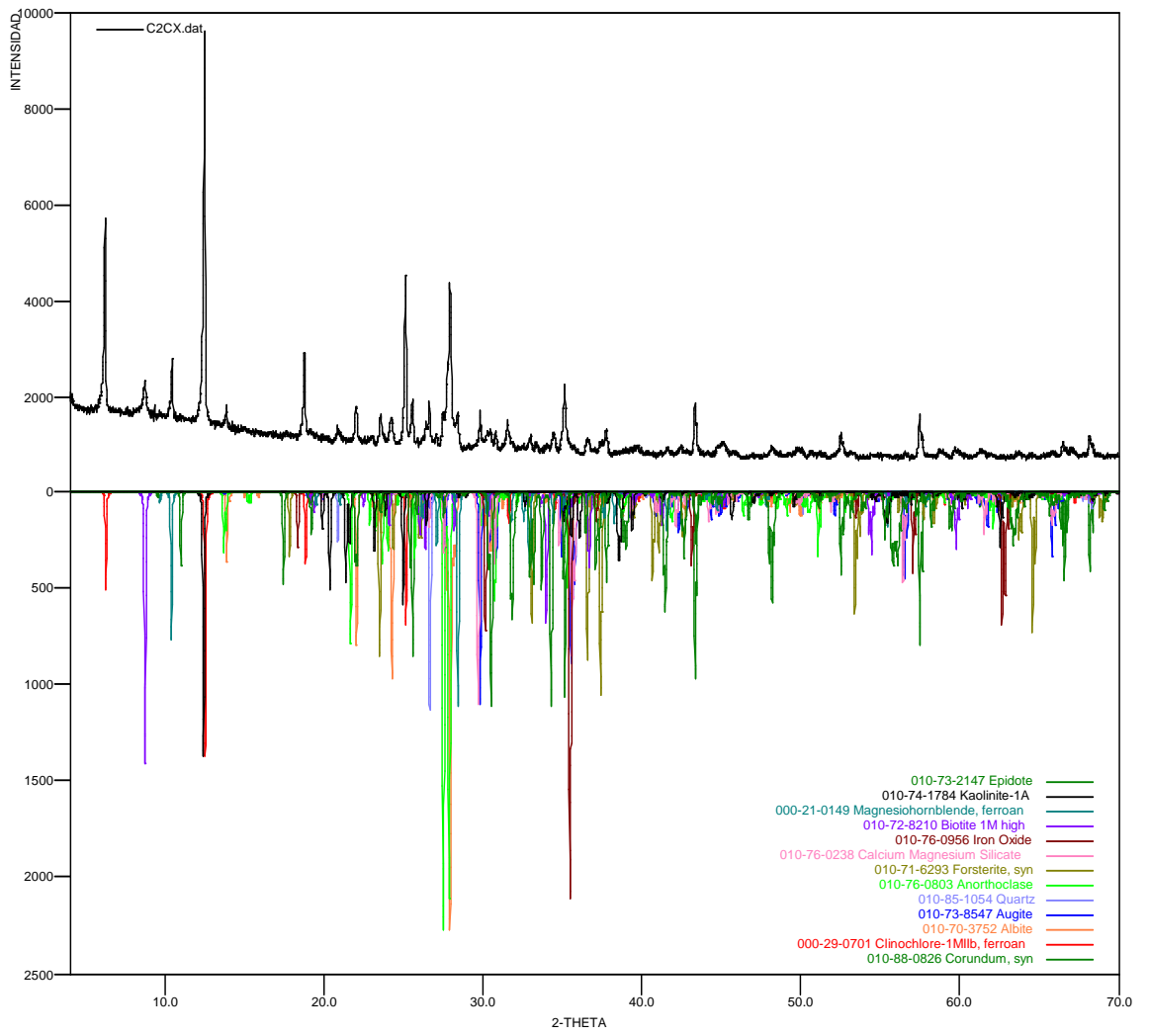
TAA-3-M1



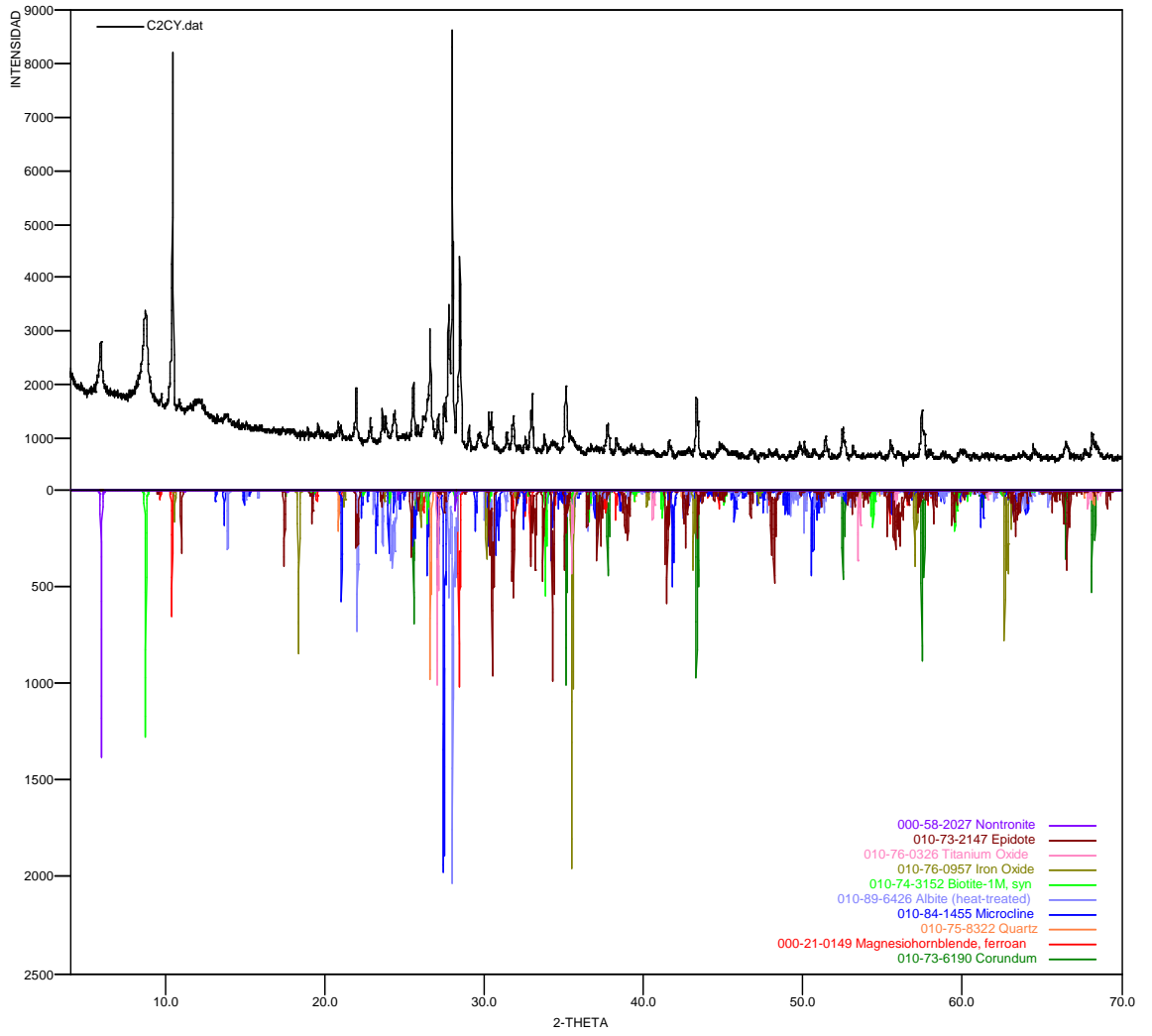
TAA-3-M2



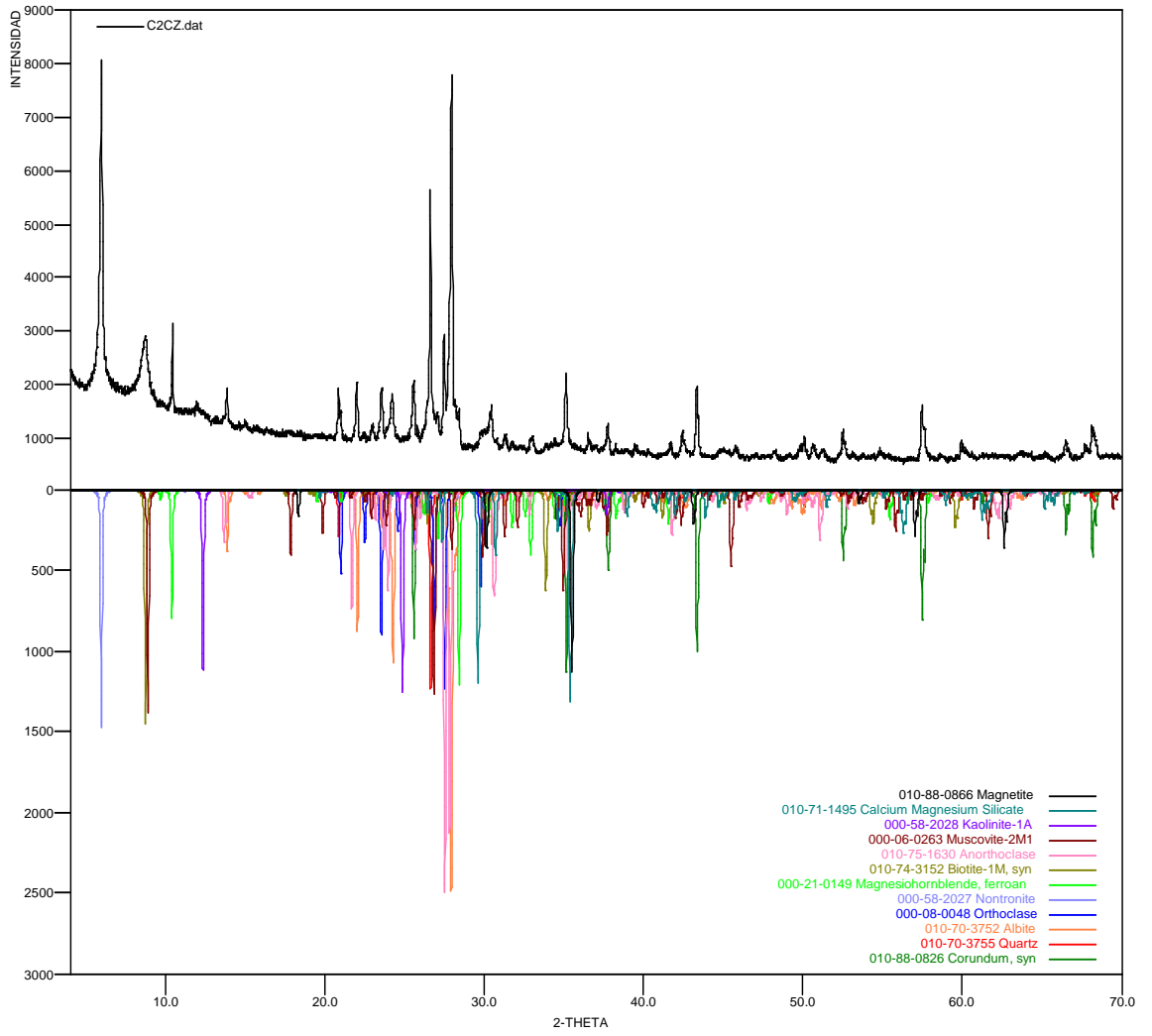
TAA-4-M1



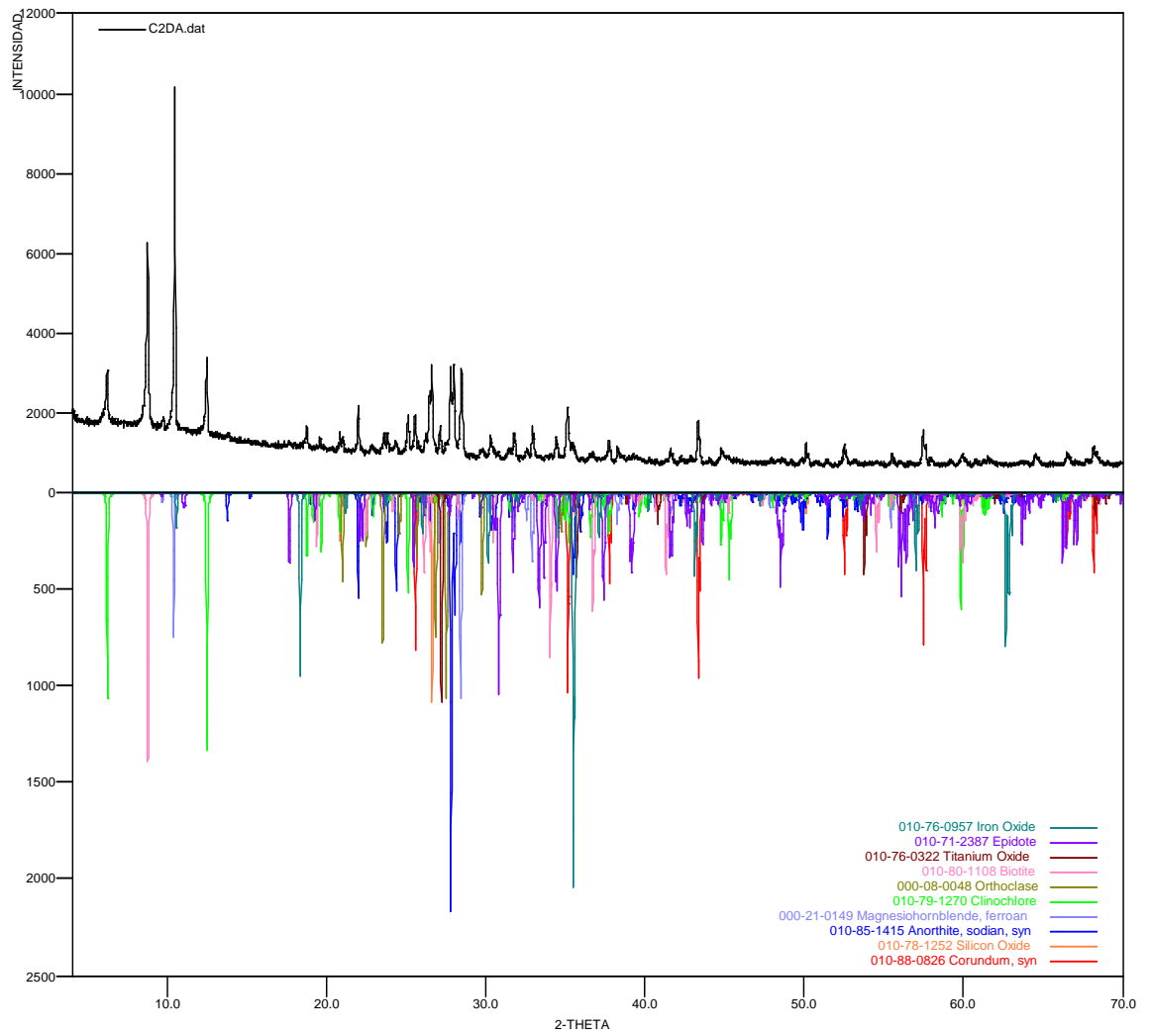
TAA-5-M1



TAA-5-M2



TAA-5-M3



Elaboró:

Qco. José Luis Pinto C.

Profesional Analista

PQ. 2009

Revisó:

Qco. MSc. Jesús Andelfo Pinilla A.

Director Técnico

PQ. 1585

ANEXO 3
RESULTADOS DE ELEMENTOS MAYORES MENORES Y TRAZA



ALS Colombia Ltda.
 Parque Agroindustrial Perú
 Bodega No. 4 (Km 2 via Siberia)
 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: 1-AUG-2010
 This copy reported on 3-AUG-2010
 Account: VERSIS

CERTIFICATE BG10092471	
Project: MACIZO DE SANTANDER P.O. No.: OPS 2010003822 This report is for 5 Rock samples submitted to our lab in Bogota, Colombia on 21-JUL-2010. The following have access to data associated with this certificate: ADRIANA CASTRO NHORA MANCILLA	

SAMPLE PREPARATION	
ALS CODE	DESCRIPTION
WEI-21	Received Sample Weight
PUL-51	Pulverize split to 85% <75 um
CRU-0C	Crushing QC Test
PUL-0C	Pulverizing QC Test
LOG-22	Sample login - Rod w/o BarCode
CRU-31	Fine crushing - 70% <2mm
SPL-21	Split sample - riffle splitter

ANALYTICAL PROCEDURES		
ALS CODE	DESCRIPTION	
ME-MS41	51 anal. aqua regia ICPMS	
ME-XRF12st	Whole rock by XRF-selected analytes	XRF
QA-GRA05	Loss on Ignition at 1000C	WST-SEQ

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

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

Signature: 
 Milder Masoaraqui, Laboratory Manager, Peru



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

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

Page: 2 - A
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 1-AUG-2010
 Account: VERSIS

Project: MACIZO DE SANTANDER

CERTIFICATE OF ANALYSIS BG10092471

Sample Description	Method Analyte Units LOR	WD-01	ME-XRF10st	ME-XRF10st	ME-XRF10st	ME-XRF10st	ME-XRF10st	ME-XRF10st	ME-XRF10st	ME-XRF10st	ME-XRF10st	ME-XRF10st	ME-XRF10st	ME-XRF10st	ME-XRF10st	OR-ORAO5
		Rock Wt.	Al2O3	SiO2	CaO	Cr2O3	Fe2O3	K2O	MgO	MnO	Na2O	P2O5	SiO2	SPD	TiO2	LOI
		kg	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
TAA-2-M1		0.02	0.01	0.001	0.01	0.001	0.01	0.001	0.01	0.001	0.001	0.001	0.001	0.01	0.001	0.01
TAA-3-M1		0.74	18.75	0.059	7.59	0.012	10.20	1.830	5.30	0.182	3.48	0.530	50.4	0.045	1.78	1.82
TAA-3-M2		0.28	18.45	0.045	2.84	0.004	3.51	3.38	1.25	0.116	5.98	0.174	83.3	0.155	0.47	0.60
TAA-4-M1		1.75	18.85	0.028	8.66	0.019	11.30	0.676	7.45	0.180	2.58	0.306	47.3	0.044	1.88	2.89
TAA-4-M2		0.23	18.65	0.058	7.04	0.013	10.55	1.805	5.28	0.102	3.79	0.530	50.4	0.052	1.79	2.03
TAA-5-M2		1.27	18.65	0.319	3.24	0.003	4.08	3.19	1.32	0.100	5.74	0.229	82.1	0.198	0.55	0.77



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

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

Page: 2 - B
 Total # Pages: 2 (A - E)
 Plus Appendix Pages
 Finalized Date: 1-AUG-2010
 Account: VERSIS

Project: MACIZO DE SANTANDER

CERTIFICATE OF ANALYSIS BG10092471

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-M541	ME-M541	ME-M541	ME-M541	ME-M541	ME-M541	ME-M541	ME-M541	ME-M541	ME-M541	ME-M541	ME-M541	ME-M541	ME-M541	ME-M541	
		Ag	Al	As	Au	B	Be	Bi	Ca	Cl	Co	Cu	Cr	Cu	Cr	Cu	Cu
		ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
TAA-2-M1		0.01	0.01	0.1	0.1	10	10	0.05	0.01	0.01	0.01	0.02	0.1	1	0.05	0.1	
TAA-3-M1		0.03	2.88	0.3	<0.2	<10	100	0.35	0.02	1.32	0.07	55.5	23.3	49	1.38	29.4	
TAA-3-M2		0.03	0.91	<0.1	<0.2	<10	230	0.29	0.02	0.55	0.05	30.5	4.8	4	0.11	31.3	
TAA-4-M1		0.04	3.98	<0.1	<0.2	<10	100	0.18	0.01	2.10	0.04	17.00	26.2	70	1.09	39.9	
TAA-4-M2		0.04	2.80	<0.1	<0.2	<10	50	0.33	0.02	1.22	0.14	55.9	23.8	48	1.04	30.0	
TAA-5-M2		0.02	1.10	<0.1	<0.2	<10	520	0.24	0.04	0.57	0.01	33.3	6.8	3	0.18	30.3	



ALS Colombia Ltda.
Parque Agroindustrial Perú
Bodega No. 4 (Km 2 via Siberia)
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: 1-AUG-2010
Account: VERSIS

Project: MACIZO DE SANTANDER

CERTIFICATE OF ANALYSIS BG10092471

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41
		Fa %	Ca ppm	Ca ppm	HF ppm	Hg ppm	Ir ppm	K %	La ppm	Li ppm	Mg %	Mn ppm	Mo ppm	Na %	Nb ppm	Ni ppm
TAA-2-M1		4.70	10.25	0.18	0.37	<0.01	0.012	0.45	21.0	10.1	1.00	617	1.33	0.10	0.54	40.4
TAA-3-M1		1.73	5.05	0.10	0.70	<0.01	0.015	0.19	15.8	10.4	0.45	604	0.41	0.14	0.90	2.0
TAA-3-M2		5.53	8.86	0.15	0.59	<0.01	0.010	0.42	5.5	20.9	2.62	645	0.56	0.30	0.27	50.7
TAA-4-M1		4.79	9.02	0.18	0.40	0.01	0.013	0.34	21.6	17.2	2.01	710	1.14	0.12	0.51	40.0
TAA-5-M2		2.22	5.95	0.13	0.59	<0.01	0.022	0.43	15.7	4.3	0.57	545	0.28	0.12	0.48	2.4



ALS Colombia Ltda.
Parque Agroindustrial Perú
Bodega No. 4 (Km 2 via Siberia)
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 - D
Total # Pages: 2 (A - E)
Plus Appendix Pages
Finalized Date: 1-AUG-2010
Account: VERSIS

Project: MACIZO DE SANTANDER

CERTIFICATE OF ANALYSIS BG10092471

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41
		F ppm	Fe ppm	Fe ppm	Fe ppm	Si ppm	Sn ppm	Sn ppm	Sn ppm	Sn ppm	Sn ppm	Ta ppm	Ta ppm	Ta ppm	Ti ppm	Ti ppm
TAA-2-M1		2310	3.6	32.1	<0.001	0.11	<0.05	3.1	0.5	0.6	82.7	0.01	0.02	1.1	0.303	0.24
TAA-3-M1		780	7.6	8.2	<0.001	<0.01	<0.05	2.8	<0.2	0.5	55.7	<0.01	0.01	4.4	0.135	0.04
TAA-3-M2		1340	3.0	28.6	<0.001	0.05	<0.05	4.6	0.5	0.3	94.7	0.01	0.02	0.4	0.431	0.22
TAA-4-M1		2350	3.3	26.4	<0.001	0.06	<0.05	3.3	0.5	0.6	61.8	0.01	0.02	1.0	0.298	0.17
TAA-5-M2		1020	1.6	18.2	<0.001	<0.01	<0.05	4.2	0.2	0.5	80.4	<0.01	0.04	5.3	0.175	0.11



ALS Colombia Ltda.
Parque Agroindustrial Perú
Bodega No. 4 (Km 2 via Siberia)
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 - E
Total # Pages: 2 (A - E)
Plus Appendix Pages
Finalized Date: 1-AUG-2010
Account: VERSIS

Project: MACIZO DE SANTANDER

CERTIFICATE OF ANALYSIS BG10092471

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41	ME-MS41
		U ppm	V ppm	W ppm	Y ppm	Zn ppm	Zr ppm
TAA-2-M1		0.11	75	0.09	25.8	79	12.5
TAA-3-M1		2.75	65	0.08	8.84	43	25.3
TAA-3-M2		0.09	110	0.05	17.25	55	10.3
TAA-4-M1		0.11	68	0.09	25.9	80	12.9
TAA-5-M2		1.42	94	<0.05	8.91	41	16.0