

**PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA DEL BATOLITO ANTIOQUEÑO EN UN
SECTOR DEL MUNICIPIO SANTA ROSA DE OSOS, ANTIOQUIA.**

**JUDY JULIANA ALMEIDA ESPINOSA
FERNANDO VILLAMIZAR RAMÍREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2012

**PETROGRAFIA Y GEOQUIMICA DEL BATOLITO ANTIOQUEÑO EN UN
SECTOR DEL MUNICIPIO SANTA ROSA DE OSOS, ANTIOQUIA.**

**JUDY JULIANA ALMEIDA ESPINOSA
FERNANDO VILLAMIZAR RAMÍREZ**

**Trabajo de grado para optar el título de
GEÓLOGO**

Director

**CARLOS ALBERTO GARCÍA RAMÍREZ
Geólogo Ph.D.**

Codirector

**MILTON REINOSO MENA
Ingeniero Geólogo**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2012

DEDICATORIA

A Dios por brindarme su respaldo en cada instante de mi vida.

*A mi papa por la confianza que depósito en mí y por sus esfuerzos
constantes.*

A mi mamá por su cariño y sus consejos

A mis amigos que estuvieron conmigo en las buenas y en las malas

A mi compañero de tesis

*Y especialmente al angelito que me cuida todos los días la persona
más interesada en que me realizará como profesional*

Mayerly Almeida Espinosa

Judy Juliana Almeida Espinosa.

DEDICATORIA

Gracias a mis compañeros por su apoyo.

A mi madre por darme la oportunidad de estudio

*A mi compañera de tesis por el esfuerzo y dedicación para que
desarrolláramos este proyecto.*

A todos los que creyeron en mí.

Fernando Villamizar Ramírez.

AGRADECIMIENTOS

Al doctor Carlos García Ramírez, director de este proyecto, por sus enseñanzas
paciencia y apoyo.

A la Universidad Industrial de Santander y su Escuela de Geología

A los profesores de la Escuela de Geología, los cuales aportaron sus enseñanzas.

A todos nuestros amigos de geología incondicionales con los que compartimos
muchos momentos de alegría y diversión, a María Carolina, Jenny Ramírez, Aura
Traslaviña, Karen Vega, Sandra Mendoza, Henry Mayorga, Gina Rincón, el gordo
Juan, Diego Cruz, Diego Cura, Leonardo Palmera.

A Red Eagle Mining por darnos la oportunidad de realizar esta tesis y abrirnos las
puertas a la vida laboral Ing. Vinicio Pazmay, Ing. Milton Reinoso Mena.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	20
1. OBJETIVOS	22
1.1 OBJETIVO GENERAL	22
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
2. METODOLOGIA	23
2.1 FASE CAMPO	23
2.1.1 Muestreo de Roca	23
2.2 FASE LABORATORIO	24
2.2.1 Descripción macroscópica de muestras.	24
2.2.2 Estudio Petrográfico.	24
2.2.3 Análisis Geoquímicos.	25
3. GENERALIDADES DEL ÁREA DE TRABAJO	27
3.1 LOCALIZACIÓN	27
3.2 VIAS DE ACCESO	28
3.3 CLIMA Y VEGETACIÓN	29
4. ANTECEDENTES	31
5. MARCO GEOLOGICO	34
5.1 ESTRATIGRAFIA	34
5.1.1 Batolito Antioqueño (Kt).	34
5.1.2 Grupo Ayurá Montebello	36
5.1.3 Aluviones (Qal).	37
6. TECTÓNICA	38
7. EVOLUCION GEOLOGICA	40
8. GEOLOGIA DEL BATOLITO ANTIOQUEÑO	41

8.1 RASGOS MACROSCOPICOS DE LAS ROCAS AFLORANTES EN EL BATOLITO ANTIOQUEÑO	41
8.1.1 Tonalitas (Batolito Antioqueño)	41
8.1.2 Mesocataclasitas	43
9. PETROGRAFÍA	45
9.1 TONALITAS MUESTRAS (MSD-1, MSD-2, MSD-3, MSD-4)	46
9.2 CUARZODIORITA MUESTRA (MSD-6)	50
9.3 GRANODIORITA MUESTRA (MSD-9)	52
9.4 DACITAS MUESTRAS (MSD-8, MSD 10)	54
9.5 MESOCATACLASITAS MUESTRAS (MSD-5, MSD-7)	57
10. ESTUDIO QUÍMICO DE ELEMENTOS MAYORES, MENORES Y TRAZA EN ROCA TOTAL	61
10.1 ANÁLISIS GEOQUÍMICOS DE ÓXIDOS MAYORES	61
10.2 CONCENTRACIÓN DE SÍLICE	64
10.2.1 Concentración de Alúmina.	64
10.3 COMPOSICIÓN NORMATIVA	65
10.4 CLASIFICACIÓN TAS (ÁLCALISIS TOTAL VS SÍLICE)	66
10.5 OXIDACIÓN DEL MAGMA	68
10.6 SERIES MAGMÁTICAS	69
10.7 DIAGRAMAS DE VARIACIÓN	73
10.8 ANALISIS GEOQUIMICOS DE ELEMENTOS TRAZA.	76
10.9 CONSIDERACIONES PREVIAS	77
CONCLUSIONES	82
RECOMENDACIONES	85
BIBLIOGRAFÍA	86
ANEXOS	89

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1 Localización del área de estudio	28
FIGURA 2. Vías principales con señalización al Municipio Santa Rosa de Osos.	29
FIGURA 3. Vertientes de roca cortando el terreno abruptamente con pendientes mayores a 45°, a.) Cañada Rica localizada en el sector oeste del área de estudio. Dirección foto E-W. b.) Floro localizada en el sector este del área de estudio. Dirección foto E-W.	30
FIGURA 4. Floro en el sector Santa Rosa este, caracterizado por la presencia de vetilleo de óxido de Manganeso a manera de stockwork. Dirección de azimuth 220/60° NW. Dirección foto E-W.	35
FIGURA 5. Foto localizada en Túnel existente Nahur 5 sector este X: 854359.52 Y: 1223705.65. Nótese la presencia de una veta de Cuarzo, pirita oxido de manganeso y esfalerita, 20 cm de espesor dirección de azimuth 100/54 SW. Dirección foto E-W.	35
FIGURA 6. Las respectivas fotos indican zonas de cizalla mostrando una leve actividad tectónica a.) Foto de afloramiento la Cantera sector oeste X: 854689 Y: 1225042, correspondiente a una zona de deformación generada bajo condiciones dúctiles. Dirección foto E-W. b.) foto localizada en el Túnel Azul sector este X: 856336.75 Y: 1223235.28, presencia de una roca Mesocataclasita con un azimuth 310/35 NE, dirección foto S-E.	36
FIGURA 7. Presencia de Aluviones en el sector de Santa Rosa de Osos, a.) Panorámica sector oeste mostrando la respectiva unidad b.) Rio Guadalupe cerca de una zona de aluvión, 300m al W del pueblo Playa Larga. Tomada en dirección E-W sector oeste, vía Playa Larga.	37

FIGURA 8. Sistemas de Fallas Principales del Departamento de Antioquia. Tomado del Mapa Geológico del Departamento de Antioquia Escala:1:400.000 Memoria Explicativa 2001	39
FIGURA 9. Afloramiento sector Santa Rosa Oeste (Vereda Playa Larga) X: 857787.8 Y: 1224526.55. Muestras de mano colectadas en campo a.) Tonalita fresca aspecto del tamaño y textura de la roca M-11 b.) Tonalita alterada por efectos de meteorización M-14. Tomada E-W.	42
FIGURA 10. Afloramiento La Cantera parte Oeste de la zona de estudio X: 854689 Y: 1225042, donde se observa una zona de cizalla asociada a la zona ductil-frágil. Presentando un fuerte estrechamiento hacia arriba de la figura, con una dirección E-W, también se observan pequeños micropliegues en donde se observa un plegamiento debido a que el líquido que rodea las partículas se ordena estas rocas son a alta temperatura.	44
FIGURA 11. Mapa Geológico área de estudio a escala 1:250000 en los cuales se indica la localización de las muestras objeto de estudio con análisis químicos y petrográficos.	46
FIGURA 12. Aspecto petrográfico de la muestra MSD-1 a) En NII. b) En NX; presencia de 2 generaciones de Biotitas (Bt) en dos direcciones; Bt, Plagioclasa; Pl, y Cuarzo; Qtz. MSD-2 c) En NII. d) En NX; cristales de hornblenda, presencia de óxidos de hierro leucóxeno Lc, fracturas que están siendo llenados por cuarzo (Qtz 1), y presencia de cristales de cuarzo (Qtz 2). MSD-3 características petrográficas e) En NII. f) En NX; Presencia de Plagioclasas; Pl., Cuarzo 1; Qtz 1 evidencia de fracturado, Cuarzo 2; Qtz 2 presencia de vetilla de Cuarzo. MSD-4 aspectos petrográficos g) En NII. h) En NX. Presencia de fenocristales de hornblenda; (Hbl) exfoliación en dos direcciones, 120°, Plagioclasa alterándose a sericita; Ser.	47
FIGURA 13. Características petrográficas de la muestra MSD-6 a) En NII. b) En NX; presencia de Cuarzo; Qtz, Plagioclasa; Pl., Hornblenda; Hbl, y Rutilo; Ru.	50
FIGURA 14. Composición inequigranular de la muestra MSD-9 a) En NII. b) En NX; Cuarzo; Qtz, Plagioclasa; Pl, Ortoclasa; Or.	52

- FIGURA 15. Características petrográficas, de la muestra MSD-8 a) En NII. b) En NX; presencia de Pumpellyita; Pmp, Prehnita; Prh, Hornblenda; Hbl con una leve orientación. MSD-10 c) En NII. d) En NX; en esta muestra se presenta la hornblenda alterándose a clorita y una orientación de las biotitas; Bt. 55
- FIGURA 16. Características petrográficas de la muestra, MSD-5 a) En NII. b) En NX; presentándose la deformación de la Hornblenda; Hbl, la Plagioclasa; Pl. alterándose a Sericita; Ser, Cuarzo; Qtz. MSD-7 c) En NII. d) En NX; se muestra los pequeños cristales de Biotita; Bt distribuida en toda la matriz, y Muscovita; Ms. 58
- FIGURA 17. Clasificación química y nomenclatura de rocas ígneas, usando el diagrama de proyección de los álcalis Vs sílice (TAS). A) diagrama para rocas volcánicas. Según Le Maitre (1989). B) diagrama de rocas plutónicas. Según Rollinson (1993). La línea gruesa subdivide las rocas alcalinas (parte superior) y subalcalinas (parte inferior). 67
- FIGURA 18. Clasificación de las rocas plutónicas usando los parámetros R1 y R2, (Roche et al., 1980), a partir del cálculo de las proporciones milicatiónicas $R1 = 4Si - 11 (Na + K) - 2 (Fe + Ti)$; $R2 = 6Ca + 2Mg + Al$. 68
- FIGURA 19. Diagrama de caracterización del magma (oxidante o reductor) 69
- FIGURA 20. Subdivisión de las rocas ígneas en series magmáticas (línea gruesa). Según Irvine y Baragar (1971), apoyado en el diagrama de proyección de los álcalis versus sílice. 71
- FIGURA 21. Diagrama de distinción entre la serie toleítica y calco-alcalina. Irvine y Baragar (1971). 71
- FIGURA 22. Subdivisión de las rocas subalcalinas, usando el diagrama de proyección K_2O versus SiO_2 . Las bandas grises son los campos en los cuales caen los límites entre series. Irvine y Baragar (1971), modificado de Rollinson (1993). 72
- FIGURA 23. Diagramas de variación de Harker óxidos vs SiO_2 para tonalitas, cuarzodioritas, granodioritas y dacitas presentes en la zona de estudio. 74

FIGURA 24. Elementos traza normalizados respecto al condrito (C1) de Sun and MacDonough (1989).	78
FIGURA 25. Elementos trazas normalizados al manto primitivo. Según McDonough (1992).	79
FIGURA 26. Diagramas Nb vs Y, Rb vs Y + Nb, propuesto por Pearce <i>et al.</i> , (1984) usados para la discriminación del ambiente tectónico de formación de las muestras.	80

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Características climáticas del Municipio de Santa Rosa de Osos.	29
TABLA 2. Clasificación petrográfica de las muestras recolectadas.	45
TABLA 3. Relación de las muestras a las cuales se les realizo análisis geoquímicos y su localización geográfica.	62
TABLA 4. Análisis químicos de roca total por el método ICP.	62
TABLA 5. Relación de índice químico de meteorización (CIA), de las rocas estudiadas.	63
TABLA 6. Clasificación de rocas ígneas de acuerdo a la concentración de sílice expresada en % en peso.	64
TABLA 7. Clasificación de las rocas de acuerdo al índice de saturación de alúmina.	64
TABLA 8. Composición normativa de las muestras analizadas	65
TABLA 9. Análisis químico de los elementos trazas y tierras raras en ppm.	76

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXOS A. Catalogo petrografico	89
ANEXOS B. Catalogo macroscopico	111

RESUMEN

TITULO: PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA DEL BATOLITO ANTIOQUEÑO EN UN SECTOR DEL MUNICIPIO SANTA ROSA DE OSOS, ANTIOQUIA.

AUTORES: JUDY JULIANA ALMEIDA ESPINOSA
FERNANDO VILLAMIZAR RAMIREZ**

PALABRAS CLAVES: Geoquímica, Petrografía, Dacitas.

Este documento es el resultado de un trabajo de grado “Modalidad Investigación”, desarrollado en áreas puntuales del municipio de Santa Rosa de Osos, en las cuales se estudiaron algunas manifestaciones de rocas plutónicas, volcánicas y metamórficas, sobre las cuales existe poca información geológica. En el área de estudio se reconocieron litologías tipo Tonalitas, Cuarzodioritas, Granodioritas cortando rocas del Batolito Antioqueño.

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 ICP- masas, petrografía de láminas delgadas y diagramas geoquímicos establecidos para tal fin, como son los diagramas de variación de Harker, diagramas triangulares y diagramas multielemento. El estudio geoquímico de las rocas graníticas en los tres sectores, permitió establecer su afinidad calco-alkalina alta en potasio, lo cual apunta a un ambiente de formación de estas litologías en un contexto de subducción de margen continental activo (granitos de arco Volcánico, según la relación Rb Vs Y+Nb).

Como resultado final, las rocas Las rocas granodioritas, tonalitas, y cuarzodioritas del batolito antioqueño hace parte del ciclo de actividad magmática del Cretácico tardío en Colombia relacionado a un proceso de subducción que permitió la generación del magma a partir del cual cristalizaron este cuerpo y plutones relacionados. La composición química y mineralógica original de las rocas y su ambiente de formación controlan los contenidos y distribución de los elementos de tierras raras, por lo que diferentes tipos de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas tendrán comportamientos distintos de dichos elementos.

* Proyecto de grado

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Carlos Alberto García Ramírez, Geólogo Ph.D. Codirector: Milton Reinoso Mena. Ingeniero Geólogo

ABSTRACT

TITLE: PETROLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE BATHOLITH ANTIOQUEÑO IN A SECTOR OF THE MUNICIPALITY SANTA ROSA DE OSOS, ANTIOQUIA*

AUTHORS: JUDY JULIANA ALMEIDA ESPINOSA
FERNANDO VILLAMIZAR RAMIREZ**

KEYWORD: Petrographic, geochemistry, dacite.

This document is the result of a "research project degree" developed in specific areas of the municipality of Santa Rosa de Osos, where some manifestations of plutonic, volcanic and metamorphic rocks were studied, on which not have much geological information. In the study area was recognized lithologies type Tonalites, Quartzdiorites, Graindiorites cutting rocks of the Antioquia's Batholith.

The overall objective 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 ICP-mass, thin section petrographic and geochemical diagrams established for that purpose, such as Harker variation diagrams, triangular diagrams and multi-element diagrams. The geochemical study of granitic rocks in the three sectors, allowed to set calc-alkaline affinity high in potassium, which points to an environment of formation of these lithologies in a context of active subduction of continental margin (volcanic arc granites, according with the ratio Rb Vs Y Nb).

The results shows that Graindiorites, Tonalites and Quartzdiorites rocks of the Antioquia's Batholith are part of the cycle of magmatic activity of the Late Cretaceous in Colombia, related to a subduction process that allowed the generation of the magma from which this body and plutons related was crystallized. The original chemical and mineralogical composition of the rocks and their formation environment, control the content and distribution of rare earth's elements, so that different types of igneous, sedimentary and metamorphic rocks have different behaviors of these elements.

* Draft grade

** Physicochemical Faculty of Engineering. School of Geology. Director: Carlos Alberto Garcia Ramirez, Ph.D. Geologist Co-Director: Milton Reinoso Mena. Geological Engineering

INTRODUCCION

En este trabajo de grado, se presentan los resultados petrográficos y geoquímicos en el área de Santa Rosa De Osos y sus veredas aledañas (Malambo, Playa Larga, Yaruma), Departamento de Antioquia, el cual actualmente está siendo objeto de trabajos de exploración para metales preciosos, (oro y plata), por parte de la empresa Red Eagle Mining. El área de estudio está dominada por rocas que constituyen el Batolito Antioqueño y que corresponden a tonalitas, granitos y granodioritas. El propósito del mapeo es definir las distintas unidades litológicas y las características estructurales y texturales que permitan orientar los trabajos de exploración minera. Por otra parte, mediante el conocimiento de la relación en campo de las distintas rocas que componen el Batolito Antioqueño, se pueden precisar e interpretar mejor los datos geoquímicos así como el modelo del depósito en el cual se está trabajando por parte de la empresa.

Las rocas del Batolito Antioqueño constituyen el núcleo de la Cordillera Central en el Departamento de Antioquia. Esta caracterizado por su uniformidad petrográfica. La facies normal que tienen una composición entre tonalita y granodiorita presenta como facies subordinadas una félsica y otra gabroide. Las rocas de la facies normal son macizas, de tamaño de grano medio a grueso, hipidiomórficas equigranulares de color moteado, con textura sal y pimienta, y están compuestas por cuarzo, feldespato alcalino, hornblenda, biotita y minerales accesorios como apatito, magnetita y circón. Las rocas aflorantes en la zona de estudio corresponden a granodiorita, tonalita y granito presentan una meteorización pervasiva de color café- amarillo y localmente rojo, muestran una débil alteración argilica, y encajan vetillas de cuarzo-manganeso-limonita y hematita con una dirección predominante este oeste y espesor de 2 a 5 cm.

Este trabajo de grado modalidad investigación se realizó gracias a un convenio entre la Universidad Industrial de Santander (UIS) y la compañía minera Red Eagle Mining (REM).

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar las rocas del Batolito Antioqueño en el sector de Santa Rosa de Osos, para conocer los rasgos faciales y sus rasgos tectónicos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis bibliográfico sobre la geología del área de estudio, en aras de contextualizar geológicamente el sector con presencia de rocas que constituyen el Batolito Antioqueño.
- 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.
- Reconocer y caracterizar las facies ígneas del Batolito Antioqueño; mediante muestreos superficiales y de labores mineras.
- Realizar el estudio petrográfico de variaciones faciales en el Batolito Antioqueño.
- Determinar las condiciones de formación de las rocas del Batolito Antioqueño, mediante geoquímica de elementos mayores, traza y tierras raras.

2. METODOLOGIA

Para la realización del presente estudio se contemplaron las siguientes actividades.

2.1 FASE CAMPO

Con base en la información disponible y los datos recolectados en reconocimientos preliminares de la zona de estudio se diseñó la fase de campo. En el que el mapeo se realizó a lo largo de Santa Rosa De Osos y sus veredas aledañas (Malambo, Playa Larga, Yaruma), Departamento de Antioquia. Las transversas se realizaron de tal manera que se pudiera observar la variación en las facies ígneas que conforman el Batolito Antioqueño. En cada estación se recolectó la información litológica, estructural y geomorfológica de las unidades de roca presentes. Estos estudios se acompañaron siempre de un muestreo de roca para la realización de los análisis petrográficos y geoquímicos.

La metodología del muestreo fue la siguiente:

2.1.1 Muestreo de Roca. Se colectaron muestras en túneles y afloramientos. Se establecieron dos tipos de muestreo: de canal y de panel.

El muestreo de canal se realizó, cuando se requirió cortar varias estructuras mineralizadas; este muestreo asumió como dimensiones el mismo ancho y longitud de las estructuras y la dirección de muestreo es perpendicular a la estructura.

El muestreo de panel se efectuó cuando la vena mantiene el espesor y la continuidad en sentido lateral. Este muestreo tuvo como dimensión un ancho el cual fue la longitud muestreada.

El procedimiento básico para la recolección y almacenamiento de la muestra fue:

- a. Contar con una bolsa debidamente marcada con el número de muestra.
- b. La roca muestreada debe pasar directamente de la pared de roca a la bolsa.
- c. Al ser sellada la bolsa se efectuó el envío al laboratorio Acme Analytical Laboratories Colombia S.A.S

2.2 FASE LABORATORIO

2.2.1 Descripción macroscópica de muestras. La descripción de las muestras de mano se desarrolló en el laboratorio de estereomicroscopía de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, utilizando un estereomicroscopio marca Nikon N1-150, modelo C-PS con el fin de describir las características texturales y composicionales de las muestras recolectadas en campo. A partir de la descripción se seleccionaron las muestras para la elaboración de las secciones delgadas.

2.2.2 Estudio Petrográfico. Se elaboraron 10 secciones delgadas para el estudio mineralógico-petrográfico. La descripción petrográfica fue realizada en el laboratorio de microscopía óptica, mediante el uso del microscopio de luz transmitida NIKON ECLIPSE E200, La práctica se llevó a cabo en las instalaciones de la Escuela de Geología en la Universidad Industrial de Santander, y las respectivas descripciones se encuentran en el catalogo petrográfico. El análisis modal de las secciones delgadas se realizó mediante el método de conteo

de 100 puntos. La clasificación de las rocas ígneas empleada es la propuesta por Streckeisen (1979).

2.2.3 Análisis Geoquímicos. Los análisis de elementos mayores, menores, y trazas fueron realizados en el laboratorio Acme Analytical Laboratories Colombia S.A.S, el cual se encuentra localizado en Sabaneta (Antioquia). Los métodos de análisis químico que se usaron fueron:

Roca total por el método ICP:

La abundancia total de los principales óxidos y varios elementos menores se presentan en 0.2 g de muestra analizada por espectrometría de emisión ICP mediante fusión con metaborato/tetraborato de litio y posterior disolución en ácido nítrico. La pérdida por ignición (LOI) es por la diferencia de peso después de la ignición a 1000 °C como adición está el análisis total de C y S por medio del método Leco en el que es utilizado una celda de termoconductibilidad para determinar el contenido de N₂ por comparación con una referencia de gas arrastre puro Helio.

Elementos traza totales por el método ICP-MS

El método consta de dos análisis, uno de tierras raras y otro de elementos refractarios son determinados por espectrometría de masas ICP mediante fusión de metaborato/tetraborato de litio y posterior disolución en ácido nítrico en los 0,2 g de muestra, además se separan 0.5 g que se digiere en agua regia y son analizadas con espectroscopia de masas ICP dando como resultado metales preciosos.

ICP-MS (Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo)

Es una técnica de análisis inorgánico que es capaz de determinar y cuantificar la mayoría de los elementos de la tabla periódica en un rango dinámico lineal de 8 órdenes de magnitud (-ng/l – mg/l).

Su principal característica es que posee unos límites de detección para la mayoría de los elementos de unas pocas ppb – ppt que la hace ideal para el análisis de elementos traza.

La muestra líquida es vaporizada e ionizada gracias a un plasma de Ar. Los iones una vez formados pasan al espectrómetro de masas donde son separados mediante un analizador y detectados.

3. GENERALIDADES DEL ÁREA DE TRABAJO

3.1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio se encuentra localizada en el Batolito Antioqueño, el cual aflora en la parte axial de la Cordillera Central y cubre un área de 7.800 km². La zona de estudio está localizada en el Municipio Santa Rosa de Osos, cubriendo gran parte del área Yarumal, y las veredas Playa Larga y Malambo. Dentro del rectángulo formado por las coordenadas aproximadas:

X1= 852000

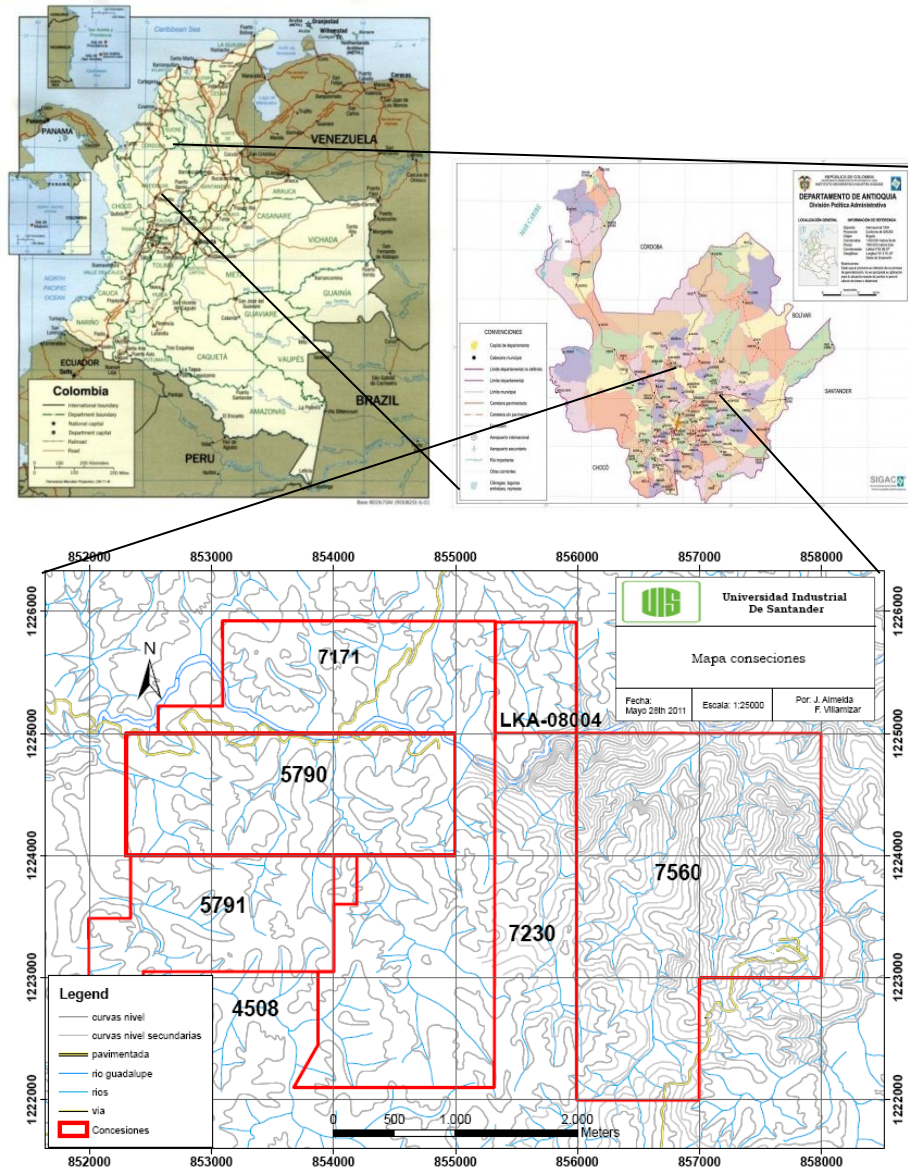
X2= 858000

Y1= 1222000

Y2= 1226000

El área de estudio se encuentra condicionada por la presencia de rocas aflorantes del Batolito Antioqueño dado que son el objeto de esta investigación, dentro de las coordenadas anteriormente mencionadas.

FIGURA 1 Localización del área de estudio



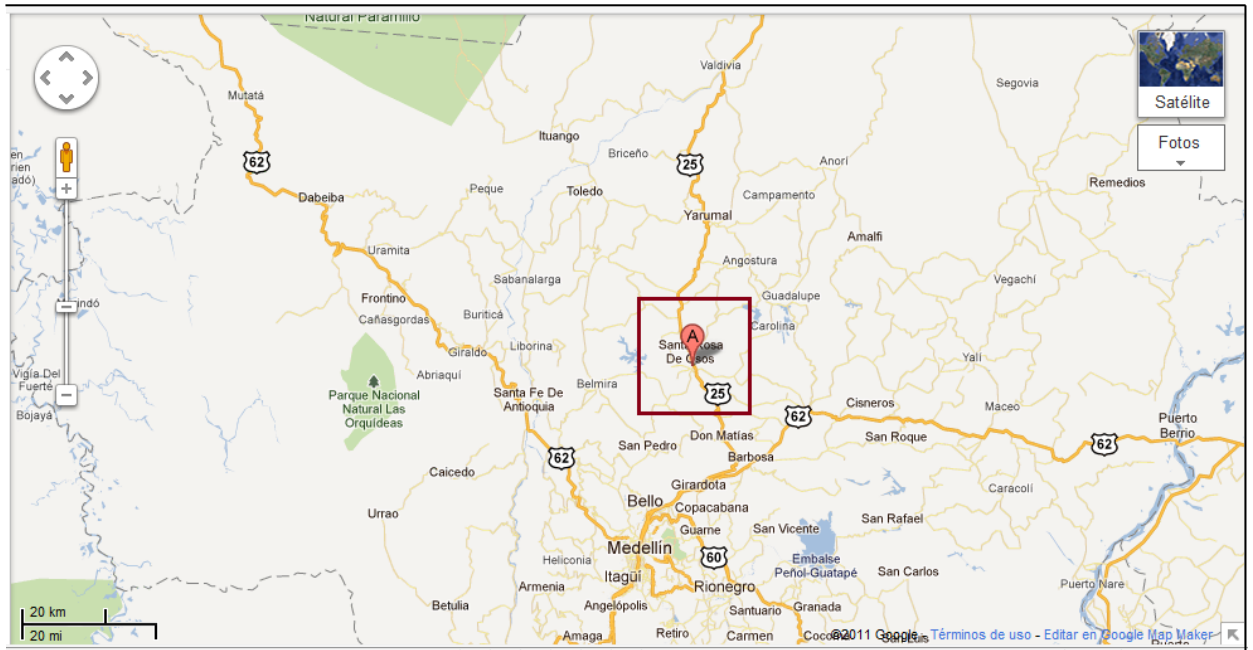
Fuente Tomado de www.ingehominas.gov.co Información Geológica (Cuadrángulos, Departamentales Planchas 100.000, Proyectos Especiales)

3.2 VIAS DE ACCESO

Para llegar al área de estudio se toma la vía Medellín-Santa Rosa de Osos, pasando por los municipios Bello, Copacabana, Girardota, Barbosa y Don Matías. Además de esta vía, en el área existen muchos caminos de herradura hacia los

municipios circunvecinos y a los corregimientos y veredas aledañas (Playa Larga y Malambo).

FIGURA 2. Vías principales con señalización al Municipio Santa Rosa de Osos.



Fuente: Google Maps, <http://maps.google.es/>

3.3 CLIMA Y VEGETACIÓN

La superficie de Santa Rosa es de 800 Km², está situada la cabecera a 2640 m.s.n.m. De acuerdo con las características climáticas, el Municipio de Santa Rosa de Osos se encuentra en los pisos térmicos frío para la zona del altiplano y medio para la zona de vertiente.

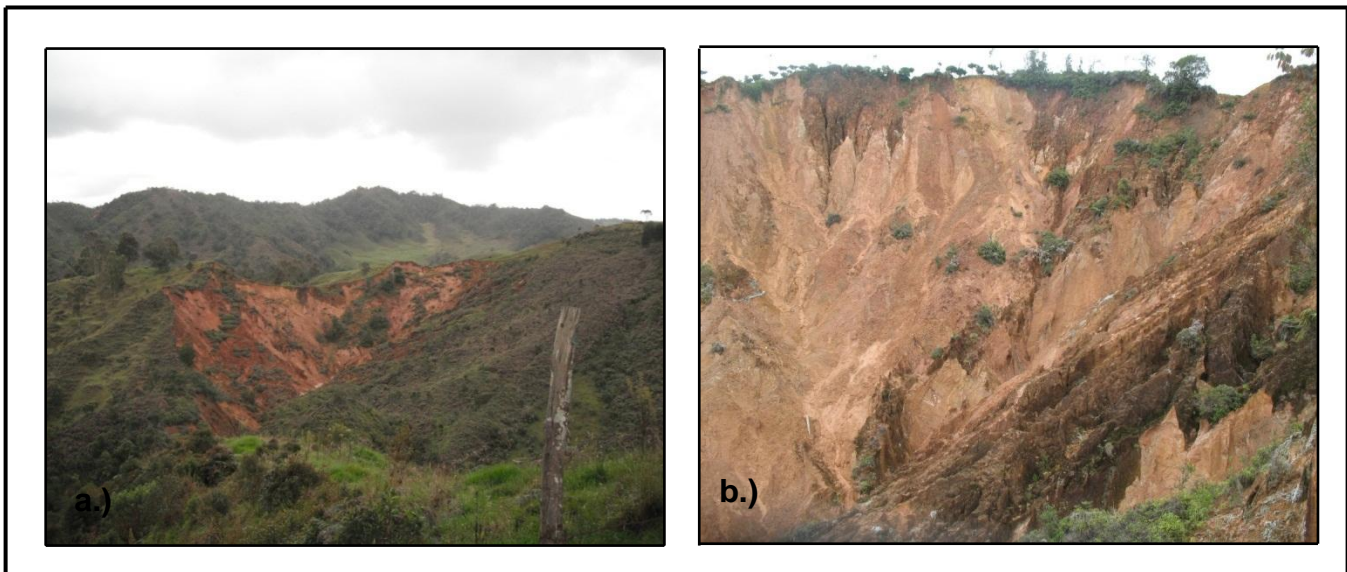
TABLA 1. Características climáticas del Municipio de Santa Rosa de Osos.

Piso Térmico	Altura (m.s.n.m)	Temperatura °C
Medio (premontano)	1000-2000	18 -24
Frio (montano bajo)	2000-3000	12-18

Se presenta un relieve con colinas suaves, y redondeadas, como topografía dominante. El drenaje es subparalelo sin corrientes de agua con grandes caudales ni cauces torrenciales; además en la zona de estudio se presentan grandes escarpes provocados por la explotación minera artesanal, lo que permite asegurar que en los últimos 10 años la dinámica erosiva de estos taludes presentan pendientes muy bajas.

En la zona tanto oeste como este del área de estudio se encuentran vertientes de roca que corta el terreno abruptamente, con pendientes mayores a 45° , denominados como Baticiones.

FIGURA 3. Vertientes de roca cortando el terreno abruptamente con pendientes mayores a 45° , a.) Cañada Rica localizada en el sector oeste del área de estudio. Dirección foto E-W. b.) Floro localizada en el sector este del área de estudio. Dirección foto E-W.



4. ANTECEDENTES

Los primeros estudios geológicos reportados para el área de estudio datan de 1965 (Rico *et al.* 1965). Estos estudios se realizaron en el sector de Santa Rosa de Osos, en un área de 3.000 km², en el cual los procesos diversos de meteorización se encuentran muy acentuados en la zona debido a la situación especial de la región en zona tropical y la composición feldespática de las rocas dominantes. Se reportan rocas ígneas y metamórficas, las cuales se agruparon de la siguiente forma:

- Metasedimentos: rocas de origen marino que por metamorfismo regional y de contacto se han convertido en cuarcitas, mármoles, neises, micacitas y filitas.
- Ortoanfibilitas: intrusivas en los metasedimentos, son intruidas por el batolito.
- Inyecciones ultrabásicas de peridotitas: en dos diques paralelos que se intruyen en las ortoanfibilitas.
- Intrusión batolítica: cubre la mayoría del área.
- Gabros de contacto: son el resultado de la asimilación de la orto anfibolita por la roca plutónica.
- Sedimentos del Terciario, (Terciario Superior)
- Aluviones y taludes, (Pleistoceno)

Estudios geológicos y geotécnicos realizados por Beltrán *et al.* En (1994) consistieron en una caracterización de suelos mediante ensayos de compresión triaxial, compresión simple, límites de Atterberg, gravedad específica, los cuales determinaron que el suelo limo arenoso que predomina en el área tiene buena capacidad de soporte y presenta las mismas condiciones de plasticidad y gravedad específica.

Botero (1963), Pérez (1967) y Feininger *et al* 1972 le asignan al Batolito Antioqueño una edad entre 68 y 80 Ma por el método K-Ar en biotitas; por el método Rb-Sr en biotitas Fujiyoshi *et al* (1976) obtienen una edad entre 58 a 68 Ma; Restrepo *et al*, en Toussaint, 1996 lo datan por una técnica sin identificar con una edad de $90 \pm 5,6$ Ma; Paucar & Sáenz (1995), por huellas de fisión en circones obtienen una edad comprendida entre 49.4 y 67.1 Ma; Ordoñez *et al* (2001) en Ordoñez *et al* (2008), obtienen una edad de 98 ± 27 Ma con la técnica Isócronas Rb-Sr y finalmente Ordoñez *et al* (2008) obtienen las edades de 84 ± 2 Ma y 76 ± 2 Ma sobre circones con el método U-Pb convencional.

Estudios sobre la erosión y exhumación a largo plazo del Altiplano Antioqueño por medio de termocronología del apatito (U-Th)/He realizados por Restrepo, *et al*. (2007) revela que hay dos eventos de exhumación que coinciden con la orogenia preandina y son sincronizados con la tectónica impulsada por eventos de exhumación reportados en Perú, Bolivia y los Andes argentinos, los cuales se correlacionan con las variaciones en las tasas de convergencia entre las placas de Nazca y Suramérica documentado para el Eoceno Medio y Oligoceno. Termocronometría del apatito usando (U-Th)/He este dato proporciona una tasa de erosión promedio de $\sim 0,04$ mm/año durante los últimos 25 millones de años. Las tasas de erosión durante los pulsos de exhumación son en el orden de 0.2-0.4 mm/año. La similitud entre los perfiles de la termocronometría del Apatito (U-Th)/He indica que el conjunto del Altiplano Antioqueño fue elevado y exhumado como un bloque estructural, lo que corrobora la evidencia estructural de rigidez y la coherencia de este bloque de la corteza en los andes del norte. Estos resultados concuerdan con datos tectonoestratigráficos en las cuencas Magdalena y Cauca y con los escenarios propuestos para la paleogeografía y la evolución en los Andes del Norte. Reyes, J.P., Rueda, M.C., Gómez, P.D., Mantilla, M., 2002.

Arias y Gonzales (2007) se enfocaron en la morfología del altiplano en Santa Rosa de Osos destacando que el relieve de la Cordillera Central en Antioquia consiste en un sistema escalonado de altiplanos localizados en el eje de la cordillera. Dentro del altiplano, es persistente la presencia de una estructura escalonada de geoformas de naturaleza y extensión muy diversas; esta estructura se repite para unidades mórficas inscritas en la escala de 10^3 Km^2 hasta aquellas inscritas en la escala de 10^{-1} Km^2 . Esta persistencia expresa la importancia de los levantamientos tectónicos, pasados y recientes, como condicionamientos estructurales para el despliegue de las trayectorias de evolución del relieve. La diversidad mórfica del Altiplano de Santa Rosa de Osos expresa, a nivel de hipótesis, la existencia de un registro geomorfológico que abarca todo el Cuaternario y una parte considerable del Terciario. La morfología truncada del eje de la cordillera posiblemente es un testimonio de las fases tempranas de su levantamiento.

En el estudio sobre la geocronología, geoquímica y la evolución tectónica de las cordilleras Occidental y Central de Colombia. Realizado por Villagómez (2011) se realizaron dataciones en zircones U-Pb se complementan por cristalización multifase $40 \text{ Ar}/39\text{Ar}$ y edades tempranas. Estos datos geocronológicos, fueron combinados con todos los óxidos mayores de la roca, elementos trazas y REE, los cuales fueron adquiridos de las unidades de roca y terrenos expuestos en las cordilleras Occidental, y Central de Colombia.

El magmatismo del arco continental durante 180 a 145 Ma es preservado a lo largo de toda la longitud de la Cordillera Central y fue seguido por el Cretácico Temprano. La deriva rápida hacia el oeste cerró la cuenca Quebrada grande en el Aptiano Tardío y formó rocas metamórficas a P-T medias a altas en el complejo Arquia el cual se exhumó y produjo una obducción en la margen continental. La cuenca oceánica remanente situada entre América del Sur y la gran provincia ígnea del Caribe en parte consumida por la subducción continental, formando el Batolito Antioqueño.

5. MARCO GEOLOGICO

5.1 ESTRATIGRAFIA

En la zona de estudio afloran rocas del Batolito Antioqueño y Metasedimentos (Pms) pertenecientes al Grupo Ayurá Montebello aflora hacia el centro del área de estudio A continuación se presentan las características de estas litologías.

5.1.1 Batolito Antioqueño (Kt). Comprende un área aproximada de 7.221 Km² y sus cuerpos satélites 322 Km², en el centro y parte oriental del Departamento de Antioquia (Feininger y Botero, 1982). **El área de estudio** corresponde a un 90% del Batolito Antioqueño. La composición mineralógica en el área de estudio es relativamente homogénea con un promedio de 56% de plagioclasa (andesina), 6% de ortoclasa, 18% de cuarzo, 11% de biotita y 9% de hornblenda Botero (1982); Alvarez (1983), Gonzales (1993d). La clasificación de las muestras según los análisis conocidos hasta el momento varía entre tonalitas 55%, granodioritas 37%, y dioritas 4%. El batolito es intrusivo en todas las formaciones que lo limitan exceptuando el Terciario carbonífero y los posteriores. La estructura interna es simple, homogénea y maciza y sólo localmente se encuentra una débil lineación de enclaves con contacto netos producidas por flujo magmático. Los contactos agudos y discordantes y la falta de foliación son característicos de los batolitos intruidos en la epizona (Buddington 1959).

FIGURA 4. Floro en el sector Santa Rosa este, caracterizado por la presencia de vetillo de óxido de Manganeso a manera de stockwork. Dirección de azimuth 220/60° NW. Dirección foto E-W.

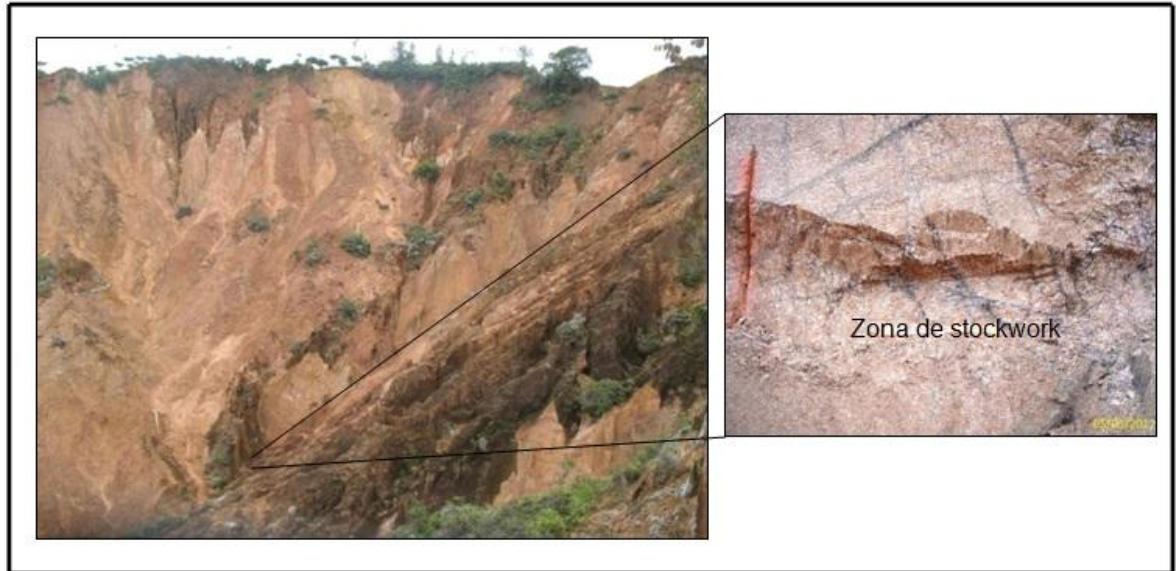
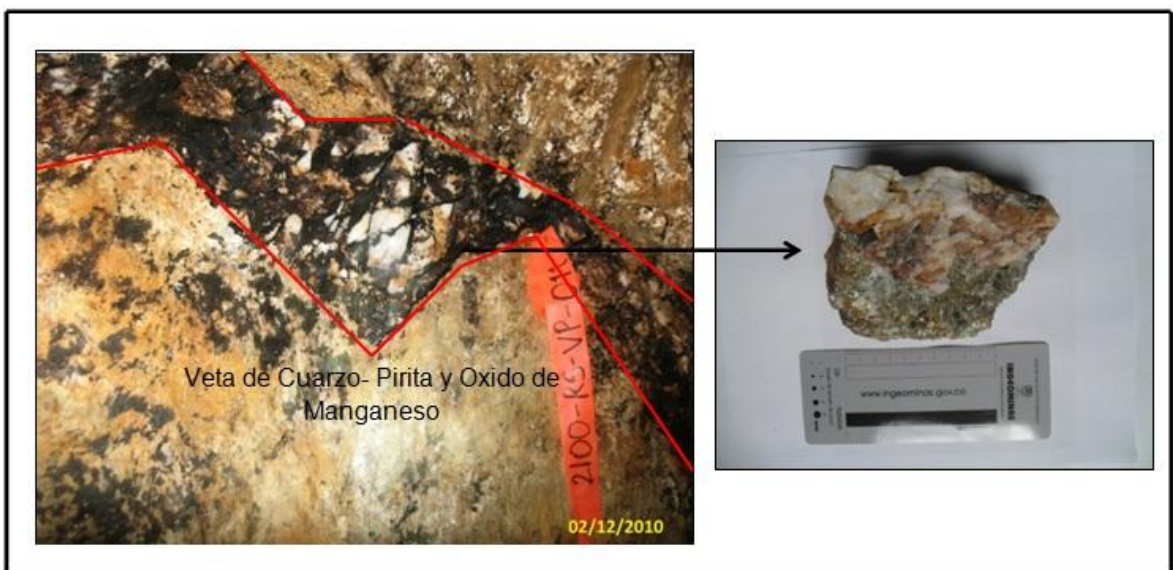


FIGURA 5. Foto localizada en Túnel existente Nahur 5 sector este X: 854359.52 Y: 1223705.65. Nótese la presencia de una veta de Cuarzo, pirita oxido de manganeso y esfalerita, 20 cm de espesor dirección de azimuth 100/54 SW. Dirección foto E-W.

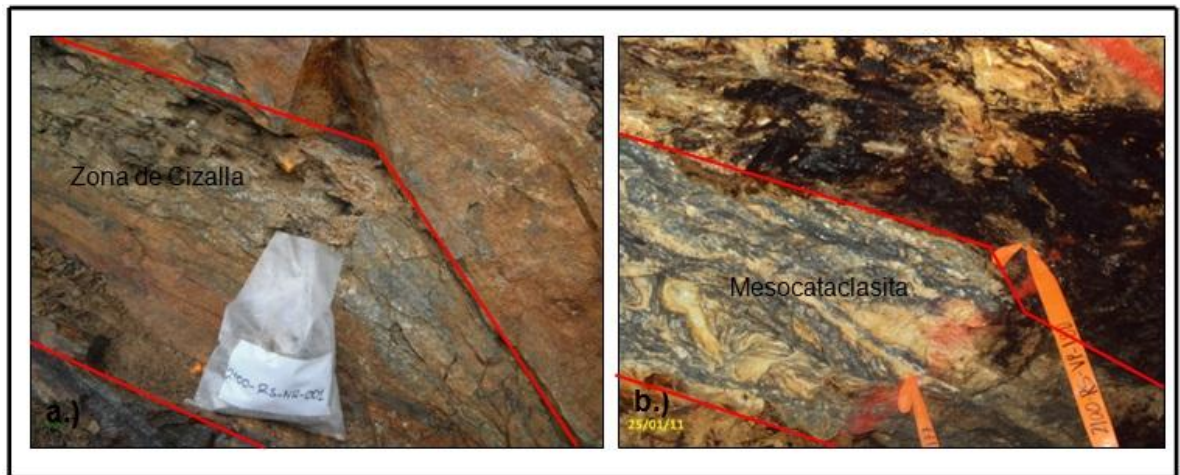


5.1.2 Grupo Ayurá Montebello

Metasedimentos (Pms).

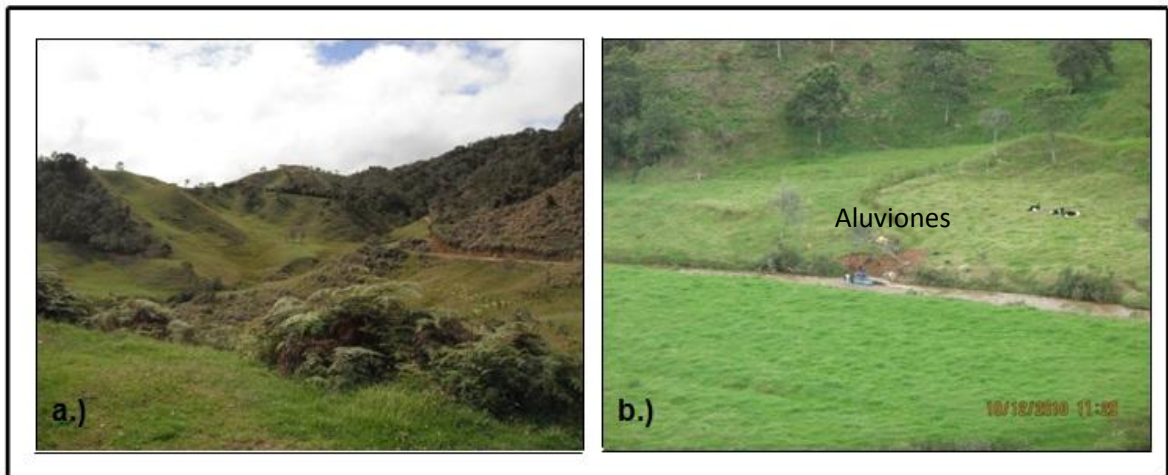
Comprende los neises micáceos, micacitas, filitas y cuarcitas que se concentran principalmente en el extremo suroccidental de Antioquia, siguiendo una dirección general N 30° W. Es la formación geológica más antigua aflorante en el área y se le asigna una edad Paleozoico mediante correlación litológica con los metasedimentos Ordovicianos de la parte oriental de Antioquia. Los minerales dominantes son: cuarzo, biotita, moscovita y plagioclasa de composición media.

FIGURA 6. Las respectivas fotos indican zonas de cizalla mostrando una leve actividad tectónica a.) Foto de afloramiento la Cantera sector oeste X: 854689 Y: 1225042, correspondiente a una zona de deformación generada bajo condiciones dúctiles. Dirección foto E-W. b.) foto localizada en el Túnel Azul sector este X: 856336.75 Y: 1223235.28, presencia de una roca Mesocataclasita con un azimuth 310/35 NE, dirección foto S-E.



5.1.3 Aluviones (Qal). Cubren los valles de los ríos Medellín, Negro, Chico y Guadalupe. Los aluviones más antiguos o terrazas son comunes al sur de Medellín. Los guijarros que los forman son especialmente de cuarzo, rocas ígneas y metamórficas de las localidades vecinas. Se les ha asignado una edad: Plio-Pleistoceno a Reciente. También se resalta la presencia de capas de cenizas volcánicas que siguen claramente la topografía del terreno las cuales son comunes en los altiplanos del oriente y Santa Rosa, donde la morfología preexistente ha favorecido su acumulación y su posterior conservación.

FIGURA 7. Presencia de Aluviones en el sector de Santa Rosa de Osos, a.) Panorámica sector oeste mostrando la respectiva unidad b.) Río Guadalupe cerca de una zona de aluvión, 300m al W del pueblo Playa Larga. Tomada en dirección E-W sector oeste, vía Playa Larga.



6. TECTÓNICA

La orogenia de los Andes del Norte está definida principalmente por la colisión de terrenos alóctonos y las interacciones entre varias placas tectónicas (Taboada et al. 2000. Cortés y Angelier, 2005). Esto ha dado lugar a una deformación heterogénea en comparación con los Andes Centrales (Taboada et al. 2000. Trenkamp et al. 2002. Coates et al, 2004. Cortés y Angelier, 2005). La mayoría de autores coinciden en que la historia tectónica regional ha estado dominada por la subducción de dos placas oceánicas, Nazca y el Caribe.

El Departamento de Antioquia está enmarcado dentro de dos grandes sistemas de fallas aproximadamente perpendiculares entre sí; el primer sistema está representado por las fallas de Palestina y Mulato al Este y Cauca-Romeral al Oeste con dirección NNE-SSW y NE- SW, las cuales coinciden con las direcciones generales de los sistemas tectónicos de la cadena andina (PAGE, 1986; TOUSSAINT et al., 1987). El segundo sistema tiene dirección aproximada NW – SE a E- W y está constituido por los fallas Monteloro, Nare, Nus, Caldera, Balseadero y El Bizcocho.

Con respecto al área de estudio se encuentran veta-falla que implican un desplazamiento por cizalla, observándose dilatación sólo en la curvatura de la fractura. Estas vetas exhiben estriaciones, fibras minerales orientadas paralelas al plano de cizalla. Se observa la saprolita de la roca granodiorita, con una pervasiva meteorización de color café-amarillo, localmente rojo, en algunas lugares se observa una débil alteración argílica, la mayoría de esta roca presenta vetillas de cuarzo-manganeso-limonita-hematita de un espesor de 2 a 5cm con una dirección predominante Este Oeste.

7. EVOLUCION GEOLOGICA

La evolución geológica se enmarca dentro de la cadena andina y en especial de su sección septentrional caracterizada por 3 ramales (cordilleras) separadas entre sí por valles intermontanos, de los cuales las cordilleras central y occidental, constituyen geológica y geográficamente el departamento.

El Batolito Antioqueño intruye la Formación San Pablo y el Gabro de Yarumal del Cretácico Inferior (Hall et al. 1972), las sedimentitas del Aptiano – Albiano en San Luis (Feininger et al., 1972), la Dunita de Medellín del Cretácico Inferior (Toussaint,1996) y metamórfitas paleozoicas en el flanco este de la Cordillera Central (Feininger et al. 1972) y forma, en la mayoría de los casos, una amplia aureola de contacto(Figura 2). La relación de los contactos con las estructuras en las rocas adyacentes son discordantes y aun donde el rumbo del contacto del batolito y la foliación de las rocas encajantes coincide, la cartografía detallada muestra que los buzamientos son diferentes (Feininger et al. 1972).

Excluyendo las fallas de intrusión, muy poca deformación puede atribuirse a la intrusión del Batolito Antioqueño y, además, los plegamientos regionales en la roca encajante están más bien truncados que deflectados.

Excluyendo el borde sur donde intruye *shales* cretácicos, los contactos tienen buzamientos suaves o casi horizontales; esta interpretación se corrobora por el descenso uniforme y progresivo en la elevación, 20 a 30 m por kilómetro: en Yarumal, el techo está a 2.400msnm, cerca de Amalfi, 60 km al este está a 1.600 m; cerca de El Tigre, 30 km más al este, está a 1000 m; al este de Maceo está sólo a 600 msnm.

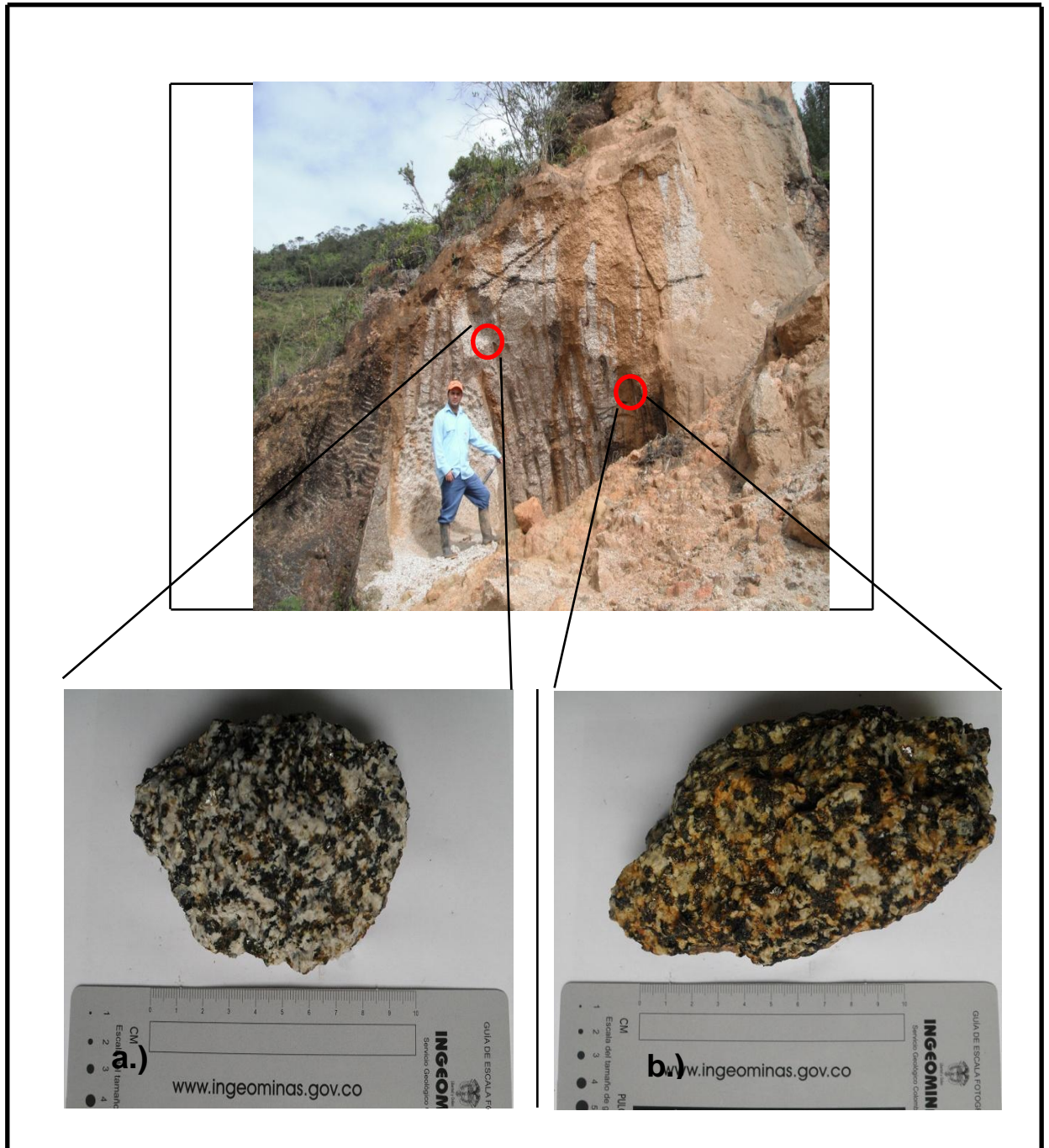
8. GEOLOGIA DEL BATOLITO ANTIOQUEÑO

8.1 RASGOS MACROSCOPICOS DE LAS ROCAS AFLORANTES EN EL BATOLITO ANTIOQUEÑO

El área de estudio se localiza en el sector de Santa Rosa de Osos, entre las veredas Playa Larga, Malambo y Yarumal, la geología del municipio de Santa Rosa de Osos tiene un constituyente fundamental que aporta la mayor parte del material que se observa al Batolito Antioqueño, Este cuerpo corresponde a Granodioritas, Tonalitas, Cuarzodioritas, diques Dacíticos, silificados, y la presencia de zona de fallas caracterizadas por rocas Mesocataclasita, la mayor parte de afloramientos pertenece a roca granodiorita con una pervasiva meteorización saprolita; óxidos de hierro (Limonita Hematita, Goetita). Vetilleos localmente tipo stockworks, de óxidos de Manganeso, vetas, vetillas asociadas a cuarzo, oxidos de hierro y pirita fresca emplazadas en las Granodioritas y Tonalitas. La mineralización posible se encuentran en estas estructuras cuarzo pirita manganeso, más óxidos de hierro.

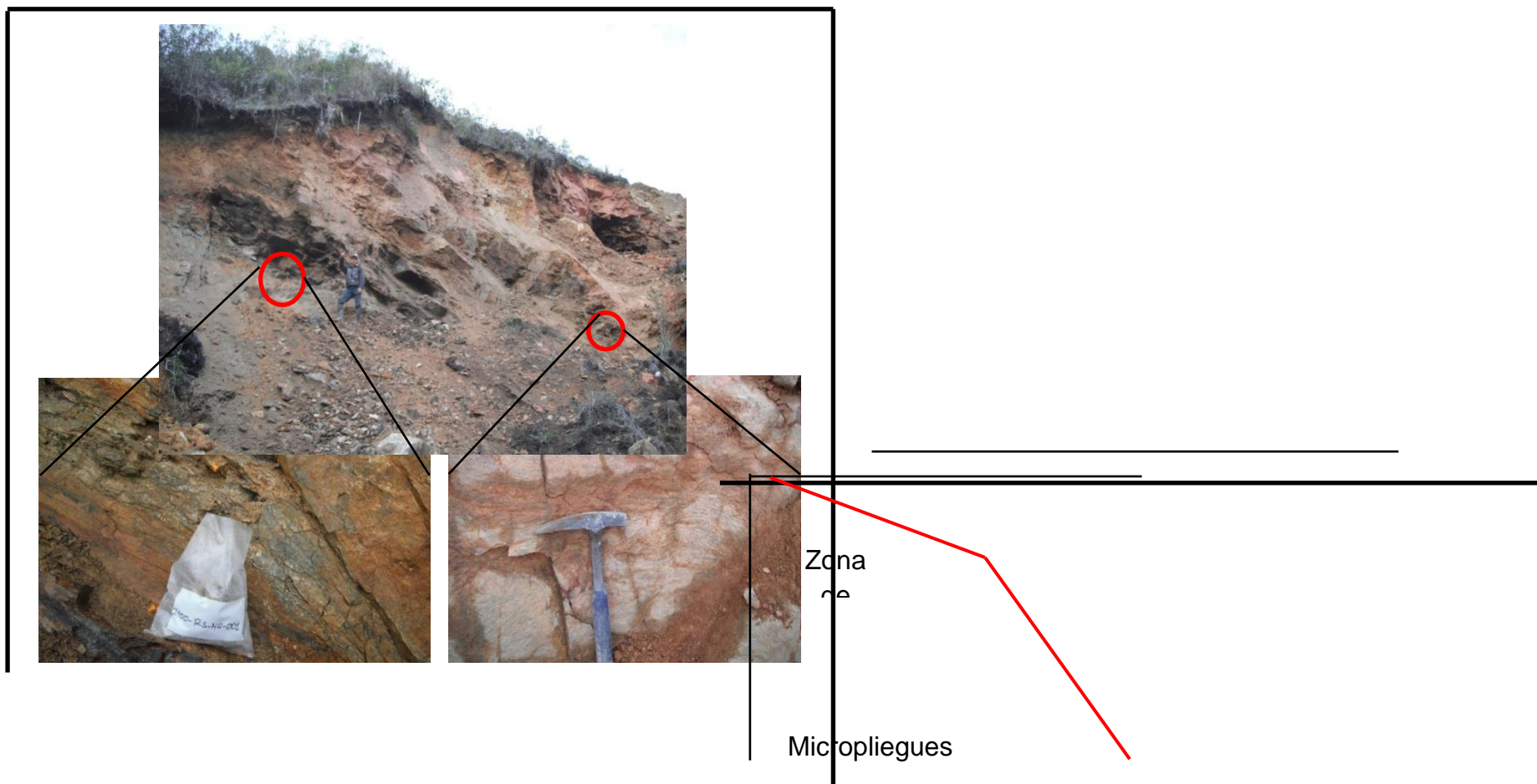
8.1.1 Tonalitas (Batolito Antioqueño). Se tomaron varias muestras representativas. Del análisis macroscópico de estas muestras se tiene que las tonalitas presentan un tamaño de grano grueso, composicionalmente se observa cuarzo de color blanco lechoso y brillo vítreo mate, plagioclasa que son de color gris claro y tienden a dar menos consistencia a la roca. Hornblenda presentando una tonalidad verde oscuro, y brillante. Biotitas de color negruzco, aspecto laminar y brillo vítreo como minerales principales; óxidos en pequeña cantidad de color café-naranja-rojizo. Estas muestras más que todos se encuentran en afloramientos tanto en la parte Este y Oeste de Playa Larga, y en túneles existentes.

FIGURA 9. Afloramiento sector Santa Rosa Oeste (Vereda Playa Larga) X: 857787.8 Y: 1224526.55. Muestras de mano colectadas en campo a.) Tonalita fresca aspecto del tamaño y textura de la roca M-11 b.) Tonalita alterada por efectos de meteorización M-14. Tomada E-W.



8.1.2 Mesocataclasitas. Estas rocas metamórficas son rocas de falla, cohesiva, la esquistosidad es ausente y en la matriz es mayor a más del 50% y menos del 90% del volumen de la roca. Estas rocas de falla se denominan mesocataclásticas a partir de un espesor ≥ 2 mm. En esta zona presentan un cuarzo muy fracturado y orientación de los minerales presentes. Estas rocas se presentan en toda el área de trabajo, como diques irregulares intercalados en el contacto y son posteriores al Batolito Antioqueño. Estas zonas de falla tienen espesores variables, entre 2 a 5 metros, y están caracterizadas por el desarrollo intensivo de estructuras de deformación frágil, especialmente superficies de fractura discretas.

FIGURA 10. Afloramiento La Cantera parte Oeste de la zona de estudio X: 854689 Y: 1225042, donde se observa una zona de cizalla asociada a la zona ductil-frágil. Presentando un fuerte estrechamiento hacia arriba de la figura, con una dirección E-W, también se observan pequeños microplegues en donde se observa un plegamiento debido a que el líquido que rodea las partículas se ordena estas rocas son a alta temperatura.



9. PETROGRAFÍA

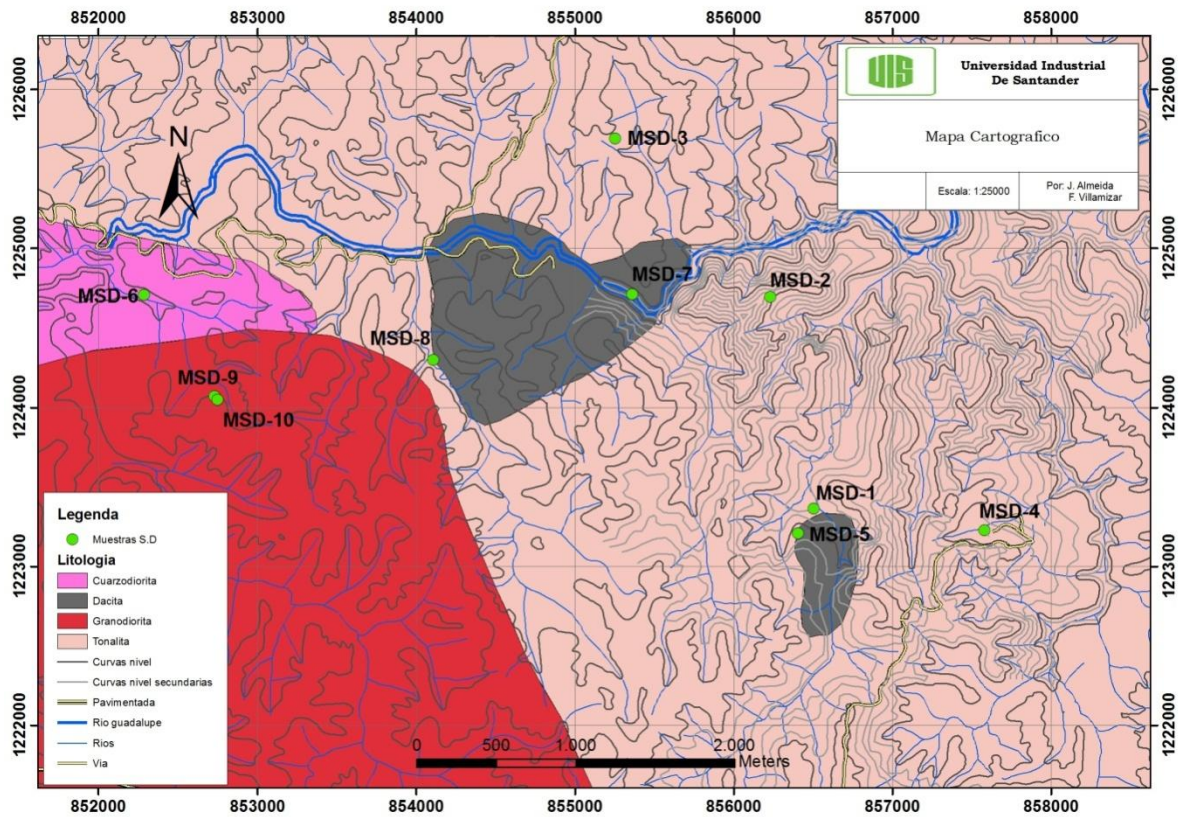
Se realizó el análisis petrográfico de 10 láminas delgadas (relacionadas en la TABLA 1), correspondiente a las muestras más representativas del área de estudio, con el fin de determinar las características texturales y mineralógicas de las rocas. El análisis modal se llevó a cabo mediante conteo de puntos, con un mínimo de 100 puntos.

TABLA 2. Clasificación petrográfica de las muestras recolectadas.

ROCA	MUESTRA	COORDENADAS	
		X	Y
Tonalita	MSD-1	856505	1223363
	MSD-2	856231	1224696
	MSD-3	855254	1225693
	MSD-4	857580	1223228
Cuarzodiorita	MSD-6	852287	1224710
Granodiorita	MSD-9	852731	1224071
Dacita	MSD-8	854109	1224302
	MSD-10	852751	1224050
Mesocataclasita	MSD-5	856405	1223208
	MSD-7	855361	1224713

A continuación se presentan los resultados del análisis microscópico, siguiendo el orden establecido en la tabla 2.

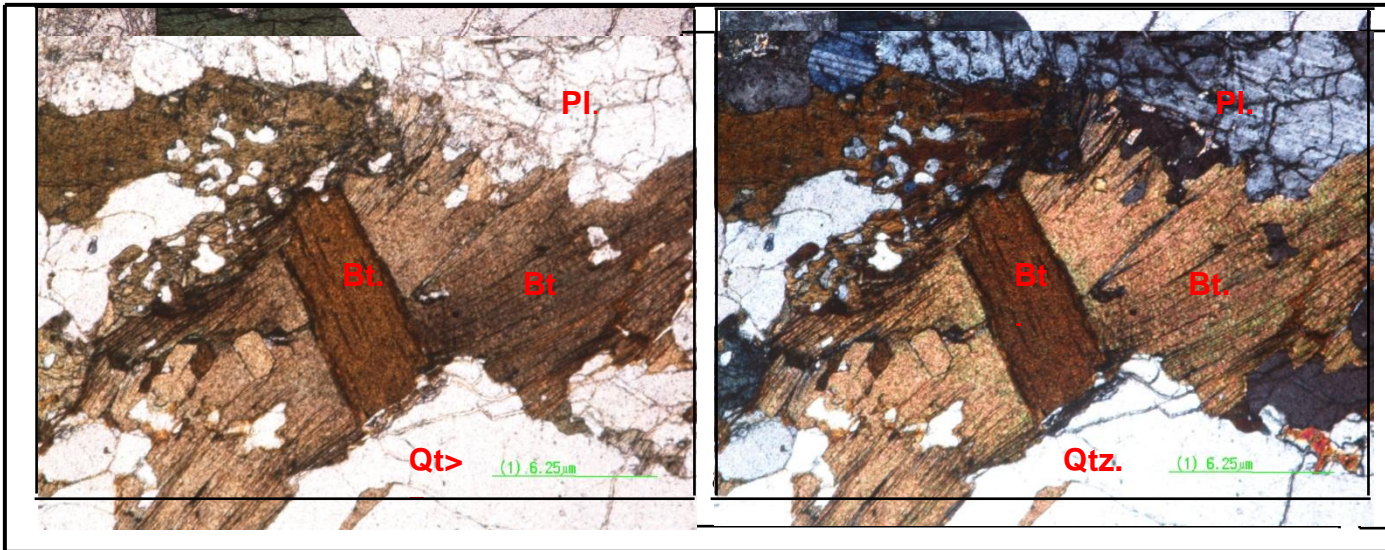
FIGURA 11. Mapa Geológico área de estudio a escala 1:250000 en los cuales se indica la localización de las muestras objeto de estudio con análisis químicos y petrográficos.



9.1 TONALITAS MUESTRAS (MSD-1, MSD-2, MSD-3, MSD-4)

Estas rocas presentan una textura fanerítica inequigranular con el tamaño de grano grueso en el que las formas cristalinas son predominantemente subhedrales, se diferencian las textura porfírica, kelíptica y fanerítica. Mineralógicamente se encuentra constituidas por plagioclasa que representa el mineral más abundante en todas las rocas, son de composición intermedia (sódico-cálcica), en los fenocristales se reconocen maclas polisintéticas tipo albita y tipo plagioclasa cálcica, predominando las cálcicas. Surge una zonación algunas se extinguen del centro hacia afuera y otras lo hacen de afuera hacia a dentro lo cual indica normalmente, un cambio en la composición del cristal que corresponde al hecho de que el fundido a partir del que se desarrolla el cristal también cambia de composición.

FIGURA 12. Aspecto petrográfico de la muestra MSD-1 a) En NII. b) En NX; presencia de 2 generaciones de Biotitas (Bt) en dos direcciones; Bt, Plagioclasa; Pl, y Cuarzo; Qtz. MSD-2 c) En NII. d) En NX; cristales de hornblenda, presencia de óxidos de hierro leucoxeno Lc, fracturas que están siendo llenados por cuarzo (Qtz 1), y presencia de cristales de cuarzo (Qtz 2). MSD-3 características petrográficas e) En NII. f) En NX; Presencia de Plagioclasas; Pl., Cuarzo 1; Qtz 1 evidencia de fracturado, Cuarzo 2; Qtz 2 presencia de vetilla de Cuarzo. MSD-4 aspectos petrográficos g) En NII. h) En NX. Presencia de fenocristales de hornblenda; (Hbl) exfoliación en dos direcciones, 120°, Plagioclasa alterándose a sericita; Ser.



e.

g.

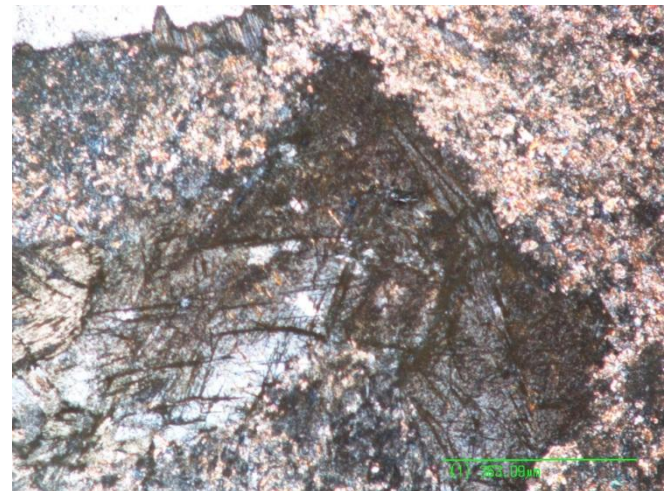


Composición Mineralógica

Ser

PLAGIOCLASA: se presenta individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, y formas subhedrales. Anisotrópico-biáxico de relieve bajo, exfoliación perfecta y tamaño de grano de medio a grueso (2.25 mm). Presenta maclado tipo Carlsbad. En la mayoría de ocasiones, los fenocristales de plagioclasa exhiben zonaciones concéntricas, algunas

se extinguen del centro hacia afuera y otras la hacen de afuera hacia a dentro. Esta homogéneamente distribuida por toda la placa. Alteración sericita débil a moderada en fracturas.



SERICITA: Agregado mineral producto de la alteración de la plagioclasa, es incolora con birrefringencia que varía entre rosados y amarillos de segundo orden. Anisotropico-biaxico de relieve bajo y tamaño de grano muy fino (0,05mm), se encuentra distribuida heterogéneamente en la placa; ha reemplazado casi en su totalidad a la plagioclasa. Además se presenta en ocasiones rellanando las fracturas.

CUARZO: Individuos incoloros, con birrefringencia que varía de grises de primer orden, de relieve bajo, con formas subhedrales a anhedrales. Anisotropico-

uniaxial de tamaño de grano medio (1,0mm -1,5mm), esta homogéneamente distribuido por toda la sección delgada, en ocasiones se observa fuertemente fracturado.

Hornblenda: Individuos de color pardo a verde medio, pleocróicos de birrefringencia de tercer orden, con formas anhedrales, bordes rectos e irregulares y variaciones de tamaño de grano fino a medio (0.7mm – 1,5 mm), la mayoría de individuos no presenta exfoliación, se encuentra distribuida heterogéneamente en la placa, alterándose del borde al centro a clorita.

Clorita: Individuos o agregados de color verde muy claro, de pleocroísmo débil, colores de birrefringencia que varía entre azules de segundo orden y grises de primer orden, anhedrales de tamaño de grano fino a medio (0.5mm – 2mm). Se encuentra heterogéneamente distribuida en la placa, presentándose como alteración de la biotita y la hornblenda desarrollándose de los bordes hacia al centro.

Biotita: Individuos hojosos de color marrón, pleocróicos, con exfoliación en una dirección y colores de birrefringencia el tercer orden. Por otro lado se presentan con tamaño medio hasta 2mm, algunas de estas biotitas se encuentran alteradas a clorita, y otras presentan bordes oscuros y opacos.

ZIRCON: Individuos incoloros con birrefringencia que varía entre rosado de tercer orden y amarillo de segundo orden. Anisotrópico-uniáxico de relieve muy alto, con formas anhedrales de tamaño de grano fino (0.5mm), inequigranulares, ovalados, se presenta como inclusión del cuarzo, plagioclasa; hornblenda y biotita.

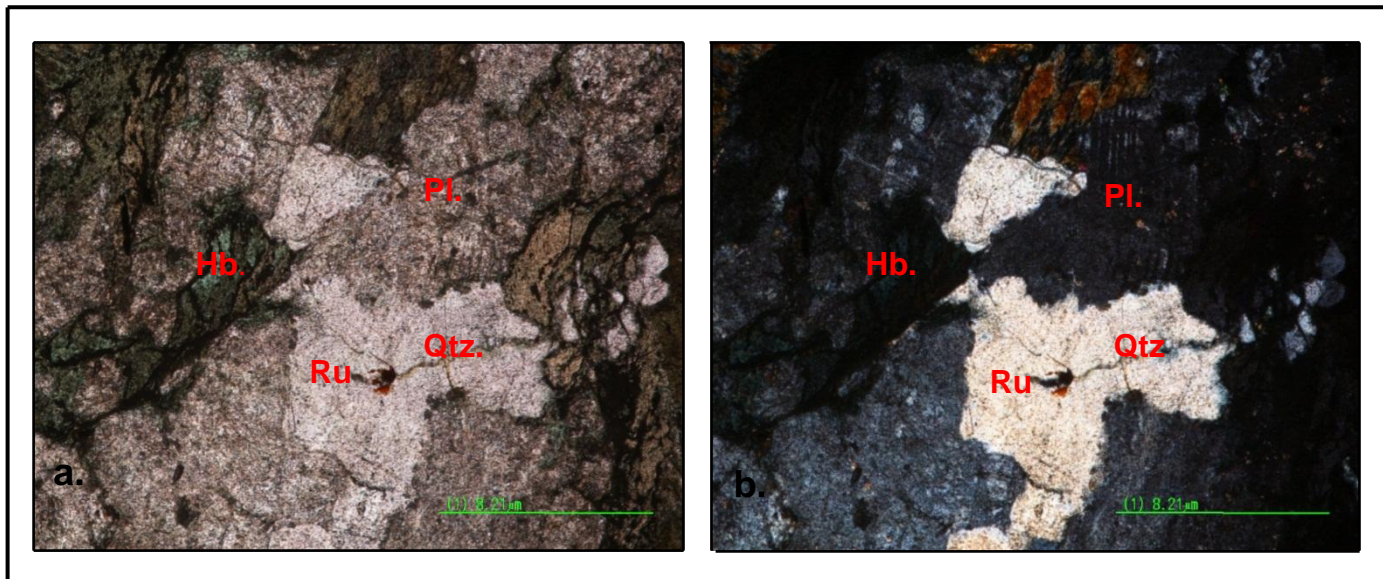
LEUCOXENO: Individuos de color marrón-rojizo, con birrefringencia que varía en las mismas tonalidades, con formas anhedrales a subhedrales. De relieve alto y tamaño de grano fino (0.4mm). En su mayoría se presenta a manera de parches.

Está heterogéneamente distribuido en la placa y se encuentra en contacto con el cuarzo. Representa alteraciones u oxidaciones de minerales metálicos.

9.2 CUARZODIORITA MUESTRA (MSD-6)

EL tamaño de grano varía entre medio a grueso y presenta una textura fanerítica inequigranular. Presenta textura kelifítica y poikilitica La cuarzodiorita es de grano medio a grueso, la plagioclasa presenta maclas polisintéticas tipo plagioclasa cálcica y otro tipo albita, algunos cristales presentan fracturas, las cuales han sido llenadas con hidróxido de hierro y se observan pequeños canales de color café rojizo. Las Biotitas se presentan en la roca, con tamaño de grano grueso y se encuentran alteradas a clorita. Presentan una leve orientación.

FIGURA 13. Características petrográficas de la muestra MSD-6 a) En NII. b) En NX; presencia de Cuarzo; Qtz, Plagioclasa; Pl., Hornblenda; Hbl, y Rutilo; Ru.



COMPOSICION MINERALOGICA:

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.

HORBLENDA: 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 está 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.

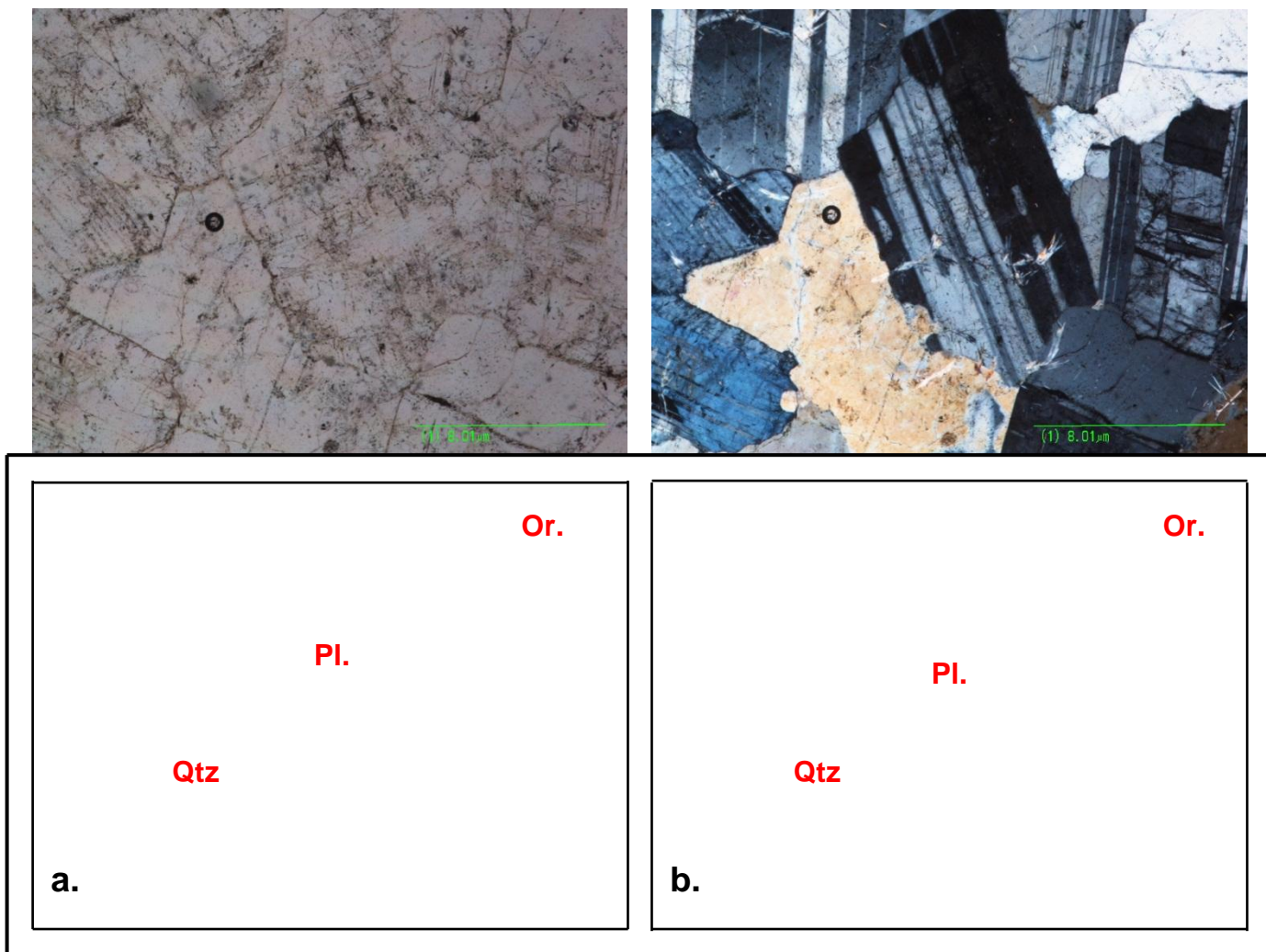
CUARZO: Individuos xenomorfos incoloros, de bajo relieve con colores de birrefringencia del primer orden, se presenta en la roca con tamaño de grano medio, se presenta heterogéneamente en toda la muestra.

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.

9.3 GRANODIORITA MUESTRA (MSD-9)

El tamaño del grano es inequigranular, predominantemente subhedral, presenta una textura granular, fanerítica,

FIGURA 14. Composición inequigranular de la muestra MSD-9 a) En NII. b) En NX; Cuarzo; Qtz, Plagioclasa; Pl, Ortoclasa; Or.



COMPOSICION MINERALOGICA:

PLAGIOCLASA: Individuos subhedrales incoloros, de bajo relieve, con colores de birrefringencia de primer orden, alargados con formas tabulares; la Plagioclasa se presenta a manera de fenocristales de tamaños que varían entre 2.2mm a 2.8mm, algunos fenocristales presentan macla polisintética tipo Plagioclasa cálcica, otros tipo albita y en algunos casos presenta zonación. La zonación predominante es del centro hacia afuera pero se puede observar en sentido contrario.

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 cloritización.

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.

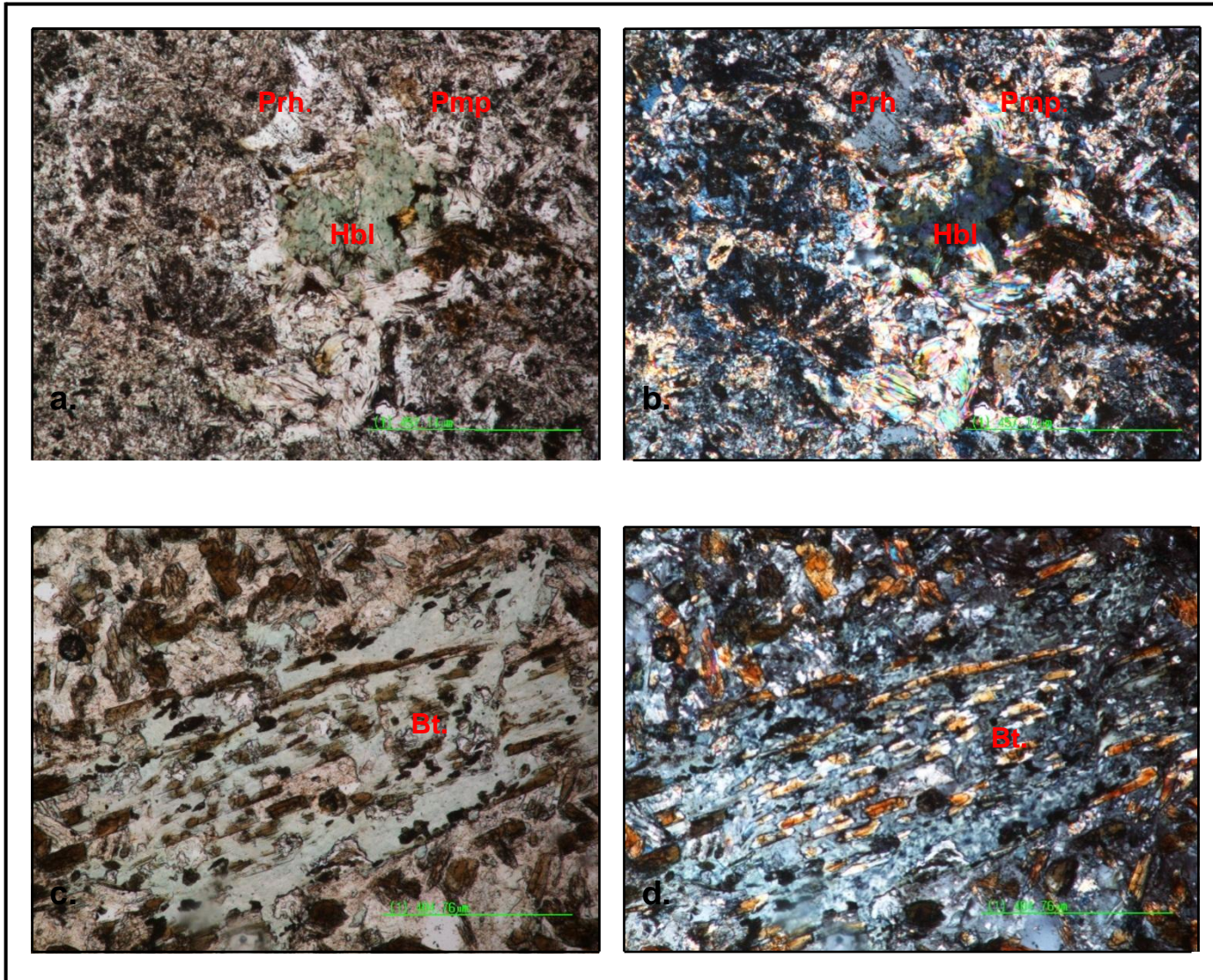
ORTOCLASA: Individuos anhedrales incoloros, de bajo relieve, de colores de birrefringencia de primer orden y presentan tamaño de grano medio.

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

9.4 DACITAS MUESTRAS (MSD-8, MSD 10)

Estas rocas, presentan una textura afanítica, compuesta principalmente por: **MSD-8** Cuarzo, Plagioclasa, Pumpellyita, Prehnita Opacos Leucoxeno. **MSD-10** Cuarzo, Plagioclasa Biotita Epidota, Tremolita, Ortoclasa, Clorita, Opacos. Esta roca presenta un alto contenido de sílice y hierro, superior al 63%, por lo que se considera como una roca ácida, la presencia de pumpellyita es un mineral característico de rocas volcánicas afectadas por metamorfismo regional en condiciones de bajo grado.

FIGURA 15. Características petrográficas, de la muestra MSD-8 a) En NII. b) En NX; presencia de Pumpellyita; Pmp, Prehnita; Prh, Hornblenda; Hbl con una leve orientación. MSD-10 c) En NII. d) En NX; en esta muestra se presenta la hornblenda alterándose a clorita y una orientación de las biotitas; Bt.



COMPOSICION MINERALOGICA:

PUMPELLYITA: Individuos de hábito tabular, incoloro a verde oscuro, con colores de birrefringencia hasta final del primer orden o principios del segundo, tamaños de grano medio que varía entre (1,0mm – 1,4 mm), es característico de las rocas

volcánicas afectadas por metamorfismo regional en condiciones de bajo grado. Esta homogéneamente en toda la muestra.

PREHNITA: Individuos de hábito tabular también se presentan como prismáticos-columnar, se encuentran agrupados en agregados radiales, incoloro, colores de birrefringencia de segundo orden, tamaño de grano medio varía entre (1,00mm – 1,4mm), se encuentra heterogéneamente en toda la muestra.

CUARZO: Individuo incoloros con birrefringencia que varía entre grises de primer orden. Anisotrópico-uniaxial de relieve bajo, tamaño d grano fino (0,18mm 0,5 mm) y forma anhedral a subhedral. Componente principal de la matriz. se encuentra homogéneamente en toda la muestra.

BIOTITA: Agregados de color marrón con su pleocroísmo típico, de habito hojoso constituido con exfoliación en una sola dirección, subhedrales, Se presentan en la roca con tamaño de grano fino de (04mm), y algunos cristales hacen parte de la matriz, se presenta heterogéneamente en toda la muestra.

PLAGIOCLASA: Individuos subhedrales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia de primer orden, alargados con formas tabulares; la plagioclasa se presenta formando parte de la matriz con tamaño de grano fino, presenta maclado tipo Carlsbad. Se presenta heterogéneamente en toda la muestra.

EPIDOTA: Individuos de color verde muy claro incoloros, con birrefringencia que varía entre azules de tercer orden y amarillos de primer orden, anhedrales. Anisotrópico-uniaxial de relieve muy alto y tamaño de grano fino (0.08mm). Se encuentran heterogéneamente distribuido por la placa.

TREMOLITA: Individuos prismáticos, aciculares, color incoloro, presenta exfoliación en dos direcciones, relieve moderado, y colores de birrefringencia de

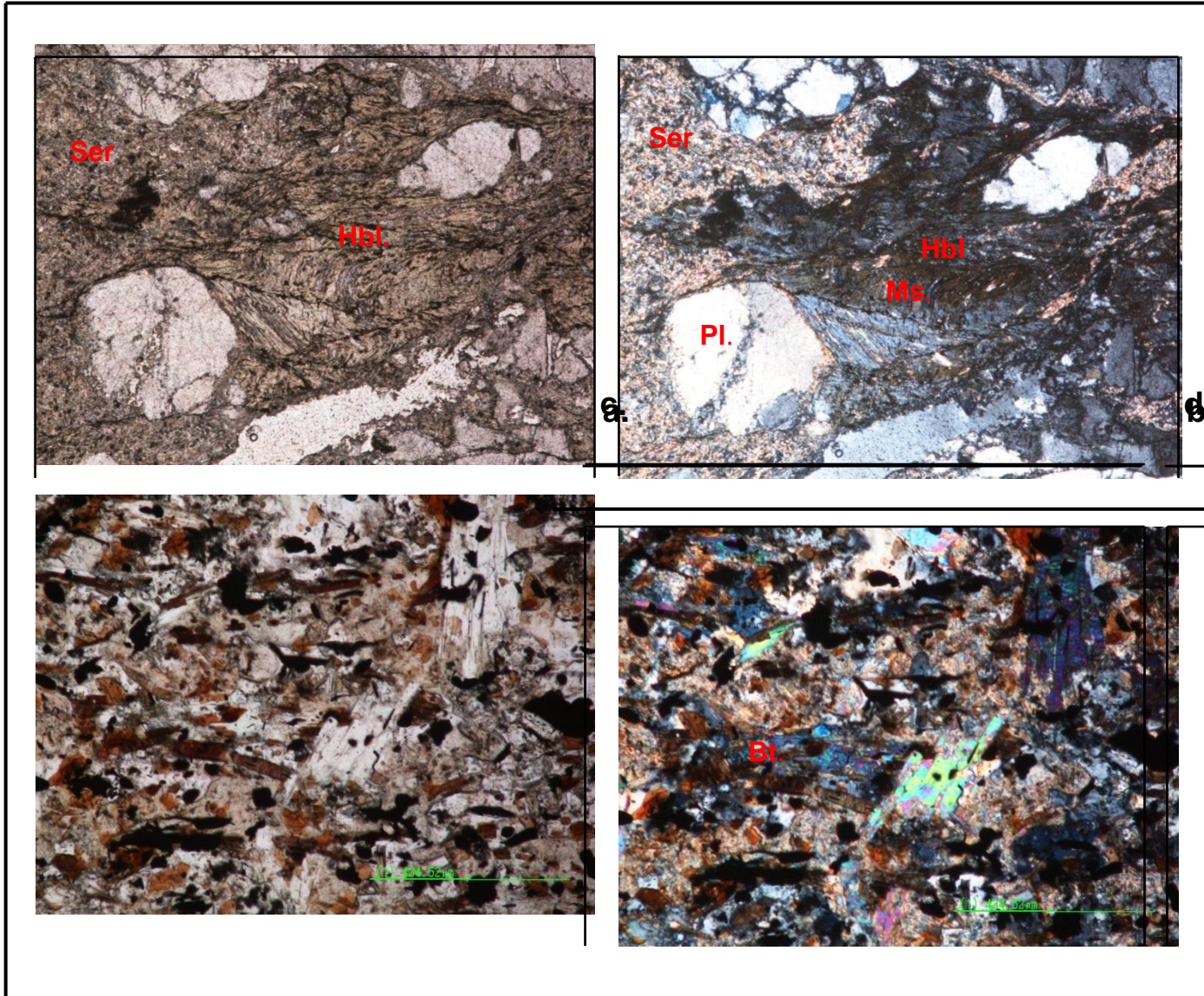
segundo orden, subhedrales de tamaño de grano fino (0.3mm – 0.6mm), se presenta heterogéneamente en toda la muestra.

LEUCOXENO: Individuos de color marrón-rojizo, con birrefringencia que varía en las mismas tonalidades, anhedrales a subhedrales. De relieve alto y tamaño de grano fino (0.38mm). En su mayoría se presenta a manera de parches esta heterogéneamente distribuido en la placa, representa alteraciones u oxidaciones de minerales metálicos.

9.5 MESOCATACLASITAS MUESTRAS (MSD-5, MSD-7)

Son rocas de cristales de tamaño muy finos, presenta una textura Porfidoblastica, roca metamórfica, roca de falla, cohesiva, la esquistosidad es ausente., en la que la matriz supone más del 50% y menos del 90% del volumen de la roca. La composición mineralógica son de esta manera **MSD-5** Plagioclasa; sericita, Cuarzo, Hornblenda. **MSD-7** Plagioclasa, Hornblenda, Cuarzo, Biotita.

FIGURA 16. Características petrográficas de la muestra, MSD-5 a) En NII. b) En NX; presentándose la deformación de la Hornblenda; Hbl, la Plagioclasa; Pl. alterándose a Sericita; Ser, Cuarzo; Qtz. MSD-7 c) En NII. d) En NX; se muestra los pequeños cristales de Biotita; Bt distribuida en toda la matriz, y Muscovita; Ms.



COMPOSICION MINERALOGICA:

MUSCOVITA: Individuos o agregados incoloros, con birrefringencia que varía entre azules de tercer orden hasta amarillos de primer orden, subidioblasticos a heteroblásticos. Anisotrópico- biáxico de relieve bajo, exfoliación en una dirección

y tamaño de grano fino (0.2 mm). Se encuentra en contacto con la Biotita Cuarzo .Sericita. Esta homogéneamente distribuida en la placa y sigue la orientación de los cristales de mayor tamaño.

CUARZO: Individuos incoloros con birrefringencia que varía entre grises de primer orden. Anisotrópico-uniáxico de relieve medio a bajo. Distribuido heterogéneamente en la placa.

Cuarzo 1: Tamaño de grano de medio (0.9mm), heteroblasticos y xenoblásticos en ocasiones se encuentra fracturado.

.Cuarzo 2: Tamaño de grano fino (0.3mm) xenoblásticos. Se encuentra orientado en una dirección preferencial. Envueltos en la matriz sericitica, está bastante alargado y la deformación es mayor.

PLAGIOCLASA: Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, de bajo relieve, xenoblástica, subidioblastica, algunos se presentan como relictos, con bordes rectos, tamaño de grano medio a grueso (1,0mm – 1,4mm) algunas de estas plagioclasas se le ve la macla polisintética, la mayoría de esta muestra se encuentra alterada a sericita.

SERICITA: incolora con alta birrefringencia que varía entre rosados y amarillos de segundo orden, xenoblásticos, homeoblasticos, se encuentra diseminado, de tamaño muy fino (0.2mm), como matriz con leve orientación, incluidos en PI, se presentan unas zonas recristalizadas a muscovita, distribuido homogéneamente en la placa.

BIOTITA: Individuos cristalinos de color marrón y birrefringencia que varía entre verdes y amarillos de tercer orden a amarillos de segundo orden, subidioblasticos a idioblásticos, tabulares, relieve medio y tamaño de grano fino (0.2mm – 0,4mm).

Presenta pleocroísmo débil con variaciones en tonos de cafés y presenta exfoliación perfecta. Se encuentra distribuida heterogéneamente en la placa.

HORBLENDA: Individuos de color verde, colores de birrefringencia de tercer orden, xenoblasticos, subidioblasticos, con bordes irregulares, con variaciones de tamaño medio (0,8mm – 1,2mm), se presenta alterada y deformada el pleocroísmo es muy bajo, se presenta alterando a clorita, esta heterogéneamente en toda la muestra.

CLORITA: Individuos de color verde claro, tamaño de grano fino (0,3mm), xenoblásticos homeoblasticos, colores de birrefringencia de tercer orden, deformados con la orientación de la sericita, esta heterogéneamente en toda la placa.

10. ESTUDIO QUÍMICO DE ELEMENTOS MAYORES, MENORES Y TRAZA EN ROCA TOTAL

En este apartado se muestran algunas características geoquímicas presentes en algunas de las muestras objeto de estudio; con el fin de identificar las series y el contexto tectónico en el cual se formaron. Se realizaron análisis de elementos mayores, menores y traza (MMT), espectroscopía de masas (ICPMS), análisis de tierras raras y contenido de hierro ferroso. Estos análisis se llevaron a cabo por *Acme Analytical Laboratories* Colombia S.A.S, ubicado en Sabaneta, Antioquia. Para el análisis e interpretación de los datos geoquímicos se utilizó el software MINPET 2.02.

10.1 ANÁLISIS GEOQUÍMICOS DE ÓXIDOS MAYORES

Las muestras se clasificaron según la concentración absoluta de sílice, saturación aluminica clasificación TAS (Alcalis total Vs sílice), estos diagramas representan la proporción de SiO_2 contra la proporción de $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}$, minerales normativos y series magmáticas. Además de esto se utilizó el diagrama AFM (álcalis + hierro total+ óxido de magnesio).

Los análisis geoquímicos se le realizaron a 10 muestras, tomando las más representativas de los sectores objeto de estudio.

TABLA 3. Relación de las muestras a las cuales se les realizo análisis geoquímicos y su localización geográfica.

ID	E	N	Tipo de roca
MSD 1	856505	1223363	Tonalita
MSD 2	856231	1224696	Tonalita
MSD 3	855254	1225693	Tonalita
MSD 4	857580	1223228	Tonalita
MSD 5	856405	1223208	Cataclasita
MSD 6	852287	1224710	Cuarzodiorita
MSD 7	855361	1224713	Cataclasita
MSD 8	854109	1224302	Dacita
MSD 9	852731	1224071	Granodiorita
MSD 10	852751	1224050	Dacita

TABLA 4. Análisis químicos de roca total por el método ICP.

Compuesto	MSD-1	MSD-2	MSD-3	MSD-4	MSD-6	MSD-8	MSD-9	MSD-10
Litología	Tonalita	Tonalita	Tonalita	Tonalita	Cuarzodiorita	Dacita	Granodiorita	Dacita
SiO₂	65,86	58,05	56,87	52,13	52,39	69,83	63,49	39,76
Al₂O₃	17,21	16,70	16,62	14,51	18,43	16,68	16,04	19,98
Fe₂O₃	3,49	7,22	7,14	9,24	9,10	2,49	6,18	10,34
MgO	1,16	3,69	3,66	4,68	3,64	0,96	2,17	9,17
CaO	3,57	5,47	3,63	6,45	3,56	0,32	4,93	4,22
Na₂O	2,79	2,42	1,22	1,41	1,65	3,82	2,85	1,56
K₂O	2,84	2,03	2,01	2,07	0,70	2,56	2,26	1,98
TiO₂	0,38	0,67	0,68	0,81	0,96	0,32	0,60	1,88
P₂O₅	0,06	0,16	0,13	0,19	0,42	0,09	0,13	0,71
MnO	0,04	0,12	0,12	0,15	0,14	0,02	0,11	0,18
Cr₂O₃	<0,002	0,005	0,007	0,005	0,003	<0,002	<0,002	0,026
FeO	2,69	4,85	4,56	8,10	5,80	1,19	4,66	7,14
LOI	2,3	3,2	7,7	8,2	8,8	2,8	1,1	9,8
TOTAL	99,72	99,76	99,81	99,86	99,58	99,85	99,82	99,63

Análisis de intensidad de meteorización

Nesbitt y Young (1982), proponen como medida del grado de meteorización de los materiales de los perfiles el índice químico de alteración (CIA, por sus siglas en inglés, *chemical index alteration*), basado en la proporción molecular:

$$CIA = \frac{Al_2O_3}{(Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)} \times 100$$

Donde CaO es la cantidad de CaO e incorporado en la fracción de silicato de la roca. Asumiendo un comportamiento inmóvil del Al, cambios en el CIA reflejan cambios en la proporción de feldspatos y de varios minerales de arcilla desarrollados en los perfiles. Altos valores de CIA reflejan la pérdida de elementos móviles relativos a los constituyentes residuales estables durante la meteorización, y bajos valores de CIA indican la ausencia de alteración química. Las rocas y minerales frescos sin importar su composición tienen valores similares de CIA alrededor de 40-50, en tanto que muestras completamente meteorizadas tienen valores de CIA alrededor de 100 (*Fedo et al., 1995*).

TABLA 5. Relación de índice químico de meteorización (CIA), de las rocas estudiadas.

CIA	MSD-1	MSD-2	MSD-3	MSD-4	MSD-6	MSD-8	MSD-9	MSD-10
	65.16	62.73	70.78	59.36	75.71	71.34	61.50	72.02

Con base en los resultados presentados en la tabla 4, se puede concluir que las rocas con mayor grado de alteración son las MSD-6, cuarzodiorita MSD-8 y MSD-10 son (dacitas), estas tres muestras están relativamente cerca en el sector oeste, de la zona de estudio.

10.2 CONCENTRACIÓN DE SÍLICE

Atendiendo solo el contenido de sílice, se establecen cuatro grupos de rocas ígneas.

TABLA 6. Clasificación de rocas ígneas de acuerdo a la concentración de sílice expresada en % en peso.

Concentración de sílice (% en peso)	Tipo	MSD 1	MSD 2	MSD 3	MSD 4	MSD 5	MSD 6	MSD 7	MSD 8	MSD 9	MSD 10
> 65	Acida	X				X			X		
65-52	Intermedia		X	X	X		X	X		X	
52-45	Básica										
45% o Menos	Ultrabásica										X

10.2.1 Concentración de Alúmina. El Al_2O_3 es el componente químico más importante después del SiO_2 mineral más abundante en la mayoría de las rocas magmáticas, por lo que es de gran utilidad en la clasificación de rocas félsicas. El índice de saturación de alúmina se define como la relación molecular $Al_2O_3 / (K_2O + Na_2O + CaO)$, clasificando las rocas ígneas en peraluminicas, metaluminicas y peralcalinas, de acuerdo con el contenido de alúmina.

TABLA 7. Clasificación de las rocas de acuerdo al índice de saturación de alúmina.

Índice de saturación	Nombre	MSD-1	MSD-2	MSD -3	MSD -4	MSD -6	MSD -8	MSD -9	MSD -10
$Al_2O_3 > K_2O + Na_2O + CaO$	Peralumínica	X	X	X	X	X	X	X	X
$Al_2O_3 < K_2O + Na_2O + CaO$	Metalumínica								
$Al_2O_3 < K_2O + Na_2O$	Peralcalinas								

En las rocas peraluminicas ($Al_2O_3 > CaO + Na_2O + K_2O$), el exceso de alúmina se acomoda en hornblenda y micas, especialmente biotita y moscovita rica en aluminio. De acuerdo a la petrografía presentada en el capítulo anterior (ver anexo petrográfico), se puede concluir que las tonalitas, cuarzodioritas, granodioritas y

dacitas, coinciden con estas afirmaciones, pues en los principales minerales formadores de estas rocas se presentan la hornblenda y la biotita.

10.3 COMPOSICIÓN NORMATIVA

La norma CIPW (propuesta por W. Cross, J.P. Iddings, L.V. Pirsson y H.S. Washington) se utiliza para calcular la composición mineral de las rocas como si el magma fuera anhídrido (agua es tratada como una fase aparte) y se encontrara a baja presión. La norma CIPW convierte la composición química de una roca ígnea en una roca con composición química ideal. Esto frecuentemente revela similitudes en rocas que tienen distintas modas.

Con base en los datos de la tabla 3, se realizan clasificaciones normativas en las que, a partir de los porcentajes en peso de los óxidos y siguiendo unas determinadas reglas (CIPW), se establece una composición mineralógica ideal, mediante la cual se clasifica la roca, (Tabla 7).

TABLA 8. Composición normativa de las muestras analizadas

Minerales normativos	MSD-1	MSD-2	MSD-3	MSD-4	MSD-6	MSD-8	MSD-9	MSD-10
Cuarzo	28,84	18,24	29,49	13,74	28,33	36,58	22,84	1,63
Ortoclasa	16,77	11,83	12,29	12,26	4,27	15,39	12,91	12,07
Plagioclasa	40,89	45,94	28,44	39,18	29,84	33,91	46,15	30,44
Diópsido	0,00	0,00	0,00	2,93	0,00	0,00	0,00	0,00
Hiperstena	4,39	11,10	11,06	16,46	11,23	2,43	7,80	25,42
Olivino	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nefelina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Leucita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Magnetita	5,06	10,33	10,71	13,43	13,63	3,02	8,66	15,47
Ilmenita	0,72	1,26	1,34	1,54	1,88	0,62	1,10	3,68
Apatito	0,14	0,37	0,31	0,44	1,00	0,21	0,29	1,70
LOI	2,30	3,20	7,70	8,20	8,80	2,80	1,10	9,80

De la composición normativa CIPW, realizada a las muestras se consigue determinar que las rocas presentan un considerable porcentaje de plagioclasa y cuarzo, a diferencia de la MSD-10 en la que el valor de cuarzo es muy bajo y el

porcentaje de hiperstena es alto a comparación de las demás muestras mostrando que es una roca máfica.

10.4 CLASIFICACIÓN TAS (ÁLCALISIS TOTAL VS SÍLICE)

Las muestras son clasificadas de acuerdo a los diagramas TAS (álcalis total Vs sílice) para rocas volcánicas y plutónicas. De acuerdo a estas clasificaciones se obtienen diferentes tipos de rocas. En primer lugar la muestra MSD-8 clasificada en la petrografía como dacita coincide en este mismo diagrama, en cambio la muestra MSD-10 ocupa en este diagrama foidita debido al bajo porcentaje en SiO₂. Estas dos clasificaciones son realizadas para las muestras volcánicas. Respecto a las rocas plutónicas, MSD-1 y MSD-9 pertenecen al rango de la granodiorita, MSD-2 y MSD-3 Diorita, mientras que MSD-4 y MSD-6 dan en un campo vacío cercano al gabro.

FIGURA 17. Clasificación química y nomenclatura de rocas ígneas, usando el diagrama de proyección de los álcalis Vs sílice (TAS). A) diagrama para rocas volcánicas. Según Le Maitre (1989). B) diagrama de rocas plutónicas. Según Rollinson (1993). La línea gruesa subdivide las rocas alcalinas (parte superior) y subalcalinas (parte inferior).

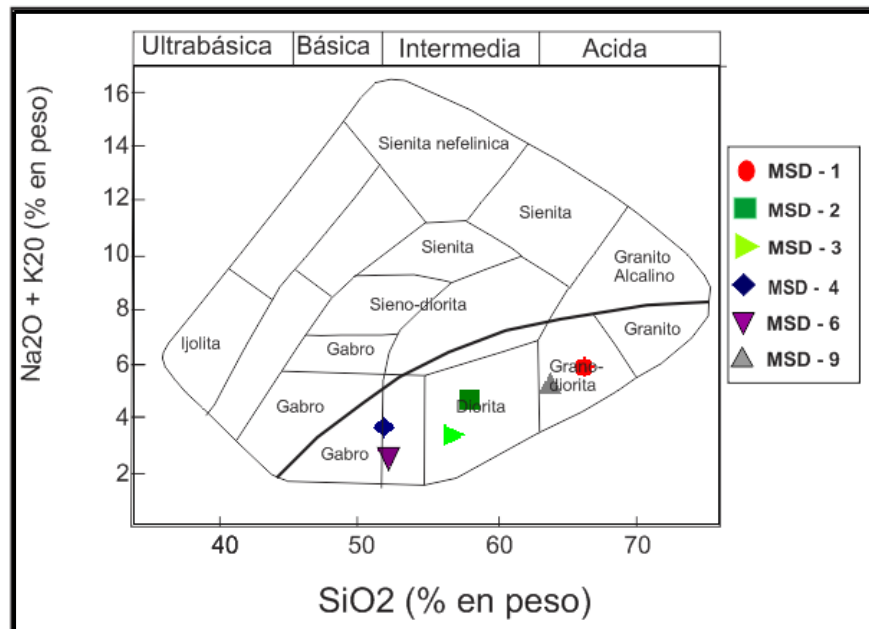
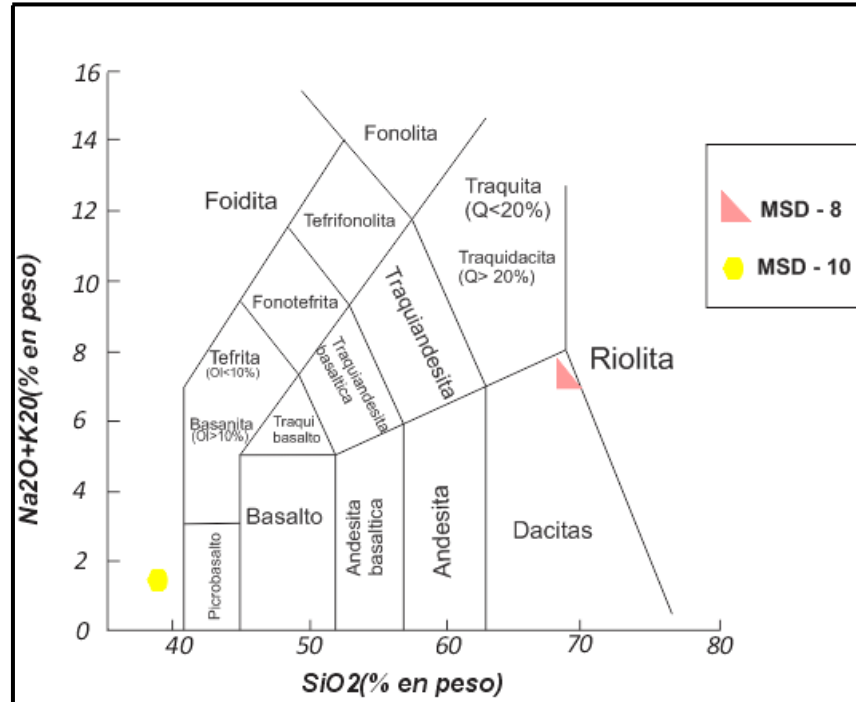
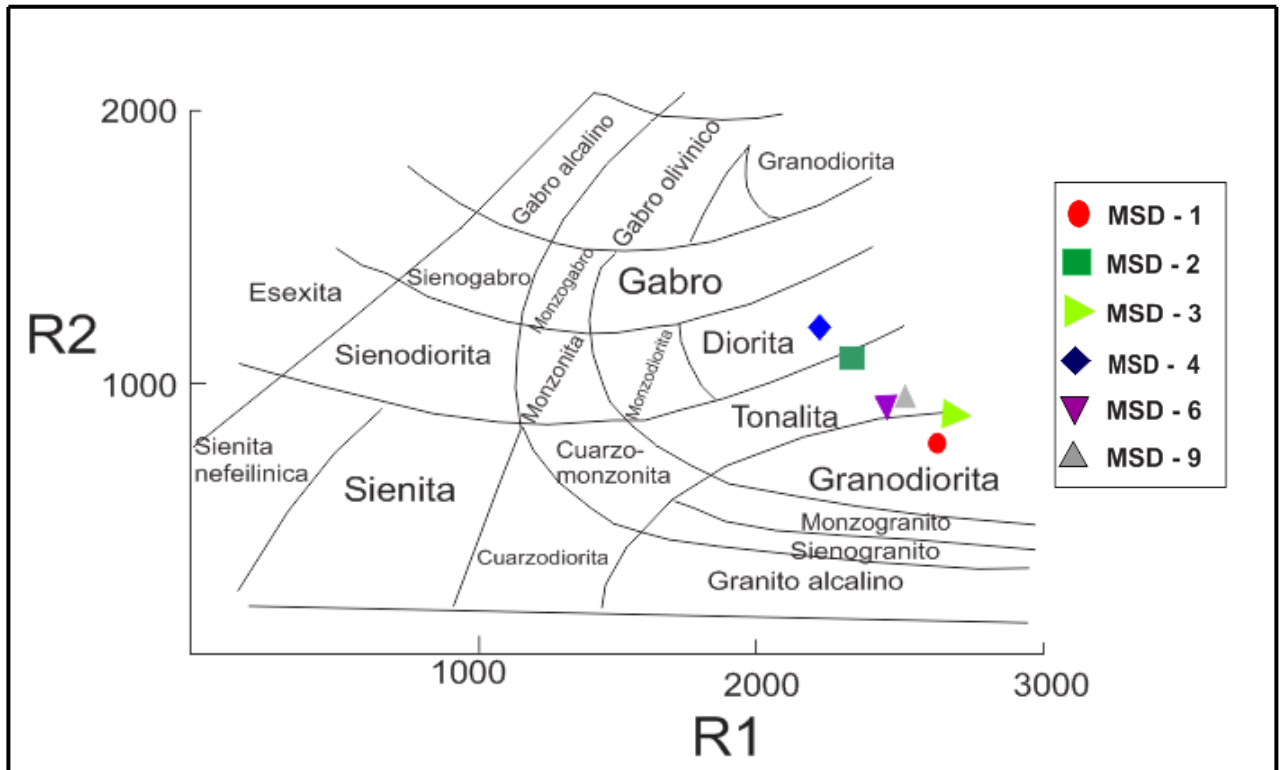


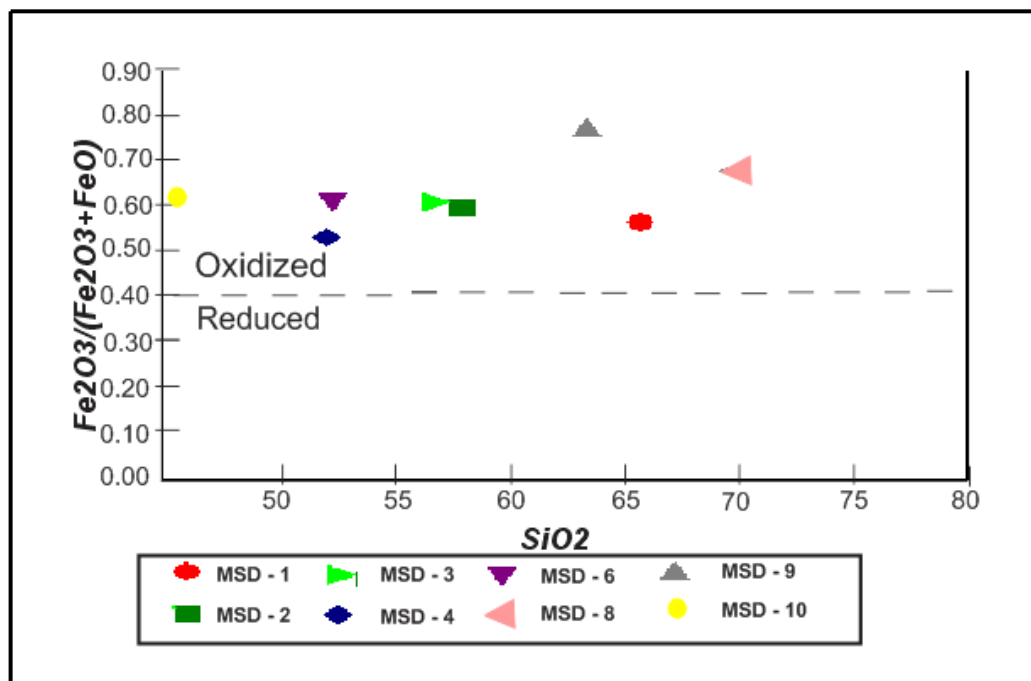
FIGURA 18. Clasificación de las rocas plutónicas usando los parámetros R1 y R2, (Roche et al., 1980), a partir del cálculo de las proporciones milicatiónicas $R1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$; $R2 = 6Ca + 2Mg + Al$.



10.5 OXIDACIÓN DEL MAGMA

El magma formador de las rocas objeto de estudio corresponde a un magma oxidado como se observa en la Figura 19, lo cual indica que corresponde a una zona de subducción con muy bajo contenido de minerales máfico.

FIGURA 19. Diagrama de caracterización del magma (oxidante o reductor)



10.6 SERIES MAGMÁTICAS

Para la clasificación de la serie magmática de las rocas objeto de estudio, se tiene en cuenta el diagrama de proyección de los álcalis ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ w%) versus sílice (SiO_2 w%), Este diagrama se subdivide en dos; series alcalinas y series toleítica o subalcalina, esta última presentando otras subdivisiones. Esta clasificación se realiza con el fin de determinar el ambiente de formación en el cual se dieron las rocas que están siendo analizadas. Se grafican las muestras en el diagrama (Figura 20) clasificándose todas en el rango de las series toleítica o subalcalina. Con base a estos resultados proseguimos a graficar las muestras en el diagrama que hace distinción entre las series alcalinas y subalcalinas

En primer lugar vemos que las muestras son graficadas en el diagrama Álcalis vs. Sílice (FIGURA 18) para determinar la serie. De acuerdo con la anterior clasificación las rocas se ubican dentro de la región subalcalina, a excepción de la muestra MSD – 10, la cual cae en la región alcalina. 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 20) en el cual su comportamiento es reflejado en la serie toleítica y calcoalcalina. La gráfica de Sílice vs. K_2O % en peso, en el cual las tonalitas y granodioritas se ubican en el campo alto en potasio y la dacita en medio del potasio.

La clasificación de estas rocas nos sugiere un ambiente de subducción de margen de placa convergente de magmas calcoalcalinos, donde 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.

FIGURA 20. Subdivisión de las rocas ígneas en series magmáticas (línea gruesa). Según Irvine y Baragar (1971), apoyado en el diagrama de proyección de los álcalis versus sílice.

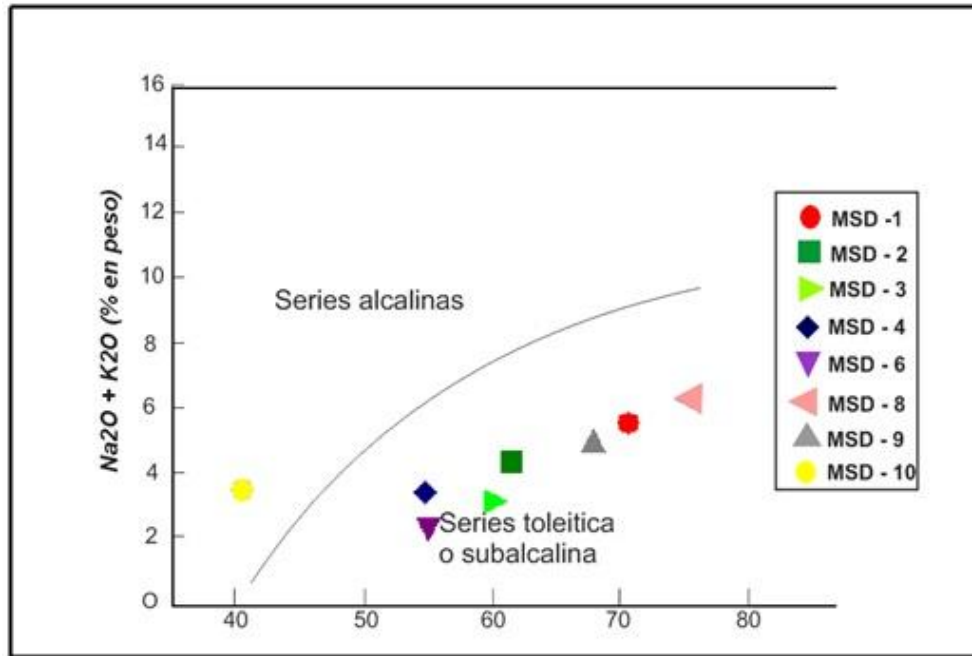
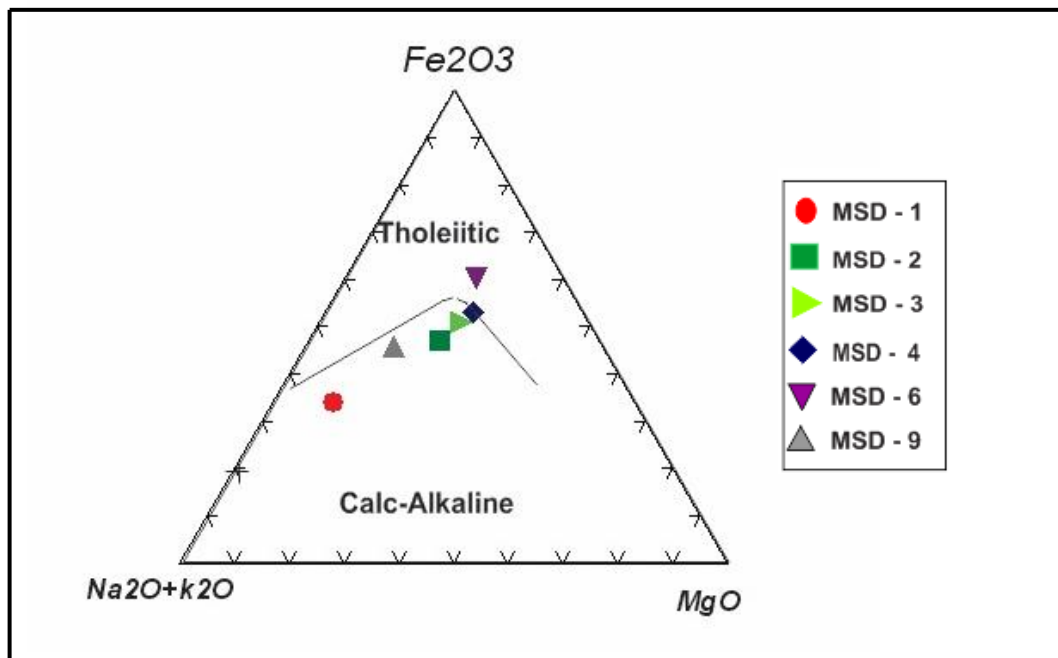
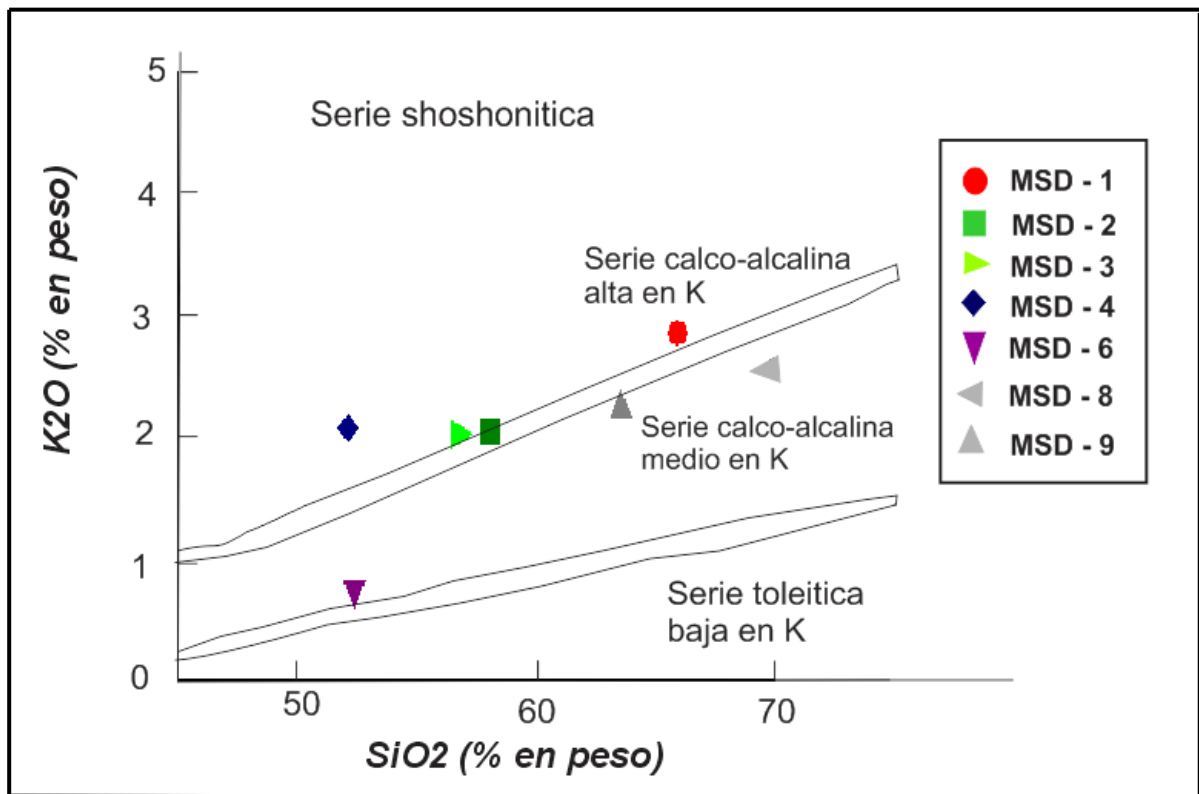


FIGURA 21. Diagrama de distinción entre la serie toleítica y calco-alcalina. Irvine y Baragar (1971).



En el diagrama (Figura 21) se aprecia una tendencia intermedia entre el campo calco-alcalino y toleítico. Se observa que las muestras MSD – 4, MSD – 6 y MSD – 9, presentan mayores valores de FeO, cayendo en el campo Toleítico, y las muestras MSD-1, MSD-2, MSD-3 y MSD-8. Presentan menores valores de FeO cayendo en el campo de la serie calcoalcalina.

FIGURA 22. Subdivisión de las rocas subalcalinas, usando el diagrama de proyección K_2O versus SiO_2 . Las bandas grises son los campos en los cuales caen los límites entre series. Irvine y Baragar (1971), modificado de Rollinson (1993).

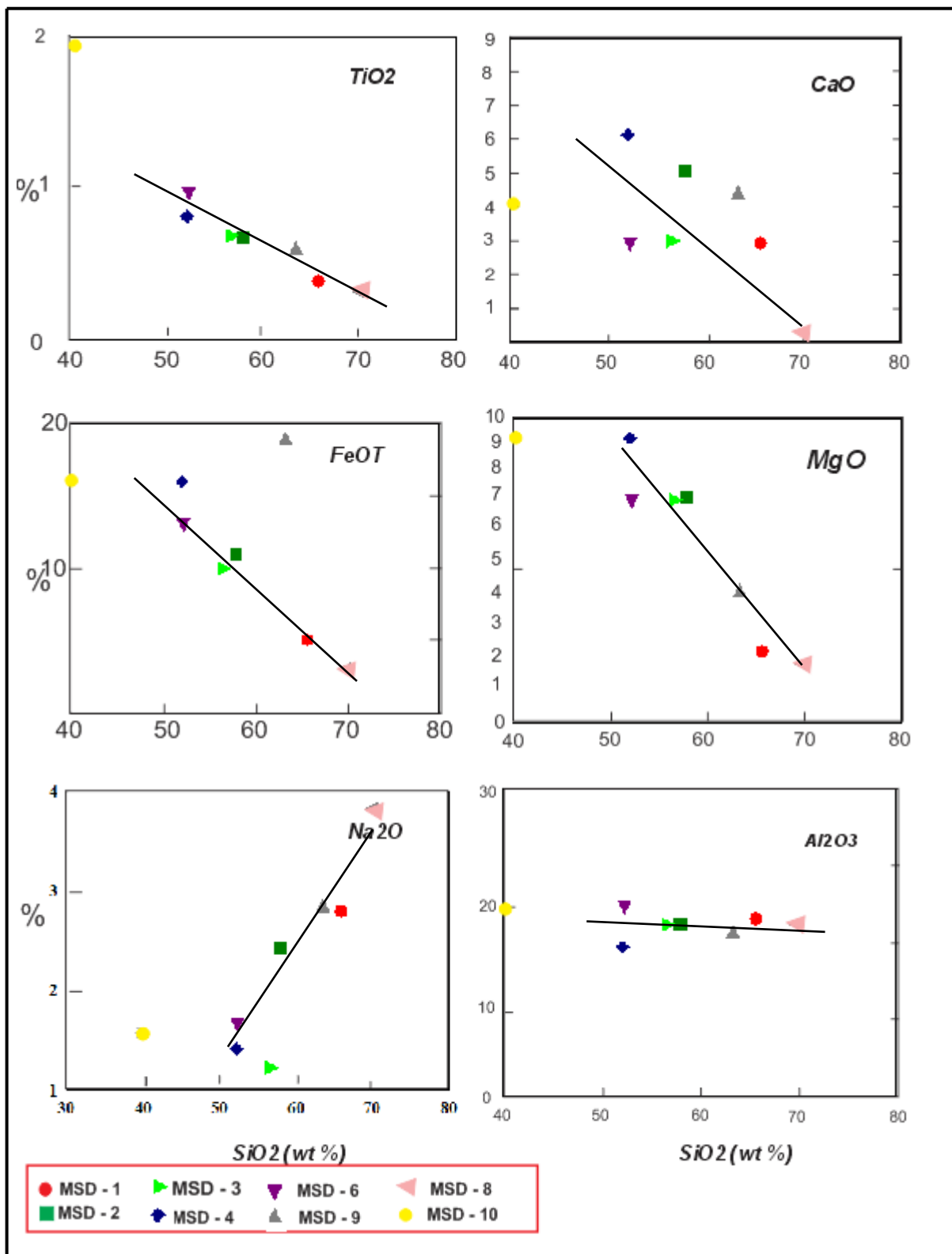


Las rocas tonalitas, granodioritas y cuarzodioritas correspondientes al Batolito Antioqueño caen en el campo de la serie calcoalcalina alta en potasio, permitiendo considerar el ambiente de formación de estas litologías en un contexto de subducción de margen continental activo. En cuanto la Dacita es considerada de afinidad calco-alcalina media en potasio, estas características, junto a los rasgos geológicos regionales, permiten sugerir un ambiente de corteza continental adelgazada.

10.7 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, Al₂O₃, TiO₂ y K₂O respecto al SiO₂. Los datos de los óxidos son expresados en términos de porcentaje en peso (w%). Con estos diagramas es posible identificar la evolución del magma, de acuerdo a la cristalización fraccionada de minerales.

FIGURA 23. Diagramas de variación de Harker óxidos vs SiO₂ para tonalitas, cuarzodioritas, granodioritas y dacitas presentes en la zona de estudio.



Los diagramas de Harker muestran la relación de los elementos mayoritarios con respecto al SiO₂. Se observa que el contenido de Al₂O₃, Na₂O, MgO, FeO, TiO y CaO muestran una tendencia decreciente con respecto al contenido de SiO₂, lo que indica que las rocas analizadas han presentado procesos de fraccionamiento a partir de un magma en solidificación. Una cristalización fraccionada es un proceso de evolución de una roca ígnea, la cual a partir de este va a ser la causa de la tendencia de un diagrama de variación; esta variación está normalmente indicada por la presencia de fenocristales en las rocas como es el caso de las tonalitas en el sector oriental. Si la tendencia de estos diagramas de variación está controlada por las composiciones de los fenocristales es muy posible inferir que la roca está controlada por un fraccionamiento cristalino y se puede asociar a la génesis y el comportamiento de la temperatura de la roca durante su formación.

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 SiO₂ más evolucionado es el magma. Para nuestro caso, las tonalíticas, granodioritas y cuarzodiorita corresponderían a la parte más evolucionada del magma y las dacitas corresponderían al magma primario.

10.8 ANALISIS GEOQUIMICOS DE ELEMENTOS TRAZA.

El análisis geoquímico de elementos traza, se basa en diagramas araña multielementos normalizados a condrito, los cuales son útiles para diferenciar los ambientes tectónicos de formación y evolución de las rocas objeto de estudio. En la siguiente tabla se presentan los datos de los resultados entregados por el laboratorio.

TABLA 9. Análisis químico de los elementos trazas y tierras raras en ppm.

Traza	MSD-1	MSD-2	MSD-3	MSD-4	MSD-6	MSD-8	MSD-9	MSD-10
Litología	Tonalita	Tonalita	Tonalita	Tonalita	Cuarzodiorita	Dacita	Granodiorita	Dacita
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
As	2.2	1.0	0.9	10.8	1.3	5.8	<0.5	1.2
Au	<0.5	0.6	2.3	34.1	5.3	4.1	1.8	6.5
Ba	1746	692	507	270	319	835	678	587
Be	2	<1	2	<1	<1	<1	<1	1
Bi	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Cd	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	0.2
Ce	21.9	38.9	37.7	32.4	50.3	23.4	49.3	141.9
Co	6.0	19.1	18.8	19.0	16.9	5.0	9.2	40.0
Cu	10.4	32.2	29.0	29.7	23.2	2.3	7.5	28.8
Cs	2.1	3.2	4.4	1.9	0.2	1.4	3.1	1.5
Dy	1.74	4.67	4.18	3.77	7.75	1.22	4.51	6.17
Er	1.18	3.04	2.70	2.40	4.51	0.77	2.76	3.29
Eu	1.02	1.10	0.90	0.81	1.54	0.58	0.90	2.73
Ga	16.6	18.2	18.3	16.2	20.2	19.8	17.0	21.5
Gd	1.97	4.88	3.85	3.75	7.13	1.63	4.18	7.75
Hf	4.1	5.9	4.6	5.7	6.0	3.4	4.5	4.0
Hg	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	<0.01
Ho	0.40	1.01	0.90	0.82	1.57	0.23	0.97	1.19
La	11.3	18.8	20.5	15.7	23.1	12.8	25.4	97.2
Lu	0.22	0.44	0.46	0.39	0.63	0.09	0.43	0.46
Mo	0.2	0.1	0.2	0.8	0.1	0.3	0.3	1.3
Nb	6.7	6.3	7.2	8.0	6.1	2.4	5.3	39.8
Nd	9.8	22.5	21.0	16.8	31.5	10.0	20.9	68.0
Ni	3.9	8.8	9.9	9.5	4.0	2.7	2.4	88.0
Pb	2.0	3.2	5.5	7.7	3.5	1.4	1.2	4.0
Pr	2.60	5.54	5.26	4.12	8.11	2.96	5.41	21.51
Rb	61.0	74.2	87.5	66.2	13.2	62.2	81.3	42.1
Sb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Sc	10	25	23	32	31	4	19	34
Se	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Sm	2.06	5.07	4.22	4.00	8.04	2.15	4.17	11.25
Sn	1	2	2	<1	3	1	2	2
Sr	330.7	285.3	133.1	110.8	248.5	269.2	226.6	226.8
Ta	0.4	0.5	0.5	0.3	0.5	0.2	0.4	2.5
Tb	0.31	0.87	0.73	0.67	1.31	0.25	0.76	1.22
Th	5.5	7.2	10.3	2.4	3.4	3.2	11.3	4.0

Tm	0.18	0.48	0.42	0.35	0.71	0.10	0.45	0.50
Tl	0.1	0.3	0.5	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.1
U	1.9	1.7	1.6	1.1	1.2	2.0	2.4	3.2
V	52	170	167	200	230	38	108	201
W	<0.5	<0.5	<0.5	2.0	<0.5	0.8	<0.5	<0.5
Y	11.0	26.7	23.0	21.5	38.4	6.0	25.2	27.8
Yb	1.31	3.08	2.94	2.49	4.69	0.78	2.93	3.15
Zr	140.4	204.6	146.0	188.7	173.4	128.7	151.4	172.4
Zn	28	46	48	80	83	37	51	72

10.9 CONSIDERACIONES PREVIAS

Las tierras raras (REE) son los elementos traza más utilizados y tienen importantes implicancias en petrología ígnea, sedimentaria y metamórfica. Las REE comprenden la serie de elementos metálicos con número atómico entre 57 y 71 Lantano (La) Lutecio (Lu). Además, el elemento Itrio (Y) con un radio iónico similar al del Holmio (Ho) es a veces incluido. Las REE tienen entre sí propiedades químicas y físicas similares. Esto viene del hecho de que ellas forman iones estables de carga 3+ de similar tamaño. Las pequeñas pero significativas diferencias en el comportamiento geoquímico son debidas al constante decrecimiento observado en el tamaño iónico a medida que aumentamos el número atómico (contracción de los lantánidos). Estas pequeñas diferencias en tamaño y comportamiento son aprovechadas por procesos petrológicos, que conllevan al fraccionamiento de las REE. Este último es el fenómeno usado en geoquímica para estudiar la génesis de fuente de rocas (magmas) y para descifrar los procesos petrológicos.

Las concentraciones de las REE en las rocas son usualmente normalizadas a una referencia estándar, la que comúnmente consiste en los valores de los meteoritos condritos. Estos meteoritos han sido elegidos ya que se piensa que están relativamente no-fraccionados desde la formación del sistema solar. Sin embargo las concentraciones de las REE en el sistema solar son muy variables debido a las diferentes estabildades de los distintos átomos. Las REE con número atómico par son más estables y por ende más abundantes, mientras que aquellas con

número atómico impar son más inestables, por lo que se forma un patrón de zigzag en un diagrama de composición- abundancia.

FIGURA 24. Elementos traza normalizados respecto al condrito (C1) de Sun and MacDonough (1989).

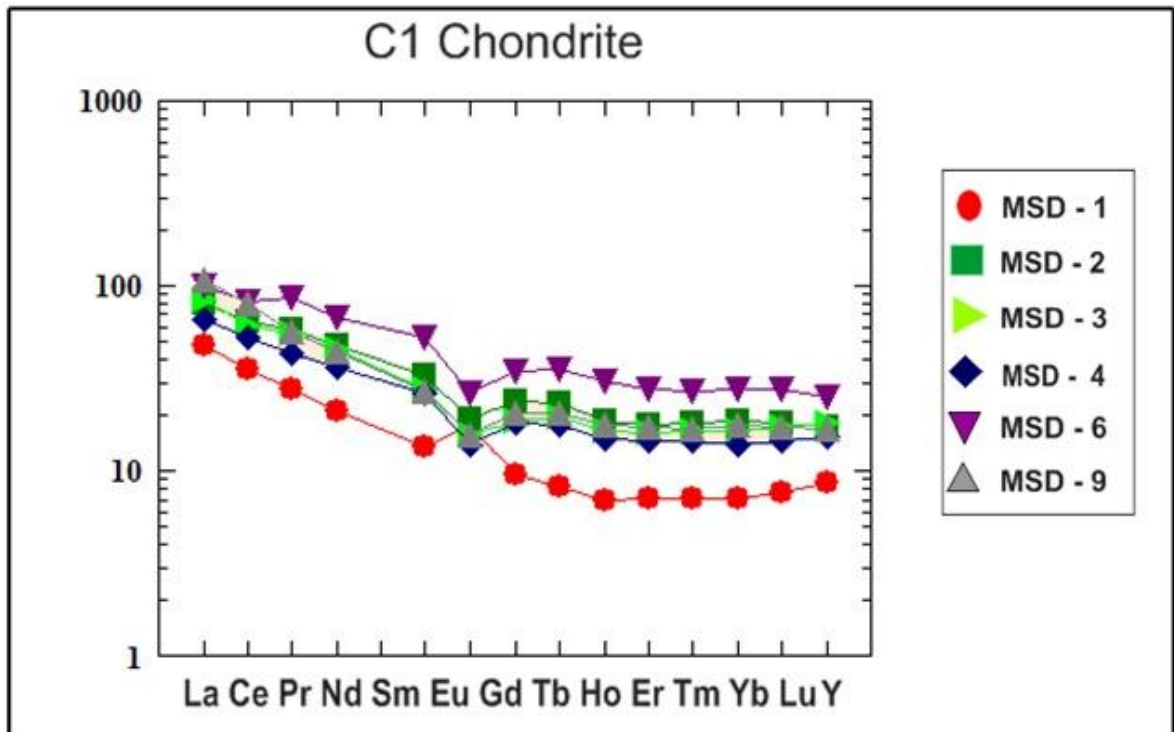


FIGURA 25. Elementos trazas normalizados al manto primitivo. Según McDonough (1992).

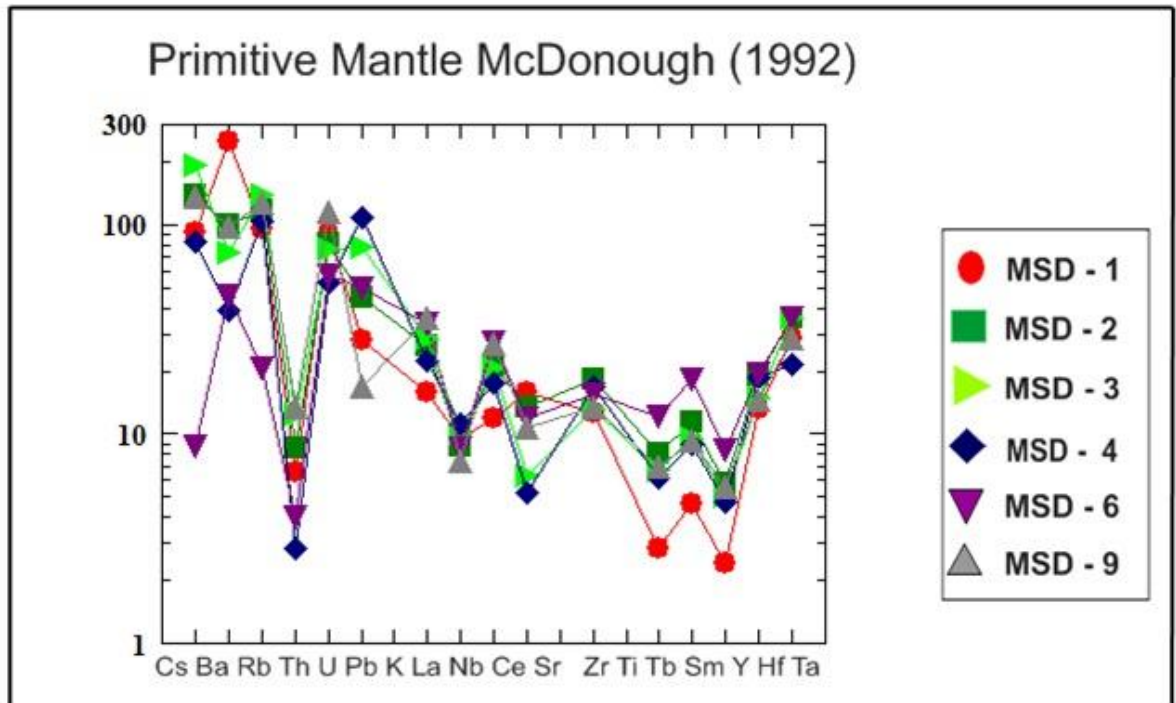
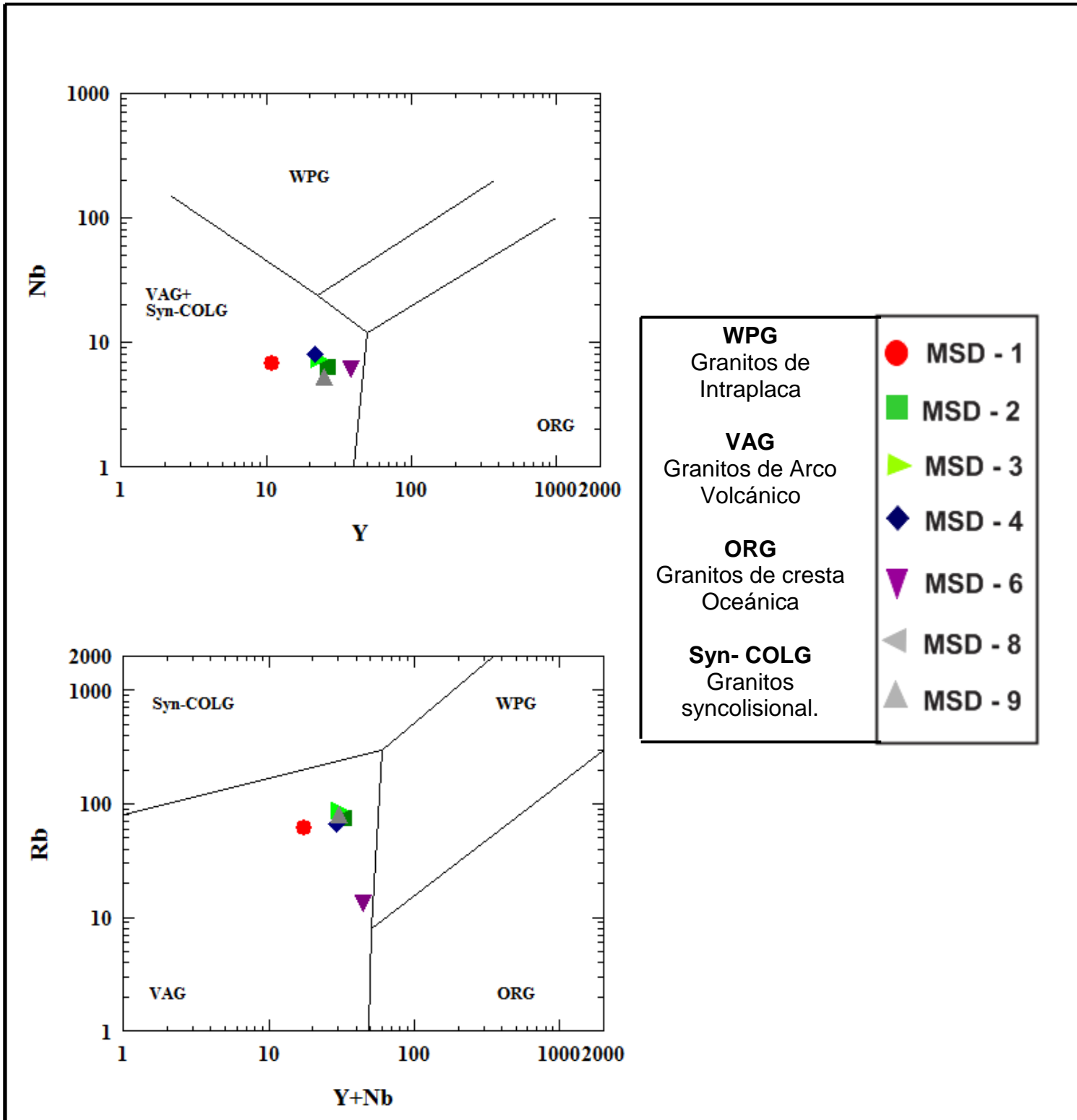


FIGURA 26. Diagramas Nb vs Y, Rb vs Y + Nb, propuesto por Pearce *et al.*, (1984) usados para la discriminación del ambiente tectónico de formación de las muestras.



Interpretación Elementos Traza

Los contenidos de SiO₂ varían entre los órdenes de 52 y 63% (Tabla 8). Un ordenamiento equivalente se muestran en otras representaciones, como el AFM (Figura 20) donde se ubican las rocas en la serie calcoalcalina y en el límite con las toleíticas establecido por Irvine y Baragar (1971). Los diagramas normalizados al manto primitivo (Figura 24) revelan empobrecimientos relativos para Nb, y Sr característicos de las rocas de arco, con un grado de enriquecimiento en elementos litófilos comparables al de los emplazados en cortezas continentales, muestra anomalías positivas en Pb, Rb y Cs. El Pb probablemente se encuentra enriquecido por contaminación cortical

mientras que las anomalías de Ba, Rb y Cs corresponderían a procesos de alteración hidrotermal y metamorfismo ya que se trata de elementos móviles. Los contenidos en tierras raras normalizadas a condrito C1 muestran un paralelismo de las distintas curvas, mostrando patrones con forma curva decreciente para las tierras raras livianas y prácticamente plana para las pesadas, con anomalía tanto positiva como negativa en Eu (común en magmas félsicos), lo cual indica un posible fraccionamiento de plagioclasa (Figura 24).

En el diagrama Rb Vs Y+ Nb de Pearce *et al.* (1984), las muestras aparecen representadas en el campo de los granitoides de arco volcánico (Figura 25), la mayoría de ellas en el sector compartido con arco continentales calco-alcalino. Aunque sobre la base de los tenores geoquímicos es difícil discriminar con seguridad el ambiente tectónico de emplazamiento, hay predominio de composiciones dioríticas, tonalíticas y el evidente fraccionamiento de plagioclasa. Esto con los resultados del trabajo (Villagómez *et al.*, 2011) donde los diagramas multielementos muestran anomalías negativas de Nb, Ta y Ti, que son indicativos de un origen relacionado a subducción sugieren como más probable el ambiente de arco.

CONCLUSIONES

- En el sector Santa Rosa Este se presentan, rocas de falla correspondientes a cataclasitas, que sugieren comportamiento frágil, producto de un metamorfismo dinámico, es decir son generadas fundamentalmente por la actuación de esfuerzos, lo que no quiere decir que se formen siempre en condiciones frías. De hecho es la T lo que condiciona la formación de rocas de una u otra serie.
- Tanto la asociación litológica como las características geoquímicas de los granitoides del sector de estudio indican un emplazamiento en ambiente tectónico de arco volcánico, lo que confirman las afirmaciones realizadas por otros autores.
- Las tonalitas presentan en su composición, la asociación mineral de plagioclasa, anfíbol y biotita, dispuestas en las muestras a manera de fenocristales, y en zonaciones 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 estudios mineralógicos, petrográficos y geoquímicos realizados en las rocas antes mencionadas, permitieron establecer que las tonalitas, tal como fueron denominadas inicialmente estas rocas con base en sus rasgos macroscópicos, en la geoquímica según el diagrama de rocas plutónicas Rollinson (1993) no coincidía con el resultado arrojado de la petrografía, tras este hecho se realizó en la geoquímica la Clasificación de las rocas plutónicas usando los parámetros R1 y R2 (Roche et al., 1980) calculando las proporciones milicionicas arrojando un resultado más acorde a la petrografía realizada.

- Los estudios mineralógicos, petrográficos y geoquímicos realizados en las rocas antes mencionadas, permitieron establecer que las muestras (MSD-8 Y MSD-10) Dacitas tal como fueron denominadas inicialmente estas rocas con base en sus rasgos microscópicos, en la parte geoquímica en el diagrama para rocas volcánicas según Le Maitre corroboran este resultado e excepción de la muestra MSD-10 debido a su bajo contenido de SiO_2 , da en el intervalo de la foidita.
- Según la clasificación TAS las rocas volcánicas, se proyectan en dos diferentes campos; dacita y foidita; teniendo en cuenta que estas muestras han sufrido pérdidas de álcalis durante alteraciones supergenicas e hidrotermales, se puede decir que no es muy confiable esta proyección, por lo tanto se clasifican como dacitas
- Los rasgos petrográficos y geoquímicos de estas rocas, permitieron establecer el carácter calco alcalino para ambas litologías, lo cual implica un contexto de emplazamiento en un ambiente de subducción.
- Las rocas dioríticas y tonalíticas del batolito antioqueño hace parte del ciclo de actividad magmática del Cretácico Tardío en Colombia, relacionado a un proceso de subducción que permitió la generación del magma a partir del cual cristalizaron este cuerpo y plutones relacionados.
- Por medio de la clasificación de rocas granitoides según su ambiente tectónico Pitcher (1983) se comprueba su origen de arco continental ya que la geoquímica revela el tipo de roca de serie calco-alcalina, la asociación mineral es Hbl-Bt, el volcanismo asociado a dacitas, el tipo de rocas revelado variaron entre tonalitas, dioritas, granodioritas y cuarzodioritas y en la clasificación de Pearce et al., (1984) da como resultado VAG (granito de arco volcánico).

- Los datos geoquímicos de las rocas graníticas, permitieron establecer una afinidad calco-alkalina alta en potasio, lo cual sugiere un ambiente de formación en un contexto de subducción de margen continental activo (granitos de arco volcánico sin-colisional, según la relación Rb Vs Y+Nb).
- Los diagramas multielementales de tierra raras presentan una anomalía negativa en el Eu, lo que puede indicar un fraccionamiento de la Plagioclasa

RECOMENDACIONES

Realizar dataciones

Determinar mejor las relaciones de corte de las diferentes litologías reportadas en este estudio mediante un mapeamiento geológico detallado.

Trabajar en el modelo del depósito en el que está trabajando la empresa Red Eagle Mining

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, J., 1987. Tectonitas dunitas de Medellín, departamento de Antioquia, Colombia. Bol. Geol., Ingeominas, Bogotá. Vol 28, pp 944

ARIAS L., Gonzales, S. 2007. Morfología Altiplano De Santa Rosa De Osos, Boletín de Geología Vol 29, pp 95-102

BELTRÁN, J. D. 1994. Estudio Geológico y Geotécnico Preliminar Del Perímetro Urbano Del Municipio De Santa Rosa De Osos, Medellín, pp 1-32

BOTERO, G. 1963. Contribución al Conocimiento de la Geología de la Zona Central de Antioquia. Anales de la Facultad de Minas. Medellín. Vol 57. 101p.

FEININGER, T; Botero, G. 1982. El Batolito Antioqueño, Colombia. Ingeominas, Publ. Esp., Vol 12; pp 1-50. Bogotá.

GARCÍA RAMÍREZ, C. A. 2007. Manual de Prácticas de Petrología Metamórfica. Ediciones UIS Bucaramanga, pp 7-37, 49-54.

GONZÁLEZ, H. 1996. Mapa Geológico del Departamento de Antioquia. Geología, Recursos minerales y amenazas potenciales. Memoria Explicativa. Ingeominas. 213p.

GONZÁLEZ, H., 2001. Mapa Geológico del Departamento de Antioquia. Escala 1:400.000. Memoria Explicativa y mapa – INGEOMINAS. 240p.

GONZÁLEZ, H. & LONDOÑO, A. C. (2003): Batolito Antioqueño. Catálogo de las Unidades Litoestratigráficas de Colombia.- INGEOMINAS, Bogotá, 16 p.

HERMELIN, M. 2006. Geografía de Antioquia. Fondo Editorial Universidad EAFIT & Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Capítulo de Antioquia. 338p.

IRVINE T. N. Baragar, W. R. A.1971. guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Can. J. Earth Sci, Vol 8. pp 523-548.

KERR P.F. 1965. Mineralogía Óptica. Traducido por José Huidobro 3 ed. New York:. McGraw-Hill, Universidad de Columbia 436p.

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

M. Koukharsky, S. Quenardelle, V. D. Litvak, S. Page, E. B. Maisonnave 2002. Plutonismo del Ordovícico inferior en el sector norte de la sierra de Macon, provincial de Salta Rev. Asoc Geol. Argent Vol. 57 n.2 Buenos Aires. 9p.

MANTILLA FIGUEROA, L. C. 2003. Guía de Laboratorios de petrología Ígnea. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Fisicoquímicas. Escuela de Geología, pp 2-25, 74-78, 116-118.

MELGAREJO, JC.1997. Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada, pp 680-1200.

ORDOÑEZ, O. 2007 Edades U-Pb del Batolito Antioqueño Facultad de minas. Universidad Nacional de Colombia. 42p.

RADELLI, L. 1965. Contribución a la geología colombiana de los andes occidentales departamentos Caldas y Antioquia. U. Grenoble. Grenoble. Vol 41, pp 187-208.

RESTREPO, J.J. y Toussaint, J.F., 1984. Unidades litológicas de los alrededores de Medellín. I Conf. Sobre riesgos geológicos del Valle de Aburrá. Medellín. Soc. Col. Geol. Memorias, pp 1-26.

RESTREPO, S. Foster, D. Stockli, D. Parra-Sanchez. 2009 L. Long-term erosion and exhumation of the “Altiplano Antioqueño”, Northern Andes from apatite (U-Th)/He thermochronology. Colombia, Earth and Planetary Science Letters Vol. 278 pp 1-12.

RÍOS REYES, C.A., Castellanos, Alarcón, O.M. 2005. Atlas de minerales vistos bajo el microscopio de luz transmitida. Bucaramanga.: Ediciones UIS, pp 90-96.

RICO, H. 1965. Estudio Geológico En Santa Rosa De Osos y municipios vecinos. Tesis de grado, Univ. Nacional, Fac. Minas, Medellín, pp. 1-106

ROLLINSON, H 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation, Longman. 314 p.

Sun & W. F. McDonough. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes Geological Society, London, Special Publications. Vol. 42; pp. 313-345.

VILLAGOMEZ, D. Spikings, R. Magna, T. Kammer, A. Winkler, W. Beltran A. 2011. Geochronology, geochemistry and tectonic evolution of the Western and central cordilleras of Colombia, Lithos. Vol 125; pp 875-896.

EN LA WEB

GEANTEC. Minería. <http://www.geaintec.cl/mineria/>.

Gobernación de Antioquia: Memoria Explicativa del Mapa de Zonas de Vida., www.antioquia.gov.co

ANEXOS

ANEXOS A. CATALOGO PETROGRAFICO

MUESTRAS ANALIZADAS: MSD – 1; MSD – 2; MSD – 3; MSD – 4; MSD – 5; MSD – 6; MSD – 7; MSD – 8; MSD – 9; MSD – 10.

SECCION DELGADA No MSD – 1

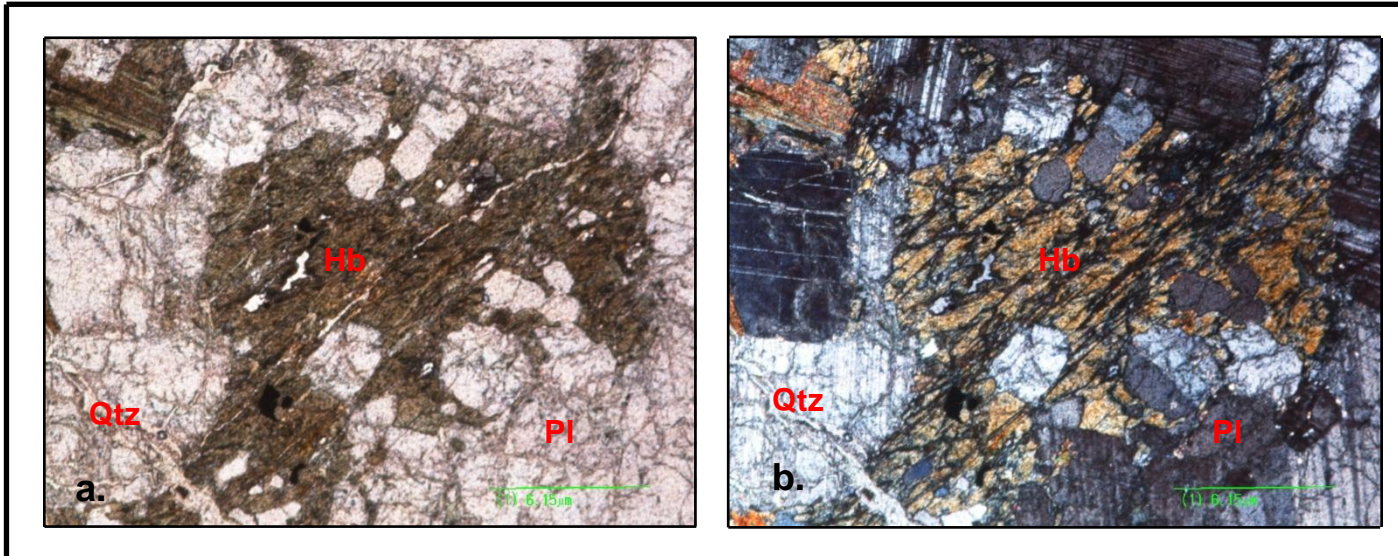


Figura 1. En la figura se observan presencia de cristales de hornblenda; Hb, cuarzo; Qtz y plagioclasas; Pl. **a)** en NII y **b)** en NX.

1. Composición Mineralógica

Minerales

Cuarzo: 34%

Biotita: 3%

Rutilo: 1%

Plagioclasa: 57%

Clorita: 1%

Hornblenda: 3%

Sericita: 1%

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 alterada a Sericita.

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

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

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 Hornblenda y de la Biotita.

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.

2. Texturas y Microestructuras

Textura kelifítica

Textura fanerítica

3. Secuencia de formación de los minerales

Mineral	Etapas magmática	Alteración secundaria
Plagioclasa	X	
Hornblenda	X	
Cuarzo	X	
Biotita	X	
Clorita		X
Sericita		X
Rutilo	X	

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

SECCION DELGADA No MSD – 2

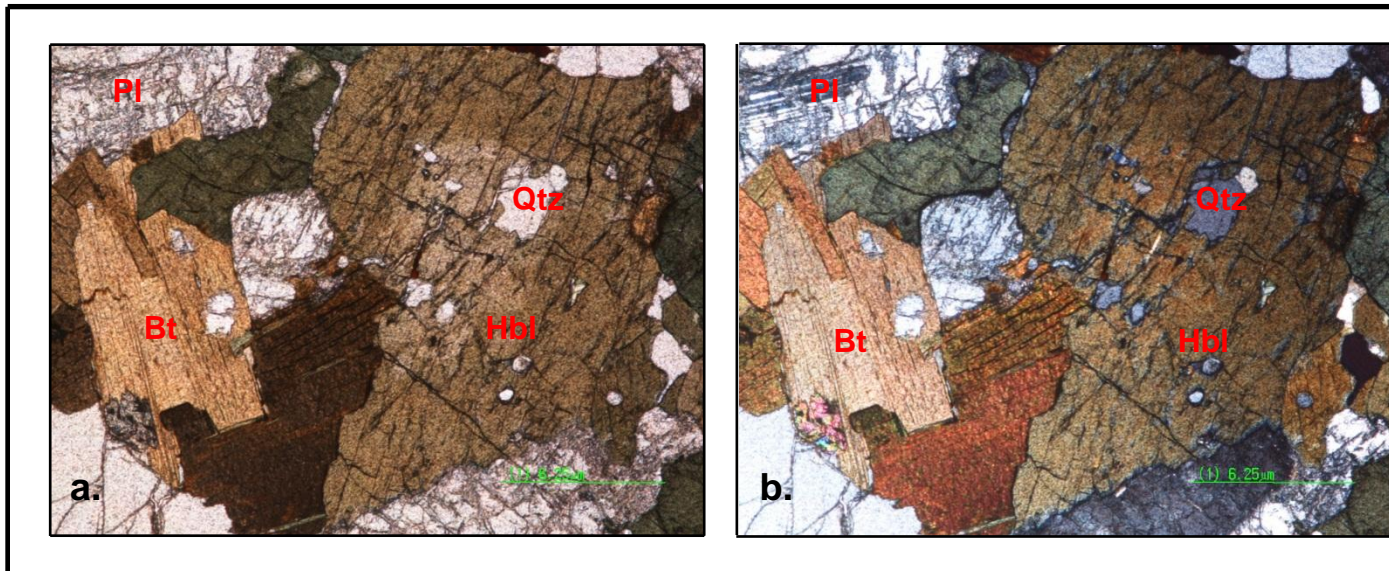


Figura 2. En la figura se observa la presencia de cristales de Plagioclasa; Pl, Hornblenda; Hbl, intercrecimientos de la Biotita; Bt, y cristales de Cuarzo; Qtz a.) en NII y b.) En NX.

1. Composición Mineralógica

Minerales

Cuarzo: 32%	Biotita: 13%
Plagioclasa: 35%	Clorita: 3%
Hornblenda: 16%	Leucoxeno: 1%

Plagioclasa: Individuos subhedrales incoloros, de bajo relieve, con colores de birrefringencia de primer orden, alargados con formas tabulares; la Plagioclasa presenta 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.

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

Hornblenda: Cristales euhedrales de color verde, pleocroicos, prismáticos, con relieve moderado, muestran colores de birrefringencia de segundo orden y exfoliación en dos direcciones, se presenta en la muestra con tamaño de grano medio y se está 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 Hornblenda.

Biotita: Individuos hojosos de color marrón, pleocroicos, con exfoliación en una dirección, de colores de birrefringencia del tercer orden. Se presentan en la roca de tamaño medio. Algunas biotitas se presentan en intercrecimiento y otras presentan bordes oscuros y opacos.

Leucoxeno: Individuos de color marrón-rojizo, con birrefringencia que varía en las mismas tonalidades, anhedrales a subhedrales. De relieve alto y tamaño de grano fino. En su mayoría se presenta a manera de parches. Esta heterogéneamente distribuido. Representa alteraciones u oxidaciones de minerales metálicos.

2. Texturas y Microestructuras

Textura Subidiomorfica

Textura Fanerítica

3. Secuencia de formación de los minerales

Mineral	Etapas magmática	Alteración secundaria
Plagioclasa	X	
Hornblenda	X	
Cuarzo	X	
Biotita	X	
Clorita		X
Leucoxeno	X	

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

SECCION DELGADA No MSD – 3

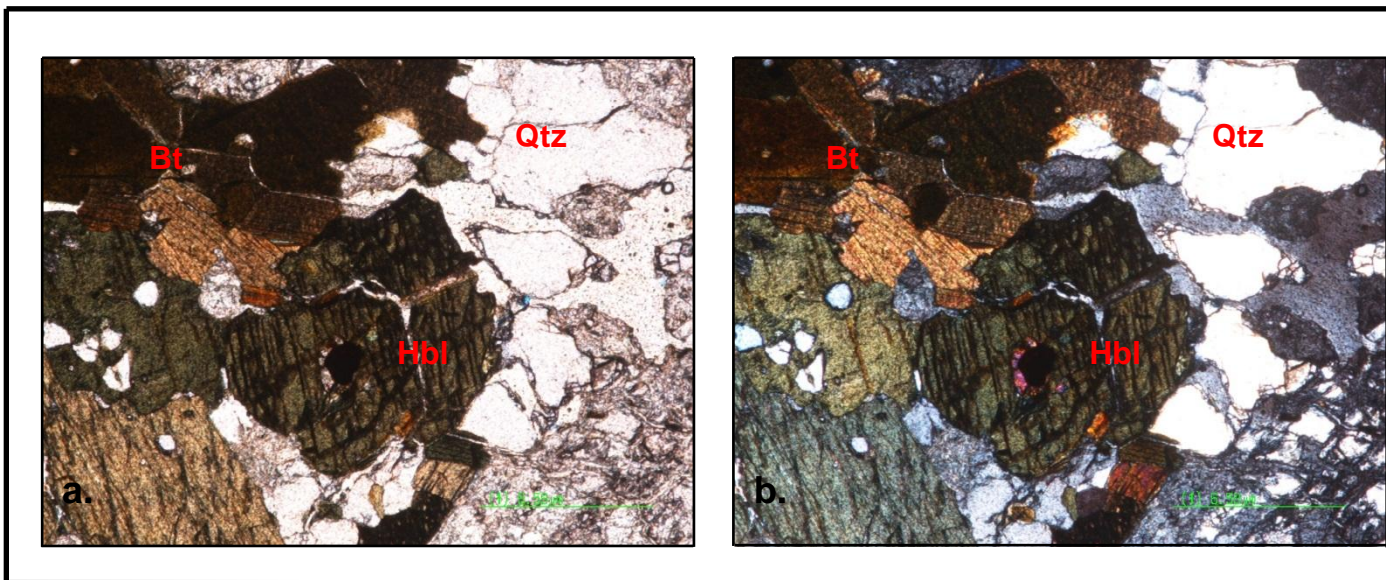


Figura 3. Presencia de cristales de Hornblenda; Hbl, Cuarzo; Qtz, y Biotita; Bt. **a.)** en NII y **b.)** en NX.

1. Composición Mineralógica

Minerales

Cuarzo: 29%

Biotita: 14%

Plagioclasa: 37%

Zircón: 2%

Hornblenda: 18%

Plagioclasa: Individuos subhedrales incoloros, de bajo relieve, con colores de birrefringencia de primer orden, alargados con formas tabulares; tamaño de grano medio, se presentan a manera de fenocristales con maclas polisintéticas tipo

albita, otros tipo plagioclasa cálcica, y en algunos casos, estas últimas presentan zonación.

Cuarzo 1: Individuos incoloros, con birrefringencia que varía de grises de primer orden, de relieve bajo, subhedrales a anhedrales. Anisotrópico-uniaxial de tamaño de grano medio, esta homogéneamente distribuida por toda la sección.

Cuarzo 2: Se presenta rellenando las fracturas con un tamaño de grano fino.

Hornblenda Individuos de color pardo a verde medio, pleocroicos de birrefringencia de tercer orden, anhedrales, con bordes rectos e irregulares con variaciones de tamaño de grano fino a medio, la mayoría de individuos no presenta exfoliación, se encuentra distribuida heterogéneamente en la placa.

Biotita: Individuos hojosos de color marrón, pleocroicos, con exfoliación en una dirección y colores de birrefringencia el tercer orden. Por otro lado se presentan con tamaño medio, algunas de estas biotitas presentan bordes oscuros y opacos.

Zircón: Individuos incoloros con birrefringencia que varía entre rosado de tercer orden y amarillo de segundo orden. Anisotrópico-Uniaxial de relieve muy alto, anhedrales de tamaño de grano fino, inequigranulares, ovalados, se presenta como inclusión del Cuarzo, Plagioclasa; Hornblenda y Biotita

2. Texturas y Microestructuras

Textura Subidiomorfa

Textura Fanerítica

3. Secuencia de formación de los minerales

Mineral	Etapa magmática	Alteración secundaria
Plagioclasa	X	
Hornblenda	X	
Cuarzo	X	
Biotita	X	
Zircón	X	

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

SECCION DELGADA No MSD – 4

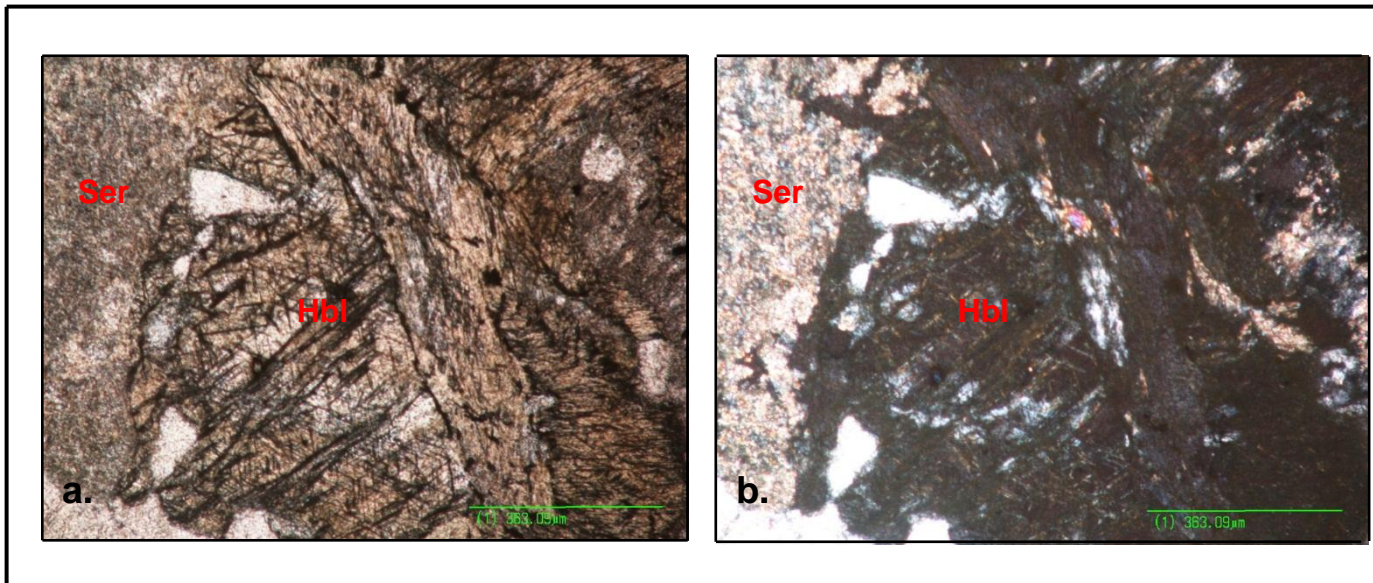


Figura 4. En la figura se observan fenocristales de hornblenda; (HbL), embebidos en una matriz de sericita **a.)** en NII y **b.)** en NX.

1. Composición Mineralógica

Minerales

Cuarzo: 19%

Opacos: 3%

Plagioclasa: 34%

Sericita: 20%

Hornblenda: 23%

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, presenta maclas polisintéticas tipo Plagioclasa cálcica y otros tipo albita.

Sericita: Agregado mineral producto de la alteración de la plagioclasa, incolora con birrefringencia que varía entre rosados y amarillos de segundo orden. Anisotropico-biaxico de relieve bajo y tamaño de grano muy fino, se encuentra

distribuida heterogéneamente en la placa; ha reemplazado casi en su totalidad a la plagioclasa. Además se presenta en ocasiones rellanando las fracturas.

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

Hornblenda: 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, se desarrolla a manera de parches del centro hacia fuera del mineral.

2. Texturas y Microestructuras

Textura Kelifítica

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.

3. Secuencia de formación de los minerales

Mineral	Etapa magmática	Alteración secundaria
Plagioclasa	X	
Sericita		X
Hornblenda	X	
Cuarzo	X	

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

SECCION DELGADA No MSD – 5

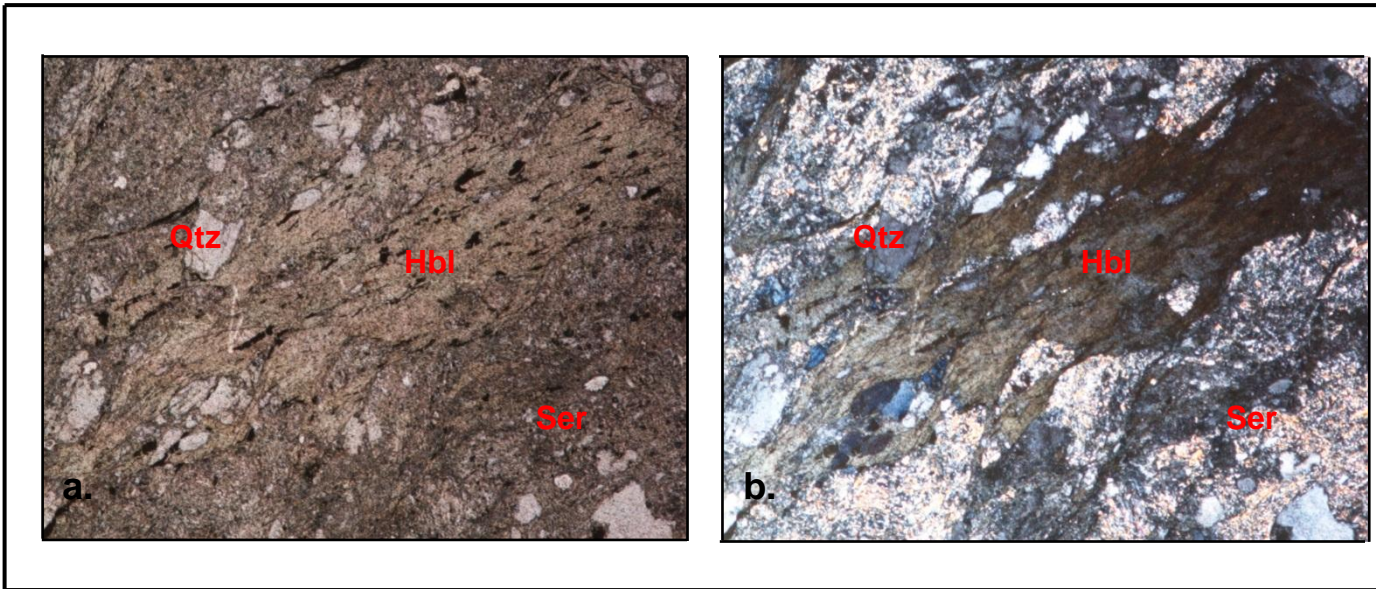


Figura 5. Se observa en la figura deformación de la Hornblenda; Hbl, embebidos en la matriz de la roca Sericita; Ser, cristales de Cuarzo: Qtz a.) en NII y b.) en NX.

1. Composición Mineralógica

Minerales

Plagioclasa: 34%

Sericita: 20%

Hornblenda: 23%

Biotita: 8%

Cuarzo: 13%

Clorita: 2%

Cuarzo: Individuos incoloros con birrefringencia que varía entre grises de primer orden. Anisotrópico-uniáxico de relieve medio a bajo. Distribuido heterogéneamente en la placa.

Cuarzo 1: Tamaño de grano de medio (0.9mm), heteroblasticos y xenoblásticos en ocasiones se encuentra fracturado.

Cuarzo 2: Tamaño de grano fino (0.3mm) xenoblásticos. Se encuentra orientado en una dirección preferencial. Envueltos en la matriz sericítica, está bastante alargado y la deformación es mayor.

Plagioclasa: Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, de bajo relieve, xenoblástica, subidioblastica, algunos se presentan como relictos, con bordes rectos, tamaño de grano medio a grueso algunas de estas plagioclasas se le ve la macla polisintética, la mayoría de esta muestra se encuentra alterada a sericita.

Sericita: incolora con alta birrefringencia que varía entre rosados y amarillos de segundo orden, xenoblásticos, homeoblasticos, se encuentra diseminado, de tamaño muy fino (0.2mm), como matriz con leve orientación, incluidos en Pl, se presentan unas zonas recristalizadas a moscovita, distribuido homogéneamente en la placa.

Biotita: Individuos cristalinos de color marrón y birrefringencia que varía entre verdes y amarillos de tercer orden a amarillos de segundo orden, subidioblasticos a idioblásticos, tabulares, relieve medio y tamaño de grano fino (0.2mm – 0,4mm). Presenta pleocroísmo débil con variaciones en tonos de cafés y presenta exfoliación perfecta. Se encuentra distribuida heterogéneamente en la placa.

Hornblenda: Individuos de color verde, colores de birrefringencia de tercer orden, xenoblasticos, subidioblasticos, con bordes irregulares, con variaciones de tamaño medio, se presenta alterada y deformada el pleocroísmo es muy bajo, se presenta alterando a clorita, esta heterogéneamente en toda la muestra.

2. Texturas y Microestructuras

Textura Porfidoblastica

3. Secuencia de formación de los minerales

Mineral	Etapa magmática	Alteración secundaria
Plagioclasa	X	
Sericita		X
Hornblenda	X	
Cuarzo	X	
Biotita	X	
Clorita		X

4. Nombre de la roca Mesocataclasita. Según García Ramírez C. A. 2007. Manual de prácticas de Petrología Metamórfica. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas.

SECCION DELGADA No MSD – 6

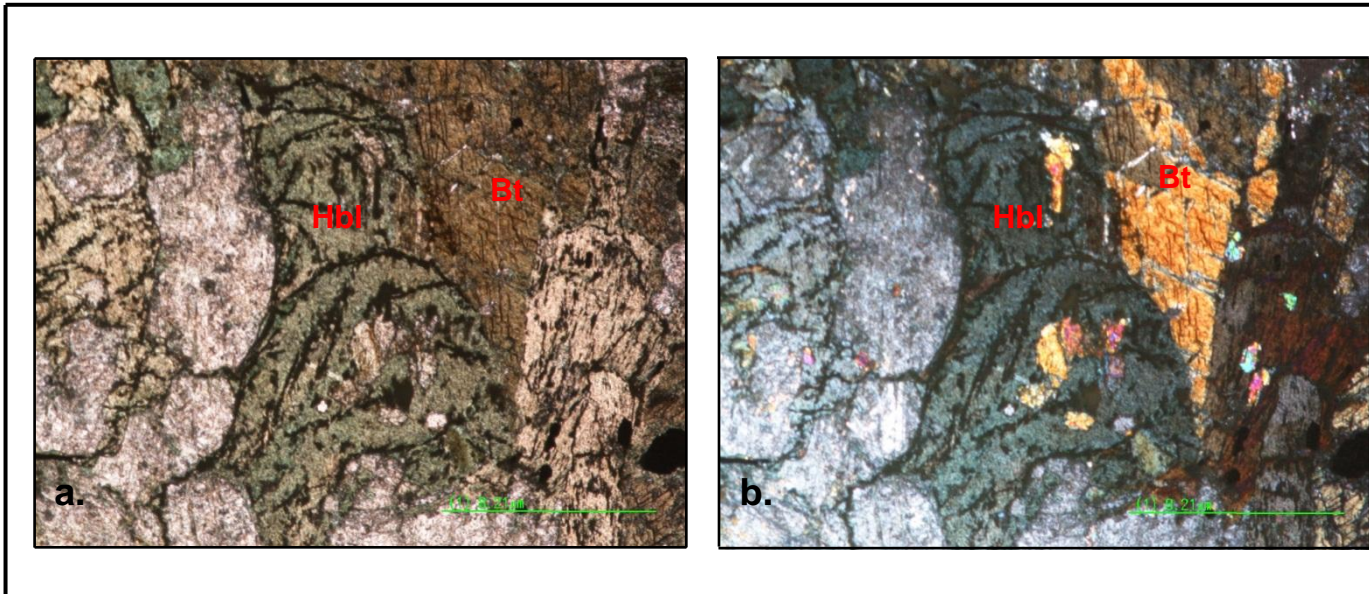


Figura 6. En la figura se observan cristales de hornblenda; Hbl, presentando deformación, y cristales de biotitas; Bt en una misma dirección.

1. Composición Mineralógica

Minerales

Cuarzo: 12%

Clorita: 5%

Opacos: 1%

Plagioclasa: 59%

Biotita: 8%

Rutilo: 2%

Hornblenda: 10%

Sericita: 3%

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 está 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 Hornblenda y de la Biotita.

Cuarzo: Individuos xenomorfos incoloros, de bajo relieve con colores de birrefringencia del primer orden, se presenta en la roca con tamaño de grano medio, se presenta heterogéneamente en toda la muestra.

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.

2. Texturas y Microestructuras

Textura Kelifítica

Textura Poikilitica

3. Secuencia de formación de los minerales

Mineral	Etapas magmática	Alteración secundaria
Plagioclasa	X	
Sericita		X
Hornblenda	X	
Biotita	X	
Clorita		X
Cuarzo	X	
Rutilo	X	

4. Nombre de la roca Cuarzodiorita

SECCION DELGADA No MSD – 7

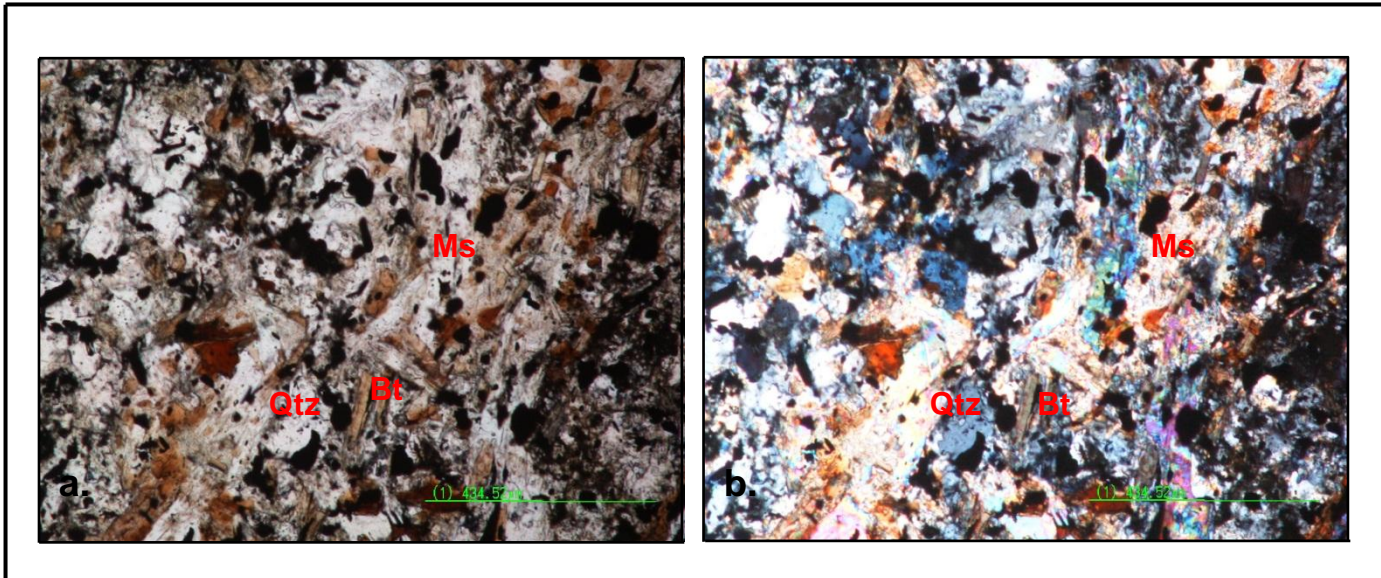


Figura 7. En la figura se observan los cristales de Biotita; Bt, Moscovita; Ms, levemente orientados, y cristales de Plagioclasa.

1. Composición Mineralógica

Minerales

Cuarzo: 12%

Sericita: 9%

Plagioclasa: 23%

Biotita: 15%

Muscovita: 30%

Opacos: 3%

Plagioclasa: Individuos incoloros, con birrefringencia que varía entre grises de primer orden, subidioblasticos. Anisotropico-biaxico de relieve bajo, exfoliación perfecta y tamaño de grano medio. Presenta maclado tipo Carlsbad. Esta heterogéneamente distribuida por toda la placa y se presenta fuertemente fracturada.

Sericita: agregado mineral producto de la alteración de la Plagioclasa, incolora con birrefringencia que varía entre rosados y amarillos de segundo orden. Anisotropico-biaxico de relieve bajo y tamaño de grano muy fino, distribuida heterogéneamente en toda la placa.

Cuarzo: Individuos incoloros con birrefringencia que varía entre grises de primer orden. Anisotrópico-uniáxico de relieve medio a bajo. Distribuido heterogéneamente en la placa

Muscovita: Individuos o agregados incoloros, con birrefringencia que varía entre azules de tercer orden hasta amarillos de primer orden, subidioblasticos a heteroblásticos. Anisotrópico- biáxico de relieve bajo, exfoliación en una dirección y tamaño de grano fino (0.2 mm). Se encuentra en contacto con la Biotita Cuarzo .Sericita. Esta homogéneamente distribuida en la placa y sigue la orientación de los cristales de mayor tamaño.

Biotita: Individuos cristalinos de color marrón y birrefringencia que varía entre verdes y amarillos de tercer orden a amarillos de segundo orden, subidioblasticos a idioblásticos, tabulares, relieve medio y tamaño de grano fino (0.2mm – 0,4mm). Presenta pleocroísmo débil con variaciones en tonos de cafés y presenta exfoliación perfecta. Se encuentra distribuida heterogéneamente en la placa.

2. Texturas y Microestructuras

Textura Porfidoblastica

3. Secuencia de formación de los minerales

Mineral	Etapa magmática	Alteración secundaria
Plagioclasa	X	
Sericita		X
Cuarzo	X	
Biotita	X	
Muscovita	X	

4. Nombre de la roca Mesocataclasita. Según García Ramírez C. A. 2007. Manual de prácticas de Petrología Metamórfica. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas.

SECCION DELGADA No MSD – 8

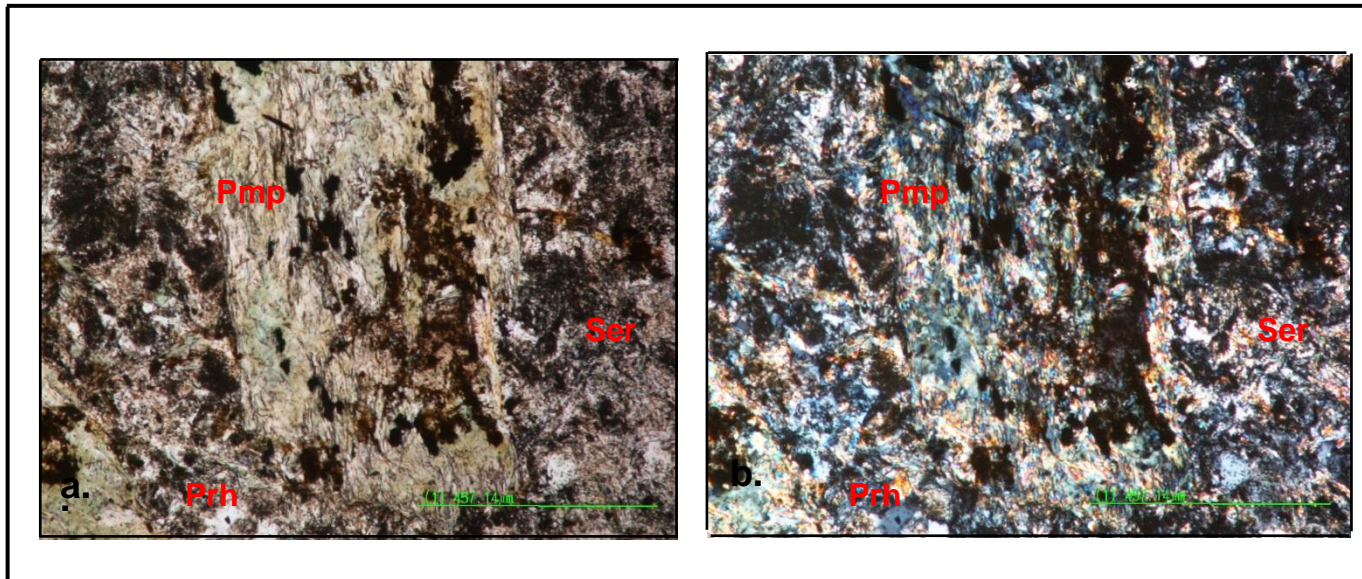


Figura 8. En la figura se observa los minerales embebidos en una matriz Prehnita; Prh, Pumpellyita; Pmp, y plagioclasa alterándose a sericita; Ser **a.)** en NII y **b.)** en NX.

1. Composición Mineralógica

Minerales

Pumpellyita: 21%	Sericita: 2%	Cuarzo: 32%
Prehnita: 14%	Opacos: 8%	
Plagioclasa: 21%	Rutilo: 2%	

Pumpellyita: Individuos de hábito tabular, incoloro a verde oscuro, con colores de birrefringencia hasta final del primer orden o principios del segundo, tamaños de grano medio, es característico de las rocas volcánicas afectadas por metamorfismo regional en condiciones de bajo grado. Esta homogéneamente en toda la muestra.

Prehnita: Individuos de hábito tabular también se presentan como prismáticos-columnar, se encuentran agrupados en agregados radiales, incoloro, colores de birrefringencia de segundo orden, tamaño de grano medio se encuentra heterogéneamente en toda la muestra.

Plagioclasa: Individuos subhedrales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia de primer orden, alargados con formas tabulares; la plagioclasa se presenta formando parte de la matriz con tamaño de grano fino, presenta maclado tipo Carlsbad. Se presenta heterogéneamente en toda la muestra.

Sericita: se presenta en agregados escamosos muy finos, desarrollados sobre la Plagioclasa.

Cuarzo: Individuo incoloros con birrefringencia que varía entre grises de primer orden. Anisotrópico-uniaxial de relieve bajo, tamaño de grano fino y forma anhedral a subhedral. Componente principal de la matriz. Se encuentra homogéneamente en toda la muestra.

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.

2. Texturas y Microestructuras

Textura Afanítica

Textura Porfídica

3. Secuencia de formación de los minerales

Mineral	Etapas magmáticas	Alteración secundaria
Pumpellyita	X	
Prehnita	X	
Plagioclasa	X	
Sericita		X
Cuarzo	X	
Rutilo	X	

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

SECCION DELGADA No MSD – 9



Figura 9. Presencia de cristales de Biotita; Bt, Plagioclasa; Pl, a.) en NII b.) en NX.

1. Composición Mineralógica

Minerales

Cuarzo: 23%

Clorita: 1%

Plagioclasa: 36%

Ortoclasa: 16%

Biotita: 18%

Hornblenda: 6%

Plagioclasa: Individuos subhedrales incoloros, de bajo relieve, con colores de birrefringencia de primer orden, alargados con formas tabulares; la Plagioclasa se presenta a manera de fenocristales de tamaños que varían entre 2.2mm a 2.8mm, algunos fenocristales presentan macla polisintética tipo Plagioclasa cálcica, otros tipo albita y en algunos casos presenta zonación. La zonación predominante es del centro hacia afuera pero se puede observar en sentido contrario.

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 cloritización.

Hornblenda: 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 hornblenda desarrollándose del centro hacia afuera.

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.

2. Texturas y Microestructuras

Textura Fanerítica

3. Secuencia de formación de los minerales

Mineral	Etapa magmática	Alteración secundaria
Plagioclasa	X	
Ortoclasa	X	
Hornblenda	X	
Biotita	X	
Clorita		X
Cuarzo	X	

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

SECCION DELGADA No MSD – 10

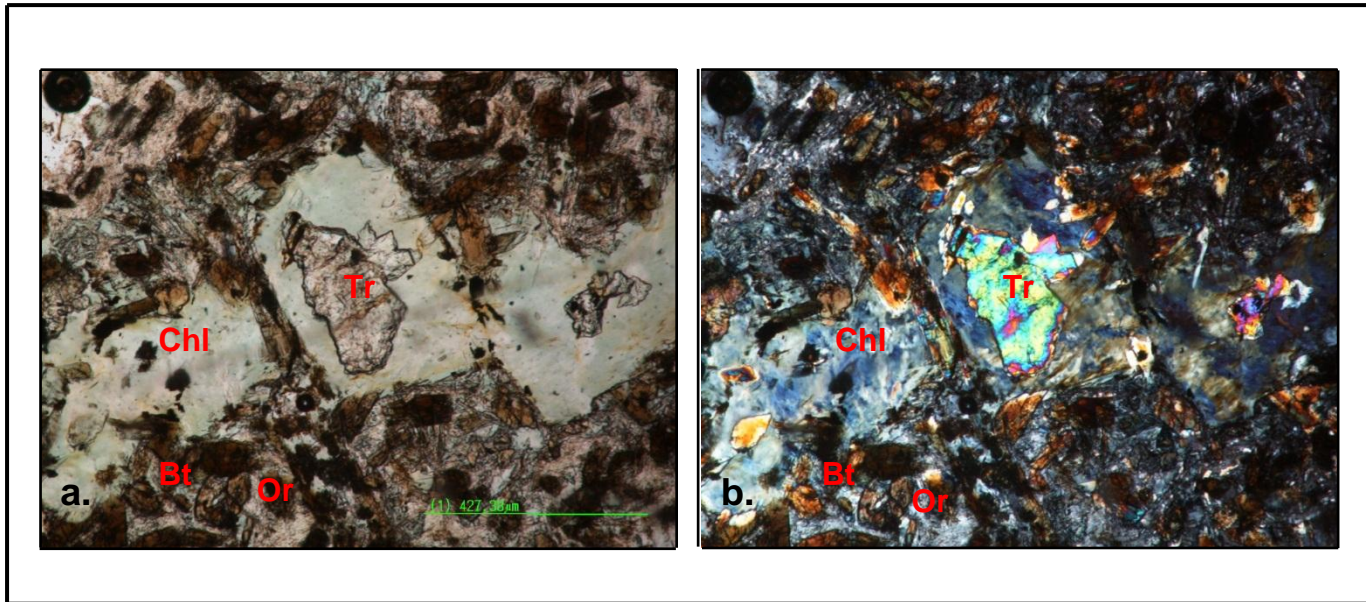


Figura 10. Presencia de Tremolita; Tr, Biotitas; Bt, en dos direcciones Ortoclasas; Or, y Clorita; Chl a.) en NII y b.) en NX.

1. Composición Mineralógica

Minerales

Cuarzo: 31%

Epidota: 2%

Clorita: 9%

Plagioclasa: 15%

Tremolita: 8%

Opacos: 2%

Biotita: 27%

Ortoclasa: 6%

Cuarzo: Individuo incoloros con birrefringencia que varía entre grises de primer orden. Anisotrópico-uniaxial de relieve bajo, tamaño de grano fino (0,18mm 0,5 mm) y forma anhedral a subhedral. Componente principal de la matriz. se encuentra homogéneamente en toda la muestra.

Biotita: Agregados de color marrón con su pleocroísmo típico, de hábito hojoso constituido con exfoliación en una sola dirección, subhedral. Se presentan en la roca con tamaño de grano fino de (0,04mm), y algunos cristales hacen parte de la matriz, se presenta heterogéneamente en toda la muestra.

Plagioclasa: Individuos subhedrales incoloros de bajo relieve, con colores de birrefringencia de primer orden, alargados con formas tabulares; la plagioclasa se presenta formando parte de la matriz con tamaño de grano fino, presenta maclado tipo Carlsbad. Se presenta heterogéneamente en toda la muestra

Ortoclase: Individuos anhedrales incoloros, de bajo relieve, de colores de birrefringencia de primer orden y presentan tamaño de grano fino.

Epidota: Individuos de color verde muy claro incoloros, con birrefringencia que varía entre azules de tercer orden y amarillos de primer orden, anhedrales. Anisotrópico-uniáxico de relieve muy alto y tamaño de grano fino. Se encuentran heterogéneamente distribuidos por la placa.

Tremolita: Individuos prismáticos, aciculares, color incoloro, presenta exfoliación en dos direcciones, relieve moderado, y colores de birrefringencia de segundo orden, subhedrales de tamaño de grano fino, se presenta heterogéneamente en toda la muestra.

Clorita: Individuos xenomorfos de color verde, de pleocroísmo débil, de colores de birrefringencia enmascarados por el color del mineral, en ocasiones tonos azulejos, se presenta como alteración de la biotita y la Tremolita desarrollándose hacia afuera de la muestra.

2. Texturas y Microestructuras

Textura Afanítica

Textura Porfídica

3. Secuencia de formación de los minerales


Mineral	Etapas magmáticas	Alteración secundaria
Cuarzo	X	
Biotita	X	
Plagioclasa	X	
Epidota	X	
Tremolita	X	
Ortoclase	X	


Clorita

X

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


ANEXOS B. CATALOGO MACROSCOPICO


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 858875 Y= 1223888		
Color: Blanco y negro		
Estructuras y Texturas: Fanerítica		
Características del tamaño de grano: medio a grueso		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Cuarzo	18	
Plagioclasa	45	
Biotita	28	
Sericita	7	Número de la muestra: M-1
Opacos	2	Tipo de roca: Ignea
		Nombre de la roca: Tonalita


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 857572 Y= 1223155		
Color: Blanco		
Estructuras y Texturas: Fanerítica		
Características del tamaño de grano:		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Sericita	80	
Cuarzo	15	
Oxidos	5	
		Número de la muestra: M-2
		Tipo de roca: Ignea
		Nombre de la roca: Tonalita alterada


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 856401 Y= 1223205		
Color: Blanco		
Estructuras y Texturas: Afanítica		
Características del tamaño de grano: Muy fino		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Cuarzo	15	
Plagioclasa	25	
Sericita	55	
Oxidos	5	Número de la muestra: M-3
		Tipo de roca: Ignea
		Nombre de la roca: Tonalita alterada


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 856405 Y= 1223208		
Color: Blanco a negro		
Estructuras y Texturas: Bandeamiento		
Características del tamaño de grano: Grueso		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Plagioclasa	35	
Sericita	25	
Cuarzo	20	
Horblenda	10	Número de la muestra: M-4
Biotita	5	Tipo de roca: Metamorfica
Clorita	5	Nombre de la roca: Mesocataclasita


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 856401 Y= 1223380		
Color: Blanco a negro		
Estructuras y Texturas: Fanerítica		
Características del tamaño de grano: Medio a grueso		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Cuarzo	26	
Plagioclasa	44	
Biotita	20	
Horblenda	8	Número de la muestra: M-5
Opacos	2	Tipo de roca: Ignea
		Nombre de la roca: Diorita


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 856505 Y= 1223363		
Color: Blanco a negro		
Estructuras y Texturas: Fanerítica		
Características del tamaño de grano: Medio		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Cuarzo	24	
Plagioclasa	45	
Biotita	14	
Sericita	6	Número de la muestra: M-6
Horblenda	11	Tipo de roca: Ignea
		Nombre de la roca: Tonalita


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 856544 Y= 1223301		
Color: Gris oscuro		
Estructuras y Texturas: Afanítica		
Características del tamaño de grano: Muy fino		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Biotita	85	
Cuarzo	5	
Oxidos	10	
		Número de la muestra: M-7
		Tipo de roca: Ignea
		Nombre de la roca: Dacita


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 857580 Y= 1223228		
Color: Gris a blanco		
Estructuras y Texturas: Fanerítica		
Características del tamaño de grano: Medio a grueso		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Cuarzo	15	
Plagioclasa	35	
Biotita	5	
Sericita	30	Número de la muestra: M-8
Horblenda	10	Tipo de roca: Ignea
Opacos	5	Nombre de la roca:


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 858110 Y= 1223443		
Color: Blanco a negro		
Estructuras y Texturas: Fanerítica		
Características del tamaño de grano: Medio		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Cuarzo	18	
Plagioclasa	15	
Biotita	30	
Sericita	14	Número de la muestra: M-9
Horblenda	23	Tipo de roca: Ignea
		Nombre de la roca: Tonalita


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 856231 Y= 1224696		
Color: Blanco a negro		
Estructuras y Texturas: Fanerítica		
Características del tamaño de grano: Medio a grueso		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Cuarzo	32	
Plagioclasa	35	
Horblenda	19	
Biotita	13	Número de la muestra: M-10
Ox. Fe	1	Tipo de roca: Ignea
		Nombre de la roca: Tonalita


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 857623 Y= 1222913		
Color: Blanco a negro		
Estructuras y Texturas: Fanerítica		
Características del tamaño de grano: Medio		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Cuarzo	19	
Plagioclasa	39	
Biotita	9	
Sericita	11	Número de la muestra: M-11
Horblenda	20	Tipo de roca: Ignea
Opacos	2	Nombre de la roca: Tonalita


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 852731 Y= 1224071		
Color: Blanco a negro		
Estructuras y Texturas: Fanerítica		
Características del tamaño de grano: Medio a grueso		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Plagioclasa	36	
Biotita	18	
Horblenda	6	
Cuarzo	23	Número de la muestra: M-12
Ortoclasa	16	Tipo de roca: Ignea
Clorita	1	Nombre de la roca: Granodiorita


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 852751 Y= 1224050		
Color: Gris		
Estructuras y Texturas: Afanítica		
Características del tamaño de grano: Muy fino a fino		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Biotita	45	
Horblenda	30	
Plagioclasa	12	
Cuarzo	13	Número de la muestra: M-13
		Tipo de roca: Ignea
		Nombre de la roca: Dacita


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 853224 Y= 1225246		
Color: Blanco a negro		
Estructuras y Texturas: Fanerítica		
Características del tamaño de grano: Medio		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Cuarzo	20	
Horblenda	15	
Biotita	26	
Plagioclasa	37	Número de la muestra: M-14
Opacos	2	Tipo de roca: Ignea
		Nombre de la roca: Tonalita


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 852287 Y= 1224710		
Color: Blanc a negro		
Estructuras y Texturas: Fanerítica		
Características del tamaño de grano: Medio		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Horblenda	17	
Cuarzo	12	
Plagioclasa	59	
Clorita	10	Número de la muestra: M-15
Opaco	2	Tipo de roca: Ignea
		Nombre de la roca: Cuarzodiorita

ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 854363 Y= 1224096		
Color: Gris oscuro		
Estructuras y Texturas: Afanítica		
Características del tamaño de grano: Muy fino a fino		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Biotita	65	
Cuarzo	20	
Horblenda	10	
Oxidos	5	Número de la muestra: M-16
		Tipo de roca: Ignea
		Nombre de la roca: Dacita

ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 856603 Y= 1223307		
Color: Gris oscuro		
Estructuras y Texturas: Afanítica		
Características del tamaño de grano: Muy fino a fino		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Biotita	56	
Cuarzo	24	
Horblenda	17	
Oxidos	3	Número de la muestra: M-17
		Tipo de roca: Ignea
		Nombre de la roca: Dacita


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 856635 Y= 1222894		
Color: Gris oscuro		
Estructuras y Texturas: Afanítica		
Características del tamaño de grano: Muy fino a fino		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol.)	
Biotita	62	
Cuarzo	18	
Horblenda	13	
Óxidos	7	Número de la muestra: M-18
		Tipo de roca: Ignea
		Nombre de la roca: Dacita


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 856412 Y= 1222810		
Color: Gris oscuro a amarillo rojizo		
Estructuras y Texturas: Bandeamiento		
Características del tamaño de grano: Fino a medio		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Biotita	45	
Cuarzo	15	
Horblenda	23	
Óxidos	17	Número de la muestra: M-19
		Tipo de roca: Metamórfica
		Nombre de la roca: Mesocataclasita


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 854689 Y= 1225041		
Color: Gris oscuro		
Estructuras y Texturas: Bandeamiento		
Características del tamaño de grano: Fino a medio		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Biotita	50	
Cuarzo	23	
Horblenda	12	
Óxidos	15	Número de la muestra: M-20
		Tipo de roca: Metamórfica
		Nombre de la roca: Mesocataclasita


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 855513 Y= 1224713		
Color: Crema		
Estructuras y Texturas: Afanítica		
Características del tamaño de grano: Fino		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Pumpellyita	16	
Opaco	8	
Cuarzo	37	
Plagioclasa	21	Número de la muestra: M-21
Prehnita	14	Tipo de roca: Ígnea
opacos	3	Nombre de la roca: Dacita
Rutilo	1	


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 855361 Y= 1224713		
Color: Gris oscuro		
Estructuras y Texturas: Bandeamiento		
Características del tamaño de grano: Muy fino a fino		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Biotita		
Cuarzo		
Horblenda		
Oxidos		Número de la muestra: M-22
Sericita		Tipo de roca: Metamórfica
		Nombre de la roca: Mesocataclasita


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 854109 Y= 1224302		
Color: Crema		
Estructuras y Texturas: Afanítica		
Características del tamaño de grano: Muy fino a fino		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Pumpellyta	21	
Opaco	8	
Cuarzo	32	
Plagioclasa	21	Número de la muestra: M-23
Prehnita	14	Tipo de roca: Ignea
opacos	3	Nombre de la roca: Dacita
Rutilo	1	

ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 855254 Y= 1225693		
Color: Blanco a negro		
Estructuras y Texturas: Fanerítica		
Características del tamaño de grano: Medio		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Cuarzo	29	
Plagioclasa	37	
Biotita	14	
Horblenda	18	Número de la muestra: M-24
		Tipo de roca: Ignea
		Nombre de la roca: Tonalita


ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 854401 Y= 1225134		
Color: Rojo ocre		
Estructuras y Texturas: Afanítica		
Características del tamaño de grano: Muy fino a fino		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Biotita		
Cuarzo		
Horblenda		
Oxidos		Número de la muestra: M-25
		Tipo de roca: Ignea
		Nombre de la roca: Dacita

ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 854484 Y= 1223485		
Color: Negro y blanco		
Estructuras y Texturas: Fanerítica		
Características del tamaño de grano: Medio a grueso		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Cuarzo	16	
Plagioclasa	37	
Sericita	23	
Horblenda	19	Número de la muestra: M-26
Oxidos	5	Tipo de roca: Ignea
		Nombre de la roca: Tonalita

ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 854512 Y= 1224051		
Color: gris oscuro a rojo		
Estructuras y Texturas: Afanítica		
Características del tamaño de grano: fino		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Biotita	40	
Cuarzo	10	
Horblenda	20	
Oxidos	30	Número de la muestra: M-27
		Tipo de roca: Ignea
		Nombre de la roca: Dacita

ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Localización: X= 853966 Y= 1224195		
Color: Negro y blanco		
Estructuras y Texturas: Fanerítica		
Características del tamaño de grano: Equigranular, tamaño fino a grueso		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Feldespato K	22	
Cuarzo	20	
Sericita	8	
Horblenda	10	Número de la muestra: M-28
Biotita	5	Tipo de roca: Ignea
Plagioclasa	35	Nombre de la roca: Granodiorita

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Localización: X= 854109 Y= 1224302		
Color: Negro a blanco		
Estructuras y Texturas: Fanerítica		
Características del tamaño de grano: Equigranular, tamaño medio a grueso		
Composición Mineralógica		
Mineral	(% Vol)	
Biotita	14	
Cuarzo	26	
Horblenda	24	
Plagioclasa	31	Número de la muestra: M-29
Oxidos	25	Tipo de roca: Ignea
		Nombre de la roca: Tonalita

CERTIFICATE OF ANALYSIS

MED11001291.1

CLIENT JOB INFORMATION

Project: None_Given
Shipment ID:
P.O. Number
Number of Samples: 10

SAMPLE PREPARATION AND ANALYTICAL PROCEDURES

Method Code	Number of Samples	Code Description	Test Wgt (g)	Report Status	Lab
R200-250	10	Crush, split and pulverize 250 g rock to 200 mesh			MED
4A4B	10	Whole Rock Analysis Majors and Trace Elements	0.2	Completed	VAN
G805	10	FeO by titration	0.5	Completed	VAN

SAMPLE DISPOSAL

DISP-PLP Dispose of Pulp After 90 days
DISP-RJT Dispose of Reject After 90 days

ADDITIONAL COMMENTS

Acme does not accept responsibility for samples left at the laboratory after 90 days without prior written instructions for sample storage or return.

Invoice To: Judy Almeida Espinosa
Calle 19 A No. 123 - 45
Barrio El Cristal
Bucaramanga Santander
Colombia

CC:



This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval; preliminary reports are unsigned and should be used for reference only. All results are considered the confidential property of the client. Acme assumes the liabilities for actual cost of analysis only. Results apply to samples as submitted. *** asterisk indicates that an analytical result could not be provided due to unusually high levels of interference from other elements.