

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ESTUDIO DE LA DEFORMACIÓN DE ROCAS ADYACENTES
A LA TERMINACIÓN SUR DE LA FALLA DE
BUCARAMANGA Y PARTE CENTRAL DE LA FALLA DE
IBAGUÉ COLOMBIA, MEDIANTE ANÁLISIS
PETROLÓGICOS Y DIFRACCIÓN DE RAYOS X**

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela por:
Br. Barrile B. Víctor J.
C. I.: 20.328.699
Br. Cortez G. Yedinet C.
C. I.: 18.675.080
Para optar al Título de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2019

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE LA DEFORMACIÓN DE ROCAS ADYACENTES A LA TERMINACIÓN SUR DE LA FALLA DE BUCARAMANGA Y PARTE CENTRAL DE LA FALLA DE IBAGUÉ COLOMBIA, MEDIANTE ANÁLISIS PETROLÓGICOS Y DIFRACCIÓN DE RAYOS X

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Sebastián Grande

Trabajo Especial de Grado

Presentado Por:

Br. Barrile B. Víctor J.

C. I.: 20.328.699

Br. Cortez G. Yedinet C.

C. I.: 18.675.080

Para optar al Título de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2019

Caracas, abril, 2019

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería (Geología), para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los) Bachiller (es), Barrile B. Víctor J. y Cortez G. Yedinet C. titulado:

**“ESTUDIO DE LA DEFORMACIÓN DE ROCAS ADYACENTES
A LA TERMINACIÓN SUR DE LA FALLA DE
BUCARAMANGA Y PARTE CENTRAL DE LA FALLA DE
IBAGUÉ COLOMBIA, MEDIANTE ANÁLISIS
PETROLÓGICOS Y DIFRACCIÓN DE RAYOS X”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero (especialidad), y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el (los) autor (es), lo declaran APROBADO.




Prof. Ricardo Alezones

Jurado



Prof. Enrique Foribio

Jurado



Prof. Sebastián Grande

Tutor Académico

AGRADECIMIENTOS

Victor Barrile

Muchos han sido los años que fueron testigo de cómo poco a poco me enamoraba de esta hermosa carrera cada día más. Por todos esos años doy gracias primeramente a mi Dios creador de los caminos que eh recorrido, luego a mis padres Isabel Lucia Bravo López y José Francisco Barrile Caraballo, quienes desde el primer día en la majestosa casa que vence las sombras, nuestra querida UCV, me han acompañado en los buenos y los mejores momentos, porque cada segundo vivido en esta magnánima universidad, solo me ha traído alegrías y un orgullo tan grande y único, que solo aquellos que tiene el privilegio de estudiar en nuestra UCV, son dignos de sentir.

Especialmente quiero dejar constancia de lo agradecido que estoy con todos los profesores de mi amada escuela de geología, con el profesor Orlando Méndez, el rey de las rocas, que siempre me apoyo en mi decisión de estudiar geología, el profesor Ricardo Alezones que con su particular forma de ser, nos motiva a ser mejores cada día.

Agradecido en totalidad estoy con mi tutor Sebastián Grande que me brindó la oportunidad de pertenecer a este proyecto, que tantos malestares me trajo, pero que al final vino consigo un océano de satisfacciones.

No puedo olvidar a mi amiga y secretaria Claudia Mercedes milagros Sánchez Caripa, quien me acompañó durante mi trayecto en la escuela, dándome su amistad sincera y una constante motivación en unos años que jamás olvidare.

A mis amigos del muro de ingeniería, con lo que siempre andaba estudiando y pasando buenos momentos, fueron y son un gran apoyo para mí, aprecio y valoro mucho su amistad, en especial en estos últimos tiempos cuando confiaron en mí, organizando el legendario equipo Carúpano, muchas gracias por todo Michelle Martínez, Jesús Vincenti, José Alejandro Díaz y Cesar Ramírez, no los menciono, porque no me alcanzaría una página para agradecerles por todo individualmente a cada uno.

Y por último pero no menos importante, le estoy agradecido a la vida por haber puesto en mi camino a una persona maravillosa, que se ha convertido en un pilar para mí, dándome la fuerza necesaria que me impulso a terminar este trabajo de grado, mi hoy novia y la mujer a la que amo con todo el corazón Heidis Martínez.

Perdón le pido a dios porque sé que olvide, dar las gracias a más de un colaborador, pero el señor sabe que mi memoria ya no es como antes, gracias a todos esos colaboradores anónimos por su ayuda que me fue muy útil en cada momento de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS

Yedinet Cortez

Institucional y profesional

Agradezco infinitamente a la mejor casa de estudios del país sin duda alguna que es mi Universidad Central de Venezuela, la Facultad de Ingeniería y la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, quien me brindó la oportunidad de ingresar y facilitarme sus espacios para mi preparación profesional. A los profesores de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, y muchos otros, que fueron los responsables de mi formación académica, en especial a mi tutor de trabajo especial de grado Sebastián Grande que estuvo presente en todo momento personal y profesionalmente para guiarme y alcanzar esta meta. En particular a los profesores Mauricio Bermúdez y Marlene Flores que siempre estuvieron dispuestos a apoyar y reforzar en este trabajo. Igualmente al profesor Enrique Toribio, la Profesora Rosa Mary y al profesor Sergio Rodríguez.

A toda la colaboración y apoyo de la Universidad de Ibagué y al Profesor Francisco Velándia quien me facilitó las muestras incluidas en este trabajo junto al profesor Mauricio Bermúdez y hacerme formar parte del Proyecto Interno (número 15-377-INT). También a Haydn Berrios en la Universidad Simón Bolívar y al técnico de las secciones finas Arturo en la escuela de Geología para lograr que este trabajo fuese posible.

Familiares

Agradezco a mi madre Yergi González, a mis hermanas, tíos y demás familiares que estuvieron presentes y me apoyaron en el transcurso de la carrera. También a mi compañero fiel Víctor Barrile.

Amistades

Para todas las personas maravillosas que conocí durante el transcurso de la carrera en la Facultad de Ingeniería y a los que estuvieron conmigo antes de ingresar a esta excelente casa de estudios. En especial para Glaycer Liz Martínez, Carlos Flores, Carla García, José Francisco Guía y Adrián Rojas que se volvieron parte de mi familia. También a muchos otros que estuvieron conmigo y que siguen estando presentes a la distancia en todo momento...

DEDICATORIA

Víctor Barrile

A mis padres y hermanos que me acompañaron durante toda la carrera, llenándome cada día de más valor, para nunca rendirme y lograr cada una de mis metas...

Yedinet Cortez

A mi madre y mis hermanas, quien es mi motivo de inspiración y quien me impulsa con sus palabras de aliento para seguir adelante cada día...

Barrile B., Víctor J. & Cortez G., Yedinet C.

**ESTUDIO DE LA DEFORMACIÓN DE ROCAS ADYACENTES A LA
TERMINACIÓN SUR DE LA FALLA DE BUCARAMANGA Y PARTE
CENTRAL DE LA FALLA DE IBAGUÉ, COLOMBIA MEDIANTE
ANÁLISIS PETROLÓGICOS Y DIFRACCIÓN DE RAYOS X**

Tutor Académico: Prof. Sebastián Grande.

**Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y
Geofísica, 2018.**

Palabras claves: Colombia, Cordillera Andina, Bucaramanga, Ibagué, Petrología,
DRX, Batolito de Ibagué, Falla de Bucaramanga, Falla de Ibagué.

Resumen

Se caracterizaron muestras de rocas provenientes de Bucaramanga e Ibagué en función de análisis petrográfico y DRX, para establecer similitudes y diferencias composicionales en la deformación entre ambos sistemas de fallas y también observar características especiales e interpretar los procesos que dieron origen a la deformación de las mismas. Esto es posible si se basan en el orden de cristalización de sus minerales integrantes y las características texturales especiales, estableciendo la relación que estas rocas guardan con el entorno.

Las muestras de origen ígneo-metamórficas pertenecientes a ambas zonas fueron clasificadas empleando el estudio de secciones delgadas mediante el uso del microscopio petrográfico donde se obtuvieron rocas como monzogranitos, sienogranitos, esquisto, augengneis, brecha cataclástica, dique de aplita, tonalita, metatoba félsica y toba vítrea en parte de la falla de Bucaramanga estudiada. A su vez, se obtuvieron metatobas, tobas, metalavas, esquisto, metadiabasa, cuarzo dioritas y anfibolita para la falla de Ibagué.

En varias de estas secciones les fue efectuado el análisis de difracción de rayos X, para obtener una certera y verificada en la composición mineralógica y así determinar su petrogénesis. Basados en la misma se logró establecer que en ambas zonas dominan las rocas de composición andesítica-dacíticas. Además que las rocas analizadas en la falla de Bucaramanga presentan un dominio de 50% en rocas volcánicas, 25% de rocas plutónicas y 25% de rocas metamórficas. En cambio el predominio de las rocas de la falla de Ibagué presentó un predominio de

50% en rocas volcánicas, 29% de rocas metamórficas y un 21% en rocas plutónicas.

En cuanto a las características texturales e indicadores microestructurales en las secciones delgadas para interpretar las posibles condiciones de deformación de las rocas de las muestras, fue establecido para Ibagué mayoritariamente porfídica seguida de granofírica, mientras que para las muestras de Bucaramanga fueron granofíricas seguida de la textura porfídica. Ambas se encuentran asociadas al predominio de las rocas volcánicas en las muestras analizadas. En ambos casos la mayoría de las rocas indican un ritmo de enfriamiento relativamente lento para la granofírica, mientras que la textura porfídica establece dos etapas de enfriamiento, una rápida y otra muy rápida.

Mediante la comparación litología obtenida con las otras reportadas en la bibliografía, en Ibagué no se contaron con edades geocronológicas, algunas litologías clasificadas no se encontraron repostadas en las bibliografías, mientras que otras muestras clasificaciones si fueron coincidentes coincidente con las reportadas en los trabajos de Nuñez, A. *et al.*, (2001), Nuñez, A. (1986), Gómez-Tapias, Jorge A. B. (1999), y Rodríguez, G. *et al.*, (2017) principalmente. Para Bucaramanga una gran cantidad de muestras clasificadas litologicamente junto a sus edades geocronológicas fueron coincidentes con los trabajos reportados por Amaya, S. (2012), López, I.; Zuluaga, C. & Tassinari, C. (2017) y Ureña Suárez, C. L. (2014) y muchas de ellas no fueron coincidentes con algunas de bibliografías consultadas. Con ello fue posible corroborar la información existente o en su defecto generar nueva información, y así incorporar nueva información en futuras actualizaciones de los mapas geológicos asociada a las muestras que presenten sus edades geocronológicas U-Pb en circón.

Seguidamente, al establecer el tipo y grado de meteorización existente con la ayuda de los indicios dejados por las texturas y minerales supergénicos para completar la visión evolutiva de las rocas, se obtuvo para Bucaramanga un grado de meteorización medio, mientras que en Ibagué el grado de meteorización fue medio-bajo. En ambas zonas no se cuentan con gran cantidad de minerales supergénicos que indiquen certeramente la visión evolutiva de la zona.

Finalmente, este trabajo aporta conocimiento de la litología presente, permitiendo generar datos que contribuyan a esclarecer la evolución tectónica de la cordillera andina en base a las distintas teorías establecidas. También posteriormente permitirá comparar estas fallas con algunas otras fallas ubicadas en el territorio nacional.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

Página

Agradecimientos	iii
Dedicatoria	v
Resumen	vi
Índice General	viii
Índice de Figuras	xii
Índice de Tablas	xix
Índice de Abreviaturas utilizadas	xx
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. GENERALIDADES	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE	3
1.4. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	4
1.5. OBJETIVOS	8
1.5.1 OBJETIVO GENERAL	8
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
1.6 ANTECEDENTES	9
Bucaramanga	9
Ibagué	11
CAPÍTULO II	13
2. MARCO TEÓRICO.....	13
2.1 GENERALIDADES.....	13
Petrología y petrografía	13
Petrografía ígnea y metamórfica	14
Texturas en rocas ígneas.....	14
Mineralogía característica en las rocas ígneas.....	18
Clasificación de rocas ígneas.....	19
Texturas en rocas metamórficas	23
Clasificación de rocas metamórficas	25
Minerales índice característicos de rocas metamórficas	27
Porcentajes visuales modales	27
Difracción de Rayos X (DRX)	28
CAPITULO III.....	31
3. MARCO GEOLÓGICO.....	31

3.1. GEOLOGÍA REGIONAL	31
3.2. GEOLOGÍA LOCAL.....	33
Bucaramanga.....	33
Ibagué.....	37
CAPÍTULO IV	39
4. MARCO METODOLÓGICO	39
4.1. FASE I: INVESTIGACIÓN PRELIMINAR Y RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	39
4.2. FASE II: INVENTARIO DE MUESTRAS Y SELECCIÓN.....	41
4.3. FASE III: DESARROLLO Y ANÁLISIS DE MUESTRAS	42
4.4. FASE IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	46
4.5. FASE V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	47
CAPÍTULO V.....	49
5. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	49
5.1. RESULTADOS.....	49
Clasificación petrográfica de muestras ígneo-metamórficas	49
Muestras de Bucaramanga	50
Rocas graníticas	51
Rocas félsicas.....	63
Rocas cataclásticas.....	67
Esquisto cuarzo sericítico ultracataclástico	67
Sienogranito biotítico cataclástico	69
Augengneis Sienogranito (milonita).....	71
Brecha cataclástica de Monzogranito	73
Cataclasita félsica.....	75
Aplita.....	77
Tonalita	79
Muestras de Ibagué	81
Rocas volcánicas	83
Rocas andesíticas	83
Rocas félsicas.....	90
Rocas plutónicas	94
Cuarzo diorita.....	94
Cuarzo diorita cataclástica	94
Metadiabasa	95
Metamórficas regionales	100
Metatoba cataclástica	100
Esquisto cuarzo-biotítico	102
Anfibolita	104
Resultados obtenidos en los DRX.....	106

Muestras de Ibagué	106
Muestras de Bucaramanga	109
Grado de meteorización	112
Texturas predominantes	113
5.2. ANALISIS DE RESULTADOS	115
Representación litológica-bibliografía	115
Muestras de Bucaramanga	115
Muestras de Ibagué	118
Generalidades	121
5.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	124
Petrogénesis	124
Muestras de Ibagué	124
Rocas volcánicas	125
Rocas andesíticas	125
Tobas félsicas	125
Rocas plutónicas	126
Cuarzo diorita.....	127
Metadiabasa porfídica	127
Cuarzo diorita cataclástica	128
Metamórficas regionales	128
Esquisto cuarzo biotítico	128
Anfibolita	129
Metatoba cataclástica	129
Muestras de Bucaramanga	130
Rocas ígneas.....	131
Sienogranito	131
Tonalita	132
Aplita (dique de aplita)	132
Metamórficas regionales	133
Metapelitas	133
Metaígneas	133
Ortogneis Sienogranítico	134
Metatoba félsica desvitrificada	134
Metamórficas cataclásticas	135
Cataclasita félsica.....	135
Brecha cataclástica de Monzogranito	135
Sienogranito protocataclástico	136
Milonita.....	136
Fallas	137

CAPÍTULO VI	139
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	139
6.1. CONCLUSIONES	139
6.2. RECOMENDACIONES.....	144
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	145
ANEXOS	148
Anexo A.....	149
PERMISOLOGÍA DE ANÁLISIS	154

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Fig.-1. Ubicación relativa de las áreas de estudio donde fueron tomadas las muestras	5
Fig.-2. Cristalización en dos etapas, donde los fenocristales cristalizaron a la matriz	15
Fig.-3. Textura gráfica en muestra de mano, intercrecimiento micrográfico en granitos (Nx), plagioclasa zonada (tonalita, Nx), textura simplectítica (granito Nx), textura mirmerquítica en granitos Nx, textura peritítica en feldespatopotásico (Nx), textura poiquilítica de plagioclasa (Gabro Nx), textura rapakivi en muestra de mano y sección delgada, Corrosión, esferulita formada por cuarzo con Nx.....	18
Fig.- 4. Tabla de clasificación de las principales rocas ígneas en base a su textura y composición	19
Fig.-5. Clasificación de rocas ígneas intrusivas de Streckeisen, 1979. Clasificación de la IUGS, International Union of Geological Sciences, 1991.....	20
Fig.-6. Clasificación de rocas ígneas volcánicas de Streckeisen, 1979. Clasificación de la IUGS, International Union of Geological Sciences, 1991.....	20
Fig.-7. Diagramas ternarios para la clasificación de gabroides basadas en función del porcentaje modal de clinopiroxeno (Cpx), ortopiroxeno (Opx) y plagioclasa. También su clasificación en función de Piroxenos (Px), plagioclasas (Pl) y Hornblenda (Hb). Streckeisen, 1976	21
Fig.-8. Clasificación modal de rocas ultramáficas basadas en la porción de olivino (ol), ortopiroxeno (Opx), clinopiroxeno (Cpx). También su clasificación en función de piroxenos (Px), olivino (Ol) y Hornblenda (Hb). Streckeisen, 1973.....	22
Fig.-9. Texturas comunes en rocas metamórficas	25

Fig. -10.	Algunos minerales índices clave en el metmorfismo de lutitas desde pizarras hasta gneises y cambios de composición mineral en basaltos y otras rocas máficas.....	27
Fig.-11.	Estimación visual de porcentajes modales	28
Fig.-12.	Informaciones obtenibles por medio de la difracción de rayos X de sustancias policristalinas en el campo geológico	29
Fig.-13.	Mapa tectónico del Norte de los Andes de Colombia y Venezuela. BSF: Sistema de fallas Bucaramanga–Santa Marta; CF: Falla de Cambao; CiF: Falla de Cimitarra; EF: Falla El Pilar; MF: Falla Morón; OF: Falla de Oca; PF: Falla de Palestina; IF: Falla de Ibagué, RF: Sistema de fallas Romeral; SF: Falla de Salinas; VF: Falla de Valera.	32
Fig.-14.	Bloques Corticales de la región Norte Andina. Cordillera Oriental-Alto Magdalena, Cordillera Central-Magdalena y el bloque de Maracaibo. Representación de bloques semi-débil de falla de Ibagué y el bloque débil de la falla de Bucaramanga.....	33
Fig.-15.	Diagrama de flujo general de la metodología empleada	39
Fig.-16.	Diagrama de flujo de la Fase I. Investigación Preliminar	40
Fig.-17.	Diagrama de flujo de la Fase II. Adquisición e inventario de muestras	41
Fig.-18.	Diagrama de flujo de la Fase III. Desarrollo y análisis de muestras	42
Fig.-19.	Diagrama de flujo de la Fase IV. Análisis de Resultados	46
Fig.-20.	Diagrama de flujo de la Fase V. Conclusiones y Recomendaciones	48
Fig.-21.	Representación y ubicación de las muestras analizadas en la zona de Bucaramanga	51
Fig.-22.	Fotomicrografías de la muestra FV-31 (Monzogranito). Hornblenda rodeada de ortosa, cuarzo y albita. Biotitas alteradas a clorita con inclusiones de circón y la albita sericitizada	53

- Fig.-23. Fotomicrografías de la muestra FV-31 (Monzogranito). Un cristal de biotita parcialmente cloritizada con granos en forma de lentes de epidoto y un cristal de plagioclasa zonada y a su vez sericitizada en el centro 54
- Fig.-24. Fotomicrografías de la muestra FV-31 (Monzogranito). Restos de un cristal de clinopiroxeno posiblemente Augita, dentro de un cristal prismático de hornblenda posible producto de su alteración,..... 55
- Fig.-25. Fotomicrografías de la muestra FV-31 (Monzogranito). Grupos del tipo restitas secundarias posiblemente. Agregados de pequeños cristales de hornblenda no orientados, pseudomorfo oxidado de posible ortopiroxeno, algunos con contorno y clivaje prismático reliquia. Cristal de apatito se dentro de la hornblenda 56
- Fig.-26. Fotomicrografías de la muestra FV-31 (Monzogranito). Fe-óxido rodeando al pseudomorfo de ortopiroxeno cloritizado. Hornblenda forma agregados de cristales pequeños bastante cloritizados, 56
- Fig.-27. Fotomicrografías de la muestra FV-32 (Monzogranito). Un cristal de cuarzo, una banda biotita alterada a clorita y una albita sericitizada 57
- Fig.-28. Fotomicrografías de la muestra FV-36 (Sienogranito). Muestra con ortosa, también una biotita cloritizada con inclusiones de circón, además de una albita sericitizada..... 58
- Fig.-29. Fotomicrografías de la muestra FV-38 (Sienogranito). Muestra con cuarzo extinto, una biotita con manchas de óxidos y una oligoclasa sericitizada 59
- Fig.-30. Fotomicrografías de la muestra FV-39 (Sienogranito). Se muestra un Sienogranito con los granos de gran tamaño y angulosos. También un cristal de microclino perfitico común 60
- Fig.-31. Fotomicrografías de la muestra FV-43 (Sienogranito). Biotita alterada a clorita, con su color azul anómalo, rodeada por plagioclasas y ortosa sericitizadas 62
- Fig.-32. Fotomicrografías de la muestra FV-48 (toba félsica).Cuarzo con golfos de corrosión en medio de una matriz en proceso de desvitrificación, con textura granofírica 64

- Fig.-33. Fotomicrografías de la muestra FV-49 (toba félsica). Se muestran una matriz afanítica en plena desvitrificación, biotitas alterando a clorita, fragmento de cuarzo volcánico y sanidinas subhedrales 65
- Fig.-34. Fotomicrografías de la muestra FV-51 (toba félsica). Cuarzo con bahías y bordes de reacción de sericita y además de cristales de biotitas 66
- Fig.-35. Fotomicrografías de la muestra FV-33 (esquisto cuarzo sericítico). En la muestra domina la textura granolepidoblásticas. Bandas de cuarzo, ortosa y albita con bandas de sericita 68
- Fig.-36. Fotomicrografías de la muestra FV-37 (Sienogranito Biotítico cataclástico). Se aprecia los cristales triturados formando un Sienogranito biotítico protocataclástico 70
- Fig.-37. Fotomicrografías de la FV-46 (Augengneis Sienogranito). Dominación de la textura granolepidoblásticas. Bandas de cuarzo, ortosa y oligoclasa con bandas de micas. Poiquiloblasto de ortosa con muchas inclusiones de micas blancas 72
- Fig.-38. Fotomicrografías de la FV-44 (brecha cataclástica de Monzogranito). Matriz alotriomórfica con presencia de cuarzo mayoritariamente, ortosa, oligoclasa sericitizada y epidoto, también cristales de gran tamaño de ortosa muy angulosos 74
- Fig.-39. Fotomicrografías de la muestra FV-50 (cataclasita félsica). Mosaico de cuarzo policristalino, rodeado por bandas de moscovita 76
- Fig.-40. Fotomicrografías de la muestra FV-45 (aplita). Moscovita embebida en un mosaico de minerales félsicos, como el feldespatos peritico que no presentan mayor alteración 78
- Fig.-41. Fotomicrografías de la muestra FV-47 (tonalita). Hornblenda de hábito tabular alterando a biotita y luego a clorita. Epidoto sobre una clorita, oligoclasa sericitizada y una hornblenda euhedral 80
- Fig.-42. Fotomicrografías de la muestra FV-47 (tonalita). Cristal de titanita euhedral encontrado como accesorio 81

- Fig.-43. Representación y ubicación de las muestras analizadas en la zona de Ibagué 82
- Fig.-44. Fotomicrografías de la muestra IB-01 (metatoba andesítica). Muestra de prehnita (Pnh) con hábito tipo abanico y una plagioclasa (Pl) parcialmente sericitizada, ambas embebidas en una matriz granofírica 86
- Fig.-45. Fotomicrografías de la IB-02 (metatoba andesítica). Andesina (Pl) con zonación ondulatoria y una hornblenda maclada (Hb), ambos minerales embebidos en una matriz granofírica 87
- Fig.-46. Fotomicrografías de la muestra IB-04 (metalava andesítica). Cristal de cuarzo (Qz) con golfos de reabsorción, producto de la reacción de este con la matriz y biotita (Bt) alterada a clorita con sus colores anómalos 88
- Fig.-47. Fotomicrografías de la muestra IB-05 (metatoba andesítica). hornblenda euhedral en sección basal hexagonal rodeada por plagioclasas parcialmente sericitizadas 89
- Fig.-48. Fotomicrografías de la muestra IB-07 (metatoba cristalina). Biotita cloritizada (Bt-chl) con sus colores de interferencia azules anómalos. Fenocristal de cuarzo (Qz) y plagioclasas alteradas a sericita (Pl) 91
- Fig.-49. Fotomicrografías de la muestra IB-08 (metalava dacítica). Cristal de cuarzo que esta reaccionado con la matriz generando calcedonia en los bordes. Hornblenda euhedral hexagonal con la inclusión de un apatito. Plagioclasa muy alterada a sericita y cristal de sanidina con macla de Carlsbad, muy argilizado 92
- Fig.-50. Fotomicrografías de la muestra IB-10 (metatoba dacítica). Hornblenda alterando a clorita y prehnita con hábito radial, embebidos en una matriz que está en proceso de desvitrificación..... 93
- Fig.-51. Fotomicrografías de la muestra IB-12 (Metadiabasa porfídica). Un mar de plagioclasas con sus componentes cálcicos muy alterados a

epidoto	96
Fig.-52. Fotomicrografías de la muestra IB-13(cuarzo diorita). Biotita alterando a clorita. Hornblenda maclada con oxidos por alteración y andesina sericitizada	97
Fig.-53. Fotomicrografías de la muestra IB-15 (cuarzo diorita –cataclástica). Mosaico de cuarzo y ortosa. Hornblenda parte de la roca caja anfibolítica y plagioclasas sericitizadas.....	98
Fig.-54. Fotomicrografías de la muestra IB-16 (cuarzo diorita). Plagioclasa con zonación oscilatoria, alterando a epidoto y micas blancas, también una hornblenda maclada	99
Fig.-55. Fotomicrografías de la muestra IB-06 (metatoba cataclástica). Prehnita de hábito tipo radial, bandas de clorita que bordea los cristales de feldespatos sericitizados	101
Fig.-56. Fotomicrografías de la muestra IB-09 (esquisto cuarzo Biotítico). Textura granolepidoblásticas. Bandas de cuarzo, microclino y oligoclasa con bandas de biotitas que tienen inclusiones de circón con halos radiactivos	103
Fig.-57. Fotomicrografías de la IB-14 (Anfibolita). Anfíbol maclado y titanita semiromboidal y también oligoclasaa	105
Fig.-58. Difractograma de la muestra IB-04	107
Fig.-59. Difractograma de la muestra IB-08	107
Fig.-60. Difractograma de la muestra IB-10	108
Fig.-61. Difractograma de la muestra IB-14	108
Fig.-62. Difractograma de la muestra FV-32	109
Fig.-63. Difractograma de la muestra FV-33	110
Fig.-64. Difractograma de la muestra FV-37	110
Fig.-65. Difractograma de la muestra FV-45	111

Fig.-66.	Difractograma de la muestra FV-48	111
Fig.-67.	Difractograma de la muestra FV-49	112
Fig.-68.	Gráfico de dominio del tipo de roca analiza en las muestras de Ibagué	122
Fig.-69.	Grafico del dominio de rocas analizadas en las muestras de Bucaramanga	123

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	página
Tabla 1-1. Ubicación de las muestras tomadas en Bucaramanga	6
Tabla 1-2. Ubicación de las muestras tomadas en Ibagué	7
Tabla 2-1. Mineralogía característica encontrada en rocas ígneas	19
Tabla 2-2. Análisis y clasificación de rocas metamórficas Foliadas	25
Tabla 2-3. Análisis y clasificación de rocas metamórficas No foliadas	26
Tabla 5-1. Representación de muestras clasificadas y agrupadas para la zona de Bucaramanga	50
Tabla 5-2. Representación de muestras clasificadas y agrupadas para la zona de Ibagué	83
Tabla 5-3. Muestras analizadas empleando la DRX.....	106
Tabla 5-4. Representación litológica- bibliográfica de Ibagué.....	112
Tabla 5-5. Representación litológica- bibliográfica de Bucaramanga..	113
Tabla 5-6. Representación del grado de meteorización- texturas dominantes en Bucaramanga	113
Tabla 5-7. Representación del grado de meteorización- texturas dominantes en Ibagué	114
Tabla 5-8. Representación litológica-bibliográfica de Bucaramanga...	116
Tabla 5-9. Representación litológica-bibliográfica de Ibagué.....	119
Tabla 5-10. Descripción petrográfica de las muestras de Ibagué	124
Tabla 5-11. Descripción petrográfica de las muestras de Bucaramanga	131

ÍNDICE DE ABREVIATURAS UTILIZADAS

Tomado y modificado de GRANDE & URBANI (2009)

Ab Albita	Chl Clorita*	Ms Muscovita	Ser Sericita
Afs Feld. alcalino	Cpx Clinopiroxeno*	Pl Plagioclasa*	Sil Sillimanita
Amp Anfíbol*	Ep Epidoto*	Op+ Opacos	Ttn Titanita
Ap Apatito*	Hb Hornblenda	Opx Ortopiroxeno*	Cir Circón
Bt Biotita*	Mic Microclino	Qz Cuarzo	Aug Augita
Fel-K feldespato potásico	Mt Matiz	Tz Trazas	

*: Son nombres de grupos isoestructurales o de series isomorfas de minerales

+: Minerales opacos al microscopio petrográfico, generalmente metálicos

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1.GENERALIDADES

Son escasos o casi inexistentes los trabajos que tratan de mostrar la evolución en términos de deformación de zonas de fallas rumbo laterales, específicamente en Los Andes del norte de Suramérica, es por esta razón que en la presente investigación se plantea tal comparación desde un punto de vista petrológico y geoquímico. La investigación está enmarcada en la continuación de un Proyecto Interno (número 15-377-INT) perteneciente a la Universidad de Ibagué, que lleva como título “Estimación de Tasas de Exhumación de Montañas y Reactivación de Fallas mediante modelado numérico termocinemático 3D de alto rendimiento”.

La investigación se centrará en el estudio petrográfico y el análisis geoquímico mediante la aplicación de conocimientos en el área de la mineralogía, petrología además del área geoquímica, en dos regiones de la República de Colombia: Cordillera Central, en el Departamento de Tolima en Ibagué, y en la Cordillera Oriental en el Departamento Santander entre las localidades de Onzaga y Cepitá, muy cercanas a Bucaramanga.

Este estudio es un factor importante para determinar la mineralogía asociada en parte de las fallas de Ibagué y en el sector localizado entre Cepitá y Onzaga en el Departamento de Santander, con el propósito de realizar aportes al conocimiento de la deformación presente en los sistemas de fallas de Ibagué y Bucaramanga. Esas zonas presentan una complejidad estructural en distintos materiales asociada a la acumulación de esfuerzos tectónicos que han generado las múltiples morfologías distintivas de la zona.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es sabido que Bucaramanga constituye un sistema de fallas rumbo-deslizantes sinestral e Ibagué un sistema de falla rumbo-deslizante dextral donde ambas no pertenecen al mismo bloque, pero presentan sistemas de fallas que constituyen discontinuidades muy antiguas (Ward, 1973 y Núñez, 1986), que han evolucionado en forma distinta en respuesta al campo de deformación impuesto al menos desde el Cenozoico por la influencia de la Orogenia Andina.

En Colombia no existen estudios petrográficos y geoquímicos que relacionen ambas fallas, ya que solo se cuenta con trabajos de investigación donde se incorpore el análisis generalizado donde intervengan las zonas más próximas a ellas, enfocándose estrictamente en el análisis petrográfico de muestras locales por separado, como (Núñez, 1986), (Rodríguez, Obando, Correa, Zapata, Correa, Obando, Rincón, Zapata, 2017), (Ureña, Zuloaga, 2011), (Amaya, 2012), entre otros.

Por tanto, en la presente investigación se desea establecer si pudiesen existir diferencias petrológicas y geoquímicas entre otras características en rocas presentes en las zonas de deformación de ambos sistemas de fallas, zona sur de la falla de Bucaramanga y parte central de la falla de Ibagué, mediante el estudio de deformación de minerales presentes en las rocas que la conforman, ya que en secciones finas es posible establecer la mineralogía asociada e indicar fases de metamorfismo y crecimiento de cristales, verificadas a través un análisis de difracción de rayos X (DRX), uno de los pocos métodos capaz de identificar los minerales presentes en rocas y otros preparados.

En la actualidad sólo se tiene información sobre la litología de las zonas, ya que se han realizado investigaciones a nivel geológico y geoquímico. No se cuenta con trabajos de investigación que cuantifique el campo de deformación impuesto por ambos sistemas de fallas de Ibagué y Bucaramanga.

1.3.JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE

El estudio petrográfico a la par de la DRX permiten realizar una descripción detallada de los minerales que conforman las rocas, de modo que es posible observar características especiales e interpretar los procesos que dieron origen a la deformación de las mismas, basándose en el orden de cristalización de sus minerales integrantes y características texturales especiales, estableciendo la relación que estas rocas guardan con el entorno. Debido a esto, es necesario realizar el estudio de la deformación de rocas adyacentes a la terminación sur de la falla de Bucaramanga y parte central de la falla de Ibagué, mediante el análisis petrográfico y DRX, ya que estas zonas presentan gran complejidad geológica, donde predominan rocas ígneo – metamórficas que exhiben intrusiones, afectadas por fallamientos postcristalización, (López, Zuluaga y Tassinari, 2017) entre otras características. Por tanto, surgió la necesidad de realizar esta investigación donde será integrada toda la información resultante en pro de incentivar futuros estudios, ya que en general este tipo de trabajos es escaso en su región.

Con ello, se quiere aportar conocimiento de la litología presente y parte del origen de esa región, que permitan generar datos que contribuyan a esclarecer la evolución tectónica de la cordillera andina en base a las distintas teorías establecidas, ya que esta forma una fracción de la República de Colombia y la República Bolivariana de Venezuela, que durante años se ha estudiado y en la actualidad no se conoce con certeza cuales fueron sus orígenes.

1.4. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Las zonas de estudio donde fueron tomadas las 30 muestras se encuentran ubicadas en la República de Colombia, una de ellas en el Departamento de Tolima localizada en el centro-oeste del país, cuya capital es Ibagué y la otra en el Departamento de Santander al noroeste del país, cuya capital es Bucaramanga. Todas las muestras fueron colectadas en las fallas principales de Bucaramanga e Ibagué (Fig. -1) a 265 Km al NE de la ciudad de Bogotá (Bucaramanga) y a 132 Km al SO de la misma (Ibagué).

El área relativa de ubicación local se encuentra limitada por las siguientes coordenadas con respecto al Ecuador y al meridiano de Greenwich:

- Bucaramanga

Latitud norte: $6^{\circ}10'$ - $6^{\circ}31'$

Longitud oeste: $72^{\circ}51'$ - $72^{\circ}16'$

- Ibagué

Latitud norte: $4^{\circ}16'$ - $4^{\circ}32'$

Longitud oeste: $75^{\circ}16'$ - $75^{\circ}15'$

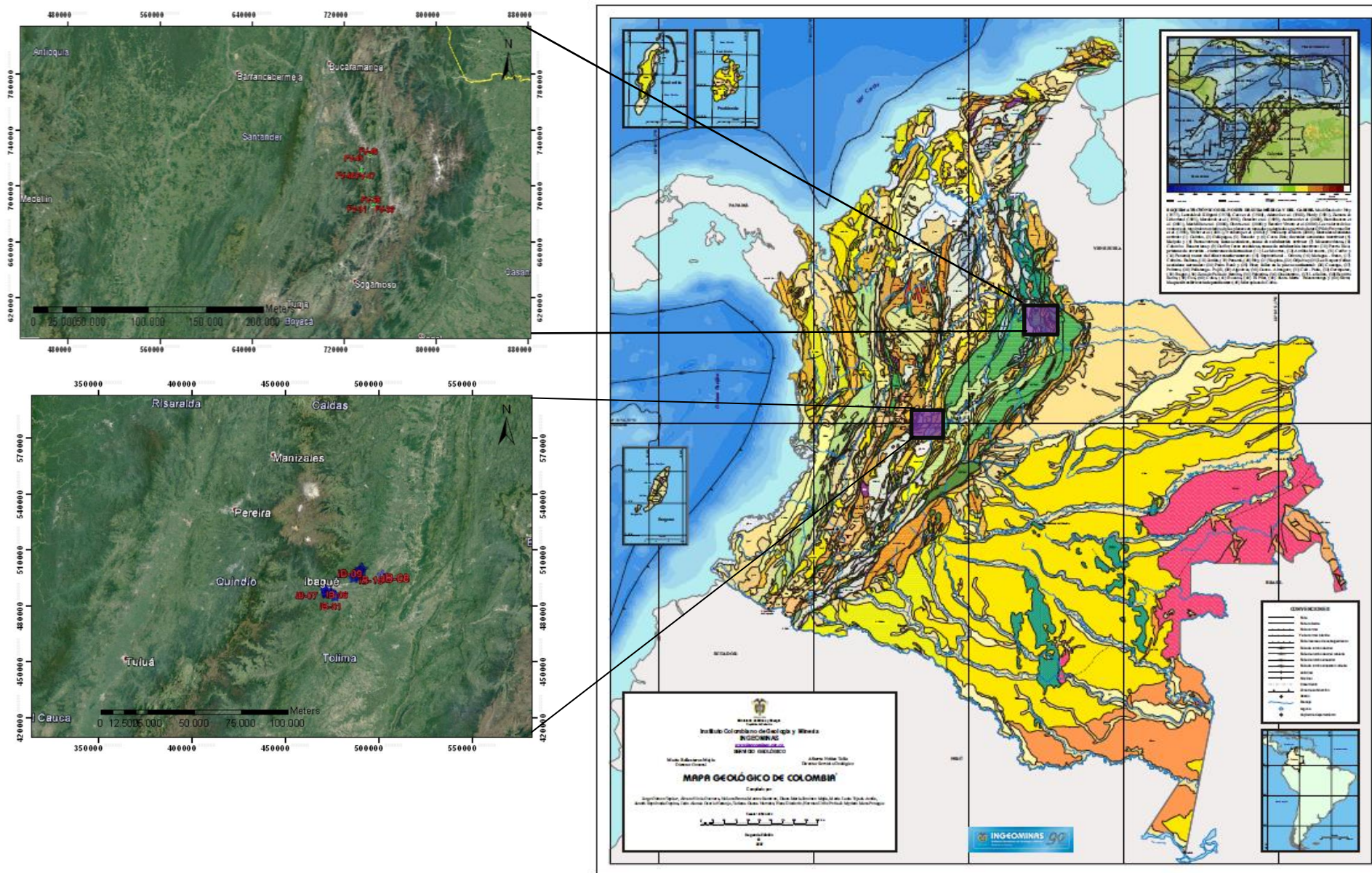


Fig. -1. Ubicación relativa de las áreas de estudio donde fueron tomadas las muestras destacadas en los recuadros de color morado. Imágenes de ubicación de muestras tomadas y modificadas de Google Earth (2017) y Mapa Geológico de la República de Colombia (INGEOMINAS 2007).

De las muestras que se analizarán, 16 corresponden a la zona de Bucaramanga, mostradas en la Tabla 1-1, y 14 pertenecen a Ibagué, representadas en la Tabla 1-2, mostrándose su ubicación exacta a continuación:

Tabla 1-1. Ubicación de las muestras tomadas en Bucaramanga

Coordenadas Geográficas de muestras en Bucaramanga				Coordenadas UTM Huso 18N (Universal Transversal Mercator) de Bucaramanga	
Muestra	Longitud	Latitud	Altitud	Abscisa E (m)	Norte (m)
FV-31	-72,784727	6,209053	3335	745128.05	686826.55
FV-32	-72,791919	6,219765	3400	744326.89	688008.23
FV-33	-72,774397	6,210727	3600	746270.89	687016.54
FV-36	-72,779394	6,217456	3201	745714.55	687758.61
FV-37	-72,787398	6,269259	2411	744804.38	693485.56
FV-38	-72,784045	6,247455	2676	745185.72	691075.07
FV-39	-72,780717	6,219783	3173	745567.01	688015.41
FV-43	-72,811775	6,538894	1012	741978.86	723302.08
FV-44	-72,808134	6,538116	1269	742382.06	723217.77
FV-45	-72,804927	6,537511	1438	742737.16	723152.39
FV-46	-72,793239	6,530557	1583	744033.65	722388.76
FV-47	-72,819334	6,370219	1889	741222.45	704639.17
FV-48	-72,873687	6,424882	2010	735182.23	710660.82
FV-49	-72,871973	6,435130	2186	735367.17	711795.23
FV-50	-72,885673	6,439330	2435	733849.31	712253.53
FV-51	-72,884579	6,447147	2532	733966.77	713118.73

Tabla 1-2. Ubicación de las muestras tomadas en Ibagué

Coordenadas Geográficas de muestras de Ibagué				Coordenadas UTM Huso 18N (Universal Transversal Mercator) de Ibagué	
Muestra	Longitud	Latitud	Altitud	Abscisa E (m)	Norte (m)
IB-01	-75,18837	4,394584	1011	479100.09	485745.76
IB-02	-75,20963	4,412725	1342	476742.00	487751.00
IB-04	-75,23041	4,406621	1622	474436.24	487077.60
IB-05	-75,23126	4,411553	1453	474342.44	487622.80
IB-06	-75,23253	4,417718	1273	474201.64	488304.31
IB-07	-75,23523	4,41928	390	473902.02	488477.07
IB-08	-74,96185	4,496399	473	504232.00	496997.00
IB-09	-75,10206	4,484189	1940	488677.00	495648.00
IB-10	-75,0611	4,525024	1933	493221.00	500161.00
IB-12	-75,06805	4,52258	1430	492451.16	499891.74
IB-13	-75,07296	4,516578	1238	491906.00	499228.00
IB-14	-75,08086	4,512535	999	491030.00	498781.00
IB-15	-75,07902	4,501597	831	491234.22	497572.47
IB-16	-75,07646	4,492828	1005	491511.00	496602.00

1.5.OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar muestras de rocas ígneo – metamórficas que provienen de Bucaramanga e Ibagué en función de análisis petrográfico y geoquímico, para establecer similitudes y diferencias composicionales en la deformación entre ambos sistemas de fallas.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Clasificar muestras ígneo-metamórficas pertenecientes a la terminación sur de la fallas de Bucaramanga y al sector central de la falla de Ibagué empleando el estudio de secciones delgadas mediante el uso del microscopio petrográfico.
2. Analizar las características texturales e indicadores microestructurales en las secciones delgadas para interpretar las posibles condiciones de deformación de las rocas.
3. Efectuar el análisis de difracción de rayos X en las muestras requeridas para obtener una certera y verificada en la composición mineralógica.
4. Comparar la litología obtenida en este trabajo con las otras reportadas en la bibliografía, para corroborar la información existente o en su defecto generar nueva información que se pueda incorporar en futuras actualizaciones de los mapas geológicos asociada a las muestras que presenten sus edades geocronológicas U-Pb en circón.
5. Establecer el tipo y grado de meteorización existente en Bucaramanga e Ibagué, con la ayuda de los indicios dejados por las texturas y minerales supergénicos, para completar la visión evolutiva de las rocas.

1.6.ANTECEDENTES

En la zona de estudio existen algunos trabajos realizados, en los cuales se ha determinado parte de la litología existente en ambas regiones. A continuación, se presenta los principales estudios geológicos desarrollados:

- **Bucaramanga:**

Ríos, C. et al., (2003): Mostraron la evolución tectono-metamórfica de las rocas metamórficas de la Formación Silgará en el macizo suroeste de Santander, Andes colombianos. Los autores determinan que la Formación Silgará del Paleozoico Inferior en la parte suroccidental del Macizo de Santander fue afectada por un metamorfismo regional Caledoniano, el cual ha desarrollado una secuencia de zonas metamórficas donde predominan los minerales como sillimanita, estaurolita, granate y biotita correspondiente a protolitos pelíticos. También se observan otras litologías, como rocas foliadas, biotita-anfíbol y esquistos que contienen un grano medio de hornblenda. La plagioclasa y el cuarzo son de grano fino con algunos *augen* de plagioclasa, en protolitos máficos. Su metamorfismo ha ocurrido bajo condiciones de temperatura moderada a alta y presión intermedia (metamorfismo tipo barroviano), y refleja el cierto flujo de calor que existió en esta parte del Macizo de Santander. Ella muestra evidencia de una evolución metamórfica compleja caracterizada por un engrosamiento cortical durante el calentamiento y un metamorfismo retrógrado después del pico de temperatura metamórfico.

Ureña, C. y Zuloaga, C. (2011): Presentaron un estudio petrográfico del Gneis de Bucaramanga en las cercanías a Cepitá, Berlín y Vetás – Santander, comprendida por una sucesión de gneises pelíticos y semipelíticos intercalados con capas delgadas de rocas calcosilicatadas, mármoles, gneis hornbléndico y anfibolita; describe que consiste en una secuencia formada principalmente por gneises cuarzo feldespáticos biotíticos y sillimaníticos con niveles de gneises hornbléndicos, cuarcitas y anfibolitas, donde las rocas pertenecen a la facies

anfíbolita de alta temperatura y en general están caracterizadas por la asociación cuarzo, plagioclasa (andesina), biotita, sillimanita, feldespato potásico (ortoclasa) y moscovita, afectadas posteriormente por una fuerte actividad hidrotermal evidenciada por la presencia de minerales de alteración como clorita, epidoto, sericita y pirita.

Amaya, S. (2012): Realizó una caracterización petrográfica y petrológica de las migmatitas del gneis de Bucaramanga, en el macizo de Santander, Departamento de Norte de Santander y Santander. Describe la presencia de migmatitas que consisten de melanosomas con anfíboles, mesosomas con anfíboles, biotita, sillimanita, moscovita, feldespatos y cuarzo, y leucosomas, sin presencia de residuos. Sugiere que la intrusión de magmas y la fusión parcial de rocas metasedimentarias fueron los principales procesos que generaron las migmatitas. Los fundidos introducidos fueron modificados principalmente por acumulación de feldespatos. Para Amaya (2012), el gneis de Bucaramanga representa un ejemplo de migmatitas formadas a presiones intermedias y altas temperaturas.

Cuéllar, M. et al., (2012): Realizaron un análisis estructural del segmento Bucaramanga del sistema de fallas de Bucaramanga (SFB) entre los municipios de Pailitas y Curumaní, Cesar- Colombia, donde interpretan un sistema de fallas inversas de ángulo alto de componente lateral izquierdo. Está constituido por rocas metamórficas, volcánicas, ígneas y sedimentarias con algunas discontinuidades regionales y depósitos fluvio-lacustrinos; ellos describen en sus resultados petrográficos en el gneis de Bucaramanga feldespato potásico embebido en una matriz cuarzo feldespática, de ortosa y microclino, cuarzo, plagioclasa que varía desde oligoclasa a andesina ($An_{11} - An_{40}$), casi totalmente alterada a sericita; biotita, alterada a clorita en la mayoría de los casos; epidoto, apatito, titanita, rutilo, circón y opacos, principalmente magnetita. Y cataclasitas conformadas por feldespato, cuarzo, biotita, apatito, epidoto, clorita, magnetita, titanita, rutilo y circón como minerales accesorios.

Urueña, C. (2014): Estudió los procesos de exhumación y termocronología del gneis de Bucaramanga donde describe una secuencia principalmente formada por gneises cuarzo feldespáticos biotíticos y sillimaníticos con niveles de gneises horbléndicos, cuarcitas y anfibolitas.

- **Ibagué:**

Núñez, A. (1986): Realizó la Petrogénesis del batolito de Ibagué. El adicionalmente determinó que su edad era del Jurásico tardío. Este es un plutón que intruye rocas metamórficas, sedimentarias y volcánicas de edad Precámbrico a Jurásico temprano. Presenta una de composición variada de diorita hasta cuarzo-monzonita, con algunas zonas aplíticas. Esta exhibe mineralógicamente variaciones irregulares de hornblenda y biotita. Esta intrusión del batolito se enmarca, supuestamente, dentro de la fase inicial de un periodo complejo de deformación en la Cordillera Central.

Gómez-Tapias, Jorge A. B. (1999): Presentaron un estudio geológico-estructural de la falla Otu-Pericos al oeste de la ciudad de Ibagué; éste describe, siendo restringidos a la zona de falla, los gneises y anfibolitas de Tierradentro del Precámbrico, rocas sedimentarias de Santa Teresa del Ordovícico y mármoles.

Núñez, A. et al. (2001): Presenta un artículo sobre el vulcanismo al sureste de la ciudad de Ibagué, Departamento de Tolima- Colombia, donde microscópicamente se observa una roca porfídica conformada por fenocristales de olivino y clinopiroxeno, en matriz traquítica de plagioclasa (labradorita), piroxeno y magnetita finamente diseminada. Los fenocristales de olivino algunas veces son esqueléticos y están oxidados en los bordes o alterados parcialmente a serpentina. Este análisis petrográfico indica que la roca dominante es un basalto andesítico de olivino y piroxeno. También establece la convergencia de varias fallas geológicas.

Montes, N. et al., (2005): Presentaron la interpretación morfotectónica de la falla de Ibagué para su caracterización paleosismológica, donde refieren a la falla de Ibagué como una estructura transcurrente dextral donde se pudo proponer

su geometría de deformación entre otras cosas. También, se refieren a la gran cantidad de lomos de falla siendo característicos en ella y se ha notado varios lugares la presencia de estos abombamientos. Estos carecen de linealidad y no se restringen al paso mismo de la falla.

Rodríguez, G. *et al.*, (2017): Presentaron una redefinición del bloque norte del Batolito de Ibagué con base a nuevos datos de petrografía, litogeoquímica y geocronología U-Pb. Donde fue establecida la separación del bloque norte del “Batolito de Ibagué”, en dos cuerpos intrusivos desarrollados a partir de un marco tectónico de margen continental. El más occidental de edad del Jurásico tardío, constituido por metatonalitas y metagranodioritas sintectónicas con gneises, esquistos, cuarcitas y anfibolitas. Por su parte el bloque oriental de edad del Cretácico Temprano, constituido por tonalitas y granodioritas y cuarzdioritas subordinadas, de edad Jurásico Superior que intrusionan el basamento metamórfico.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES

Los estudios petrológicos es el inicio de la geología, siendo de gran importancia ya que ella estudia las rocas a nivel mesoscópico desde el punto de vista genético. La petrología acompañada de la DRX, incorpora mayor conocimiento en el área de la Ciencia de la Tierra ya que se pueden identificar fases cristalinas, estudiar cristales mixtos, realizar análisis cuantitativo de fases, obtener datos sobre el estado estructural, entre otras, (Wolf, 1980).

Muchos lectores tienden confusión con la terminología básica sobre lo que son la “petrología” y “la petrografía”.

Petrología y Petrografía:

La petrología es el estudio de la roca (del griego πέτρα, *pétra* = roca; y *-logía* = estudio de), mientras que la disciplina encargada de la descripción y clasificación de las mismas es la petrografía (del griego πέτρα, *pétra*=roca; y γράφω – *grapheín* = grabar, escribir, trazar. La petrografía está centrada en el origen de las rocas y las relaciones que tienen ellas entre sí empleando el microscopio, siendo una herramienta esencial para la petrología y ambas se complementan.

Para ello es necesario el microscopio petrográfico de luz polarizada, ya que con este se pueden determinar los minerales que conforman la roca y es fundamental en la descripción e interpretación de las relaciones entre los cristales que la conforman. Además de conocer los principios básicos que conllevan a la cristalización tanto en las rocas ígneas como en las metamórficas, y así podemos precisar las diferentes texturas para establecer pautas en base a las descripciones y clasificaciones de las rocas. Todo esto acompañado de las observaciones de las muestras de mano (Castro, 2015).

Petrografía ígnea y metamórfica:

Para establecer una clasificación de las rocas ígneas y metamórficas es necesario determinar características esenciales, una de ellas es la mineralogía asociada correspondiente a los minerales formadores de roca y sus porcentajes modales, y otras son las diferentes texturas y estructuras que pudiesen encontrarse durante las observaciones en el microscopio petrográfico. Las texturas en ambas rocas difieren de acuerdo a como se acomodan sus constituyentes mineralógicos.

Texturas en rocas ígneas:

Debido a que el magma asciende a la superficie y cristaliza de forma lenta (rocas hipohabisales), rápidamente (rocas volcánicas) o una mezcla de ambas se pueden generar diferentes texturas. Algunas se conservan con el paso del tiempo y otras que fueron transportadas mecánicamente a un ambiente petrogénico diferente al original pueden cambiar ligeramente.

La acción de los factores anteriormente nombrados, son regidos por mecanismos que gobiernan la aparición o desaparición de los minerales que constituyen esas texturas. Y se basan en teorías de nucleación según dos mecanismos sensibles (nucleación homogénea y heterogénea).

La nucleación homogénea, implica en saber cómo aparecen las primeras gotas de un líquido o los primeros “gérmenes” cristalinos en sistemas donde se producen reacciones del tipo vapor-líquido (condensado), vapor-sólido (sublimado) y líquido-sólido (cristalización o precipitación) iniciales (López & Bellos, 2006). En estos casos es necesario que la energía del sistema se reduzca hasta que alcanza un nivel de energía, denominado energía libre de activación por nucleación, el sobreenfriamiento en un sistema tiende a almacenar energía que se libera rápidamente como calor latente de cristalización ΔH^{cris} , después de la formación de los núcleos estables se produce el crecimiento del cristal. Así, comienza la cristalización de minerales conocidos como las series de reacción de Bowen, iniciando con el olivino, luego piroxenos, anfíboles y biotita,

posteriormente los feldespatos, seguidos de la mica moscovita y finalizando con el cuarzo.

La nucleación heterogénea implica la elaboración de cristales artificiales desde fases líquidas a sólidas, iniciado en condiciones térmicas de enfriamiento ligeramente por debajo de la temperatura de fusión y que los cristales aparecen de forma discontinua sobre impurezas, en la pared del recipiente que la contiene, sobre cristales preexistentes, entre otros, (López & Bellos, 2006). Aquí la tasa de nucleación que es el número de núcleos formados por unidad de volumen en un sistema, exhibirá en la roca resultante unos pocos cristales relativamente grandes, siendo los fenocristales y microfenocristales de mayor tamaño en comparación con el de su matriz. Esto es observado en el enfriamiento lento del magma en su ambiente y luego su enfriamiento repentinamente muy rápido, denominado cristalización en dos etapas. Si se tiene una matriz que solidifica como vidrio antes que se cristalice, se forma un vidrio porfirítico (vitrofiros).

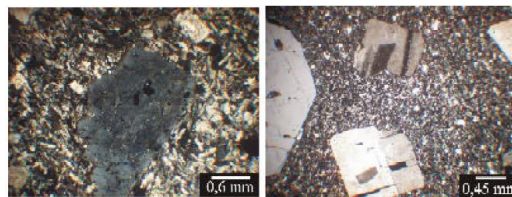


Fig. -2 .Cristalización en dos etapas, donde los fenocristales cristalizaron a la matriz.: (izquierda) traquita (Nx), (derecha) dacita (Nx). Tomado de López & Bellos; 2006.

También, existen parámetros que reflejan las condiciones de la cristalización de estas rocas y contribuyen a definir como fue el enfriamiento del magma y establecer el origen de sus texturas. En general, ellos se llevan a cabo en base a cuatro parámetros principales que se muestran a continuación:

- Grado de cristalinidad: relacionado directamente con la velocidad de enfriamiento del magma, obteniéndose una roca holocristalina (desarrollo cristalino completo), holohialina (no se desarrollan cristales) y hipocristalina (implicando el desarrollo de algunos cristales al menos en dos etapas una lenta y una rápida).

- Tamaño de los granos: controlado por la velocidad de enfriamiento en distintas fases (rápido o lento), generando cristales euhedrales, subhedrales y anhedrales. La composición química del fluido influye en la formación de los distintos cristales donde su hábito depende igualmente de la concentración de sus componentes y la viscosidad del fluido, además de la existencia en la composición de una fase “libre”.
- Relación de tamaños de los granos: donde una roca equigranular (tamaños iguales), inequigranular seriada (con una variación continua de sus tamaños de granos involucrados desde fino a grueso), inequigranular bimodal (presentan dos tamaños de granos fino y grueso sin tamaños de granos intermedios respectivamente), inequigranular trimodal (encontrándose cristales de dos tamaños diferentes y ambos casos la textura de la roca es porfírica).
- Forma de los cristales: referido a presencia o no de formas geométricas, siendo esta libre, dificultado, corrosión o alteraciones de los minerales, y fracturas.

Además de las texturas ordinarias, es posible encontrar texturas especiales en las secciones finas, entre ellas tenemos:

Textura gráfica: Es un intercrecimiento de cuarzo (en forma de cristales esqueletales que recuerda la escritura cuneiforme) y feldespato potásico (López & Bellos, 2006).

Textura simplectítica: caracterizado por intercrecimiento vermicular de dos fases minerales por cristalización simultánea de ambas (Baamonde, 2007). Los casos más comunes son moscovita – cuarzo, biotita – cuarzo, piroxeno – plagioclasa, fayalita- cuarzo.

Textura mirmerquítica: consiste en entrecrecimientos de cuarzo (en forma vermicular) en un cristal único de plagioclasa sódica. Esta textura es producto de una reacción postmagmática observada por el contacto entre plagioclasa y feldespato potásico.

Textura pertítica: originado por la exolución entre feldespatos potásico y albita, al dejar de ser miscibles por descenso de la temperatura. Algunas pertitas ocurren también por reemplazo o albitización, y otras por esfuerzos tectónicos.

Textura poiquilítica: donde se tiene a un porfiroblasto a aquel de crecimiento posterior el cual envuelve a otros cristales de menor tamaño dentro de este que se formaron inicialmente (López & Bellos, 2006).

Texturas manteadas en los feldespatos (rapakivi o antirapakivi): donde los cristales de microclino o de ortosa presentan los bordes recrecidos de oligoclasa (rapakivi), en el caso contrario se le denomina antirapakivi.

Coronas y bordes de reacción: es el desarrollo de la reacción de un mineral con la matriz. Los productos de reacción se acomodan formando un halo en torno al cristal que está reaccionando (Baamonde, 2007). En algunos casos estos minerales son envueltos completamente.

Textura esferulítica: indicando un grado de enfriamiento muy elevado.

Textura de flujo: Se desarrolla tanto en rocas vítreas como en rocas de grano fino, se caracteriza por un patrón ondulado o arremolinado en el que minerales prismáticos o laminares están orientados a lo largo de planos de flujo (López & Bellos, 2006).

Zonado o zonación: Se visualizan la presencia de bandas o zonas concéntricas en un mismo cristal con un límite distinguido por inclusiones alineadas. Se genera por cambios abruptos o continuos en la composición química de la solución sólida, ella implica la variación en la orientación de un cristal en algunos casos.

Corrosión: Es producida por la inestabilidad de un mineral contenido en un fundido donde se producen varios efectos. Uno de estos efectos es la formación de otra fase alrededor de la fase que se considera inestable, donde visualmente se observan coronas de reacción, zonación y en otros casos se desarrollan aureolas con crecimiento mineral donde los minerales que son considerados estables son combatidos por el fundido, manifestando la destrucción de estos dando paso a la cristalización de otros minerales.

Aquí se muestran algunas de estas texturas características en rocas ígneas:

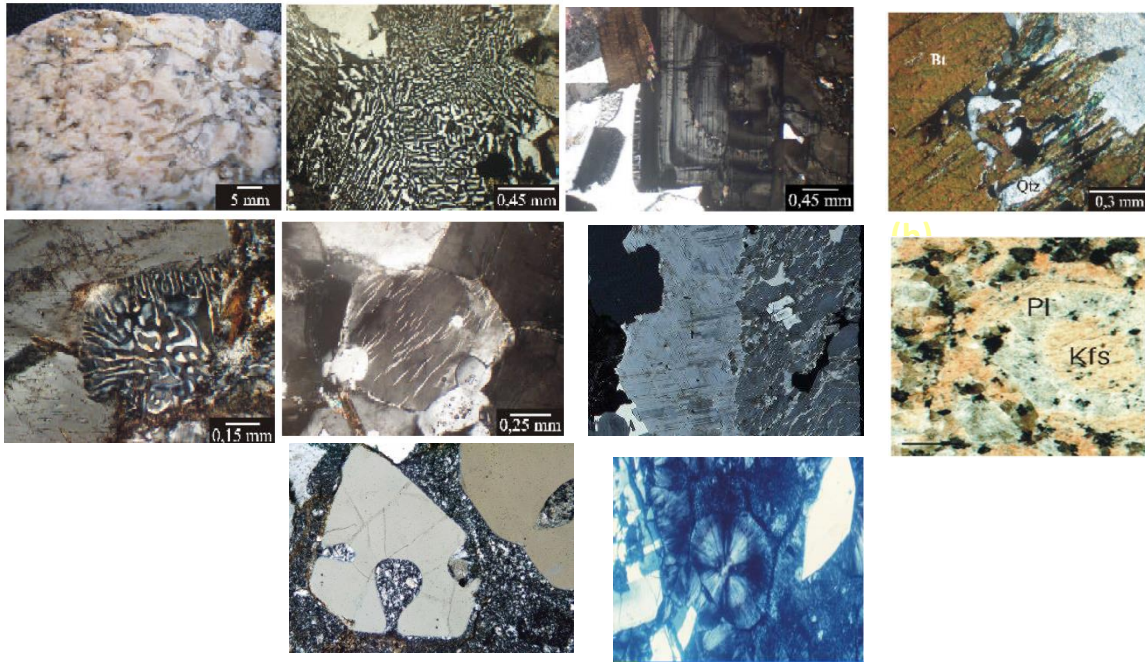


Fig.- 3. Textura gráfica: (a) muestra de mano, (b) intercrecimiento micrográfico en granitos (Nx), (c) plagioclasa zonada (tonalita, Nx), (d) textura simplectítica (granito Nx), (e) Textura mimerquítica en granitos Nx, (f) textura perítica en feldespato potásico (Nx), (g) Textura poiquilítica de plagioclasa (N//), Textura rapakivi: (h) en muestra de mano, (i) sección delgada (Nx), (j) Corrosión, (k) esferulita formada por cristobalita vista con Nx. Tomado y modificado de WeSapiens.org y López & Bellos, 2006.

Mineralogía característica en las rocas ígneas:

En estas rocas la mineralogía depende principalmente de su composición química siendo esencialmente conformadas por compuestos de minerales silicatados y no silicatados. Dependiendo de lo ocurrido en el momento de su enfriamiento bien sea por intrusión o extrusión también podemos determinar qué tipo de magma fue el precursor. Ellas presentan una composición química global correspondiendo a varias asociaciones mineralógicas. Los minerales formadores de rocas ígneas se clasifican en primarios, que constituyen la roca original, y secundarios que se emplazan o se forman generalmente como producto de alteraciones. En los primarios se tienen: minerales esenciales (característicos y raros) y accesorios (característicos y raros), para los secundarios también se tiene una gran variedad y se consideran minerales de alteración. Entre los minerales primarios tenemos:

Tabla 2-1. Mineralogía característica encontrada en rocas ígneas

Grupo del Sílice Cuarzo, Cristobalita, Tridimita,	
Grupo	Mineral
Feldespatos	Ortoclasa, Microclino, Sanidina, Anortoclasa
Plagioclasas	Albita, Oligoclasa, Andesina, Labradorita, Bytownita, Anortita
Olivinos	Olivino, Fayalita, Monticellita
Piroxenos	Enstatita, Hiperstena, Pigeonita, Diópsido, Augita, Egirina, Espodumena
Accesorio: anfíboles	Cummingtonita, Tremolita, Actinolita, Hornblenda, Riebeckita
Accesorios: micas	Moscovita, Flogopita, Biotita, Lepidolita.
Otros	Magnetita, Titanita, Zircón, Apatito.

Tomado y modificado de REYES, C. (2006). Apuntes de Petrografía y Petrología ígneas. *Fac. Ing. UACH*

Clasificación de rocas ígneas:

Este se basa en su textura y composición, mostrado a continuación.

Composición química		Granítica (félsica)	Andesítica (Intermedia)	Basáltica (máfica)	Ultramáfica	
Minerales dominantes		Cuarzo Feldespato potásico Plagioclasa rica en sodio y calcio	Anfibol Plagioclasa rica en sodio y calcio	Piroxeno Plagioclasa rica en calcio	Olivino Piroxeno	
Minerales accesorios		Anfibol Moscovita Biotita	Piroxeno Biotita	Anfibol Olivino	Plagioclasa rica en calcio	
TEXTURA	Fanerítica (grano grueso)	Granito	Diorita	Gabro	Peridotita	
	Afanítica (grano fino)	Riolita	Andesita	Basalto	Komatita (poco común)	
	Porfídica	«Porfídico» precede cualquiera de los nombres anteriores siempre que haya fenocristales apreciables				
	Vítrea	Obsidiana (vidrio compacto) Pumita (vidrio vacuolar)				Poco comunes
	Piroclástica (fragmentaria)	Toba (fragmentos de menos de 2 mm) Brecha volcánica (fragmentos de más de 2 mm)				
Color de la roca (basado en el % de minerales oscuros)		0% a 25%	25% a 45%	45% a 85%	85% a 100%	

Fig.- 4. Tabla de clasificación de las principales rocas ígneas en base a su textura y composición.

Tomado de Bush, R. & Tasa D. (2014).

También, existen otras clasificaciones y entre ellas tenemos:

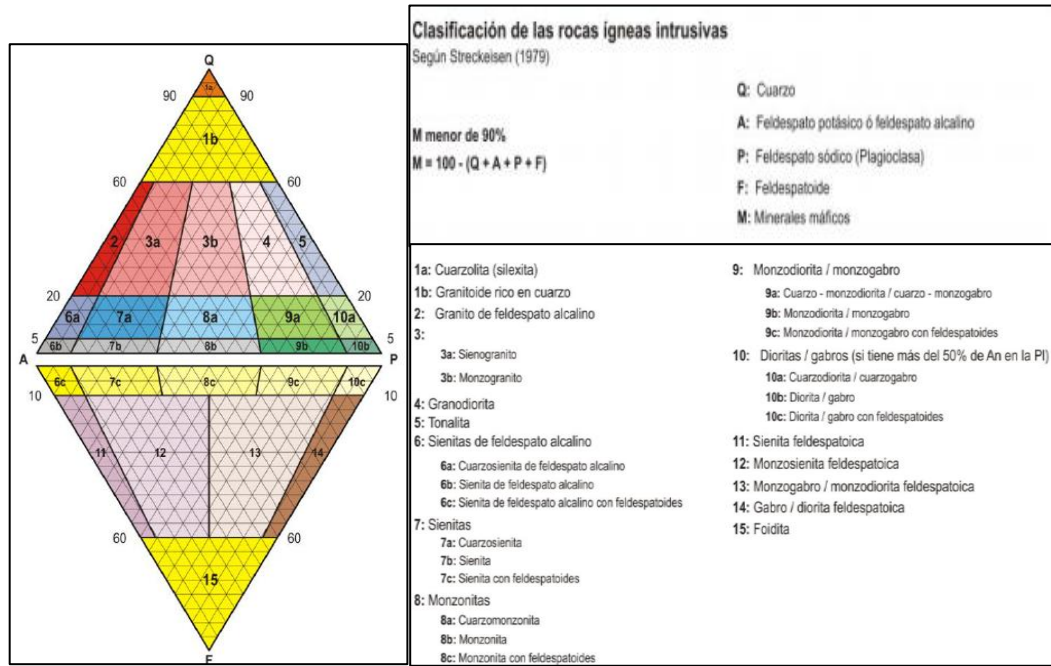


Fig.-5. Clasificación de rocas ígneas intrusivas de Streckeisen, 1979. Clasificación de la IUGS, International Union of Geological Sciences, 1991. Imagen tomada de petrografía básica: texturas, clasificación y nomenclatura de rocas. Castro, 1989.

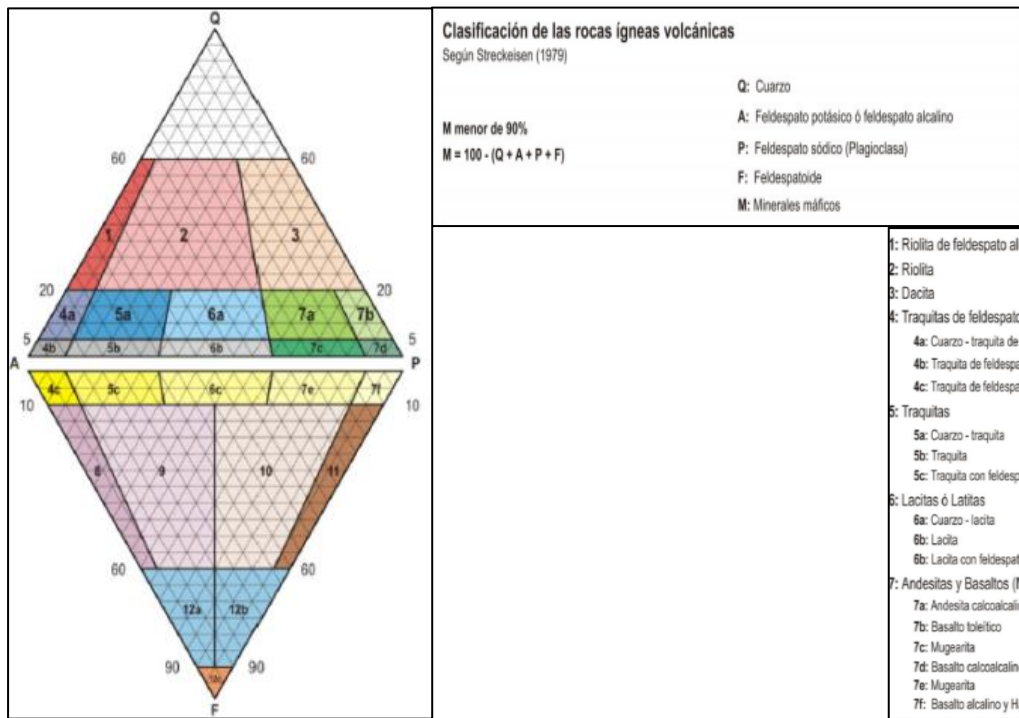


Fig.- 6. Clasificación de rocas ígneas volcánicas de Streckeisen, 1979. Clasificación de la IUGS, International Union of Geological Sciences, 1991. Imagen tomada de Petrografía básica: Texturas, clasificación y nomenclatura de rocas. Castro, 1989.

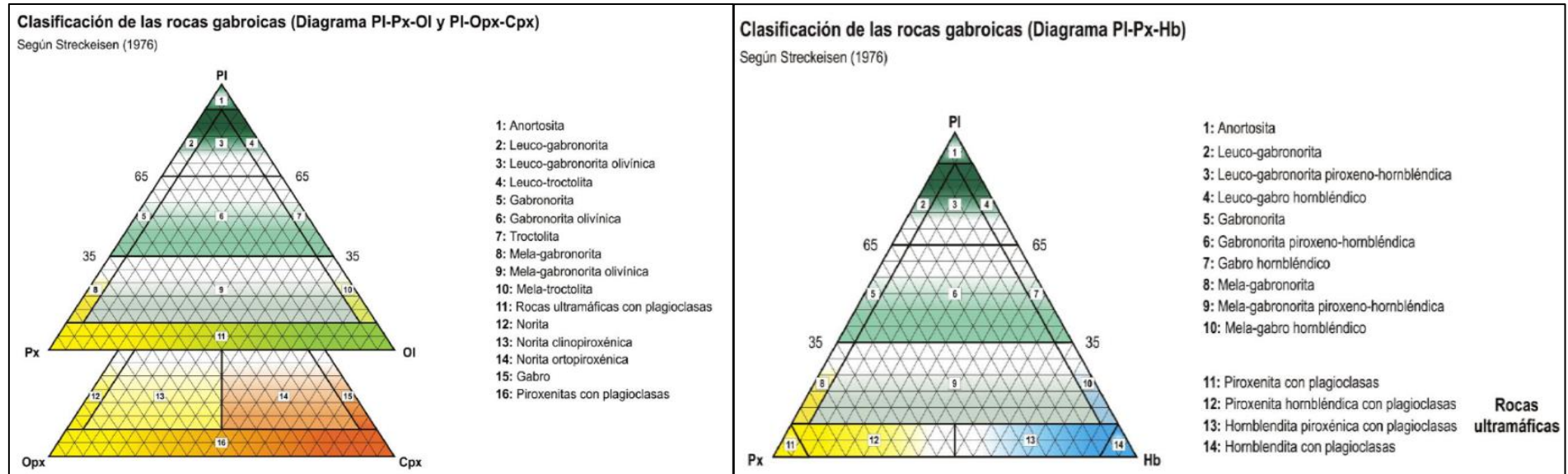


Fig.-7. Diagramas ternarios para la clasificación de gabroides basada en porciones de Streckeisen, 1976:(izquierda) clasificación en función del porcentaje modal de Clinopiroxeno (Cpx), Ortopiroxeno (Opx) y Plagioclasa (Pl). (derecha) Clasificación en función de Piroxeno (Px), Plagioclasa (Pl) y Hornblenda (Hb).

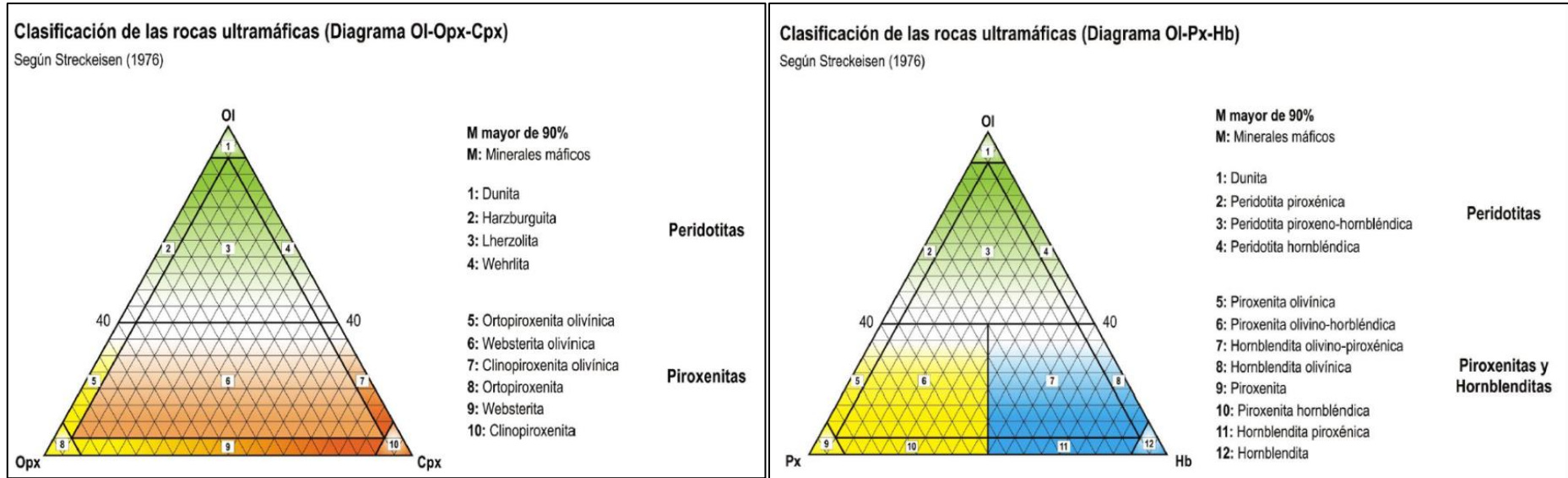


Fig.-8. Diagrama de clasificación de rocas ultramáficas basado en porciones de Streckeisen, 1976: (izquierda) clasificación en función del porcentaje modal de Clinopiroxeno (Cpx), Ortopiroxeno (Opx) y Olivino (Ol). (derecha) clasificación en función de Piroxeno (Px), Olivino (Ol) y Hornblenda (Hb).

Texturas en rocas metamórficas:

El desarrollo textural en estas rocas es el resultado de distintos procesos y entre los principales tenemos:

- Reacciones entre minerales: aquí se tienen reacciones que implican la nucleación y el crecimiento de nuevas fases minerales (blástesis) a partir de la asociación mineral preexistente inestable.
- Deformación: Debido a los esfuerzos con que son sometidas estas rocas, se pueden deformar por diversos mecanismos como fracturamiento, deslizamiento y rotación pasiva de los granos minerales, disolución por presión y deformación de la red cristalina (deformación intracristalina o plástica. (Torres, García & Molina 2004). El fracturamiento está asociado a altas tasas de deformación que reducen el grano (molturación) y en rocas llamadas cataclasitas. Si se aumenta la temperatura en presencia de fase fluida se produce un proceso de recristalización dinámica con desarrollo de millonitas. Estos procesos también dan como resultados dislocaciones cristalinas que generan maclas mecánicas y a la rotación de la red cristalina. En algunos casos se puede dar el estiramiento de los granos por deformación intracristalina y fenómenos de disolución por presión, observándose una orientación preferencial de los granos produciendo una fábrica planar, lineal o plano-lineal denominada foliación.
- Recristalización: en este caso el volumen determina si la asociación mineral será estable bajo ciertas condiciones de presión, temperatura y energía, donde controla la cristalización de nuevas asociaciones minerales (blastesis o recristalización). Existen texturas ligadas a la liberación de tensiones intracristalinas; donde a partir de un cristal deformado queda dividido con zonas en extinción uniforme a dominios con gran densidad de dislocaciones. En los bordes se pueden formar nuevos cristales libres de deformación (recristalización dinámica), donde en algunos casos se pueden desarrollar granos con bordes irregulares en dientes de sierra. También existen texturas ligadas a la reducción de la energía de superficie y reforma de los cristales (*annealing*); implicando una reducción de la superficie de los granos irregulares y la eliminación de los granos más

pequeños, aquí se pueden dar rocas mono-minerálicas con el desarrollo de texturas granoblásticas (Torres, García & Molina 2004).

En general estas rocas presentan exclusivamente textura cristaloblástica. Los minerales que se denominan blastos, se originan en un medio esencialmente sólido por transformación de minerales preexistentes, o como resultado de alguna reacción entre dos o más fases preexistentes (Baamonde, 2007). Las texturas mayormente encontradas son:

Granoblásticas: cuando sus cristales forman un mosaico de granos, equidimensionales, con tendencia al empaquetamiento hexagonal.

Lepidoblástica: observada en minerales laminares (filosilicatos), intercrecidos y homogéneamente orientados con los planos basales más o menos paralelos.

Nematoblástica: caracterizada por minerales aciculares (inosilicatos, generalmente anfíboles) entre crecidos y orientados homogéneamente con sus ejes mayores paralelos entre sí.

Porfidoblástica: presencia de cristales de mayor tamaño (porfidoblastos) que la matriz, la cual puede ser fanerítica o afanítica. También, puede tener cualquier textura de las descritas anteriormente o combinaciones de dos o más. Los porfidoblastos con caras bien desarrolladas se denominan idioblastos.

Existen combinaciones de ellas como la granolepidoblásticas; típica de gneis pelíticos y cuarzo-esquistos bandeados, granonematoblástica; observada en gneis anfibólicos y cuarzo esquistos con anfíbol y granoporfidoblástica; común en corneanas (hornfels) y rocas de contacto en general.

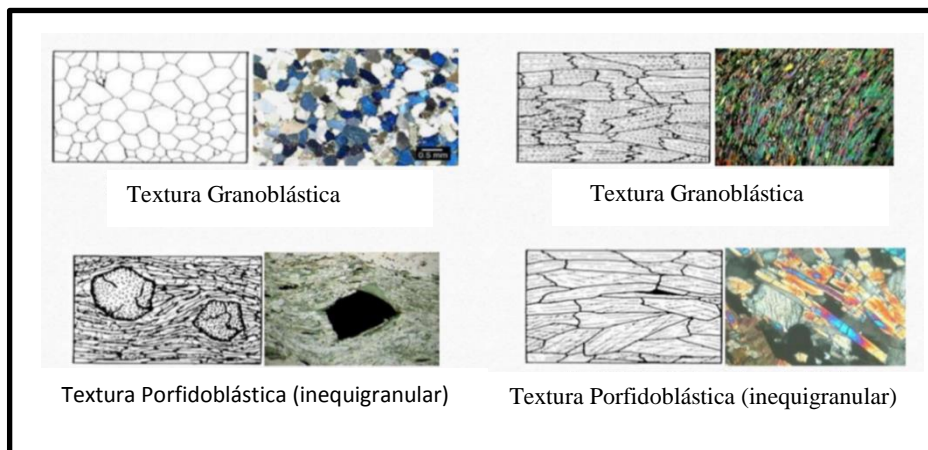


Fig.- 9. Texturas comunes en rocas metamórficas. Tomado y modificado de http://entenderlaciencia.blogspot.mx/2013_12_01_archive.html

Clasificación de rocas metamórficas:

En este caso se distinguen tres parámetros para su clasificación: la clase textural, la clase química y la facies metamórfica.

Tabla 2-2. Análisis y clasificación de rocas metamórficas Foliadas

Características texturales de las rocas		Composición mineralógica y otras características distintivas	Nombre de la roca	Protolito
Foliadas	Grano fino	Roca plana y lisa, la exfoliación esta mejor desarrollada que la foliación.	Pizarra	Lutita o lodolita
		Foliación ondulada desarrollada mejor que exfoliación	Filita	
	Grano media a grueso	Esquistosidad: foliación formada por alineación visible de cristales, la roca se rompe a lo largo de superficies escamosas de exfoliación, textura cristalina.	Esquisto	
		Bandeado Gneísico: los minerales están separados en bandas alternas, dándole a la roca una textura bandeada en vista lateral, textura cristalina.	Gneis (Aumenta el metamorfismo)	

Tomado y modificado de Busch & Tasa (2014)

Tabla 2-3. Análisis y clasificación de rocas metamórficas No foliadas

Características texturales de las rocas		Composición mineralógica y otras características distintivas	Nombre de la roca	Protolito	
No foliadas	Grano fino	Textura vítrea, la exfoliación de la roca	Carbón antracita	Turba, lignito y carbón bituminoso	
		Textura micro cristalina	Roca corneana	Cualquier roca	
		Textura micro cristalina, puede tener una suave superficie de exfoliación o forma de asbesto	Serpentina	Rocas ígneas ultramáficas	
	Grano fino a grano grueso	Textura arenosa o cristalina	Granos de cuarzo fusionados, los granos no se sienten rugosos al frotar como la arenisca, usualmente son de colores claros.	Cuarcita	Arenisca
			Calcita (o en algunos casos dolomita) cristales casi de igual tamaño y tienen efervescencia al entrar en contacto con solución de HCl.	Mármol	Calizas

Tomado y modificado de Busch & Tasa (2014)

Minerales índice característicos de rocas metamórficas:

Con base a los distintos cambios metamórficos texturales es posible tener una mineralogía característica asociada a cada una de ellas representadas a continuación:

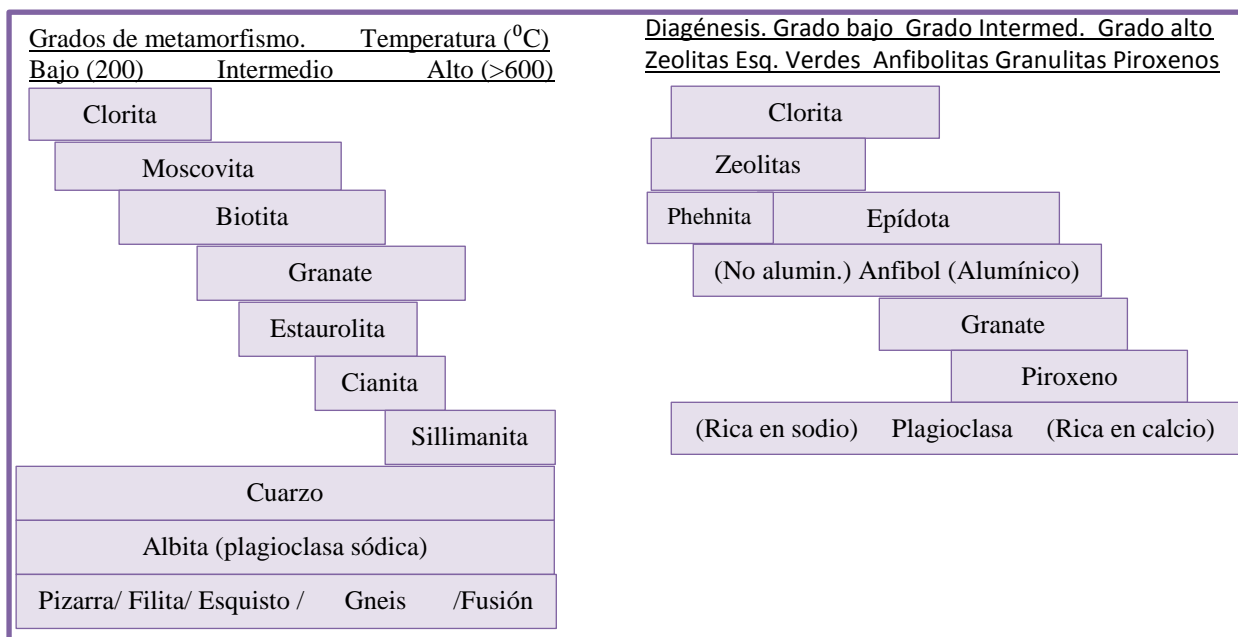


Fig.-10. Algunos minerales índices clave en el metamorfismo, a la izquierda: lutitas desde pizarras hasta gneises, a la derecha: cambios de composición mineral en basaltos y otras rocas máficas. Tomado de Baamonde 2007. Modificado de Press y Siever, (1999).

Porcentajes visuales modales:

Para llevar a cabo cada clasificación de rocas, bien sean ígneas o metamórficas es necesario tener una guía para estimar los porcentajes que pudiese tener cada rocas, bien sea en muestra de mano o utilizando el microscopio petrográfico. Todas estas estimaciones de deben hacerse con una tabla de porcentaje visuales modales representada a continuación:

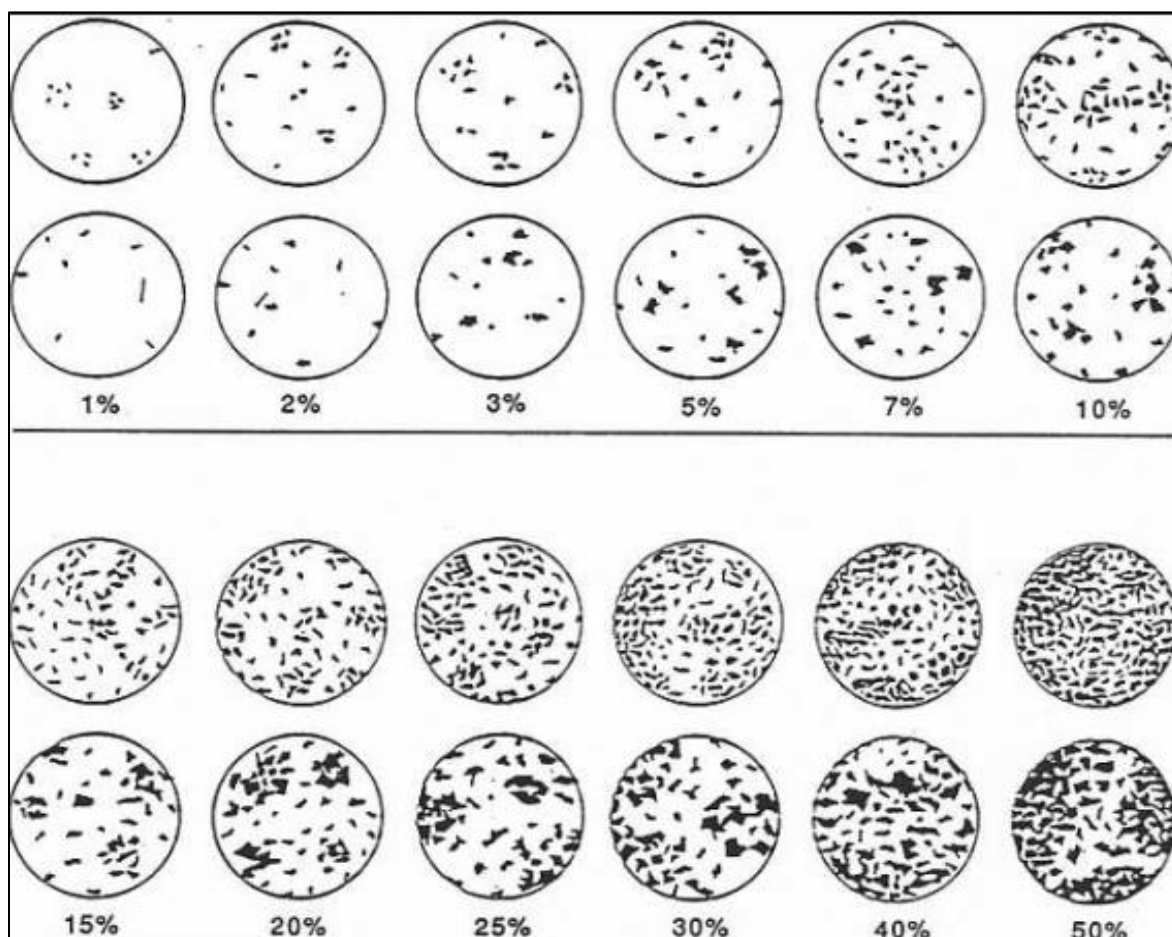


Fig.- 11. Estimación visual de porcentajes modales. Tomado de Williams, Turner & Gilbert (1982)

Difracción de rayos X (DRX):

Dentro de la geoquímica se aplica una gran cantidad de análisis instrumentales, siendo uno de los más esenciales y económico la difractometría o DRX. Este método en muchos casos es el único método capaz de suministrar la mineralogía asociada de manera irrefutable al geólogo, minerólogo, mineros, metalúrgicos, entre otros, a un bajo costo. Es un método de análisis instrumental basado en rayos X, siendo esos rayos descubiertos por el físico alemán Roentgen en el año 1895, pero en el año 1912 los físicos Laue, Knipping y Friedrich junto al inglés Bragg, los aplicaron en la cristalografía y aclararon la naturaleza del fenómeno que ocurre (Wolf, 1980). La difracción es un fenómeno de dispersión de rayos X donde se incluyen todos los átomos de las sustancias irradiadas.

Esta comprende un campo de aplicaciones muy amplio debido a su tecnología que posibilita determinar la identidad de una especie mineral, material cristalino, natural (orgánica e inorgánica) o sintética. Este es un ensayo relativamente “no destructivo” donde se pueden interpretar sus resultados de medición por medio de un difractograma de acuerdo a las intensidades que la muestra presenta en función de la longitud de onda de la radiación X empleada, realizando una comparación con una colección o base de datos establecida o datos de referencia. Con base a la señal se establece si un mineral se encuentra presente, además de si el mismo se encuentra mezclado con otros. Al concordar con una mezcla es posible que el intérprete tenga cierto inconveniente con la identificación, debido a interferencias de diferentes minerales y la ambigüedad de formar los conjuntos espaciados de picos de difracción e intensidades que corresponde a los minerales presentes en la roca. En ocasiones esto se soluciona reduciendo el número de minerales no identificados basándose en información previa o adicional sobre la muestra analizada. A continuación se muestra información sobre las posibles interferencias encontradas en una muestra de policristales:

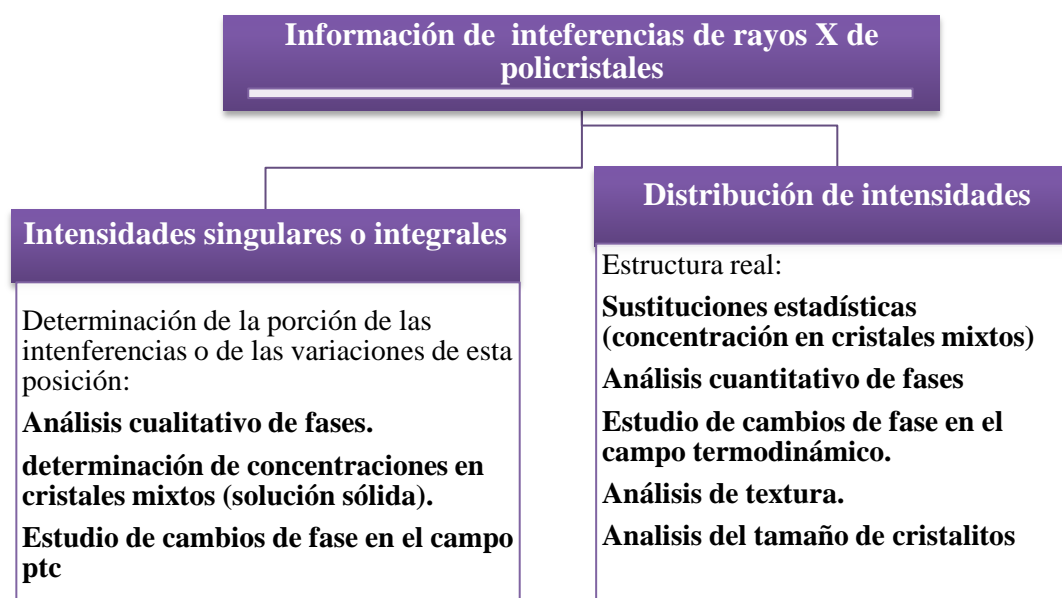


Fig.-12. Informaciones obtenibles por medio de la DRX de sustancias policristalinas en el campo geológico. Tomado y modificado de Wolf (1980)

La identificación de minerales puede ser aplicada cuando en un material ocurra los siguientes casos:

- Material de grano muy fino o imposible su estudio bajo el microscopio petrográfico. Un caso particular es el análisis de arcillas por medio de este método. Aunque si se desea aplicar este método en rocas bastará con triturarlas y pulverizarlas para luego ser analizadas.
- Minerales raros o de difícil diagnóstico químico o con otros métodos ya que este facilita la naturaleza o nombre para identificación mineral que el análisis químico no podría indicar.
- Para el caso de los minerales polimórficos se obtiene cual es la especie presente. También se puede identificar cual es la fase cristalina correspondiente que se encuentra presente.

Por otra parte, con ello también se puede determinar parámetros de la celda elemental de un cristal que es una tarea fundamental en la mineralogía y en la investigación de estructuras y determinar la concentración de los componentes químicos en soluciones sólidas. Se pueden caracterizar los sedimentos, los procesos de formación y su génesis. También, se puede aplicar en correlaciones entre composición cualitativa y cuantitativa, Wolf (1980).

CAPITULO III

3. MARCO GEOLÓGICO

3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Las fallas de la Cordillera Central y Oriental colombiano, posiblemente se han originado en un mismo periodo, por lo tanto las estructuras falladas de Bucaramanga e Ibagué podrían atribuirse a un mismo origen (Von Estorff, 1946).

Referente a lo mencionado, el sistema de falla de Bucaramanga-Santa Marta (SFB) presenta una extensión longitudinal aproximada de 600 km (asumiendo un trazo único), con una dirección N20W. Su edad se ha propuesto en diferentes periodos como Eoceno, Postcretácea, finales del Mesozoico principios del Terciario, comienzos del Paleoceno, Terciario tardío y Cuaternario, también entre el lapso del Plioceno y el Pleistoceno. Se considera activo durante la Orogenia Grenville-Orinoquensis de aproximadamente 1200 Ma, (Cárdenas, Isaza, Naranjo, & Lombana, 2012). Asimismo, el segmento de la falla de Bucaramanga que forma parte del (SFB) se considera como una estructura de movimiento transcurrente sinistral y en algunos sectores es inversa. En esta predominan rocas metamórficas (Ureña & Zuloaga, 2011). Con respecto a la falla de Ibagué, presenta una estructura transcurrente dextral con dirección WSW-ENE extendiéndose hacia el este en dirección N70°E. Ella afecta principalmente a rocas metamórficas e ígneas y algunas sedimentarias cortando y desplazando a la Cordillera Central en su sentido dextral (lateral derecho) al igual que las estructuras falladas más antiguas (Montes, *et al.*, 2005).

A continuación se muestra la ubicación de estas estructuras en la siguiente figura (ver Fig.-13):

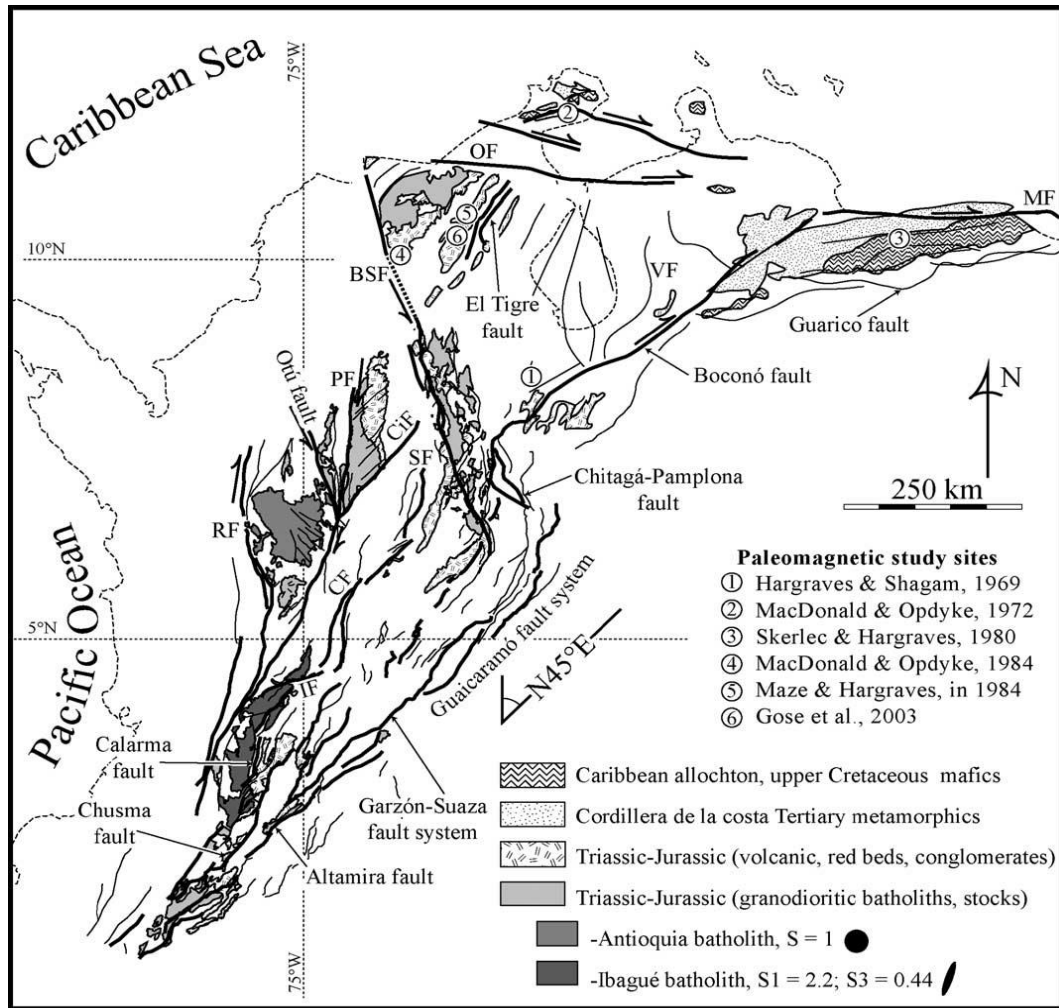


Fig.-13. Mapa tectónico del Norte de los Andes de Colombia y Venezuela. BSF: Sistema de fallas Bucaramanga–Santa Marta; CF: Falla de Cambao; CiF: Falla de Cimitarra; EF: Falla El Pilar; MF: Falla Morón; OF: Falla de Oca; PF: Falla de Palestina; IF: Falla de Ibagué, RF: Sistema de fallas Romeral; SF: Falla de Salinas; VF: Falla de Valera. (Montes, Hatcher & Restrepo, 2005)

Dicha cordillera está representada en bloques (Montes, *et al.*, 2005), donde indica que el bloque semi- débil (6 y 8) coincide con la falla de Ibagué y el bloque débil (10) se encuentra ubicada la falla de Bucaramanga (Fig.-14).

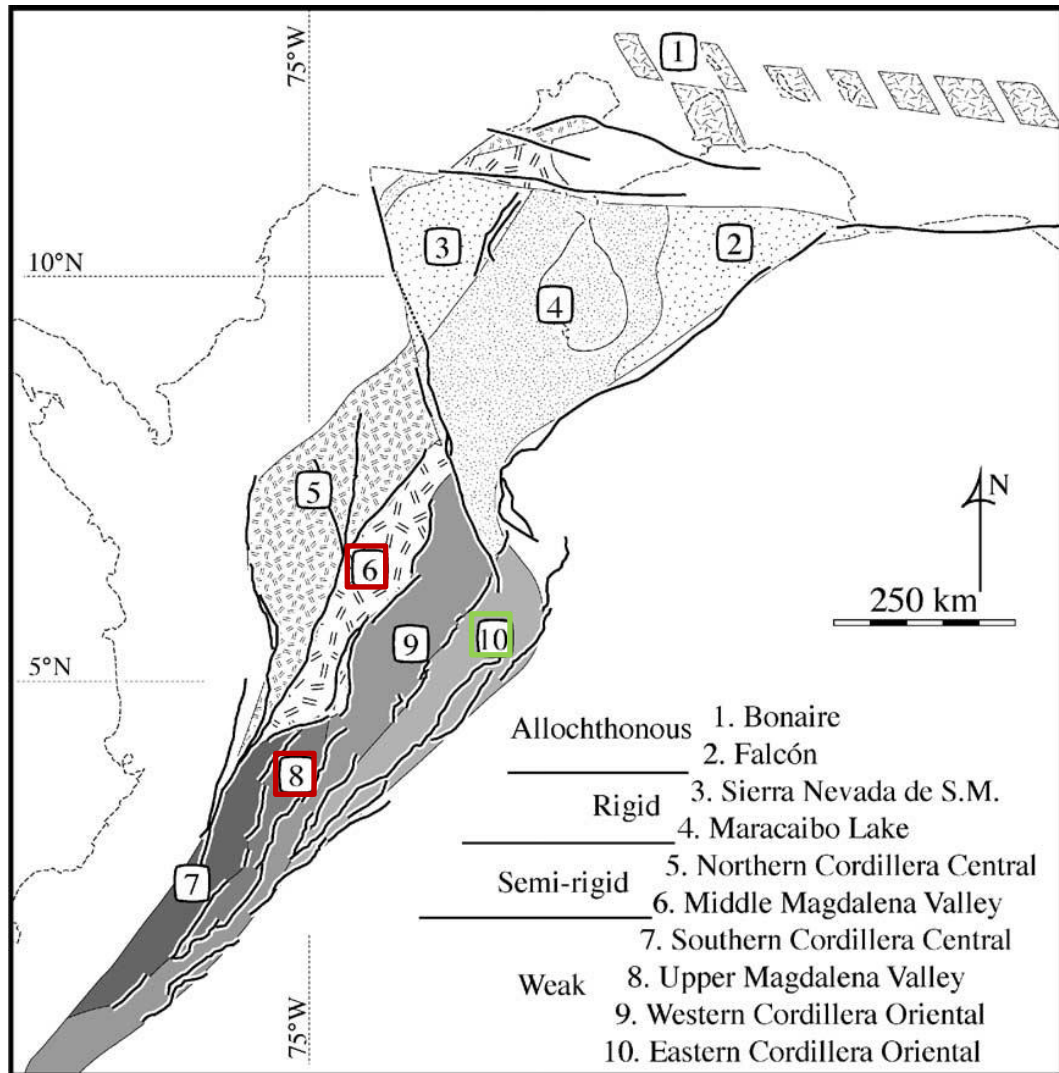


Fig.-14. Bloques Corticales de la región Norte Andina. Cordillera Oriental-Alto Magdalena en tonos de gris, Cordillera Central-Magdalena Media en patrones de líneas, y el bloque de Maracaibo en patrones de puntos. Tenga en cuenta que cada bloque se subdivide a lo largo de sistemas de fallas. El numerado enmarcado de color rojo corresponde con los bloques semi-débil de falla de Ibagué y el bloque numerado y resaltado de color verde representa donde se encuentra ubicado el bloque débil de la falla de Bucaramanga. Tomado y modificado de Montes, Hatcher & Restrepo, 2005

4.1 GEOLOGIA LOCAL

Tratándose de dos zonas separadas que a su vez serán relacionadas donde se requiere hacer dichos estudios, es necesario describir la geología que presenta cada región con base a las muestras que serán analizadas:

- **Bucaramanga:**

Esta falla es de gran extensión y para el caso de este estudio sólo se trabajará un segmento de la zona sur de la misma, donde las muestras que serán analizadas constan de las siguientes litologías:

Complejo Bucaramanga (Precámbrico-Neoproterozoico)

Descripción general: Es una unidad conformada por metamorfitas de origen sedimentario, de alto y medio grado de metamorfismo dinamo-térmico regional. Aflora en el sector oriental y nororiental del Departamento de Santander. Presenta buenas exposiciones en las carreteras Bucaramanga-Pamplona, Bucaramanga-Matanza y Berlín-Vetas.

Descripción litológica: Esta unidad se encuentra representada por las metamorfitas proterozoicas del denominado Gneis de Bucaramanga. Debido a la variación de sus características litológicas y a la compleja evolución geológica de esta unidad, se plantea de manera conveniente, que se utilice el término de Complejo Bucaramanga, como el más apropiado para la literatura geológica de esta región. El nombre original de gneis de Bucaramanga fue utilizado por Goldsmith, *et al.* (1971) y posteriormente propuesto por Ward, *et al.* (1973). El Complejo Bucaramanga consta de una secuencia de paragneis cuarzo-feldespático, hornbléndico, micáceo y granatífero, y cantidades subordinadas de anfibolitas, migmatitas, cuarcitas, mármoles y esporádicamente granulitas.

El Complejo Bucaramanga ha sido intruído por plutones félsicos del Paleozoico y Jurásico (Ward, *et al.* 1973). Rocas precámbricas con dataciones equivalentes a las del Complejo Bucaramanga se mencionan en la Sierra Nevada de Santa Marta (Gansser, 1955; Tschanz, *et al.* 1969). También se atribuye edad precámbrica a gneises, migmatitas y granulitas en secciones cercanas al Batolito de Ibagué y a algunos cuerpos compuestos de gneis, anfibolitas y migmatitas.

Ortogneis de Berlín (Proterozoico tardío-Paleozoico temprano)

Descripción general: conformada por metamorfitas de origen ígneo con edades entre el Proterozoico superior y Paleozoico temprano, que afloran en la región oriental de Santander, con estructura gnéssica, aspecto masivo y composición félsica a intermedia. Intruye al Complejo Bucaramanga y está cubierto discordantemente por rocas sedimentarias del Devónico medio. Se conocen algunos registros radiométricos que han arrojado edades mínimas; por ejemplo, la datación Rb/Sr en roca total de un ortogneis en el Río Caraba (Plancha 110, Pamplona) dio una edad de 450 ± 80 m.a., y la datación K/Ar en una metadiorita al occidente de Ocaña (Plancha 76, Ocaña) que determinó una edad de 413 ± 30 m.a (Goldsmith, et al., 1971).

Descripción litológica: Las metamorfitas están constituidas por gneis cuarzo feldespático, que varían en textura y composición de metagranito a metatonalita, que junto con el Complejo Bucaramanga conforman el basamento del Macizo de Santander.

Formación Tibet (Devónico inferior-medio)

Descripción general: La unidad está constituida por rocas sedimentarias como conglomerados, areniscas, lutitas, localmente lentes calcáreos, datados Devónico inferior y medio, que afloran en pequeñas franjas en la región oriental y suroriental del departamento. Estas rocas sedimentarias se encuentran agrupadas en las formaciones El Tibet y Floresta. Término establecido originalmente como miembro El Tibet de las formaciones anteriormente nombradas por Cediell (1969) para designar las rocas sedimentarias expuestas en el alto El Tibet (Boyacá) y que posteriormente fue elevado al rango de Formación El Tíbet.

Descripción litológica: Constituido principalmente de areniscas de grano fino a medio, localmente conglomeráticas, alternadas con capas de limolitas de color ocre; hacia la base se presenta un conjunto limolítico con restos de plantas y algunos conjuntos de conglomerado blanco y rojizo, cuarzoso. Ella se interpreta como una unidad depositada en un ambiente epicontinental.

Cuarzo monzonitas rosada y granito gris de los batolitos de Río Negro y Mogotes (Mesozoico- Triásico, Jurásico temprano y tardío)

Descripción general: Rocas plutónicas, volcánicas y volcano-sedimentarias datadas del Mesozoico, las cuales han sido agrupadas en las unidades Triásico, Jurásico temprano-medio, Jurásico tardío.

El Jurásico temprano-tardío está constituido por plutonitas y esta unidad involucra los cuerpos plutónicos correspondientes al conjunto Plutónico de Santander (Ward, et al., 1973), los cuales son denominados como Granito Rosado, Cuarzomonzonita Rosada, Cuarzomonzonita Gris, Granodiorita y Tonalita, Cuarzomonzonita- Granito.

El Granito Rosado generalmente es de color rosado naranja, de grano fino a muy fino, equigranular a ligeramente porfirítico; está compuesto de plagioclasa (albita), ortoclasa, micropertita y cuarzo en cantidades casi iguales; los accesorios son óxidos de hierro, moscovita, biotita y zircón.

La Cuarzomonzonita Rosada es de color rosado, rosado naranja a gris violáceo, de grano medio a grueso, inequigranular y subprofídica, compuesta por feldespato potásico, plagioclasa, cuarzo y biotita. También se encuentran fenocristales de feldespato potásico (2 cm), plagioclasa, cuarzo y localmente hornblenda.

La Cuarzomonzonita Gris está compuesta de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, biotita y moscovita; los accesorios son apatito, óxidos de hierro y zircón; como minerales de alteración contiene clorita, epidota y sericita.

La Granodiorita-Tonalita aflora al nororiente del departamento de Santander, es de color gris, de grano medio a grueso, subporfirítico, compuesta por andesina, cuarzo, microclina y biotita. La tonalita también es de color gris verdoso, de grano medio, con variaciones locales a granodiorita; está constituida por andesina, cuarzo, hornblenda y feldespato potásico.

Cuarzomonzonita-Granito (Jurásico temprano y tardío)

Descripción general: Son los tipos de rocas ígneas predominantes en Santander que conforman los grandes batolitos principalmente, con variaciones locales a granito y granodiorita.

Descripción litológica: La cuarzomonzonita es rosada a gris clara, biotítica, de grano mediano, equigranular a subporfidica, compuesta de cuarzo gris, plagioclasa blanca y feldespato potásico en cantidades más o menos iguales, en algunas zonas es más rosada y menos biotítica; El feldespato potásico es micropertita en vez de microclino y localmente presenta variaciones a granodiorita.

- **Ibagué:**

Esta aunque es una falla de grande, en este caso sólo se estudiará el transecto situado en zona central limitada por los cerros norte y sur implicando la siguiente litología:

Batolito de Ibagué (Mesozoico- Jurásico temprano)

Descripción general: El Mesozoico en la cuenca del río Coello está representado por rocas ígneas, volcánicas, volcano sedimentarias e intrusivas. Presenta una morfología de montañas ramificadas, laderas de pendientes abruptas y largas, crestas agudas y drenaje dendrítico pinado a drenaje dendrítico denso, presentando una cobertura discontinua de piroclásticos en pequeños sectores, muchas veces limitados a las cimas montañosas. Este cuerpo ígneo intrusivo ocupa aproximadamente el 16.21% de la extensión de la cuenca del río Coello, aflorante alrededor del municipio de Ibagué en Colombia, en el cerro denominado La Martinica en el noroccidente y a lo largo del costado oeste de la vía Ibagué-Playarica.

Descripción litológica: El cuerpo está constituido principalmente por granodioritas, de textura fanerítica, compuestas por plagioclasa, cuarzo y máficos,

presentando bastante meteorización dentro del área de estudio. Por relaciones estratigráficas y dataciones radimétricas se asigna a esta unidad una edad Jurásico tardío. También, afloran rocas graníticas de composición cuarzo - diorítica a granodiorítica que presentan niveles variables de meteorización. En dichas rocas son apreciables los contenidos de cuarzo, plagioclasa, hornblenda y biotita, en menor proporción feldespato potásico. Frecuentemente se encuentran diques de andesitas y dacitas con texturas afaníticas y porfíricas, así como venas de cuarzo y feldespato que en muchos casos alcanzan mineralizaciones de importancia económica.

CAPITULO IV

4. MARCO METODOLÓGICO

El desarrollo metodológico de este trabajo se llevará a cabo en cinco fases. Estas fases están relacionadas directamente para llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos específicos anteriormente mencionados. Cada una de estas fases se encuentra representada en el diagrama de flujo (Fig.-15) a continuación:



Fig.-15. Diagrama de flujo general de la metodología empleada.

4.1. FASE I: INVESTIGACIÓN PRELIMINAR Y RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Esta fase comprende todo lo concerniente a la recolección de material bibliográfico e información sobre trabajos previos realizados en la zona. Implica

la generación de mapas de ubicación que delimita la zona de trabajo. Esta implica subdivisiones en otras actividades (Fig.-16) representadas a continuación en el siguiente diagrama de flujo:

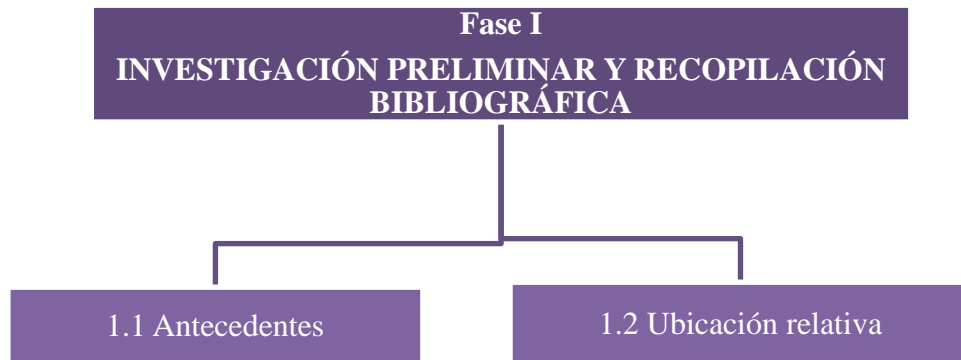


Fig.-16 Diagrama de flujo de la Fase I. Investigación Preliminar y recopilación bibliográfica

- 1.1. **Antecedentes** :Consta de una búsqueda de publicaciones, tesis de grado, libros, artículos de revistas, trabajos previos, mapas, congresos, trabajos inéditos, entre otros, Cada una de ellas relacionadas directamente con las dos zonas donde fueron recolectadas las muestras y con la metodología que se implementó. Las principales fuentes de antecedentes fueron la Biblioteca Dr. Virgil Winkler de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica (UCV) y las suministradas por la universidad de Ibagué. La información recopilada sirvió como base del marco geológico regional, el marco teórico y el marco metodológico.
- 1.2. **Ubicación relativa**: Con la obtención del mapa de Colombia se procedió a delimitar las zonas de donde provenían las muestras, con la ayuda de la herramienta Arc Map del software ArcGis 10.2.1.

4.2. FASE II: ADQUISICIÓN E INVENTARIO DE MUESTRAS

Este proceso implica una división con varias subdivisiones donde intervienen varias actividades (Fig.-17) representadas en el siguiente diagrama de flujo:

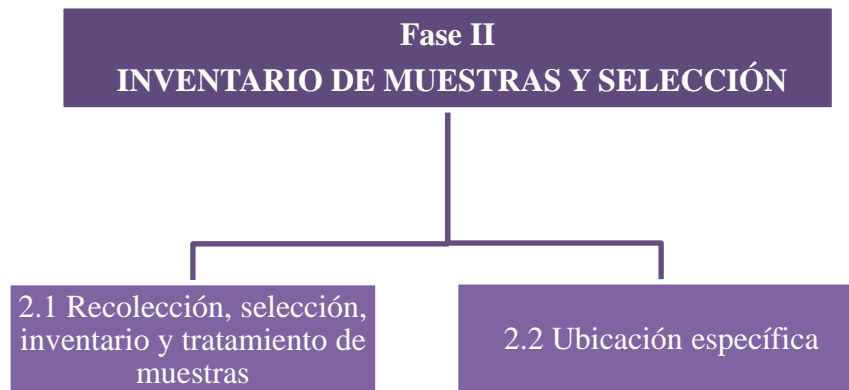


Fig.-17. Diagrama de flujo de la Fase II. Adquisición e inventario de muestras

Las descripciones pertinentes de flujo grama anterior se encuentran especificadas a continuación:

2.1. Recolección, selección, inventario y tratamiento de muestras: Las muestras de rocas ígneas y metamórficas ya recolectadas provenientes de Colombia, una vez que se encuentran en territorio venezolano fueron revisadas para su pre clasificación. Fue realizada una previa categorización en muestra de mano para la asignación de los nombres y numeración de las mismas, lo que además generó un criterio de selección, que a la postre desembocó en la selección de 14 muestras de la región de Ibagué y 16 de Bucaramanga.

2.2. Ubicación específica: Una vez seleccionadas las muestras a trabajar, fueron ubicadas en el mapa nuevamente con el Arc Map de software ArcGis 10.2.1, para delimitación final de la zona de estudio e identificación de las formaciones o unidades a las que pertenecían e inmediatamente se procederá con su tratamiento para la elaboración de

secciones delgadas y su pulverización para el posterior análisis de difracción de rayos X.

4.3. FASE III: DESARROLLO Y ANÁLISIS DE MUESTRAS

Durante esta fase serán analizadas las secciones delgadas de las 14 muestras escogidas para Ibagué y 16 de Bucaramanga en conjunto con los análisis de DRX. Este proceso implica una división con varias subdivisiones donde intervienen varias actividades descritas a continuación.



Fig.-18. Diagrama de flujo de la Fase III. Desarrollo y análisis de muestras

1. **Modificación de la planilla para petrografías:** se procedió a la adaptación de la planilla para petrografías de rocas ígneas y metamórficas suministrada por el Laboratorio de Petrología de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la UCV, con la ayuda del software Publisher, para que se englobara de forma óptima todos los datos que según la bibliografía se esperaban observar en las secciones delgadas.
2. **Elaboración de esquemas discriminativos:** con los conocimientos adquiridos durante la carrera de ingeniería geológica, se procedió a elaborar esquemas discriminativos para el reconocimiento de rocas ígneas y metamórficas, para optimizar el tiempo de visualización de cada muestra.
3. **Petrografía:** se realizará el análisis con el microscopio petrográfico de cada una de las 30 muestras seleccionadas, siguiendo los estrictos protocolos que se describen a continuación:
 - I. Visualización general: Observación de la extensión de la sección delgada, para el reconocimiento de texturas básicas (fábricas, foliaciones, etc.) y cristales de interés (fenocristales, porfidoblastos, alteraciones, etc.) que serán estudiadas con detalle.
 - II. Discriminación: Determinar si se trata de una roca ígnea y metamórfica, con los patrones observados en la fase anterior.
 - III. Llenado de planilla petrográfica:
 - i. En el caso de rocas ígneas inicia con:
 1. Reconocimiento de texturas básicas.
 - a. Granularidad:
 - i. Fanerítica
 - ii. Afanerítica
 - b. Fabrica:
 - i. Equigranular:
 1. Idiomórfica
 2. Hipidiomórfica
 3. Xenomórfica
 - ii. Inequigranular:

1. Porfiríticas
 2. Glomeroporfídica
 3. Seriada
- c. Cristalinidad:
- i. Holocristalina
 - ii. Hipocristalina
 - iii. Holohialina
2. Clasificación general:
- a. Plutónica o Metaplutónica
 - b. Hipoabisal o Metahipoabisal
 - c. Volcánica o Metalava
- ii. En el caso de rocas metamórficas inicia con:
1. Reconocimiento de texturas básicas.
 - a. Foliación:
 - i. Pizarra
 - ii. Filita
 - iii. Esquistosidad
 - iv. Bandeamiento gnéisico
 - b. Fabrica:
 - i. Idioblástica (blastos euhedrales)
 - ii. Hipidoblásticas (blastos subhedrales)
 - iii. Xenoblástica (blastos anhedrales)
 - iv. Porfidoblástica
 2. Clasificación general:
 - a. Pizarra, filita, esquisto o gneis
 - b. Brecha, cataclasita o protomilonita
 - c. Milonita, ultramilonita o blastomilonita
- iii. Descripción del tamaño de grano: se clasifica la roca según el tamaño de grano (grueso, medio y fino), al tiempo que se

cuantifica la presencia de blasto (pórfidos) en comparación con la matriz.

iv. Reconocimiento de especies minerales y sus relaciones:

1. Identificación de cada especie mineral observable con el microscopio, indicando presencia de porfidoblastos presentes.
2. Descripción detallada de cada especie mineral, evitando hacer mención a propiedades obvias, como la extinción paralela en caso de la moscovita.
 - a. Color, Pleocroísmo y formula del pleocroísmo.
 - b. Habito, Forma, Bordes y Contactos intergranulares.
 - c. Tipo de extinción no geométrica.
 - d. Clivaje.
 - e. En el caso de ser un mineral de difícil identificación, acudir a otras propiedades ópticas como la elongación, la figura de interferencia, signo óptico, ángulo $2V$ y a sus asociaciones intergranulares y texturas especiales para discernir.
3. Determinar cuáles son los minerales relictos y los que son productos de alteraciones.
4. Estipular el tipo y grado de alteración que pudieran presentar los minerales.
5. Realizar un conteo modal, para cuantificar la abundancia de cada especie mineral.
6. Descripción detallada de cada una de las texturas especiales presente en la roca, como inclusiones, maclado, exsoluciones, intergranulares.

- v. Clasificación: asignar el nombre la roca con los datos recolectados en la planilla y el uso del esquema discriminativo correspondiente.

4. Realización de los análisis de difracción de rayos X: En esta etapa las muestras necesarias que requieren este análisis fueron pulverizadas en la etapa II, llevadas a la Universidad Simón Bolívar y entregadas al técnico correspondiente para la aplicación del análisis de DR X, a la espera de los resultados para su interpretación.

4.4. FASE IV: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Durante el desarrollo de esta fase serán establecidos juicios y consideraciones en base a cada una de las observaciones de las muestras de mano, secciones finas y los datos suministrados por la DRX, cualitativas y cuantitativas.

Esta es subdividida en actividades que serán mostradas en el siguiente diagrama de flujo:

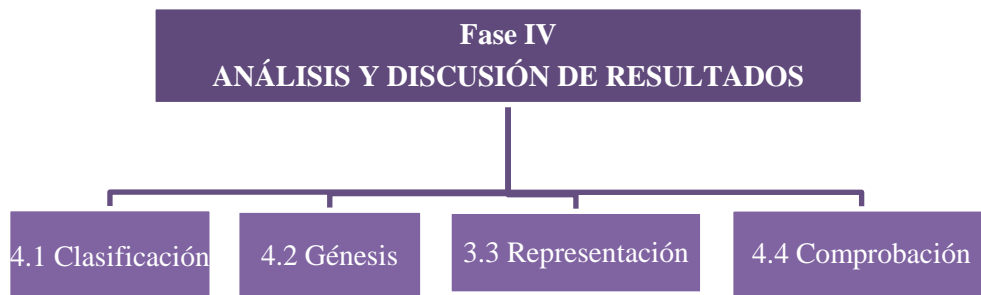


Fig.-19. Diagrama de flujo de la Fase IV. Análisis de Resultados

- 4.1. Clasificación: realizar la clasificación las rocas de acuerdo al nombre que mejor se ajuste con base a la correlación de las petrografías y la DRX.
- 4.2. Génesis: realizar una hipótesis del proceso evolutivo de las muestras, en función de los datos arrojados por las petrografías y los análisis de DRX, basada en la mineralogía presente, texturas, entre otras características. En el caso de las rocas ígneas nos permita inferir de forma precisa el tipo de magma a partir del cual cristalizaron y en las rocas metamórficas, establecer el protolito del cual procede; sin dejar de lado los patrones microtexturales que llevan a la historia deformacional de la roca en función a la mineralogía supergénica, los tipos y grados de alteración dominantes en las regiones estudiadas, resultando un completo análisis de la génesis y evolución de los cuerpos rocosos de Ibagué y Bucaramanga.
- 4.3. Representación: mostrar la información obtenida en tablas y gráficos con base a los parámetros petrográficos y productos del análisis de las rocas de ambas regiones, que permita establecer las similitudes litológicas en ambas regiones, generando un modelo teórico de la evolución de los macizos rocosos estudiados, con el fin de que se use como antecedente en trabajos posteriores.
- 4.4. Comprobación: realizar una comparación de los resultados obtenidos con la bibliografía existente en pro de corroborar la información existente o agregar una pieza más al incompleto y complejo rompecabezas de la litología de la cordillera andina.

4.5. FASE V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Basados en toda la información obtenida mediante los estudios seleccionados se harán observaciones pertinentes en las distintas etapas del trabajo. Esta fase comprende solo dos secciones representadas en siguiente diagrama de flujo:

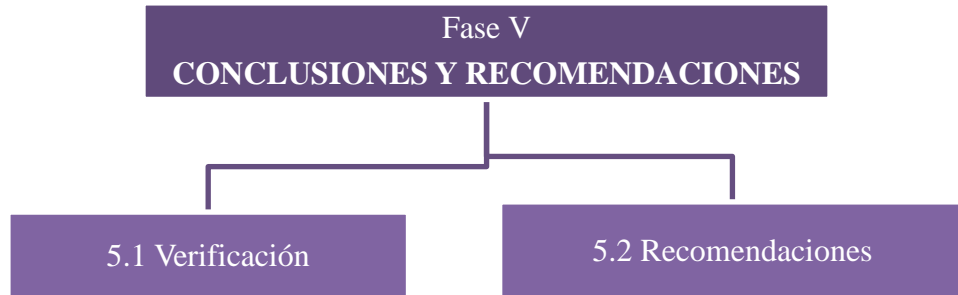


Fig.-20. Diagrama de flujo de la Fase V. Conclusiones y Recomendaciones

- 5.1. Verificación: determinar si los objetivos planteados fueron cumplidos en su totalidad.
- 5.2. Recomendaciones: establecer sugerencias que atribuidas al desarrollo del trabajo que podrían contribuir a su mejora y complemento de la información que éste suministró.

CAPITULO V

5. RESULTADOS, ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta etapa del desarrollo como indica la metodología aplicada, se procede a mostrar los resultados obtenidos del estudio de las muestras de la falla de Bucaramanga y de la falla de Ibagué, donde posteriormente se analizarán y discutirán sus resultados.

5.1.RESULTADOS

Basados en los objetivos planteados previamente, se procederá a presentar los resultados obtenidos en los análisis petrográficos, la DRX, algunas edades de las muestras analizadas, el tipo y grado de meteorización.

Clasificación petrográfica de muestras ígneo- metamórficas:

Primeramente se procedió a determinar su clasificación litológica. Estos resultados fueron posibles empleando las tablas de estimación visual de porcentajes modales y los triángulos establecidos por Streckeisen en 1976. Dichas muestras fueron agrupadas parcialmente en una tabla de acuerdo a cada zona analizada. Luego se mostrará una descripción petrográfica de las muestras clasificadas y agrupadas de acuerdo a similitudes litológicas, acompañadas por fotomicrografías de las mismas. Además, en el anexo A pueden observarse fotografías de las muestras de mano correspondiente. Por lo tanto, así quedó establecida la distribución de la misma:

- Muestras de Bucaramanga:

Tabla 5-1. Representación de muestras clasificadas y agrupadas litológicamente para la zona de Bucaramanga

Muestra	Nombre	Grupo	Edad (M.a.)
FV-31	Monzogranito	Rocas graníticas	450-468 Devónico
FV-32	Monzogranito	Rocas graníticas	450-468 Devónico
FV-33	Esquisto czo-sericítico	Rocas cataclásticas	450-468 Devónico
FV-36	Sienogranito	Rocas graníticas	450-468 Devónico
FV-37	Sienogranito	Rocas cataclásticas	450-468 Devónico
FV-38	Sienogranito	Rocas graníticas	No determinada
FV-39	Sienogranito	Rocas graníticas	450-468 Devónico
FV-43	Sienogranito	Rocas graníticas	195-200 Jurásico
FV-44	Brecha cataclástica	Rocas cataclásticas	195-200 Jurásico
FV-45	Aplita	Aplita	195-200 Jurásico
FV-46	Augengneis	Rocas cataclásticas	450-468 Devónico
FV-47	Tonalita	Tonalita	No determinada
FV-48	Toba félsica	Tobas félsicas	193-204 Jurásico
FV-49	Toba félsica	Tobas félsicas	193-204 Jurásico
FV-50	Cataclasita félsica	Rocas cataclásticas	946±40 Neoproterozoico
FV-51	Toba félsica	Tobas félsicas	193-204 Jurásico

Entre las rocas analizadas predominan las de composición granítica, de acuerdo a su composición, ligado al hecho que algunas presentan texturas similares sin referirnos a sus edades. En este caso las muestras se encuentran representadas y en el mapa mostrado a continuación además de la ubicación la falla de Bucaramanga y el movimiento relativo de esta:

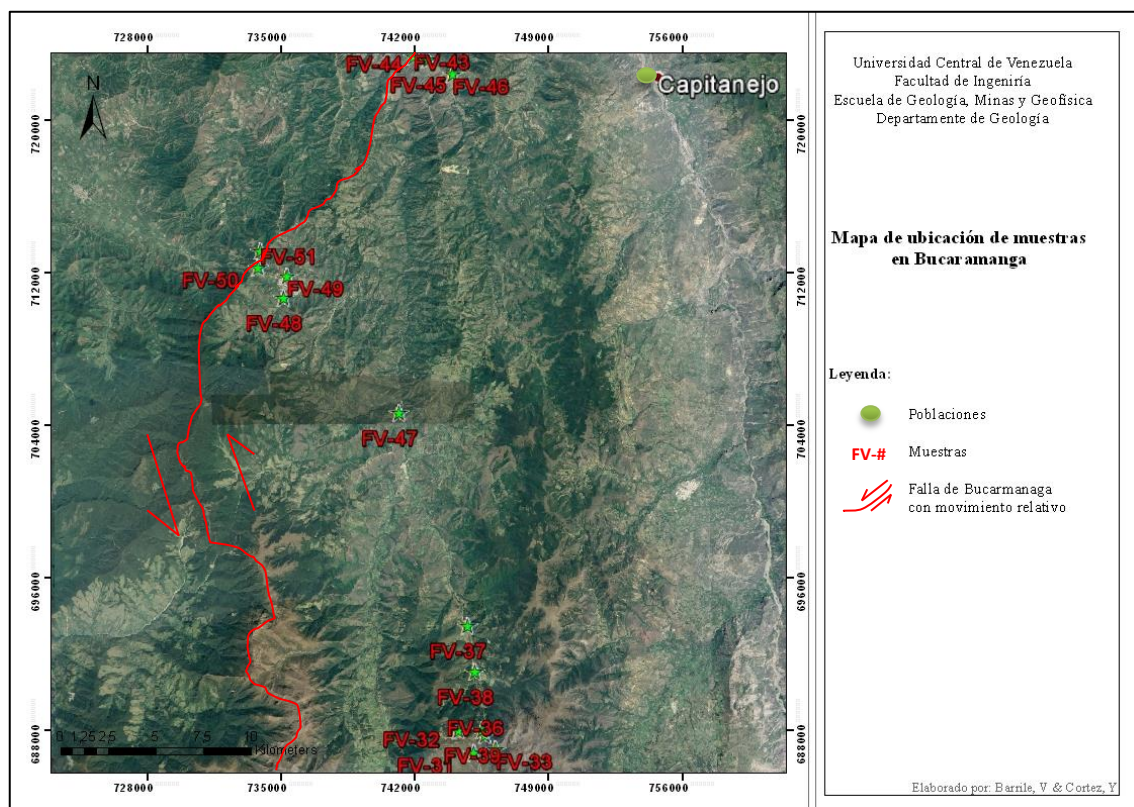


Fig. 21. Representación y ubicación de las muestras analizadas en la zona de Bucaramanga. Imagen tomada y modificadas de Google Earth (2017).

En esta zona fueron asignados tres grupos principales basadas en su litología, dejando por separado a las muestras FV-45 (Aplita) y FV-47 (Tonalita) por presentar características propias.

Rocas graníticas:

En este grupo se encuentran representadas las roca FV-31, FV-32, FV-36, FV-39 todas pertenecientes al Devónico, FV-38 de edad no determinada y la FV-43 del Jurásico. Todas plutónicas de composición granítica, de texturas similares e inventario mineralógico similar, donde solo varían ligeramente las proporciones de cuarzo, feldespatos y plagioclasas. Petrográficamente fueron divididas en dos, las pertenecientes al Devónico y una al Jurásico, mientras una sin tener su edad fue incluida en las rocas del jurásico.

Devónico: ellas incluyen las muestras FV-31, FV-32, FV-36, FV-39 y la FV-38 de edad no determinada, presentan:

Cuarzo: incoloro mayormente alotriomórfico, su presencia oscila entre el 20 % y el 30% en las muestras, con extinción ondulatoria característica.

Microclino: se presenta entre un 25 % y 35 %, incolora y algo marrón claro cuando se encuentra levemente alterada a sericita, sus cristales son mayormente hipidiomórficos y a menudo pertítico.

Plagioclasas (oligoclasa-albita): la albita es la que está en mayor proporción, verificado con el análisis de DRX en alguna de estas, generalmente hipidiomórficas y alteradas a sericita muy menuda y de aspecto escamoso.

Hornblenda: solo está presente en las muestras FV-31, FV-32 y FV-39, con una presencia que varía entre 5 % y 15 %, en forma de listones. Es pleocróica de tonos que varían desde verde claro a verde oscuro, a veces con inclusiones de apatito y remanentes de augita u ortopiroxeno oxidado.

Biotita: su presencia ronda el 15 %, es fuertemente pleocroica de color pardo oscuro a verde claro, a veces con inclusiones de circón, generalmente cloritizada, con color interferencia azul anómalo. Estas presentan alteración a epidota de tono amarillento en forma de “lágrimas” alargadas paralelas al clivaje.

Augita: presente en la muestra FV-31, en forma de accesorio del mineral relicto dentro de la hornblenda, incoloro, poco pleocróica, levemente oxidada, están embebidas en las hornblendas y con un corte semiparalelo al eje c.

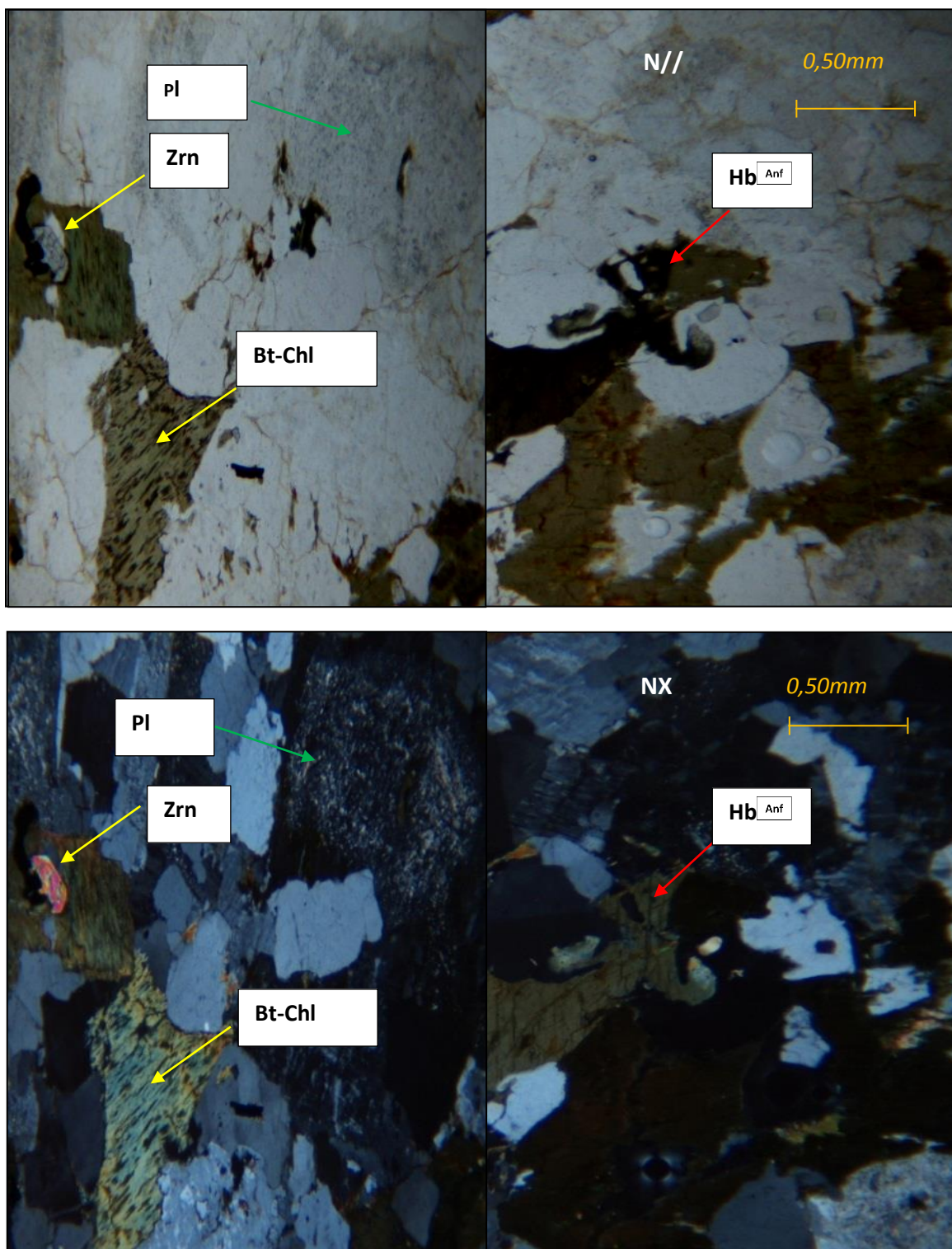


Fig.-22. Fotomicrografías de la muestra FV-31 (Monzogranito). La flecha roja señala una hornblenda rodeada de ortosa, cuarzo y albita. La flecha amarilla refleja biotitas alteradas a clorita con inclusiones de circón y la flecha verde albita sericitizada.

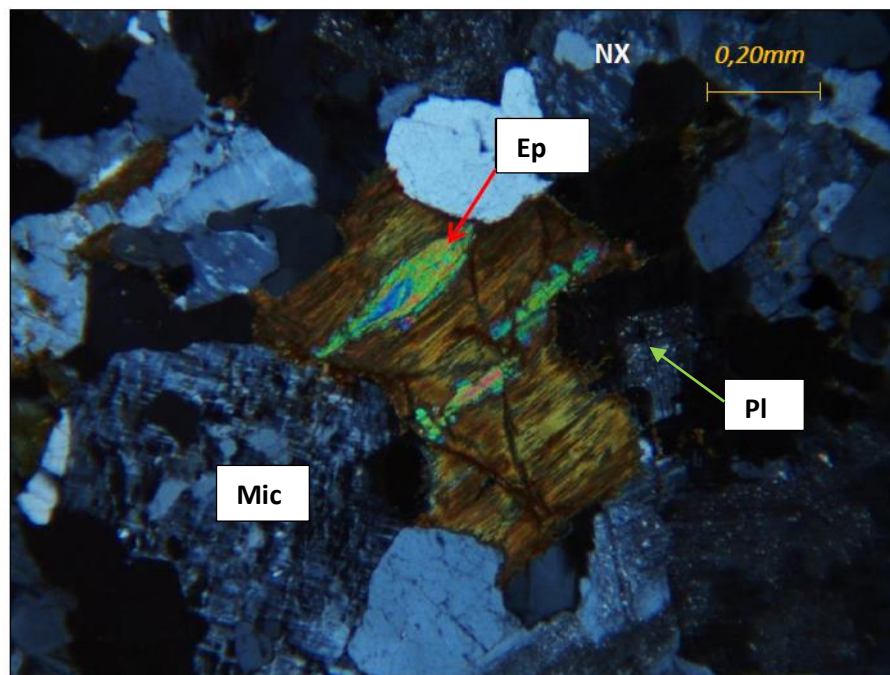
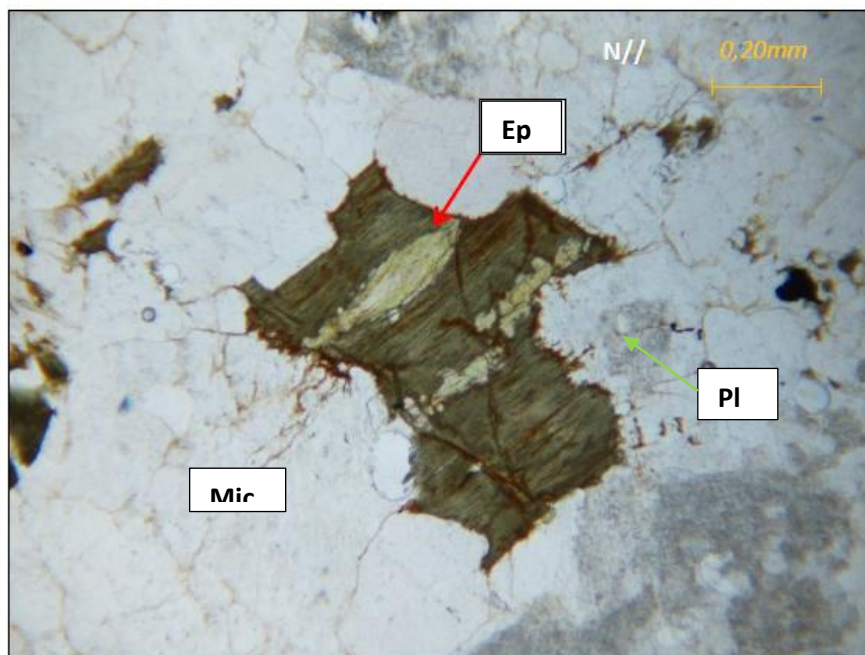


Fig.-23. Fotomicrografías de la muestra FV-31 (Monzogranito). La flecha roja señala una biotita parcialmente cloritizada con granos en forma de lentes de epidoto, mientras que la flecha verde indica un cristal de plagioclasa zonada y a su vez sericitizada en el centro.

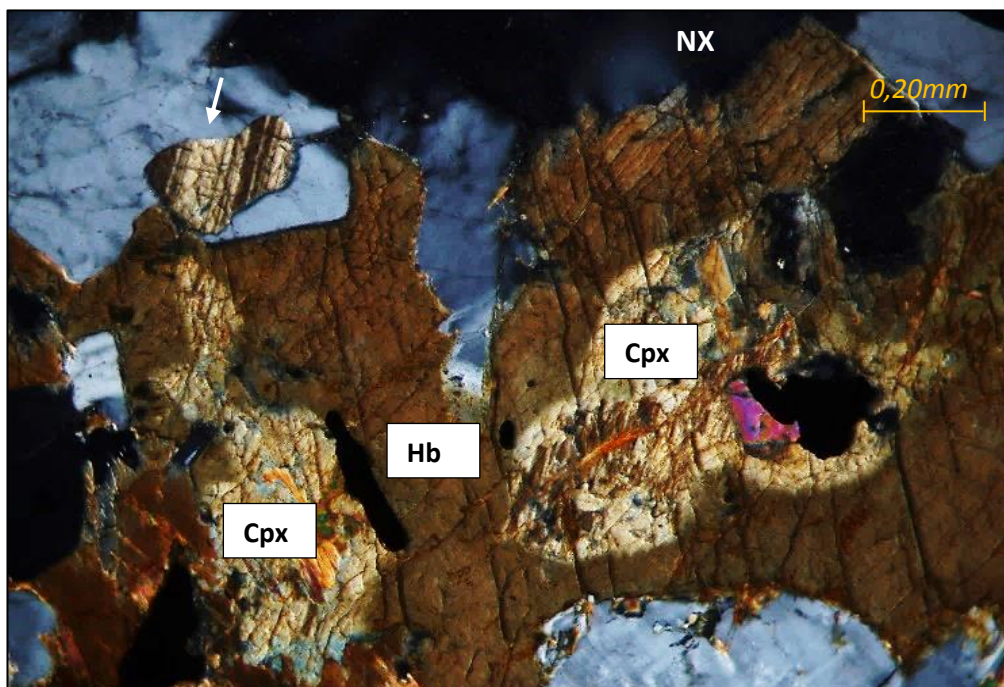
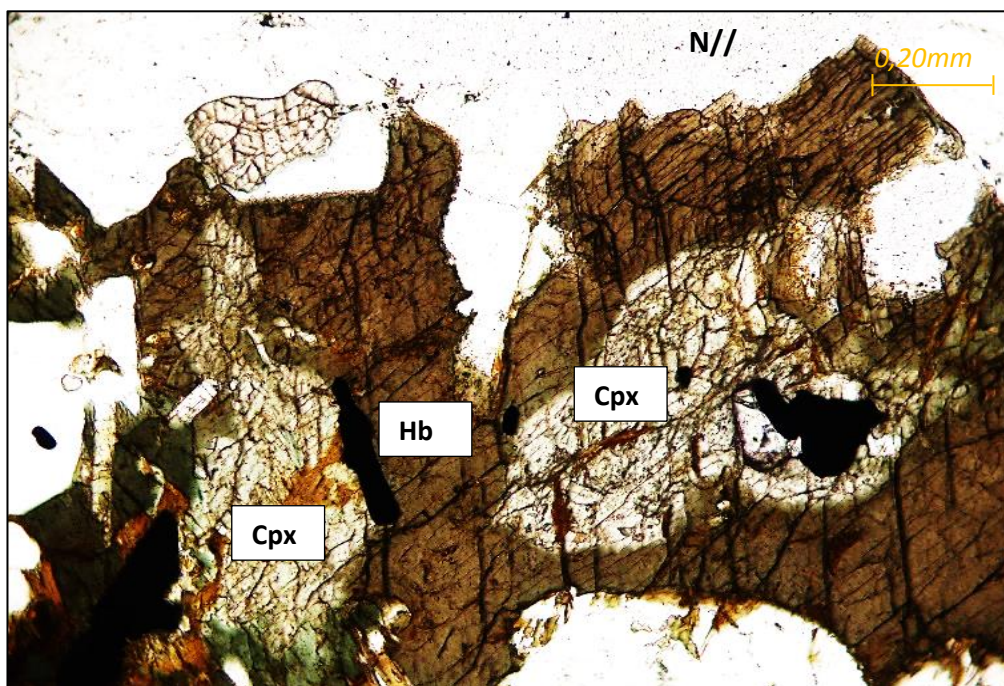


Fig.-24. Fotomicrograffias de la muestra FV-31 (Monzogranito), la flecha blanca muestra los restos de un cristal de clinopiroxeno posiblemente Augita, dentro de un cristal prismático de hornblenda posible producto de su alteración, está muy alterada y algo deformado.

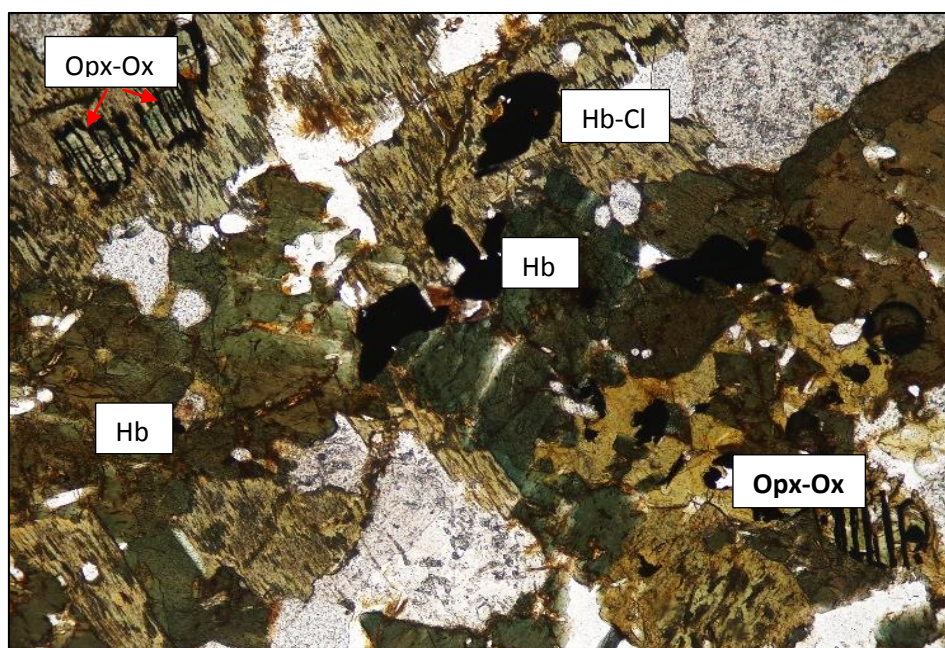


Fig.-25. Fotomicrografías de la muestra FV-31 (Monzogranito). Es visible uno de varios grumos, del tipo restitas secundarias posiblemente. Se muestran agregados de pequeños cristales de hornblenda no orientados, la flecha roja indica el contenido de varios pseudomorfos oxidados de posible ortopiroxeno, algunos con contorno y clivaje prismático reliquia. La flecha verde indica un cristal de apatito se dentro de la hornblenda.



Fig.-26. Fotomicrografías de la muestra FV-31 (Monzogranito). Detalle de la anterior (Fig.-25). Las flechas rojas indican como el Fe-óxido rodea al pseudomorfo de ortopiroxeno que

está también cloritizado. Aquí la hornblenda forma agregados de cristales pequeños bastante cloritizados, que pudieran representar restitas de la roca fuente original del magma.

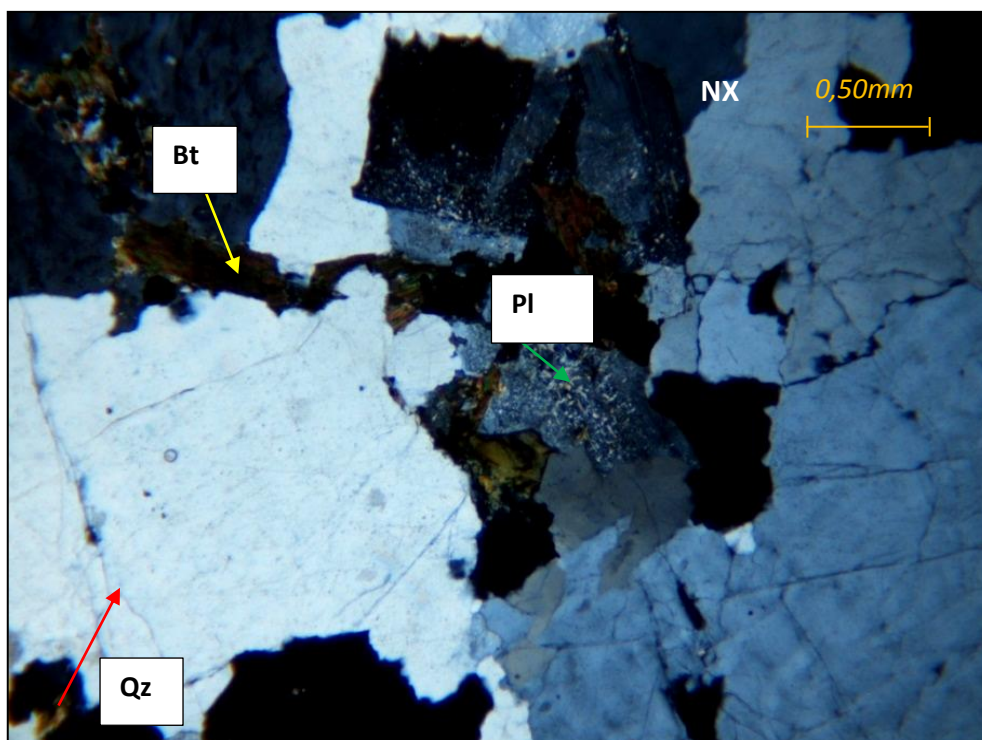
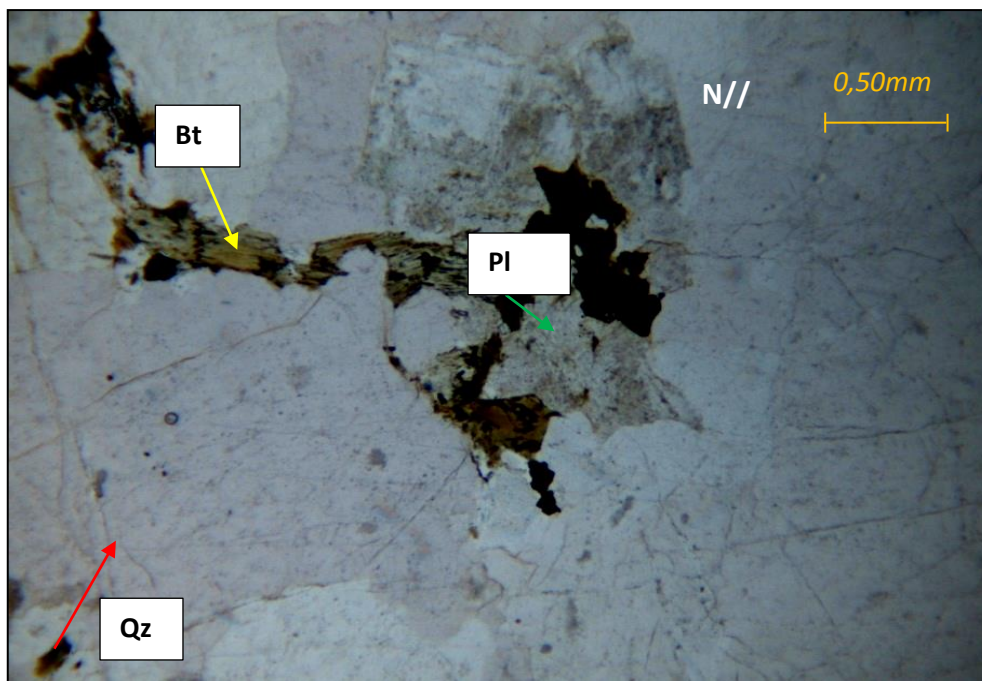


Fig.-27. Fotomicrografías de la muestra FV-32 (Monzogranito). La flecha roja señala un cristal de cuarzo, la flecha amarilla apunta una banda de biotita alterada a clorita y la verde una albita sericitizada.

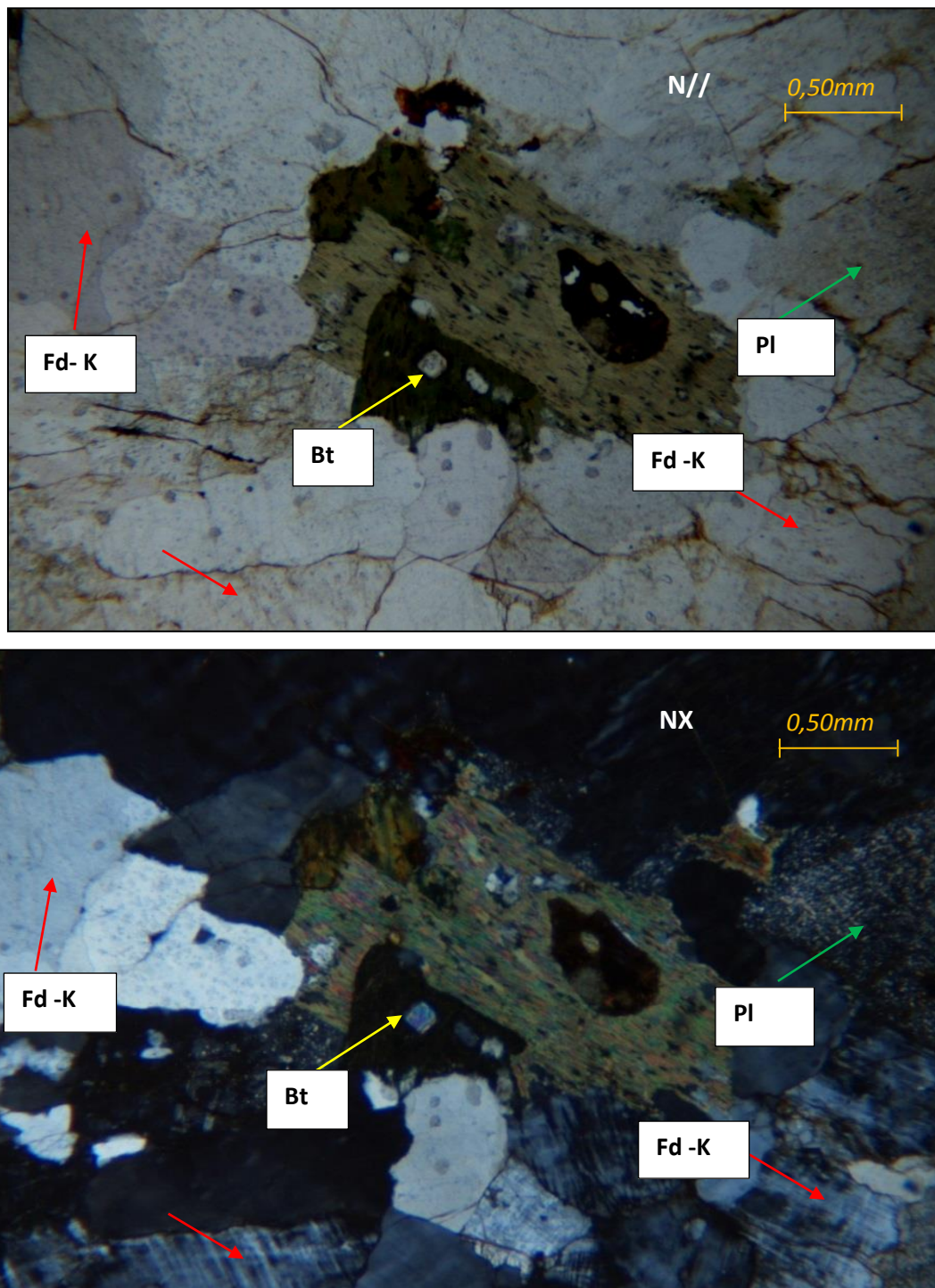


Fig.-28.Fotomicrografías de la muestra FV-36 (Sienogranito). La flecha roja apunta a una ortosa o microclino, la amarilla una biotita cloritizada con inclusiones de circon, la verde una albita sericitizada.

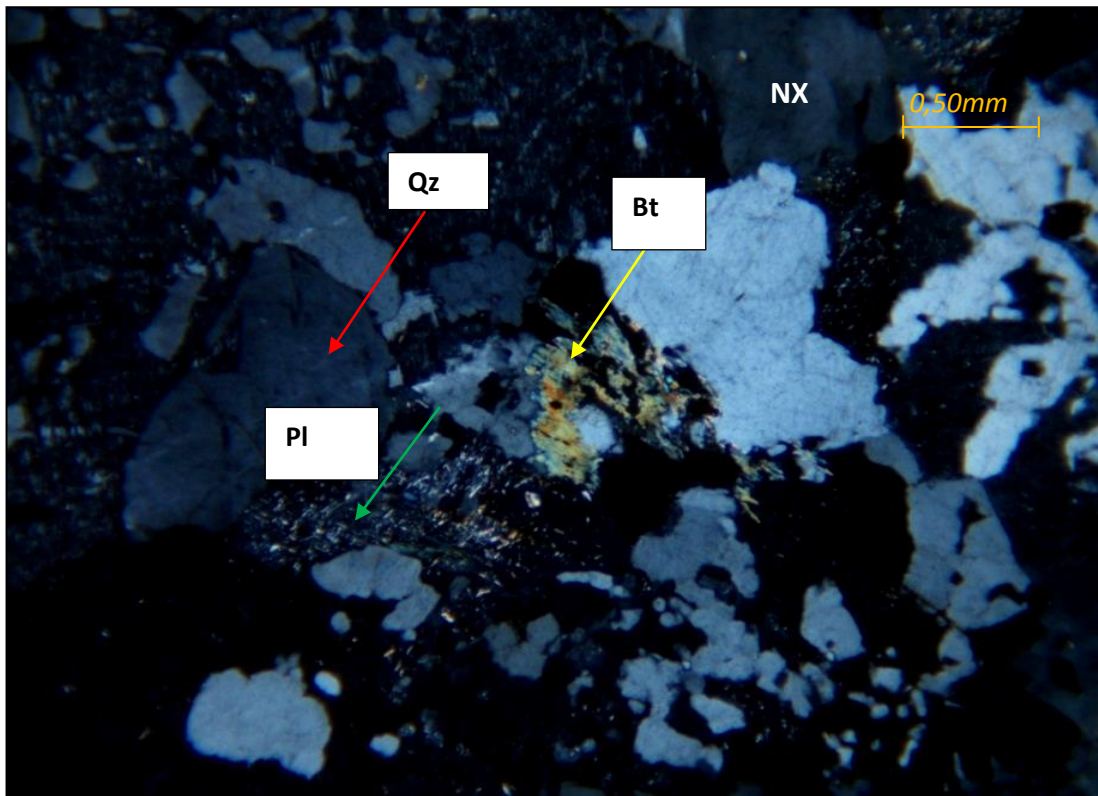
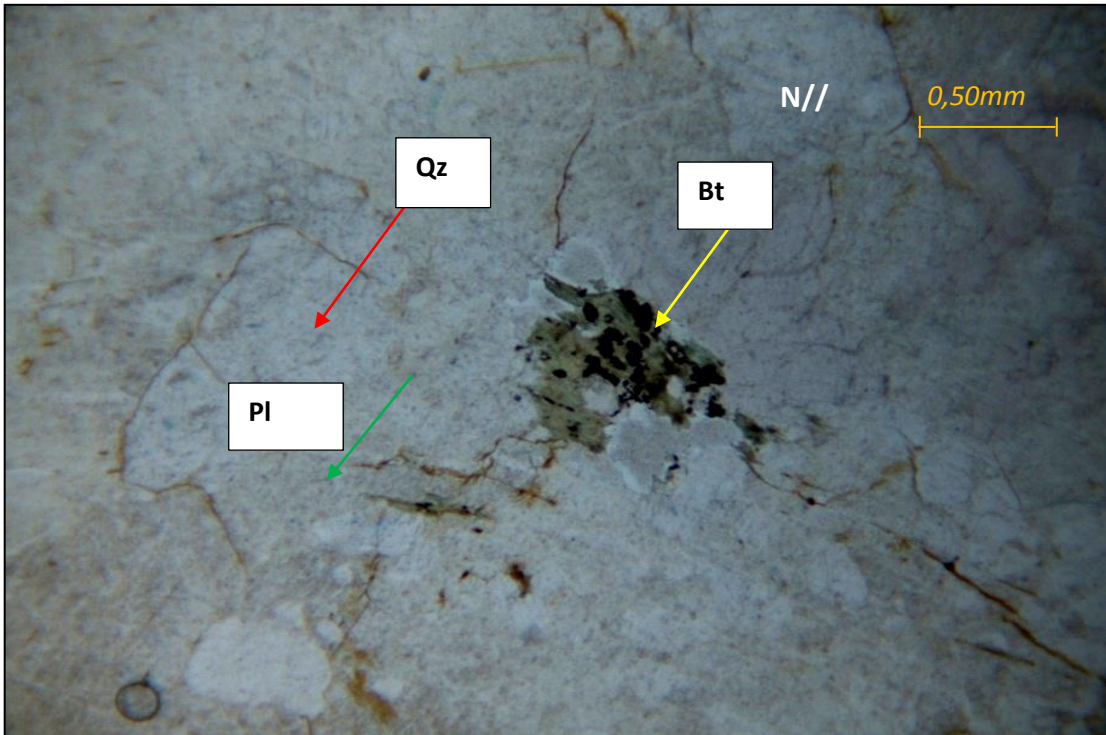


Fig.-29. Fotografías de la muestra FV-38 (Sienogranito). La flecha roja tiene un cuarzo extinto o en sección ortogonal al eje "c", la amarilla una biotita con manchas de óxidos y la verde una oligoclasa sericitizada.

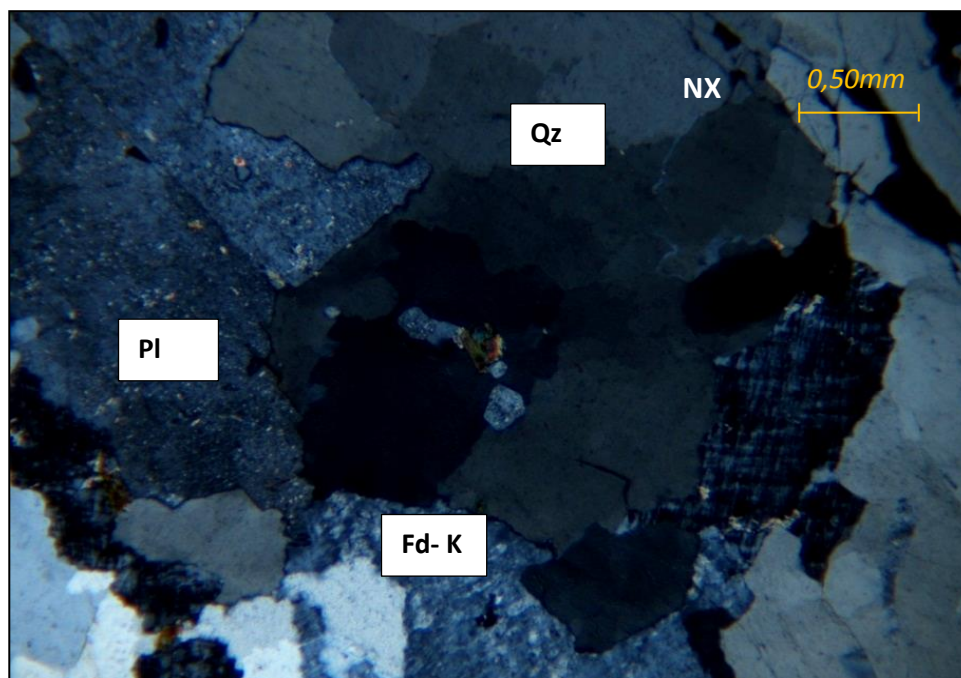
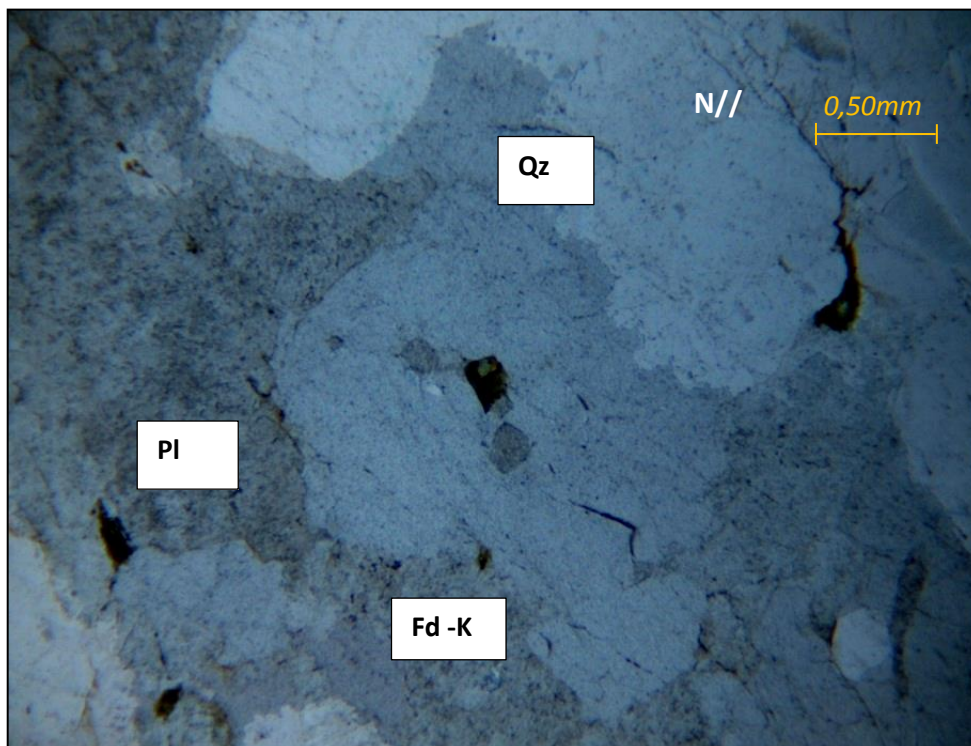


Fig.-27. Fotografías de la muestra FV-39 (Sienogranito). Se muestra un Sienogranito con los granos de gran tamaño y anguloso, en la parte central inferior se observa un cristal de microclino (Feldespató potásico), peritítico común.

Jurásico: es referente a la muestra FV-43, la cual posee una edad diferente a las anteriormente presentadas aunque su litología es similar, ella litológicamente presenta:

Cuarzo: incoloro con extinción ondulatoria característica, mayoritariamente alotriomórfico, representa el 27% en la muestra.

Microclino: incoloro y algo marrón claro al encontrarse levemente alterada a sericita. Sus cristales son mayormente hipidiomórficos y a menudo peritítico y representa entre un 30 % de la muestra.

Plagioclasas (oligoclasa-albita): la albita es la que está en mayor proporción, generalmente hipidiomórficas y alteradas a sericita muy menuda de aspecto escamoso.

Hornblenda: con una presencia del 5%, en forma de listones a veces con inclusiones de apatito y remanentes de augita u ortopiroxeno oxidado. Es pleocróica de tonos que varían desde verde claro a verde oscuro

Biotita: su presencia es del 7%, siendo fuertemente pleocroica de color pardo oscuro a verde claro, a veces con inclusiones de circón, se observa generalmente cloritizada, con color interferencia azul anómalo. Estas presentan alteración a epidota de tono amarillento.

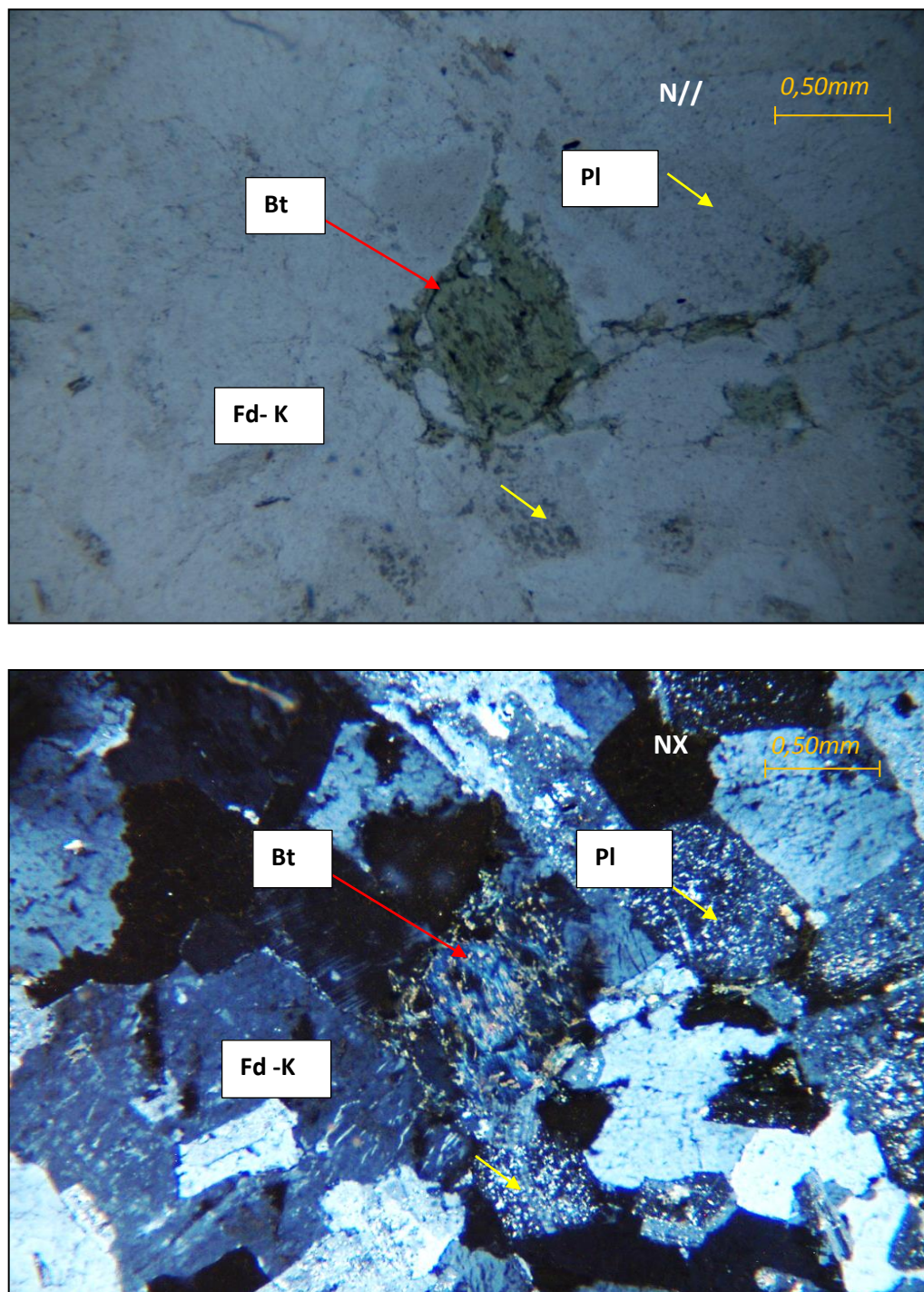


Fig.-31 .Fotomicrografías de la muestra FV-43 (Sienogranito). La flecha roja muestra una biotita alterada a clorita, con su color azul anómalo, rodeada por plagioclasas y ortosa sericitizadas

Tobas félsicas:

En este grupo están enmarcadas las muestras de las rocas del tipo toba félsica siendo FV-48, FV-49 y FV-51 todas de la edad del Jurásico de composición félsica y de grano fino y su matriz vítrea original esta desvitrificada. Petrográficamente se encontraron minerales como:

Cuarzo: se encuentra alrededor del 35 %, incoloro, con extinción ondulatoria, como fenocristales, están generalmente con golfos de reabsorción, en la muestra FV-51 los bordes están alterando a sericita.

Microclino y Sanidina: en la muestra FV-48, se encuentran hasta en un 20 %, como fenocristales, incoloro con maclado tipo tartán y muy poca incidencia sericítica. La presencia de sanidina ronda los 15 %, siendo hipidiomórfica. Originalmente es sanidina que por el metamorfismo de muy bajo grado y el tiempo puede haberse invertido a microclino.

Plagioclasas (albita): rara en fenocristales, pero aparece en un 20 %, en cristales hipidiomórficos de escasos milímetros, a veces alterada a sericita.

Biotita: se presentan en mayormente en la muestra FV-49, donde hay cristales alargados, verdes con pleocroísmo, alterando a clorita.

Hornblenda: muy rara, pleocróica de verde claro a verde oscuro, en secciones basales, alterando a epidoto.

Epidoto: en formas de gotas en la superficie de las hornblendas y algunas veces sobre la albita.

Óxidos: hematitas en muy pocas regiones de la muestra.

Matriz: las muestras tienen un alto porcentaje de matriz, que está en proceso de desvitrificación, generando una textura granofírica, que se puede confundir con la textura mimerquítica.

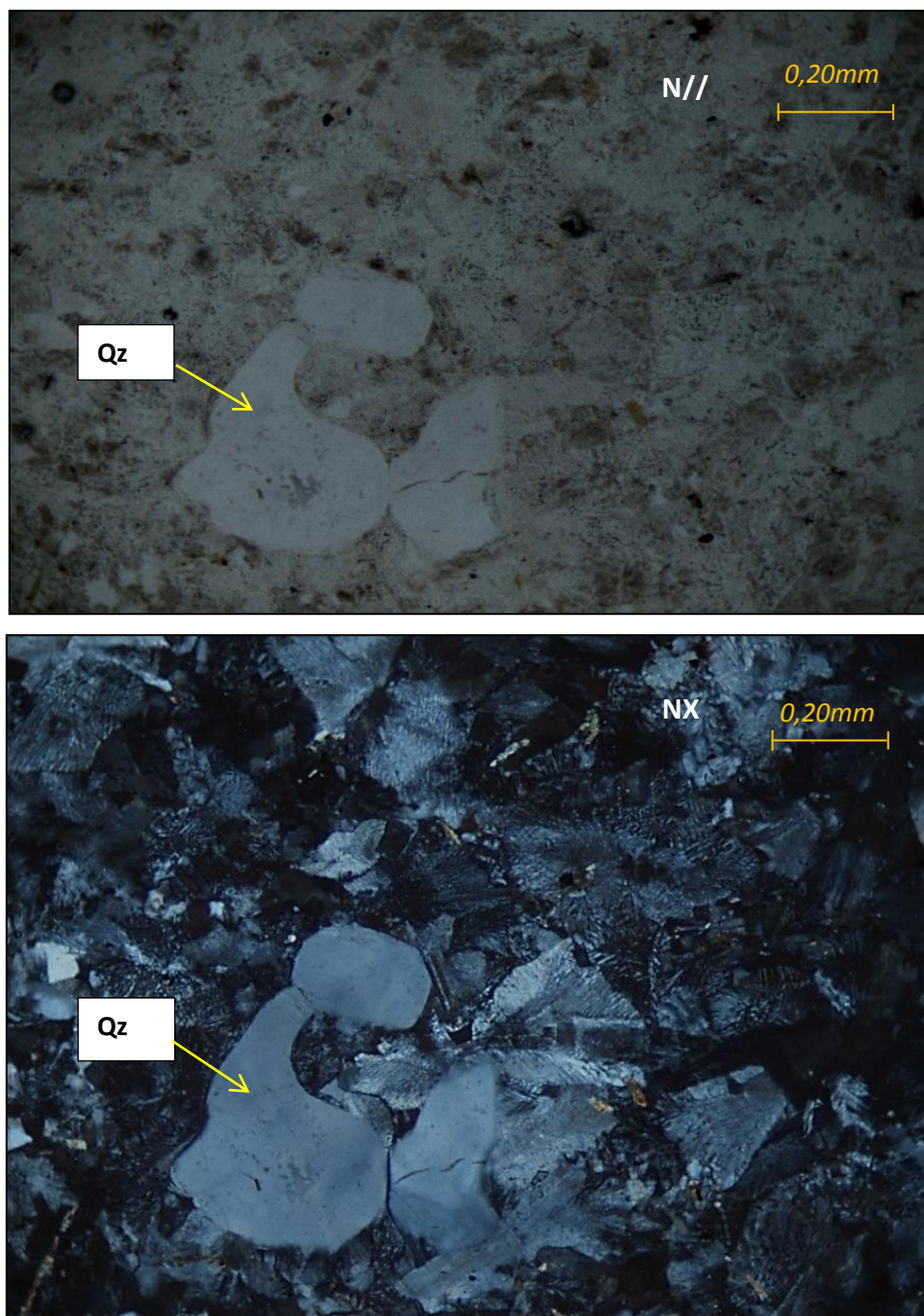
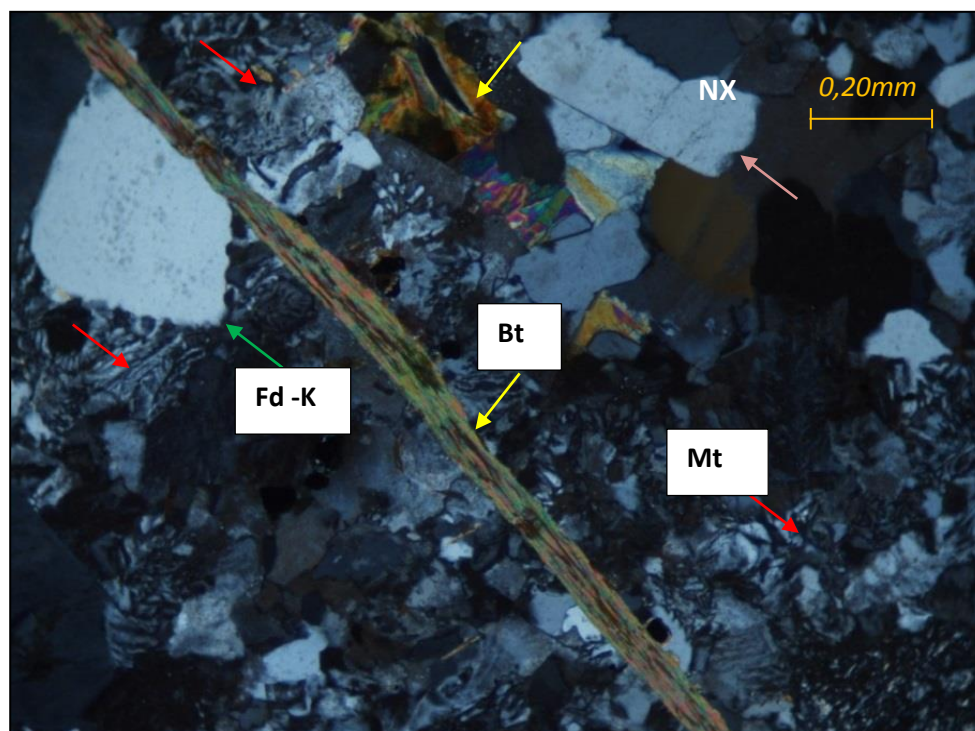
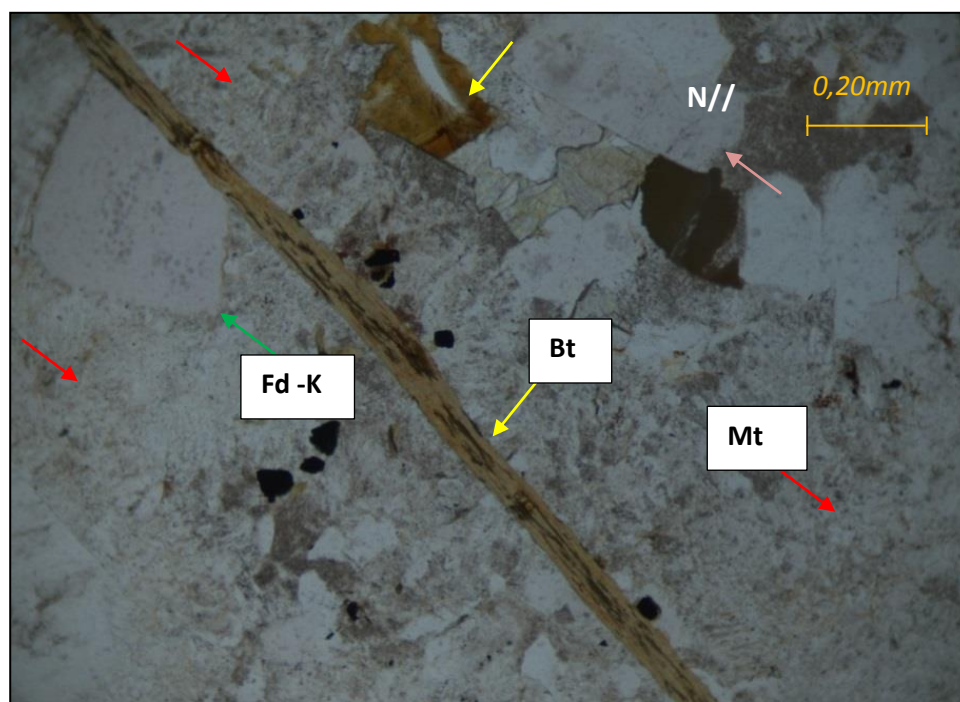


Fig.- 32 .Fotomicrografías de la muestra FV-48 (Toba félsica). Se muestra un Cuarzo con golfos de corrosión en medio de una matriz está totalmente desvitrificada, con textura granofírica.



Fi.-33 .Fotomicrografías de la muestra FV-49 (Toba félsica). Las flechas rojas muestran una matriz afanítica en plena desvitrificación, las amarillas muestran biotitas alterando a clorita, la flecha rosa muestra un fragmento de cuarzo volcánico la verde son sanidinas subhedrales. La vetilla que atraviesa la lámina de la izquierda superior a derecha inferior es de clorita.

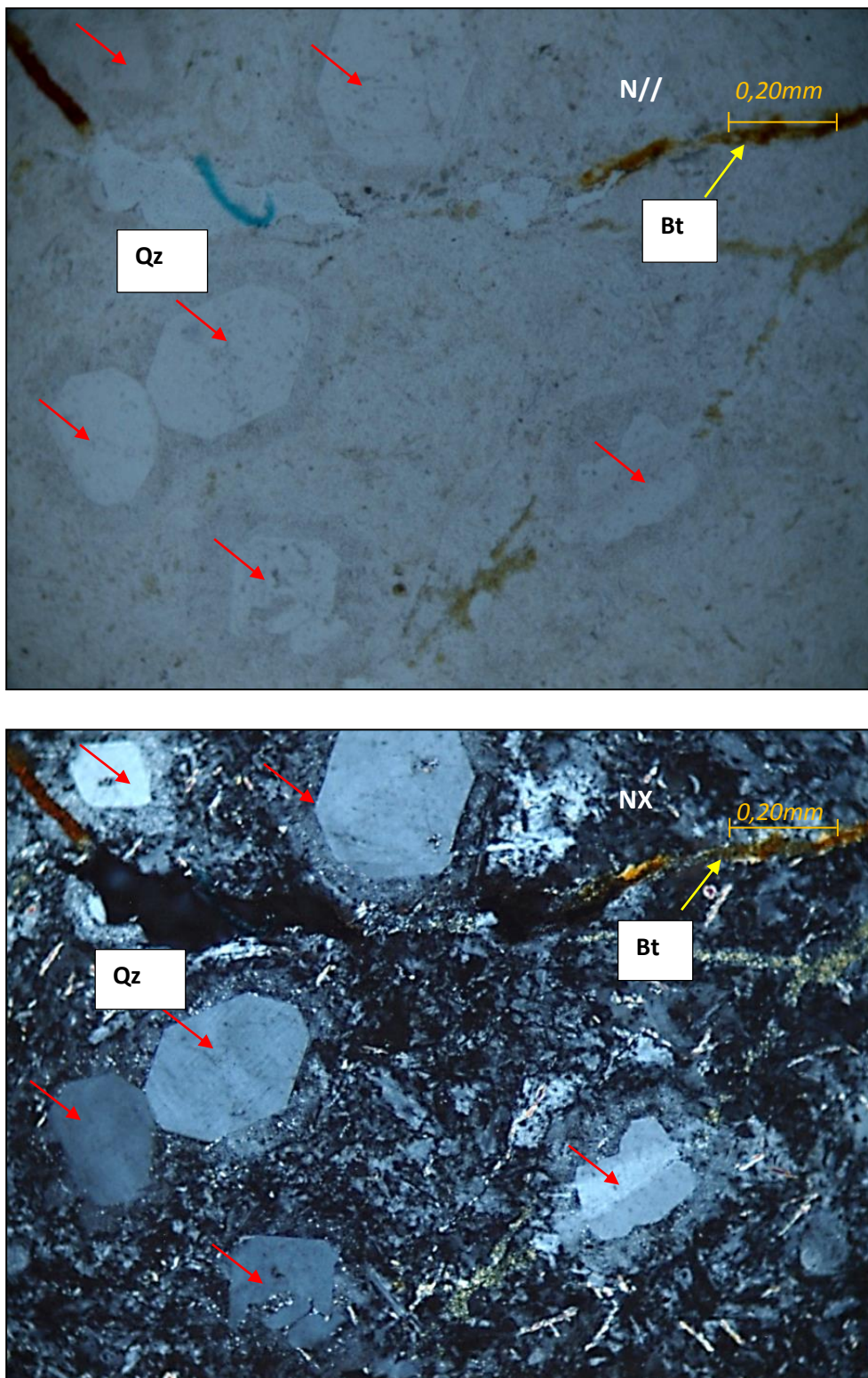


Fig. -34 .Fotomicrografías de la muestra FV-51 (Toba félsica). Las flechas rojas apuntan a cuarzo con bahías y bordes de reacción de sericita y la flecha amarilla a cristales de biotitas.

Rocas cataclásticas:

Todas de composición graníticas y se encuentran las muestras FV-33, FV-37, y FV-46 pertenecientes al Devónico, la FV-44 de edad Jurásica y la FV-50 perteneciente al Neoproterozoico, están en este grupo por presentan claros signos de haber sufrido cataclasis, que a su composición mineralógica. Petrográficamente está representado por:

- a) **Esquisto cuarzo sericítico ultracataclástico:** conformado por la muestra FV-33 del Devónico, presentando una esquistosidad, de bandas de moscovita en la foliación y bandas de cuarzo-feldespatos, observándose la siguiente mineralogía:

Cuarzo: se presenta en un porcentaje del 45%, con formas redondeadas para los porfidoclastos y angulosos para fragmentos que están en la matriz, incoloros de extinción ondulatoria, muy fracturados y con una orientación preferencial, junto con los feldespatos y las sericitas, forman la textura granolepidoblásticas.

Moscovita: está presente en la muestra alrededor del 30 %, en bandas que rodean al cuarzo y a los feldespatos, dando pie a una textura lepidoblástica. Los feldespatos alterados por sericitación en la matriz, generalmente muestran la alteración a moscovita, debido a los altos colores de interferencia.

Plagioclasa (albita): aparecen en un 10%, mayormente en la matriz de fragmentos, junto a la ortosa que están muy sericitizadas.

Ortosa: se aprecian muy pocos cristales con poca alteración, como porfidoblastos, muy fragmentados y alterados en la matriz.

Circón: accesorios eudrales con halos pleocróicos.

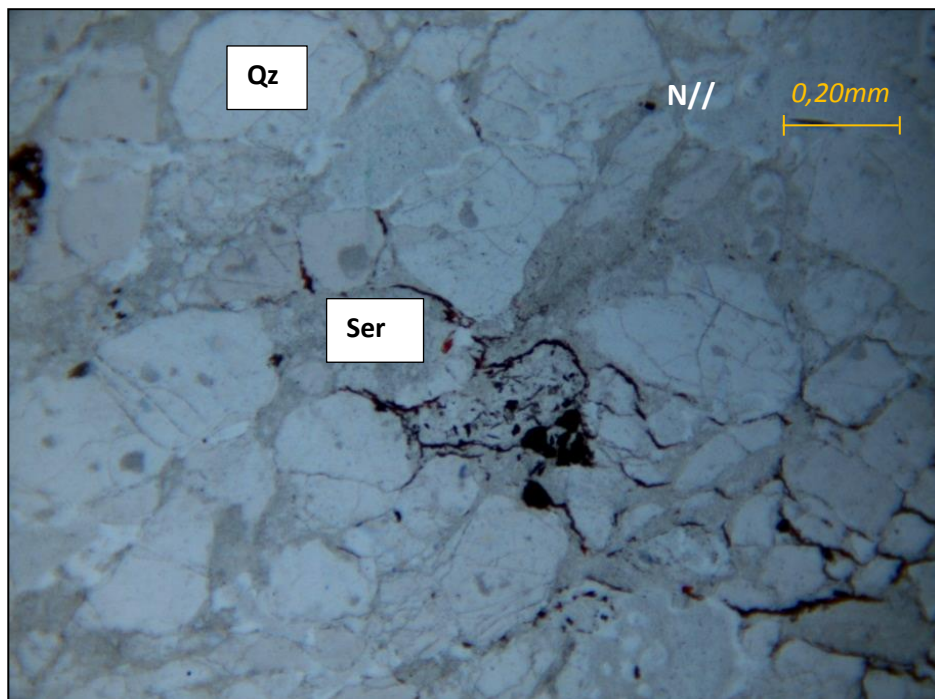


Fig. - 35 .Fotomicrografías de la muestra FV-33 (Esquisto czo-sericítico ultracataclástico). En la muestra domina la Textura granolepidoblásticas. Bandas de cuarzo, ortosa y albita con bandas de sericita.

b) **Sienogranito biotítico cataclástico:** conformado por la muestra FV-37 de la edad del Devónico, esta presenta muchas fracturas, se tiene una serie de fenocristales embebidos en una matriz de cristales de gran tamaño triturados en un porcentaje mayor al 50 %. Lo que le da la clasificación de cataclasita. Presenta la siguiente petrografía:

Ortosa: se presenta mayormente en la matriz, alrededor del 35 % en cristales fragmentados angulosos, de color amarillento por la tenue alteración a minerales micáceos.

Cuarzo: está presente en un 25 %, por ser mecánicamente más resistente, la mayoría de los porfidoclastos son de este mineral, que esta agrupado en mosaicos de cristales anhedrales, incoloros de extinción ondulatoria.

Biotita: se encuentra mayormente alterada a clorita en un 20 %, de color parda pleocróica a un pardo más oscuro, la clorita tiene color de interferencia de 3^{er} orden.

Plagioclasas (albita): muy poco observada, alrededor del 15%, pero el análisis de difracción de rayos X, confirma su presencia.

Accesorios: circón euhedral con halos pleocróicos y epidota verde en las alteraciones de las plagioclasas.

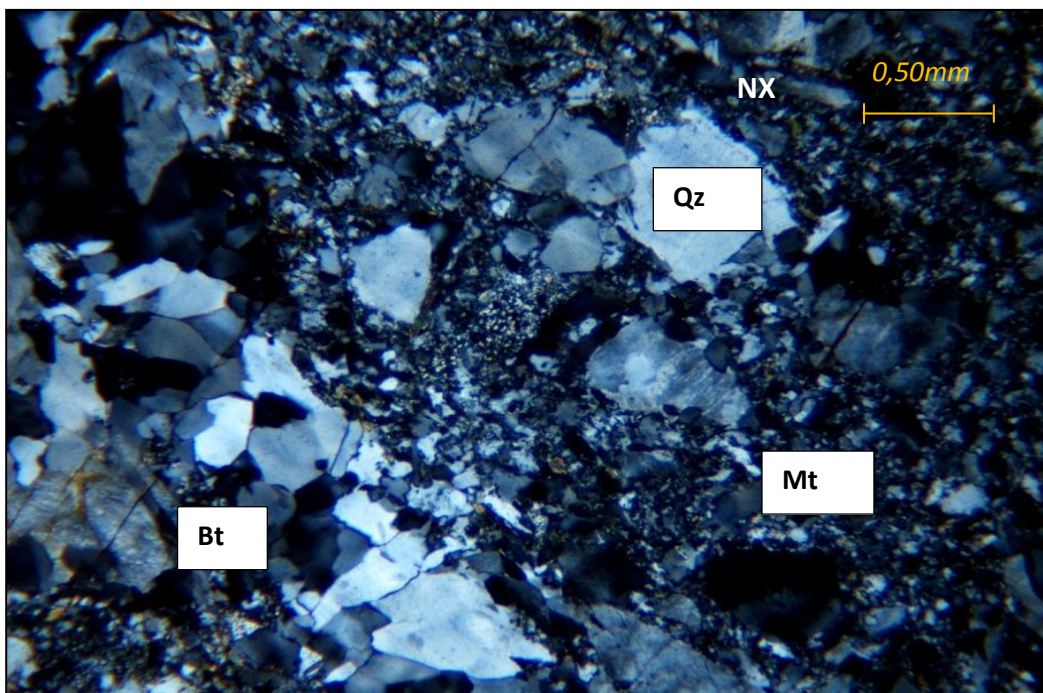
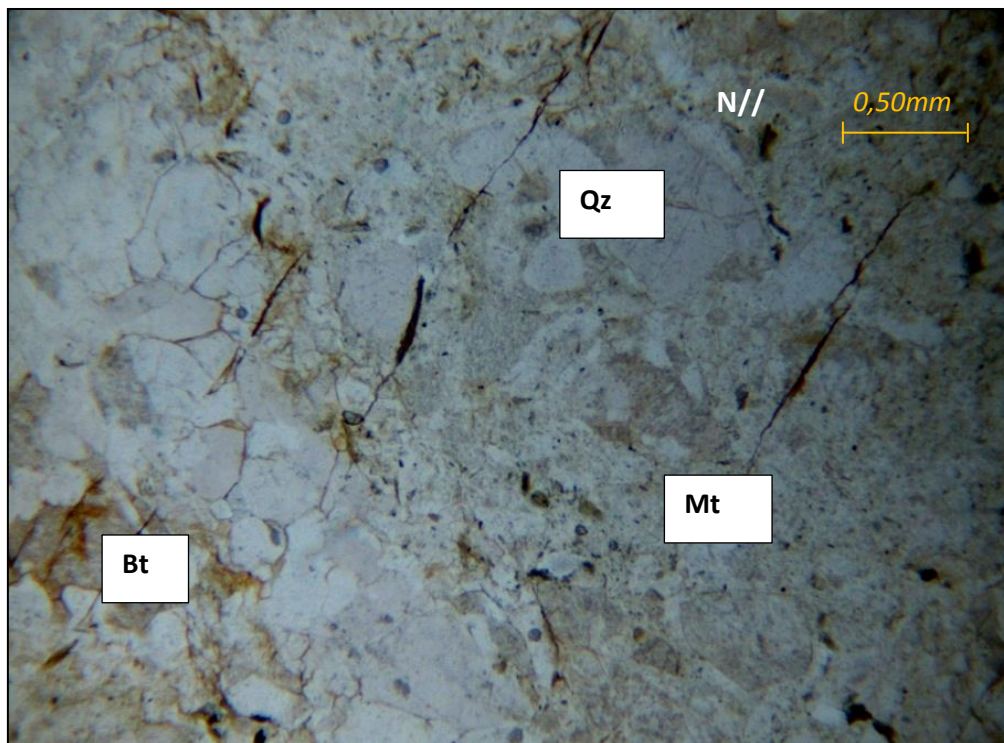


Fig. - 36 .fotografías de la muestra FV-37 (Sienogranito biotítico cataclástico). Se aprecia los cristales triturados formando un Sienogranito biotítico cataclástico.

- c) **Augengneis sienogranito (milonita):** representado por la muestra FV-46 del Devónico, presentando bandeamiento gneísico, con textura granolepidoblástica de cuarzo y moscovita, biotita y clorita, con cristales muy triturados que rondan el 40%, con lo que se le clasifica como milonita. Se aprecian grandes cristales de ortosa, presenta siguiente petrografía:

Cuarzo: en bandas granoblásticas junto a la ortosa, ronda el 30 %, incoloro de extinción ondulatoria en un mosaico de cristales anhedrales.

Ortosa: se presencia es del 20 %, generalmente en porfidoblastos poiquilíticos de gran tamaño, con inclusiones de moscovita. Subhedrales de color amarillento por la alteración a sericita.

Biotita: prismas cortos en bandas junto a la moscovita, con la textura lepidoblástica, con un porcentaje del 20 %, las bandas esta orientadas en la misma dirección que las de ortosa y cuarzo, un poco deformadas y cloritizadas.

Moscovita: con una presencia del 15% en las muestras, formando generalmente la textura lepidoblástica junto a la biotita.

Plagioclasas (albita): en muy poca presencia y de cristales muy pequeños, que algunas veces están alterando a epidoto parcialmente.

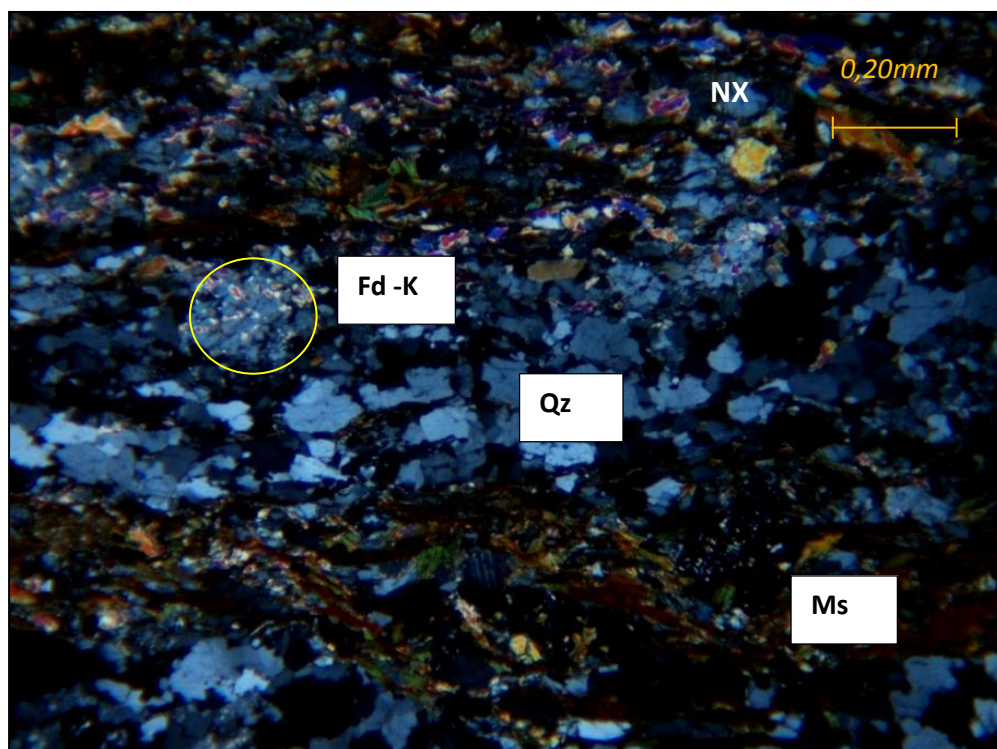
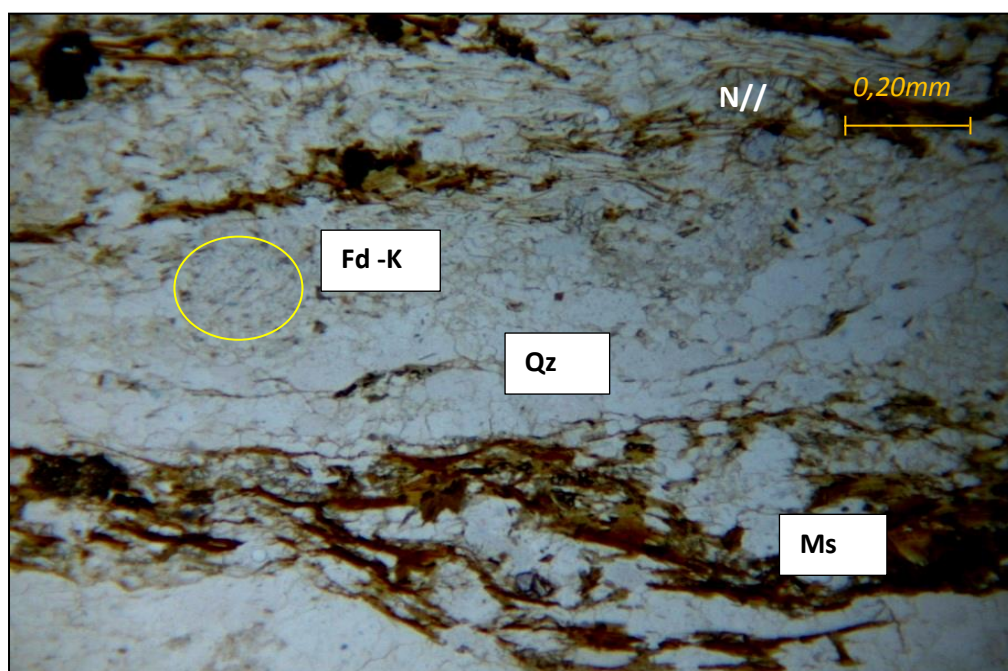


Fig.- 37 .Fotomicrografías de la muestra FV-46 (Augengneis sienogranito). En esta roca domina la textura granolepidoblásticas. Bandas de cuarzo, ortosa y oligoclasa con bandas de micas. En el círculo amarillo se aprecia un poiquiloblasto de plagioclasa con muchas inclusiones de micas blancas sericitizada.

d) Brecha cataclástica de Monzogranito: es la muestra FV-44 de la edad del Jurásico, siendo una roca con alto contenido de fragmentos minerales de grano grueso angulosos mayores a 3 milímetros, embebidos en una matriz de minerales triturados, que le dan la textura de brecha y como la composición es monzogranítica, por ello se le asignó esa clasificación, presenta la siguiente mineralogía:

Cuarzo: se aprecia en un 30 %, en cristales grandes angulosos y deformados sin orientación preferencial, de extinción ondulatoria, con signos de recristalización,

Ortosa: aparece en un 25 %, al igual que el cuarzo en cristales de gran tamaño, cristales anguloso de color pardo claro, por la incipiente alteración a sericita.

Plagioclasas (oligoclasa): se presencia es mucho menos tanto en fenocristales como en la matriz, en un 10 %, con maclado polisintético, de color amarillento por esta alterada a sericita, alguna veces con pequeños cristales de epidoto.

Biotita: aparece mayormente en la matriz en cristales pequeños en una abundancia del 15%, de colores pardos pleocróicos, cristales acortados, alterando a clorita y acompañada de epidota de la alteración de la matriz y de la moscovita que presenta la misma disposición que la biotita.

Moscovita: con menor presencia que la biotita, se encuentra en la matriz, en cristales prismáticos cortos e incoloro.

Epidota: mayormente producto de la alteración de las plagioclasas que están en la matriz.

Circon: aparece en trazas, de alto relieve, con halos pleocróicos.

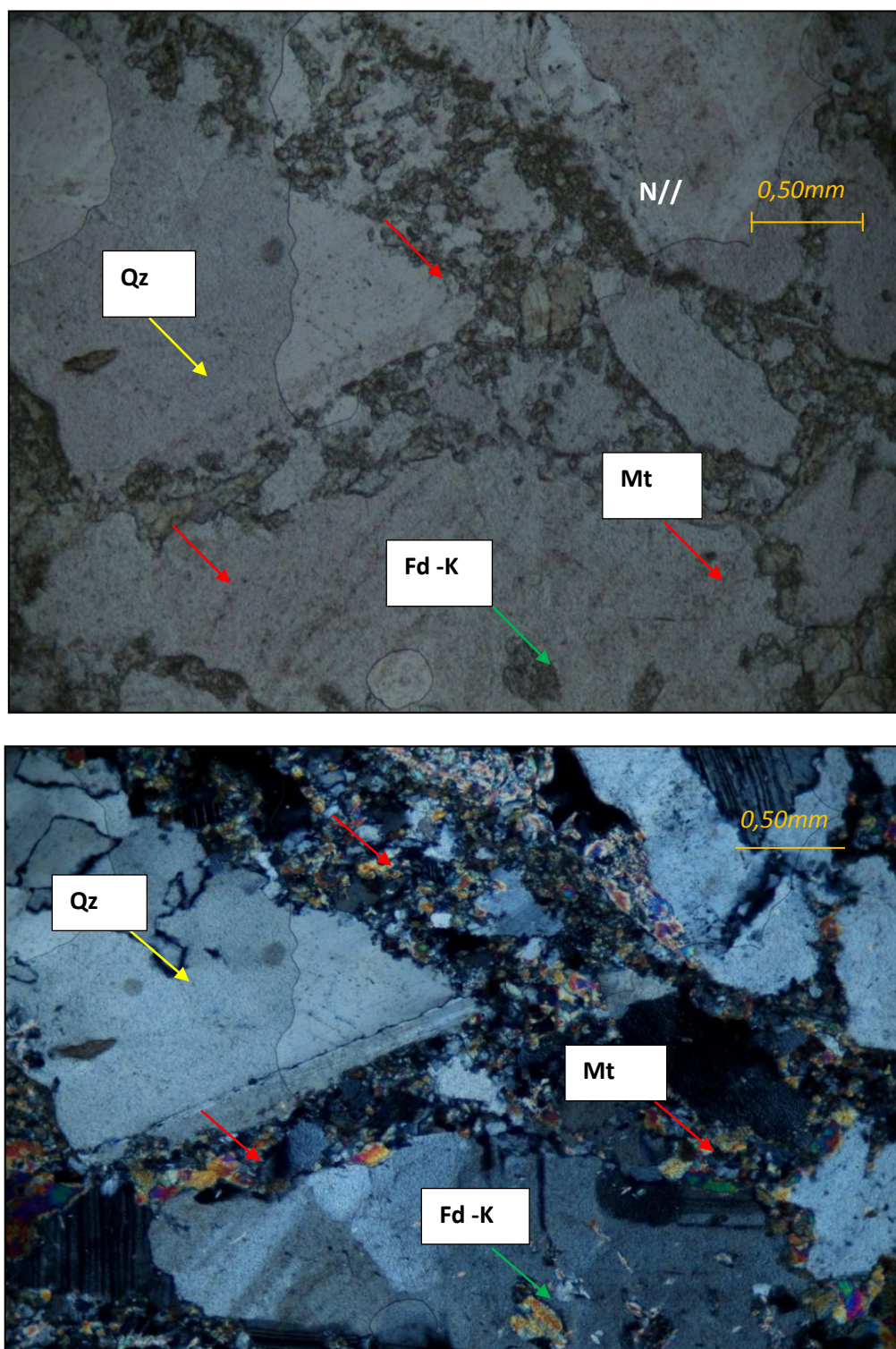


Fig.-38 .Fotomicrografías de la muestra FV-44 (Brecha cataclástica de monzogranito). Las flechas rojas muestran una matriz alotriomórfica con presencia de cuarzo mayoritariamente, ortosa, oligoclasa sericitizada y epidoto, las flechas amarillas señalan cristales de gran tamaño de ortosa muy angulosos.

e) **Cataclasita félsica:** representada por la muestra FV-50 de la edad del Neoproterozoico siendo la única muestra de la unidad del complejo de Bucaramanga. Es una roca con cristales muy deformados, de gran tamaño, generalmente en mosaicos hipidioblásticos. Presenta la siguiente petrografía:

Cuarzo: en un porcentaje del 40 % en una fábrica hipidioblástica, en forma de mosaicos incoloros con extinción ondulatoria.

Ortosa: con una presencia del 25 %, con cristales hipidiomórficos, incoloros de tamaño mayores al cuarzo, con poca alteración a sericita.

Plagioclasas (oligoclasa): en menor proporción, en forma de prismas cortos, muy poco alterados y con maclado polisintético.

Micas: se presenta alrededor del 20 % en bandas de biotitas cloritizadas y moscovitas que son el resultado de la alteración de las plagioclasas, rodeando los cristales de ortosa y cuarzo.

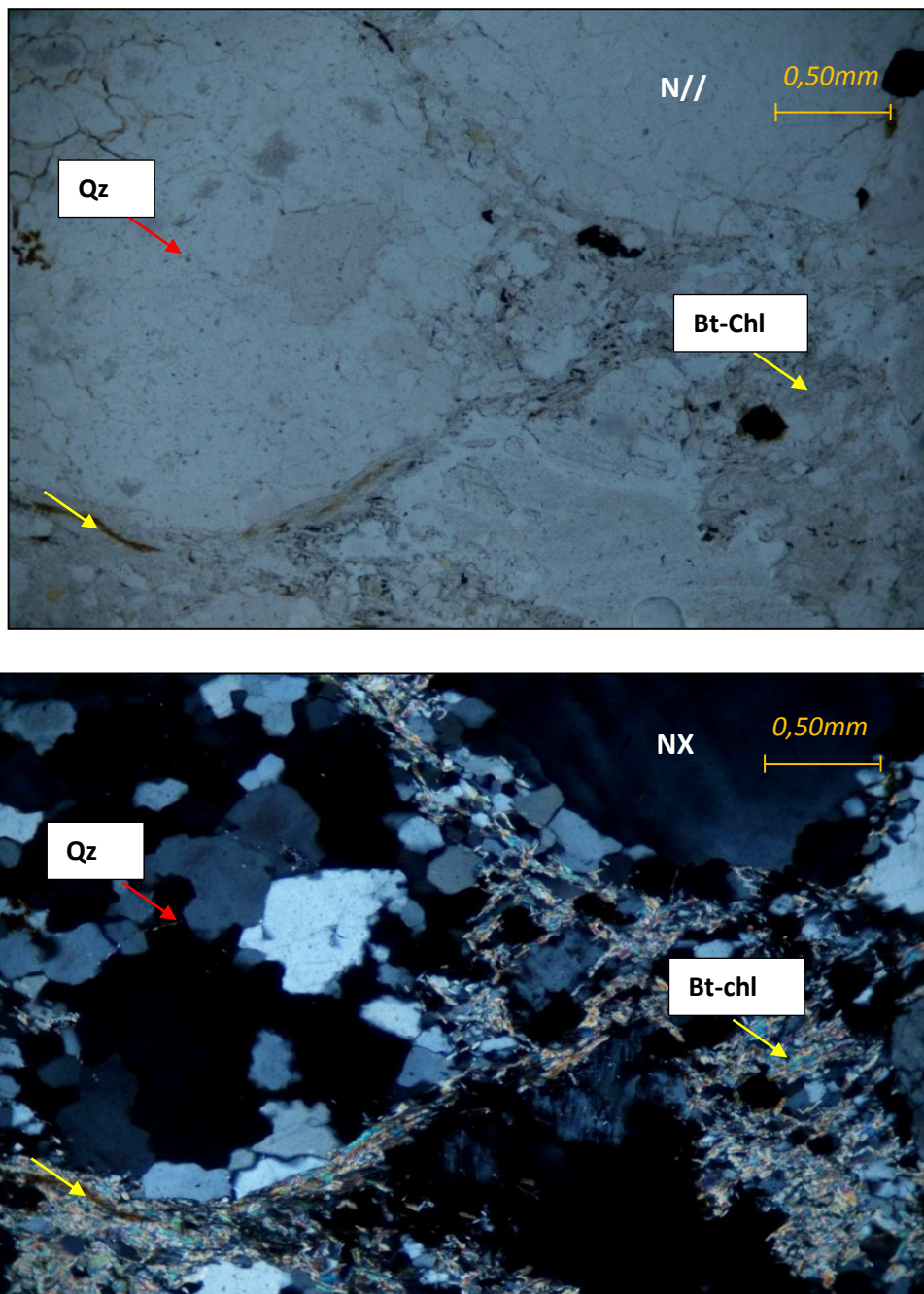


Fig. -39 .Fotomicrografías de la muestra FV-50 (Cataclasita félsica). La flecha roja señala un mosaico de cuarzo policristalino, rodeado por bandas de minerales como biotita y clorita.

Aplita: representada por la muestra FV-45 de la edad del Jurásico.

Con una composición granítica y de grano fino, la define como aplita, con fabrica hipidiomórfica, presenta la siguiente petrografía:

Cuarzo: en un porcentaje del 30 %, en mosaicos de cristales hipidiomórficos, incoloros de extinción ondulatoria.

Plagioclasas (albita): su porcentaje de 25 % está en prismas acortados, incolora, con presencia de alteraciones sericíticas.

Microclino: alrededor del 20 % en la composición, hipidiomórfico, incoloro y con su maclado tipo tartán, algunos presentan textura perítica.

Biotita: su presencia es del 4%, en cristales anhedrales, pleocróica, de marrón claro a marrón oscuro, a veces alterando a clorita.

Moscovita: muy poco presencia, en cristales incoloros, anhedrales y del altos colores de interferencia.

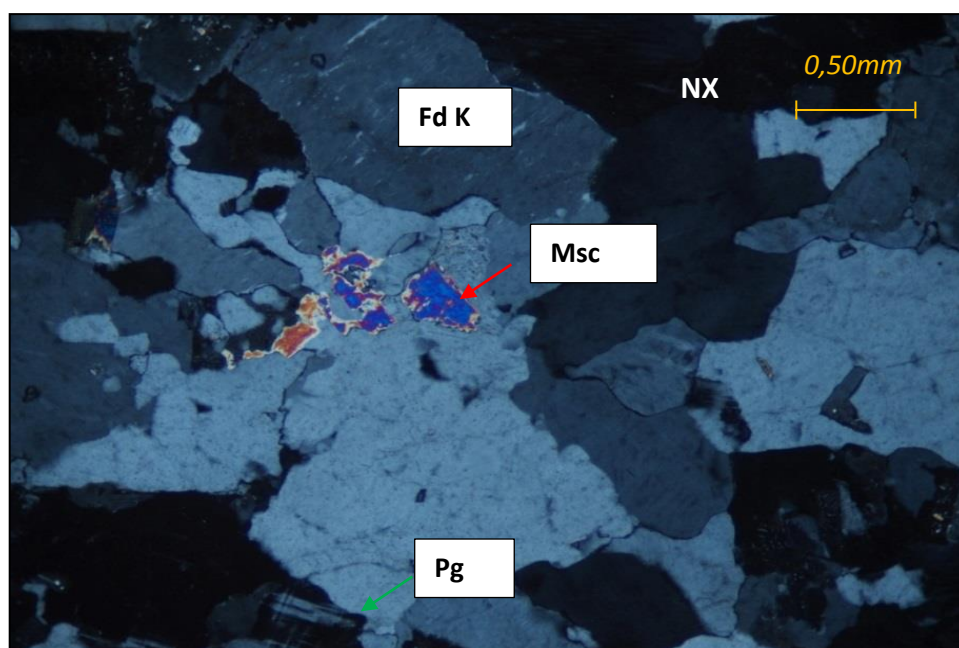
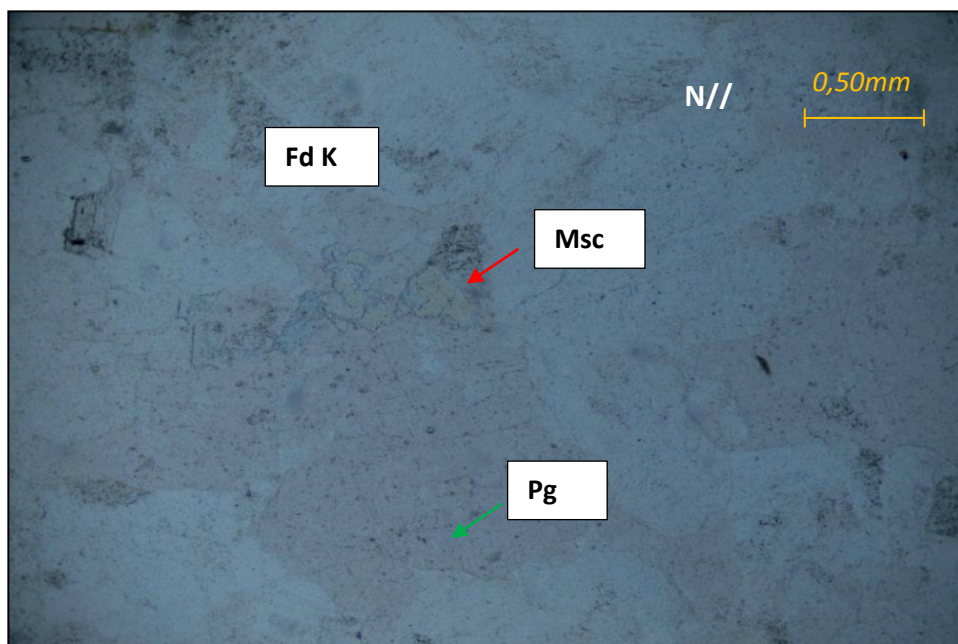


Fig.- 40 .Fotomicrograffías de la muestra FV-45 (Aplita). Moscovita indicado con la flecha roja embebida en un mosaico de minerales félsicos, como el feldespato pertítico que no presentan mayor alteración.

Tonalita: Roca sin edad determinada formada por la muestra FV-47.

De grano grueso, en una fábrica hipidiomórfica, con los minerales muy alterados. Presenta la siguiente petrografía:

Cuarzo: se presenta alrededor del 45%, en grandes cristales hipidiomórficos, incoloros de extinción ondulatoria.

Plagioclasas: (oligoclasa): su presencia es del 25 %, en prismas cortos, con maclado polisintético, de color pardo claro, por estar alterada a minerales micáceos.

Biotita: tiene una presencia del 15%, cristales en forma tabulares, pleocróica de color verde claro a verde oscuro, muy alterada a clorita, a veces como producto de alteración de la hornblenda.

Hornblenda: en menor proporción, se presenta tanto en prismas largos, como en su corte basal en forma hexagonal, maclada y de color verde con plecroísmo a marrón claro, alterando algunas veces a epidota y a biotita que luego altera a clorita

Titanita: de relieve moderado y forma euhedral, con colores de interferencia de 6° orden, se encuentra como mineral accesorio menor al 2%, generalmente fracturado y poco alterado.

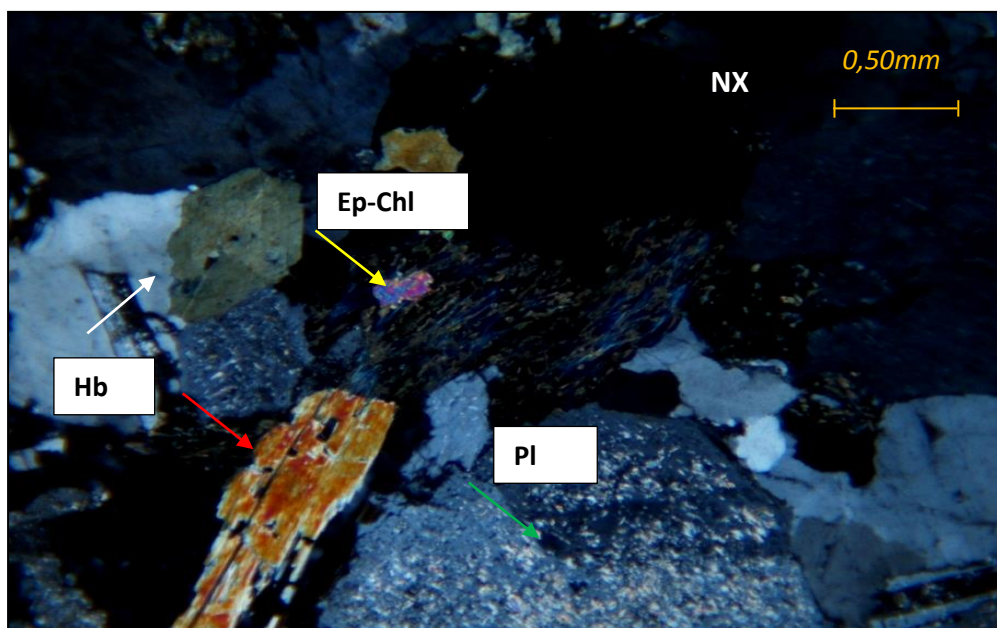
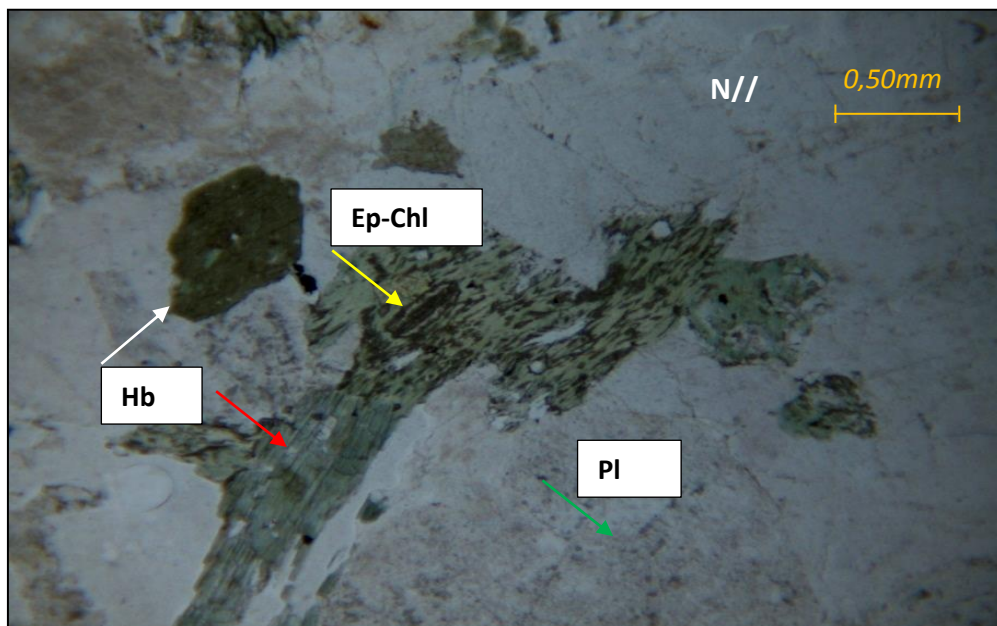


Fig. -41. Fotomicrografías de la muestra FV-47 (Tonalita). La flecha roja señala una hornblenda de habito tabular alterando a biotita y luego a clorita, la amarilla un epidoto sobre una clorita, la verde una oligoclasa sericitizada y la blanca una hornblenda euhedral.

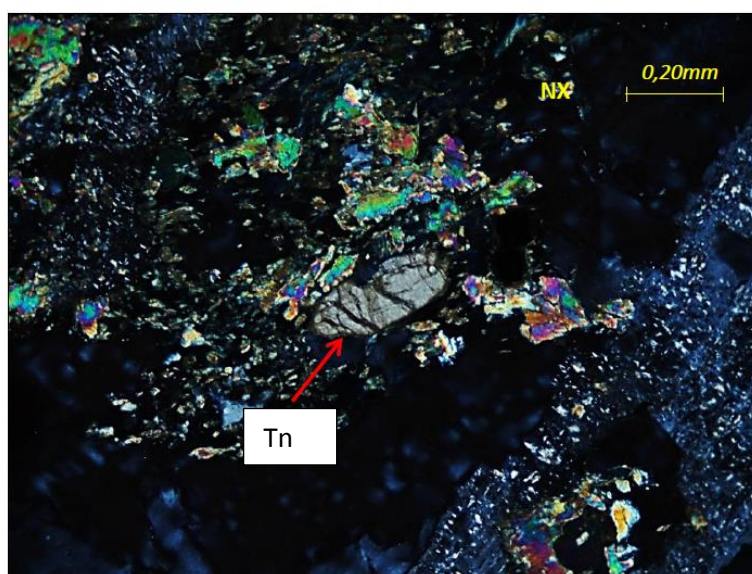
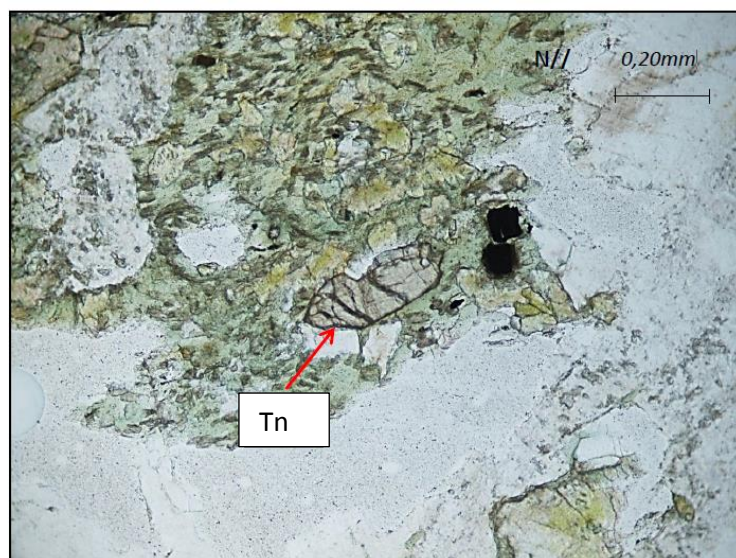


Fig. -42 .Fotomicrografías de la muestra FV-47 (tonalita). La flecha roja señala un cristal de titanita euhedral, que se encuentra como mineral accesorio.

- Muestras de Ibagué:

En la zona predominan las rocas de composiciones andesítica y félsicas mayoritariamente. La ubicación de la zona y de las muestras analizadas es

mostrada a continuación en la siguiente figura (Fig.-38), indicando además la falla de Ibagué y el movimiento relativo de la misma:

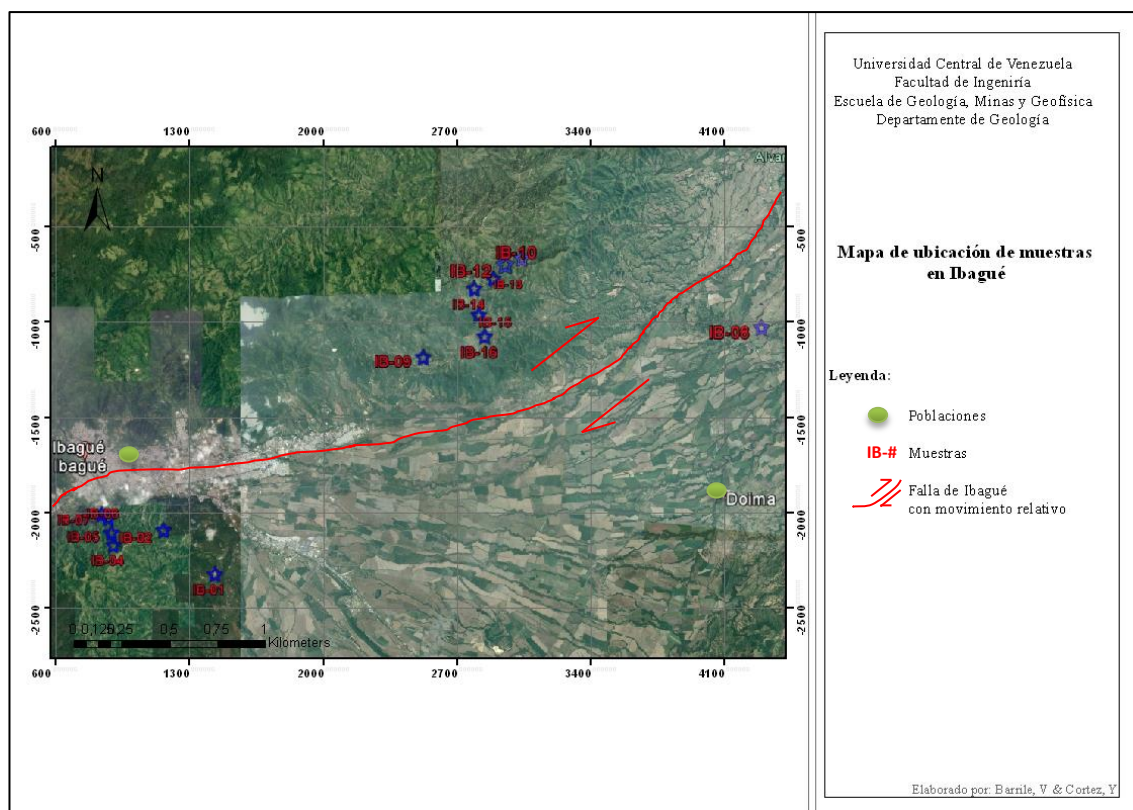


Fig.-43. Representación y ubicación de las muestras analizadas en la zona de Ibagué. Imagen tomada y modificadas de Google Earth (2017).

En este caso 12 de las 14 muestras analizadas fueron agrupadas en tres grupos según sus semejanzas petrográficas ya que no fueron determinadas sus edades para establecer una clasificación más detallada. Estas fueron agrupadas en rocas volcánicas (rocas andesíticas y rocas félsicas), rocas plutónicas y rocas metamórficas, donde en este último grupo le fue comentada una roca volcánica por presentar mayor predominio del metamorfismo en ella (Ver tabla 5-2). A continuación se encuentran representadas dichas muestras:

Tabla 5-2. Representación de las muestras analizadas, clasificadas y agrupadas para la zona de Ibagué

Muestra	Nombre	Grupo
IB-01	Metatoba andesítica	Rocas volcánicas
IB-02	Metalava andesítica	Rocas volcánicas
IB-04	Metalava andesítica	Rocas volcánicas
IB-05	Metatoba andesítica	Rocas volcánicas
IB-06	Metatoba Cataclástica	Metamórficas regionales
IB-07	Toba félsica cristalina	Rocas volcánicas
IB-08	Metalava dacítica	Rocas volcánicas
IB-09	Esquisto czo-biotítico	Metamórficas regionales
IB-10	Toba félsica	Rocas volcánicas
IB-12	Metadiabasa	Rocas plutónica
IB-13	Cuarzo diorita	Rocas plutónicas
IB-14	Anfibolita	Metamórficas regionales
IB-15	Cuarzo diorita Cataclástica	Rocas plutónicas
IB-16	Cuarzo diorita	Rocas plutónicas

Rocas Volcánicas:

Rocas andesíticas:

Este grupo está conformado por las muestras IB-01, IB-02, IB-04 e IB-05 que fueron clasificadas como metalava andesítica y metatoba andesítica, pero un análisis químico más profundo podría revelar que se tratan de rocas dacíticas a riolíticas, al saberse la composición de la matriz. En las rocas se observó hipocristalinidad originalmente aunque ya no presentan vidrio, son fanerítica porfídica en una matriz de grano fino, presentan composición andesítica y rasgos de metamorfismo de muy bajo grado mayoritariamente, su descripción petrográfica es la siguiente:

Plagioclasa (andesina): en una presencia del 55% al 75% se presenta en cristales euhedrales de tamaño promedio de 3 mm en la muestra IB-01 y de hasta 7 mm en la muestra IB-02, se encuentra levemente alterada a sericita, que se dispone desordenadamente sobre los cristales (Fig.-44), su color es pardo claro, producto de la alteración que sufre, presenta una zonación oscilatoria, lo cual es bastante común en la plagioclasa intermedia de rocas volcánicas, en la (Fig.-45), se aprecia un borde más blanco albítico producto del metamorfismo. La muestra IB-05 presenta cristales hipidiomórficos con bordes albíticos, macla polisintética deformada muy alteradas a sericita, donde esta alteración produce una tonalidad parda en nicoles paralelos.

Hornblenda: las muestras presentan alrededor del 25% de cristales de hornblenda, pleocróica de verde a pardo claro, hábito prismático, maclada simple según la ley albita. La muestra IB-02 las tiene muy alteradas a epidoto y con coronas de clorita. (Fig. -45). La muestra IB-05 presenta secciones basales hexagonales, donde se aprecia el clivaje perfecto tipo anfíbol. Fig.-47 y algunas veces alterando clorita.

Cuarzo: en muy baja proporciones del hasta un 10%, se presenta en pocos cristales de tamaño medio, donde se observó su extinción ondulatoria, en la muestra IB-04 bordes de bahías debido a la resorción, en la matriz seguramente aumenta su presencia. En la muestra IB-05 es generalmente hipidiomórficos y de tamaño mucho menor a las plagioclasas.

Prehnita: se muestra con un hábito radial, con leve pleocroísmo de marrón claro a una tonalidad parda.

Biotita: muy poca, su color es generalmente verde, con pleocroísmo en tonalidades verdes y mayormente alterada a clorita en la muestra IB-04. En la IB-05 mayormente alterada a clorita.

Moscovita: de hábito hojoso se presenta dispersa por la matriz, con colores de interferencia amarillos y azules.

Epidoto: generalmente en la muestra IB-02 como producto de alteración de la hornblenda.

Clorita: se halla en forma de coronas aciculares en algunas hornblendas de la muestra IB-02, de color verde claro.

Accesorios: hay titanita de color claro a marrón oscuro, con trozos romboidales. También hematitas en algunas biotitas y hornblendas, circón en biotitas presentes en la IB-05.

Matriz: es de grano fino, el vidrio está ausente producto de la desvitrificación de la misma (textura granofírica), lo que es muy común en rocas antiguas y que han sufrido un metamorfismo en facies prehnita-pumpellyta.

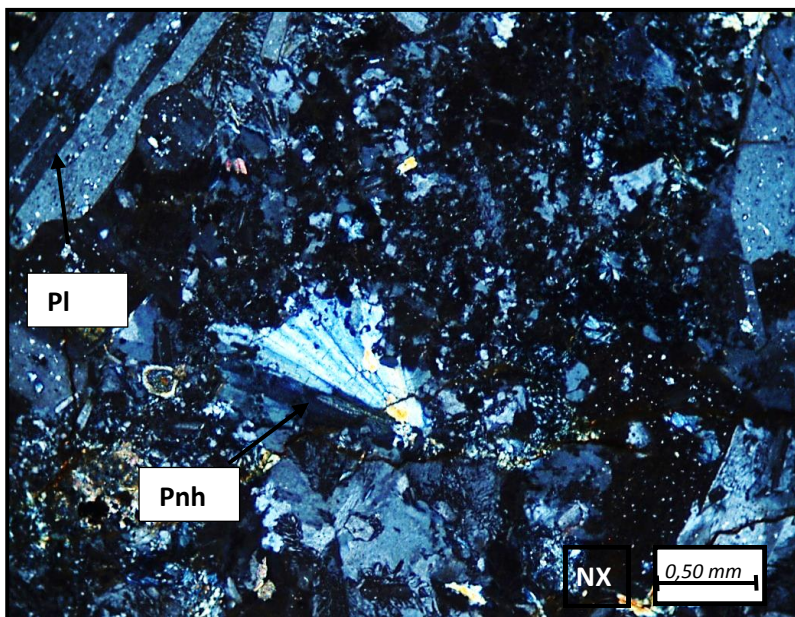
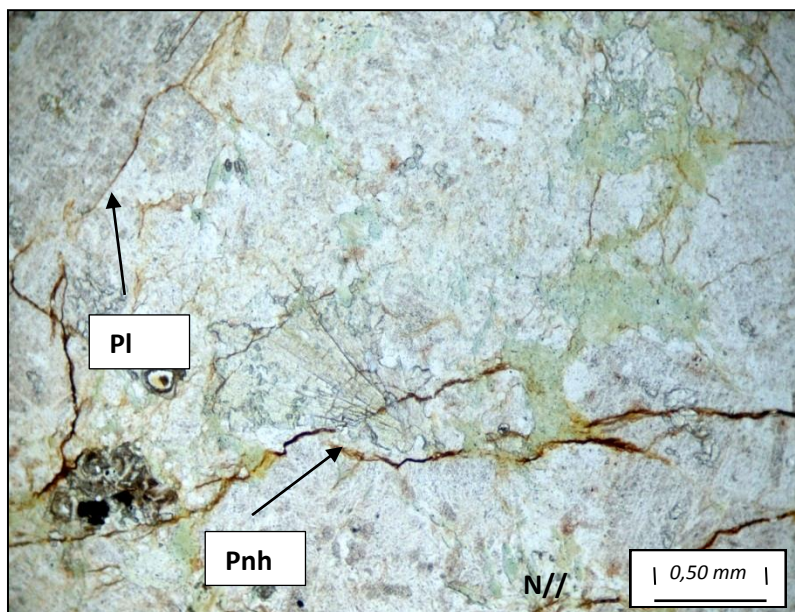


Fig. -44 .Fotomicrografías de la muestra IB-01 (metatoba andesítica). Las flechas señalan prehnita (Pnh) con hábito tipo abanico y una plagioclasa (Pg) parcialmente sericitizada, ambas embebidas en una matriz granofírica.

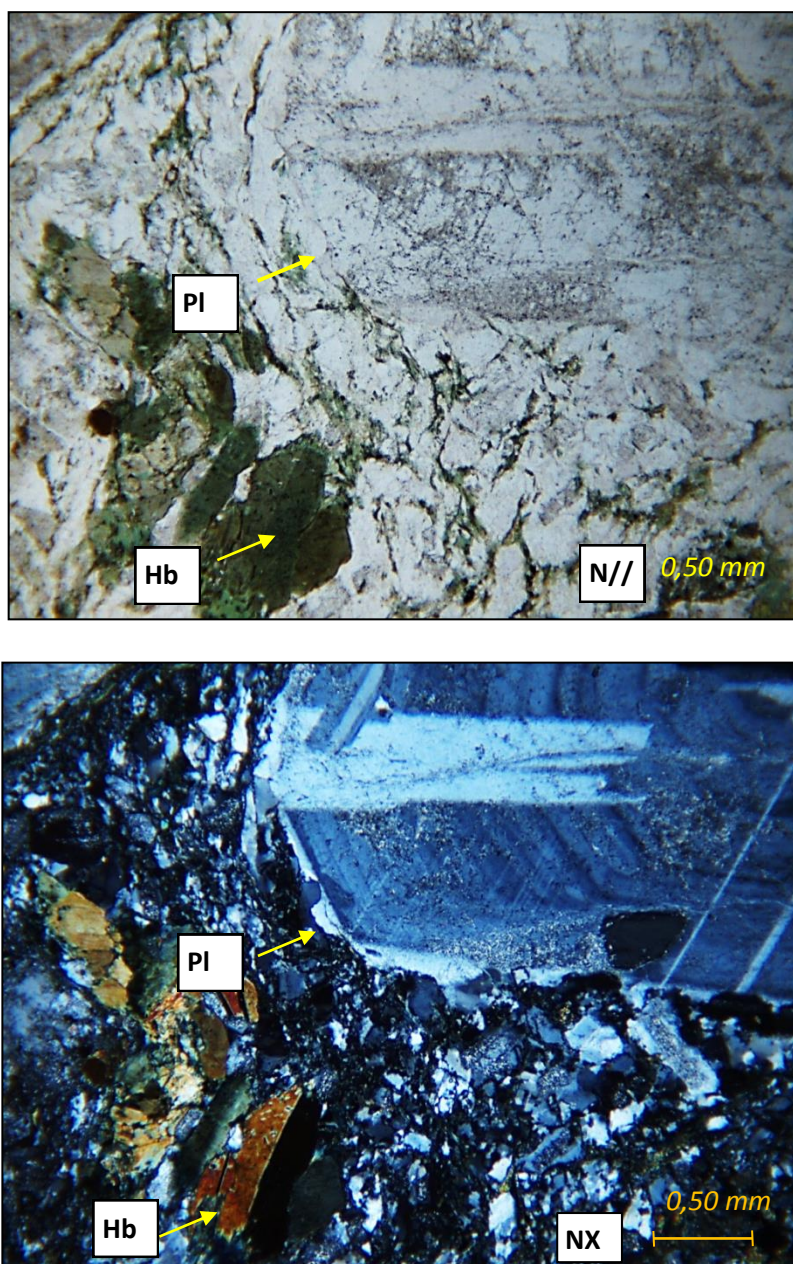


Fig.-45 .Fotomicrografías de la muestra IB-02 (metalava andesítica). Las flechas señalan una andesina (Pl) con zonación ondulatoria, ya que los componentes anortíticos más sensibles a una alteración supergénica, se encuentran en el centro y una hornblenda maclada (Hb), ambos minerales embebidos en una matriz granofírica.

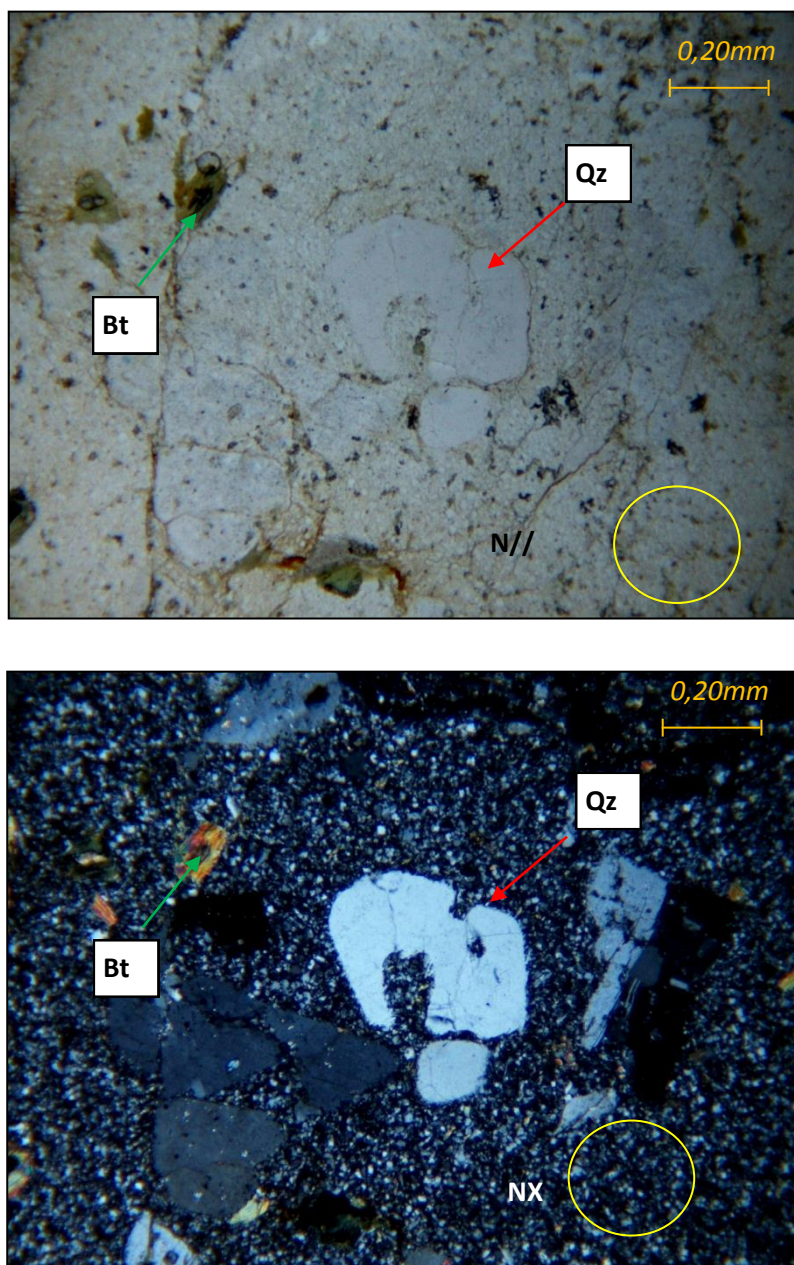


Fig.- 46 .Fotomicrografías de la muestra IB-04 (metalava andesítica). Las flechas rojas muestran un cristal de cuarzo (Qz) con golfos de reabsorción, producto de la reacción de este con la matriz. Las flechas verdes señalan una biotita (Bt) alterada a clorita con sus colores anómalos

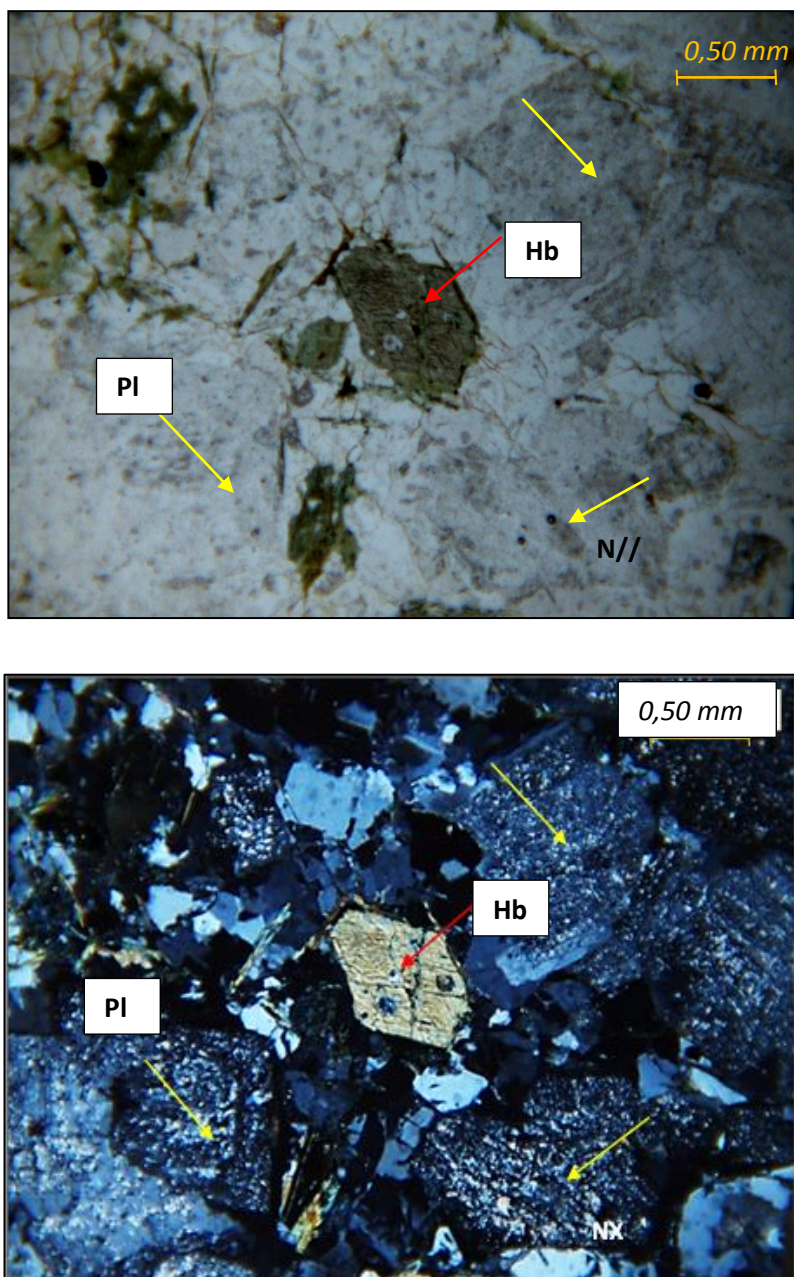


Fig.-47. Fotomicrografías de la muestra IB-05 (metatoba andesítica). En el centro de las imágenes la flecha roja apunta a una hornblenda euhedral en sección basal hexagonal rodeada por plagioclasas parcialmente sericitizadas, señaladas por las flechas amarillas.

Rocas félsicas:

En este grupo de rocas están las muestras IB-07, IB-08 e IB-10, cuyo origen es volcánico y de composición félsica, debido a la presencia de minerales como:

Plagioclasa (andesina- albita): en la sección IB-07 e IB-08, está presente la andesina hipidiomórfica muy alteradas a sericitas, en proporciones del 40 % al 50 %, tienen maclado tipo albita, generalmente son de color pardo heterogéneo debido a las alteraciones que sufren en la muestra IB-10 es la albita la que está presente hasta un 70 %, muy poco alterada a diferencia de las otras rocas del grupo.

Sanidina: hipidiomórfica presente en un porcentajes del 20 % al 30 %, está ausente en la muestra IB-10, es de marrón difuso, producto de la argilitación que se tiene. A veces con macla de Carlsbad.

Hornblenda: con un presencia de hasta el 20%, son verdes con pleocroísmo marrón, muchas veces con cortes basales, lo que las muestras euhedrales hexagonales, maclada en ciertos casos. Alteradas parcialmente a epidoto y a clorita, con algunos machas de hematitas.

Cuarzo: incoloro presente hasta en un 10%, en forma de fenocristales. En la muestra IB-08 los cristales de cuarzos tienen bahías de reabsorción y algunas ocasiones alterando a calcedonia (Fig.-49).

Biotita: aparece en 12%, pero generalmente totalmente alterada a clorita, de color verde y pleocróica verde oscuro, con colores de interferencia azules anómalos.

Prehnita: solo se aprecia en la muestra IB-10, como esferulitas incoloras.

Epidoto: muy poco presente, solo como alteración de algunas hornblendas y andesinas.

Óxidos y circón: aparecen como trazas, hay hematitas en la hornblendas y biotitas alteradas, el circón se aprecia en algunas biotitas.

Matriz: en de grano grueso en la muestra IB-07, pero muy heterogénea en las otras rocas, donde varían los tamaños de grano, presenta ausencia de vidrio producto de la desvitrificación del mismo.

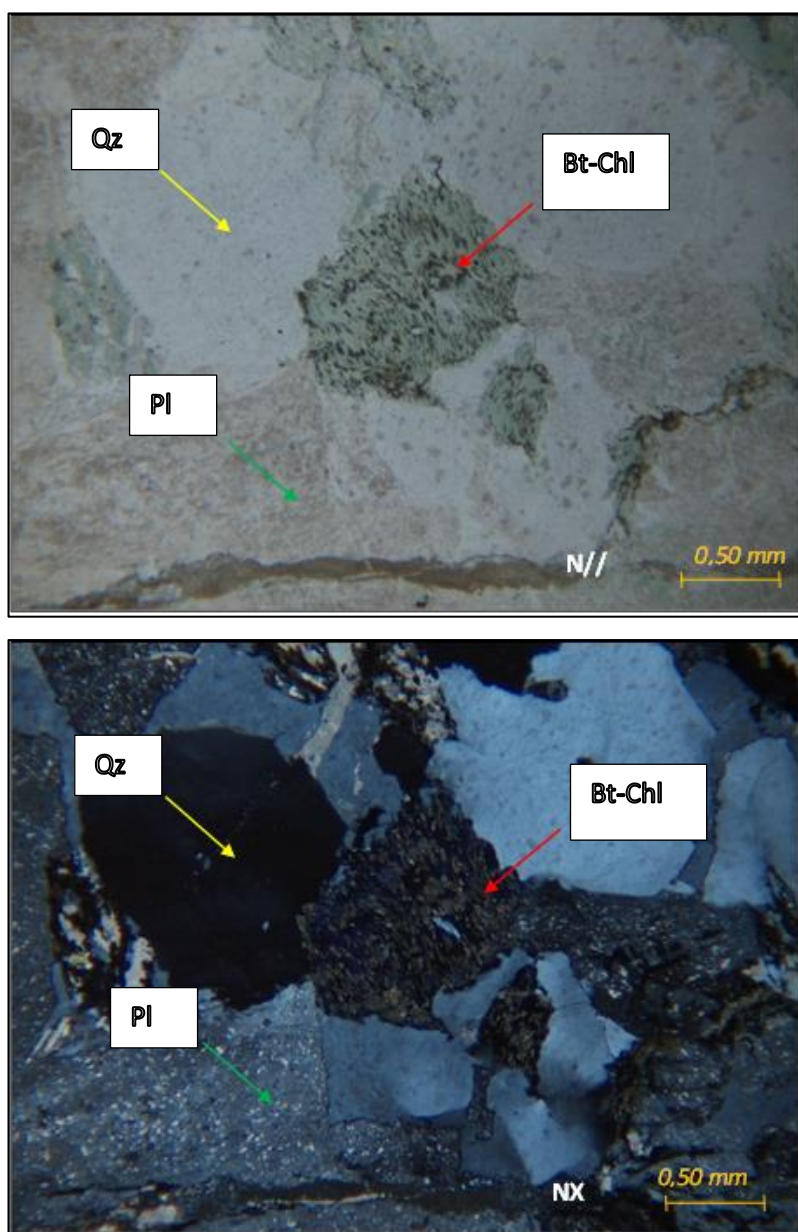


Fig.-48 .Fotomicrografías de la muestra IB-07 (metatoba félsica cristalina). Las flechas rojas señalan una biotita cloritizada (Bt-Chl) con sus colores de interferencia azules anómalos, las flechas amarillas apuntan a un fenocristal de cuarzo (Qz) y las flechas verdes a plagioclasas alteradas a sericita (Pl).

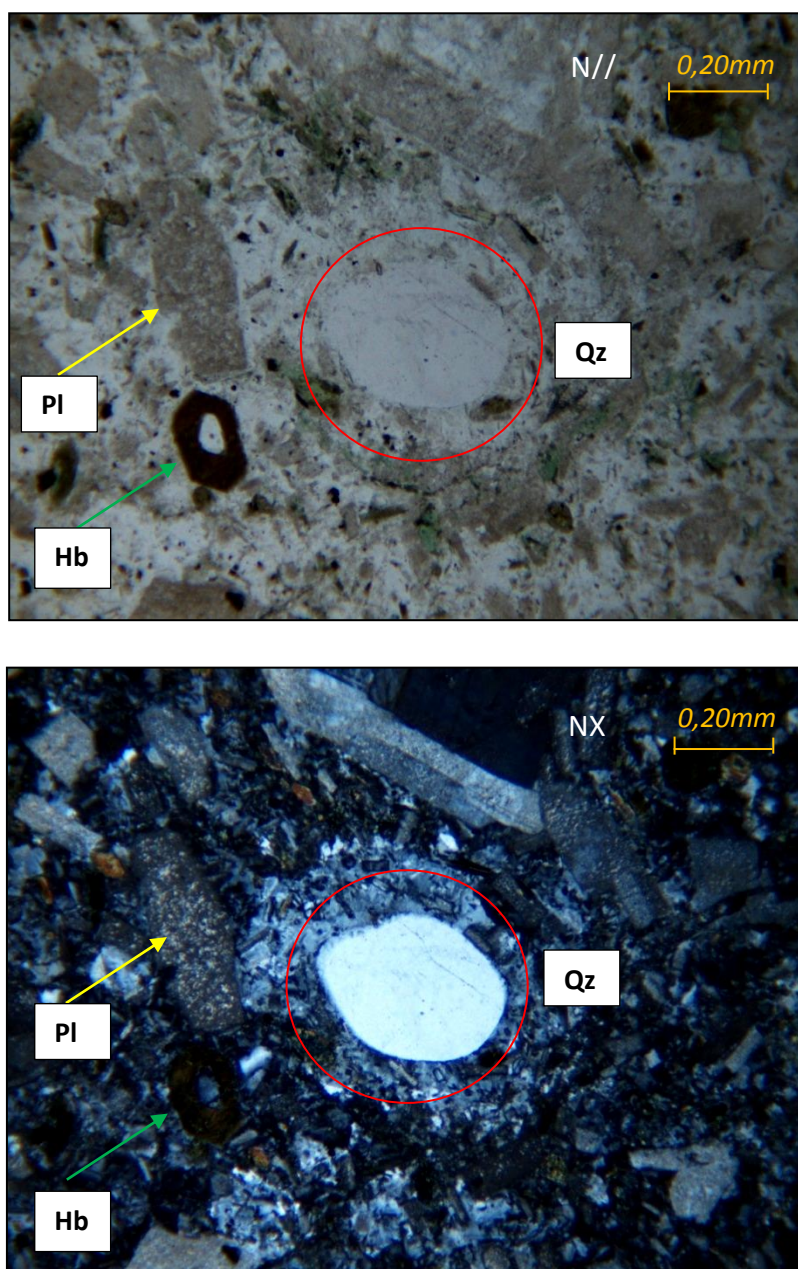


Fig. -49. Fotomicrografías de la muestra IB-08 (metalava dacítica). El círculo rojo encierra un cristal de cuarzo que esta reaccionado con la matriz generando calcedonia en los bordes, la flecha verde apunta una hornblenda euhedral hexagonal con la inclusión de un apatito, la flecha amarilla señala una plagioclasa muy alterada a sericita la flecha blanca un cristal de sanidina con macla de Carlsbad, muy argilizado.

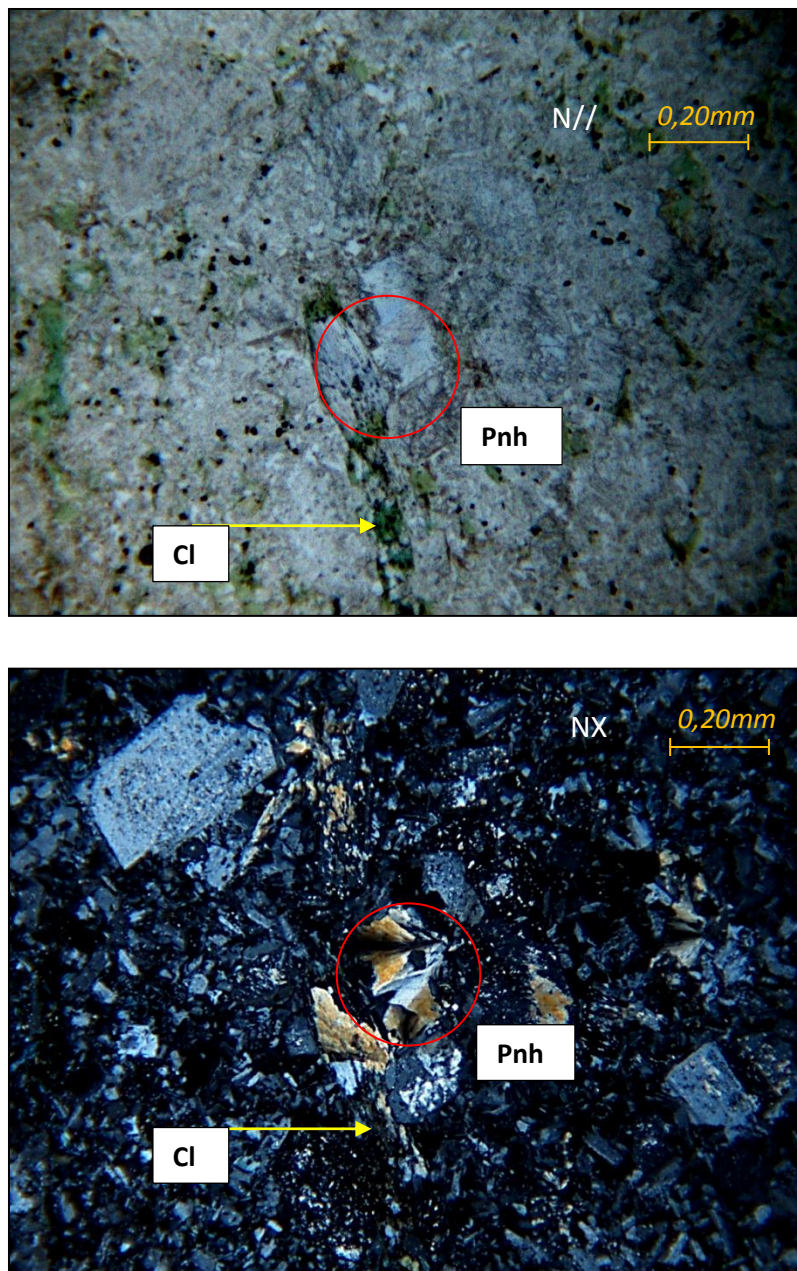


Fig.- 50 .Fotomicrografías de la muestra IB-10 (metatoba dacítica). La flecha amarilla señala una clorita, el círculo rojo encierra una prehnita con hábito radial, embebidos en una matriz que está en proceso de desvitrificación.

Rocas plutónicas:

Este grupo de rocas está conformado por las muestras cuyo origen es plutónico, a pesar que hayan sufrido algún tipo de metamorfismo ligero, su descripción petrográfica es la siguiente:

Cuarzo dioritas: están presentes en las rocas IB-13 e IB-16, conformado mineralógicamente por:

Plagioclasas (andesina): con una presencia que ronda el 55 % en la muestra IB-16 hasta un 65 % en la sección IB-13, hipidiomórfica, con maclas polisintéticas, con zonación oscilatoria, blanca con manchas marrones producto de la sericitación que sufren.

Cuarzo: incoloro, con extinción ondulatoria, hipidiomórfico, con un porcentaje que no sobrepasa el 10 %, están muy dispersos en la muestra.

Hornblenda: se aprecia hasta en un 10 %, pero se encuentra muy alterada a clorita y epidoto.

Biotita: está presente en un 15% en la muestra IB-13, pero en la IB-16 se encuentra hasta en un 25 %, pero en ambos casos se encuentra muy cloritizada.

Titanita: solo está presente en la muestra IB-16, en cantidades menores al 5 %, poseen un pleocroísmo fuerte, de marrón claro a parduzco y con su forma semi romboidal.

Cuarzo diorita (cataclástica): Corresponde a la muestra IB-15 y presenta la siguiente mineralogía:

Cuarzo: incoloro, extinción ondulatoria, con bordes suturados, con una presencia del 8%, se encuentran dispersos en la roca. En una sección se encuentran agrupados una porción del mismo.

Hornblenda: se aprecia un 15 %, pleocrónica de verde claro a verde oscuro, hipidiomórfica en forma de listones. Perteneciente básicamente a la roca y esta entrelazada con la plagioclasa.

Plagioclasas (oligoclasa): presentes en un 60%, hipidiomórficas, muy sericitizadas, lo que les da un color pardo y evita que se vean los juegos de maclas.

Metadiabasa: correspondiente a la muestra IB-12 ya que sus componentes tuvieron tiempo para cristalizar, presentando la siguiente mineralogía principalmente:

Plagioclasa (andesina-labradorita): en una presencia del 65% se presenta en cristales euhedrales de tamaño promedio de 3 mm y unos 5mm para los cristales más grandes que presenta en forma de pórfidos. Algunas se encuentran alterada a sericita. Su color es pardo claro, producto de la alteración que sufre. En algunas ocasiones se observa una especie de entramado.

Hornblenda: las muestras presentan alrededor del 25% de cristales de hornblenda, pleocrónica de verde a pardo claro, hábito prismático, a veces maclada. Presenta algunas muy alteradas a epidoto.

Cuarzo: en muy baja proporciones hasta un 10%, se presenta en pocos cristales de tamaño medio, donde se observó su extinción ondulatoria.

Prehnita: con leve pleocroísmo de marrón claro a una tonalidad parda.

Biotita: muy poca, su color es generalmente verde, con pleocroísmo en tonalidades verdes y mayormente alterada a clorita.

Epidoto: como producto de alteración de la hornblenda.

Clorita: se halla muy dispersa en la muestra asociada directamente a algunas hornblendas siendo esta de color verde claro.



Fig.-51 .Fotomicrografías de la muestra IB-12 (metadiabasa porfídica). La fotografía revela una gran cantidad de plagioclasas con sus componentes cálcicos muy alterados a epidoto.

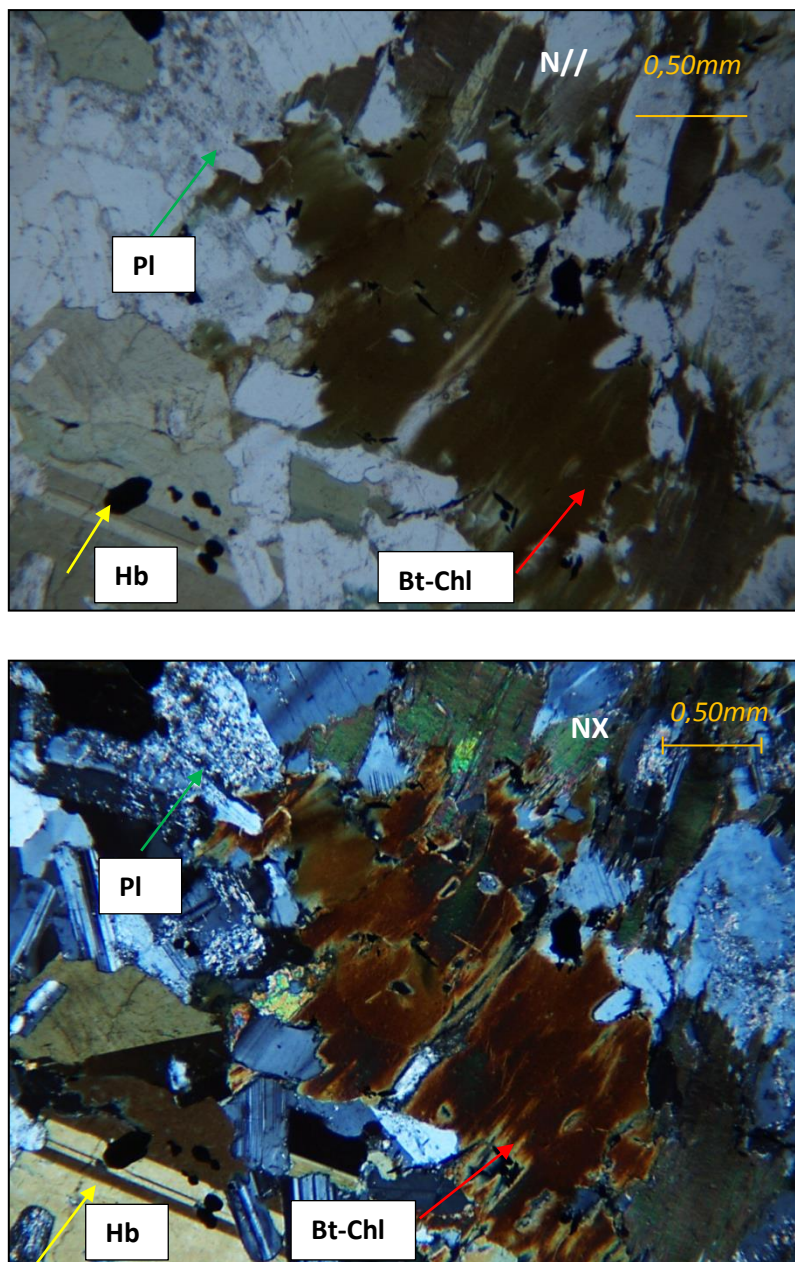


Fig. -52 .Fotomicrografías de la muestra IB-13 (cuarzo diorita). La flecha roja muestra una biotita alterando a clorita y también a epidoto. Las flechas amarillas apuntan a una hornblenda maclada con óxidos por alteración y las flechas verdes señalan a la andesina sericitizada.

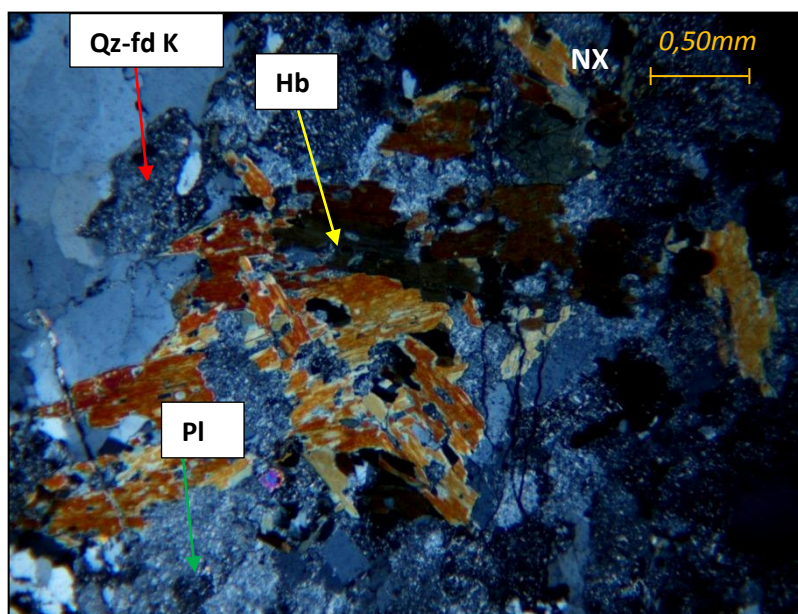
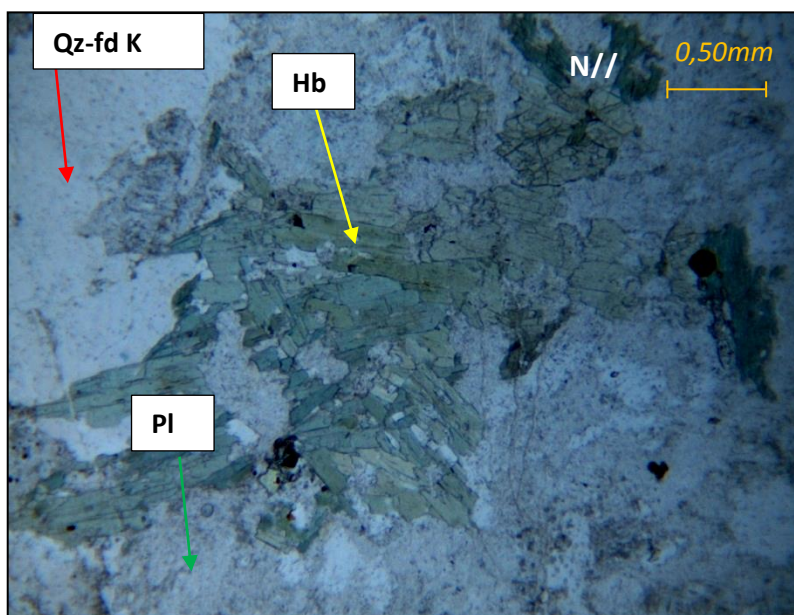


Fig. -53. Fotomicrografías de la muestra IB-15 (cuarzo diorita-cataclástica). La flecha roja señala un mosaico de cuarzo y ortosa, la flecha amarilla apunta la hornblenda y la verde apunta las plagioclasas sericitizadas.

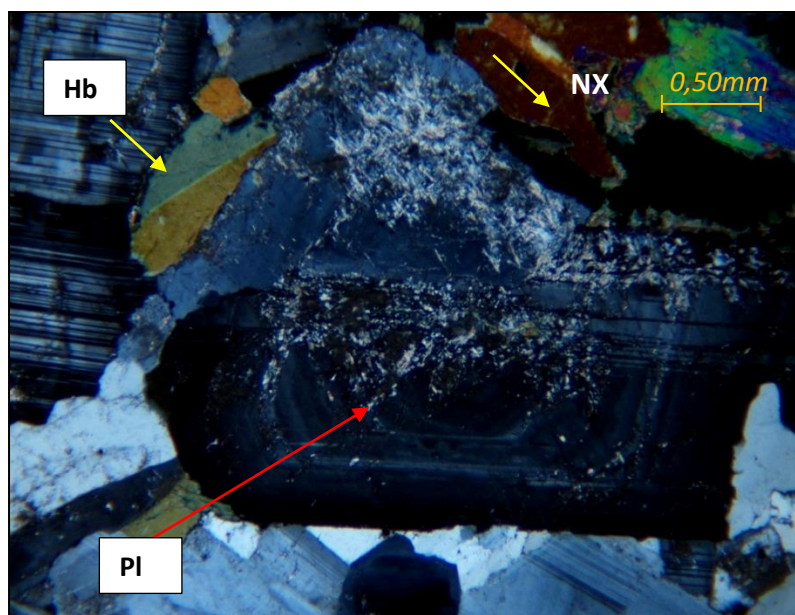
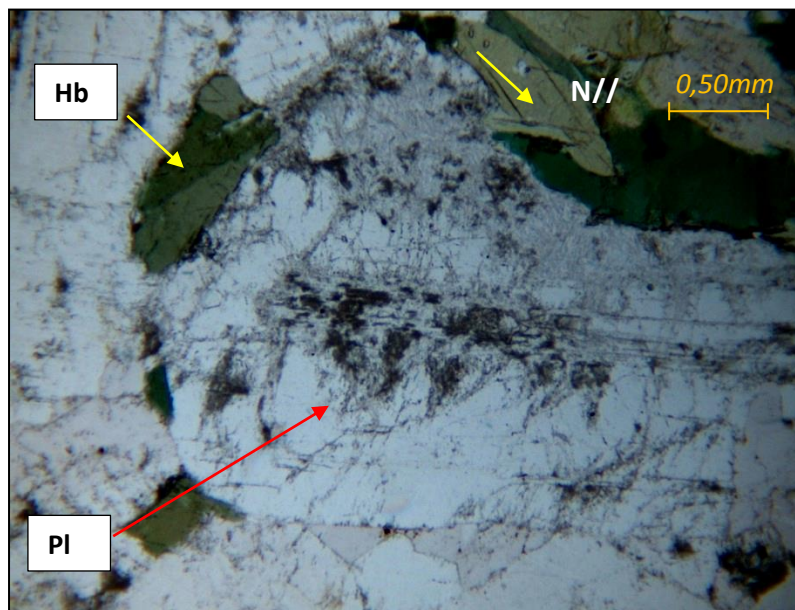


Fig. -54. Fotomicrografías de la muestra IB-16 (cuarzo diorita). La flecha roja señala una plagioclasa con zonación oscilatoria, alterando a epidoto y micas blancas, las flechas amarillas apuntan a hornblenda maclada.

Metamórficas regionales:

Metatoba Cataclástica: Corresponde a la muestra IB-06. Ya que esta roca presenta mayor metamorfismo fue ubicada en esta sección, ella presenta la siguiente mineralogía mayoritariamente:

Ortosa: presente en un 30 %, es de color marrón, debido a que se encuentra muy sericitizada a lo largo de todo el cristal, hipidiomórfica.

Cuarzo: se encuentra en un 10%, incoloro, hipidiomórfico, formando mosaicos policristalinos.

Plagioclasa (oligoclasa): en un porcentaje del 65 %, de color parda por la alta presencia de sericitas en los cristales, que enmascaran los planos de clivaje.

Clorita: de escasas decimas de milímetros, con proporción en un 20 %, inmersa en una matriz fina acompañada por fragmentos de cuarzo y feldespatos, es de color verde levemente pleocróica, con amarillos como color de interferencia.

Prehnita: muy poca presencia, son pleocróica de incoloro a marrón claro, con habito radial.

Epidoto: en porcentajes menores al 5%, producto de alteración de algunas plagioclasas.

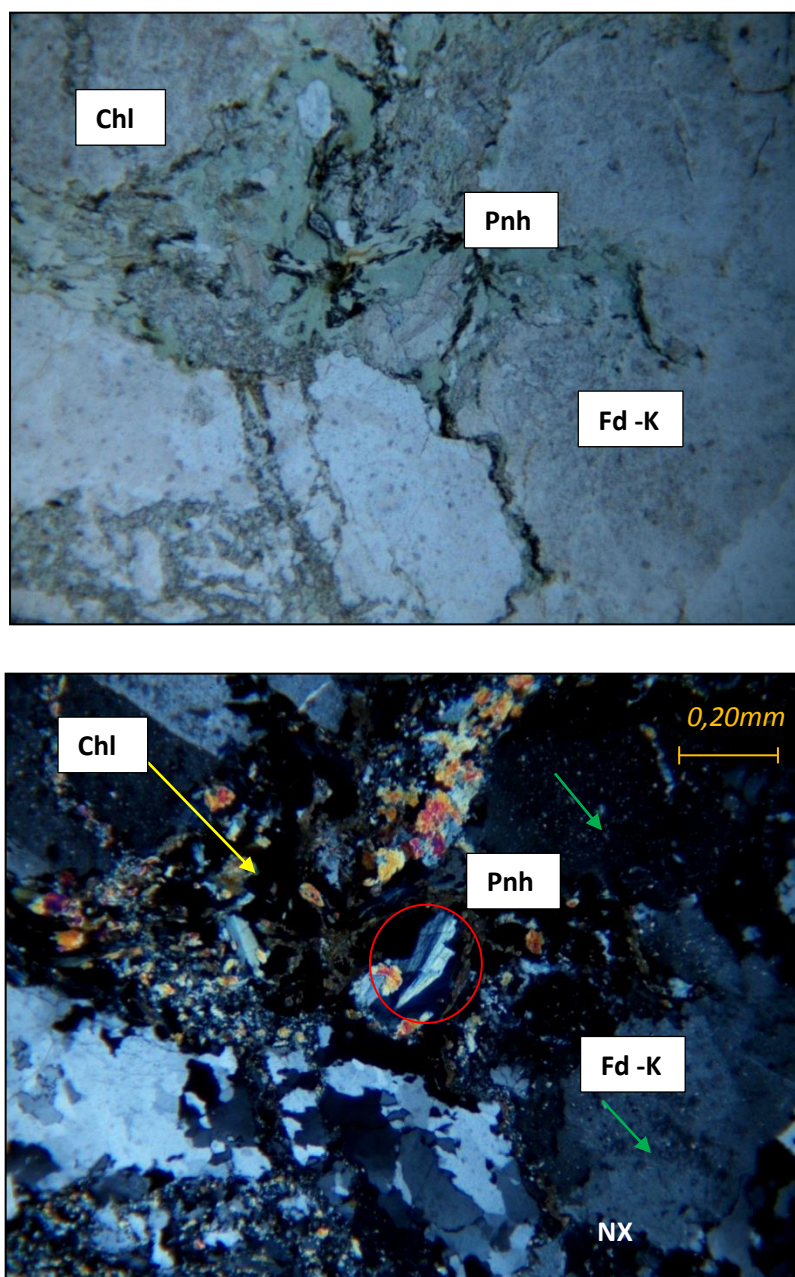


Fig. -55. Fotomicrografías de la muestra IB-06 (metatoba cataclástica). El círculo rojo encierra a una prehnita de hábito tipo semi radial, las flechas amarillas señalan bandas de clorita que bordea los cristales de feldespatos sericitizados en verde.

Esquisto cuarzo-biotítico con oligoclasa:

Roca con foliación intermedia entre esquisto y gneis, con banda de biotitas y cuarzo, con promedio de grano de 5 mm, corresponde a la muestra IB-09 de origen metapelítico, presenta la siguiente mineralogía:

Cuarzo: cristales hipidiomórficos, incoloros con extinción ondulatoria, en bandas, formando la textura granoblástica, presente en 45 %, en un mosaico de oligoclasa y rodeado por bandas de las micas cloritas y biotitas.

Biotita: cristales de color pardo, con pleocroísmo de marrón claro a marrón oscuro, hipidiomórfica con cristales en forma de listones, alineados formando bandas en una textura lepidoblástica, con una presencia del 30 %, que está parcialmente alterado a clorita. Algunas veces con inclusiones de circón que tienen halos radioactivos.

Clorita: mayormente producto de alteración de la biotita.

Plagioclasa (oligoclasa): se presenta en un 15 %, en forma de cristales tabulares, que junto al cuarzo dan forma a la textura granoblástica, muy alterada a sericita.

Microclino: en muy pocas proporciones, con un maclado tipo tartán y alterando a sericitas.

Accesorios: circones en biotitas con halos radioactivos, apatitos euhedrales en biotitas y epidotos en algunas plagioclasas alteradas.

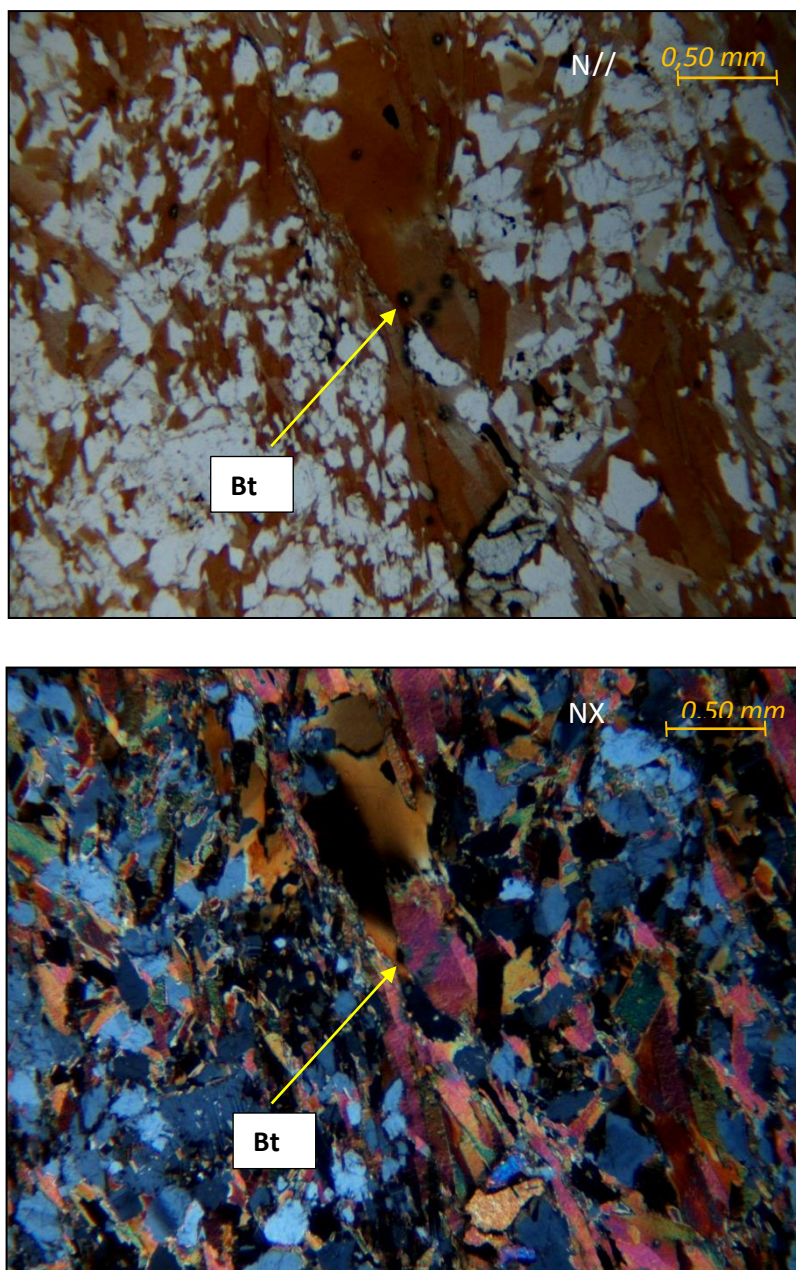


Fig.-56. Fotomicrografías de la muestra IB-09 (esquisto cuarzo biotítico). En las fotos se muestra la textura granolepidoblásticas. Bandas de cuarzo, microclino y oligoclasa con bandas de biotitas que tienen inclusiones de circón con halos radiativos

Anfibolita:

Corresponde a la muestra IB-14, presenta la siguiente mineralogía:

Hornblenda: se encuentra en una proporción del 30 %, en pleocróica de verde claro a verde oscuro, hipidiomórfica, con cristales tabulares orientados en bandas, en una textura nematoblástica, algunos cristales presentan maclas tipo albita y la Fig.-52 se puede observar, como la hornblenda tiene una lamelas que pueden ser de otros anfíboles como los arrojados por los resultados de la difracción de rayos x (Riebeckita y Tirodita), los cuales son del grupo de la hornblenda.

Plagioclasa (oligoclasa- andesina): cristales hipidiomórficos, representa el 20 % de la roca, su color es pardo y a veces verde claro, producto de las alteraciones sericíticas y epidóticas.

Biotita: con hábito tabular, de color pardo y pleocróica hacia tonalidades pardas, se estima su presencia en un 20 %, se encuentran en la muestra dispersas sin orientación preferenciales.

Cuarzo: incoloro, con extinción ondulatoria, cristales hipidiomórficos que representa un 10 %.

Ortosa: con poca presencia alrededor del 10%, hipidiomórfica, ligeramente de color pardo, por la alteración a sericita.

Titanita: de alto relieve, se presenta en 8 %, pleocróica de marrón claro a pardo, con hábito romboidal. Presenta algunas fracturas.

Epidota: producto de alteración de algunas plagioclasas y la hornblenda.

Accesorios: apatitos incluidos en algunas hornblendas e ilmenita producto de la alteración de la titanita.

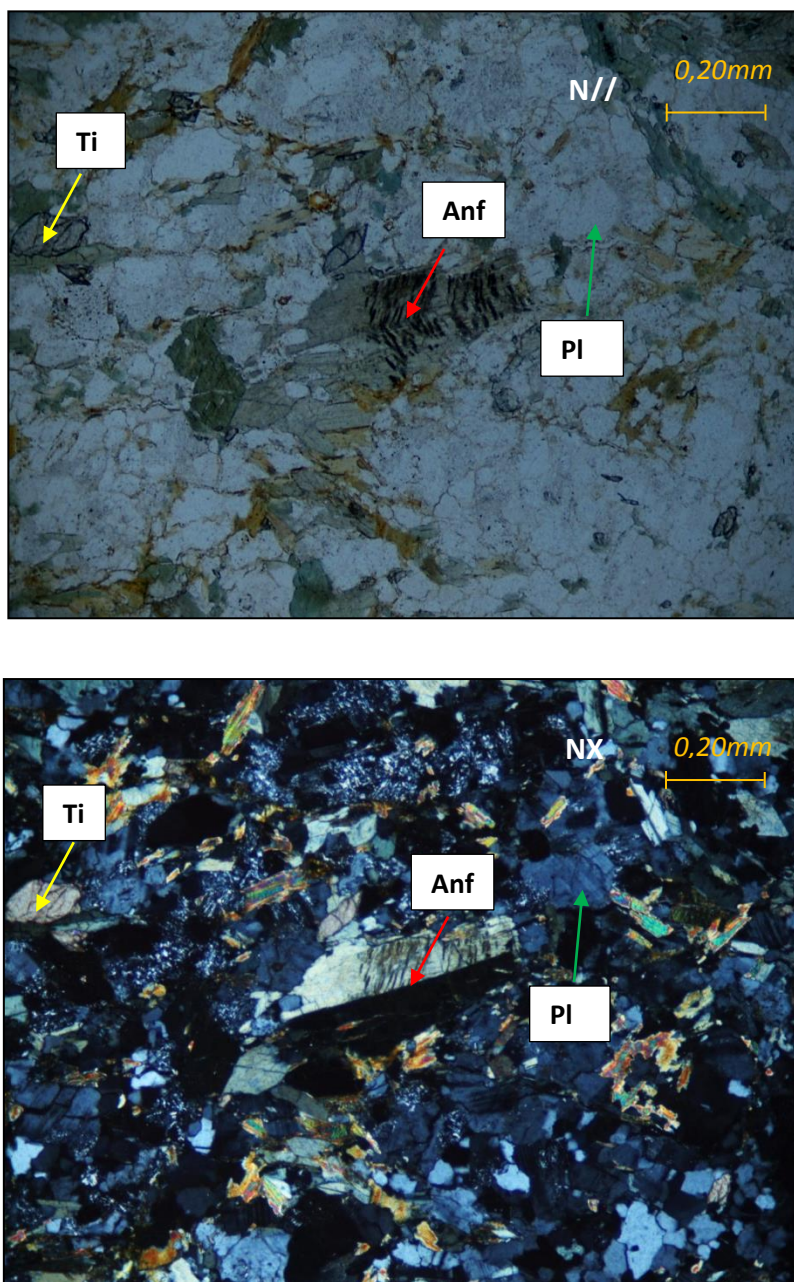


Fig.- 53. Fotografías de la muestra IB-14 (anfibilota). La flecha roja señala un Anfíbol maclado que según el arrojó la DRX es la tirodita una variedad de la hornblenda. La flecha amarilla apunta a una titanita semiromboidal y la flecha verde señala la oligoclasa.

Resultados obtenidos en los DRX:

En esta sección se muestran los difractogramas obtenidos aplicados a 10 muestras especificadas a continuación. Cada una de ellas está lucidada representando su mineralogía mayoritaria correspondiente de cada una. En este caso sólo este análisis fue aplicado a las principales muestras que presentaban una matriz conformada por cristales de menor tamaño donde parte de su mineralogía no fue visible con el microscopio petrográfico ayudando a complementar la mineralogía presente.

Tabla 5-3. Muestras analizadas empleando la DRX

Ibagué	Bucaramanga
IB-04, IB-08, IB-10, IB-14	FV-32, FV-33, FV-37, FV-45, FV-48, FV-49

- Muestras de Ibagué:

En el caso de las muestras IB-04 (metalava andesítica), IB-08 (metalava dacítica) no se observaron minerales diferentes a los obtenidos con la petrología. Para el caso de las muestras IB-10 (toba félsica dacítica), la muestra presentó una cantidad significativa de prehnita y epidoto que quizás sus picos estén en su difractograma pero fácilmente podrían confundirse con los de clorita y otros minerales ya que este presenta varios picos intensos (ver Fig.-57). Para el caso de la muestra IB-14 (anfíbolita), la DRX arrojó un mineral como la Riebeckita, siendo este un anfíbol sódico dentro de esta muestra, además también se determinó la presencia de tirodita. Igualmente arrojó labradorita, biotita y titanita, siendo muchos vistos en la sección. A continuación se muestran los difractogramas:

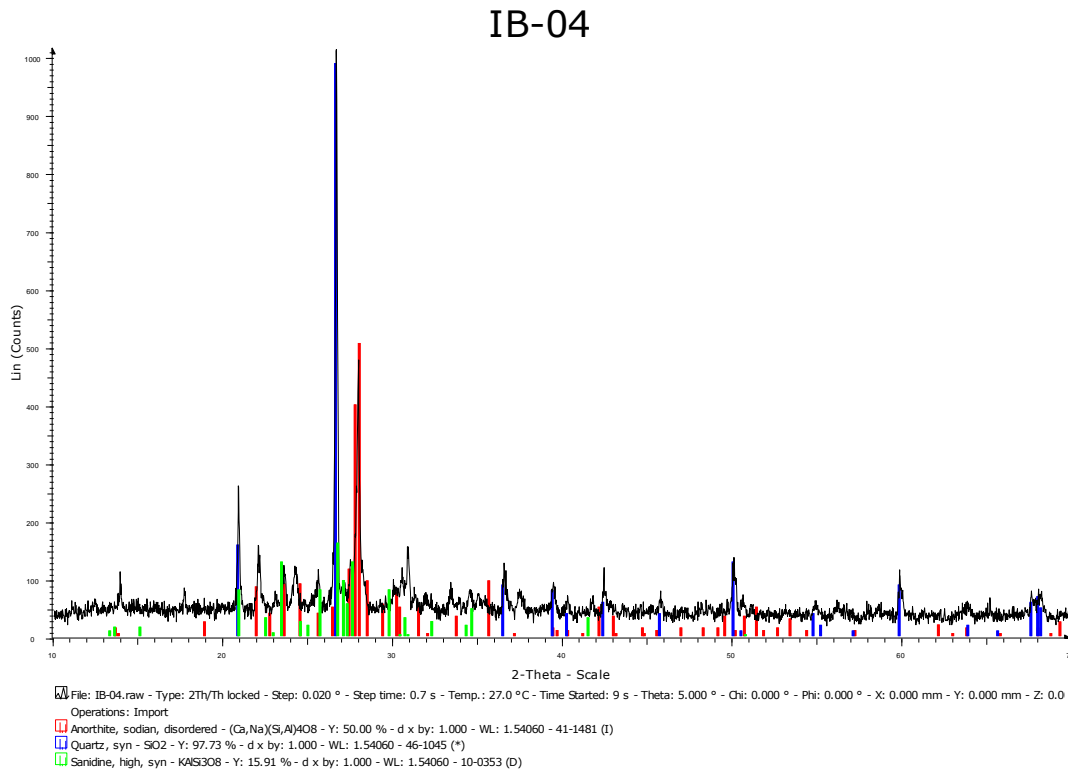


Fig.- 58. Difractograma de la muestra IB-04

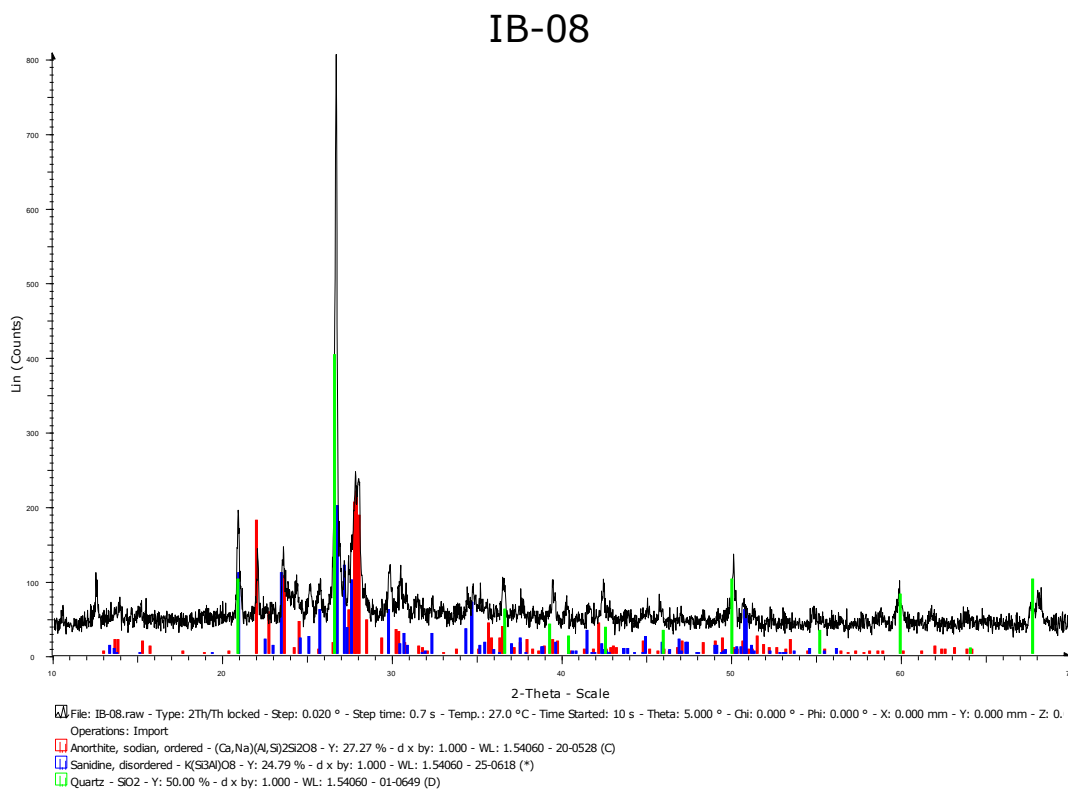


Fig.-59. Difractograma de la muestra IB-08

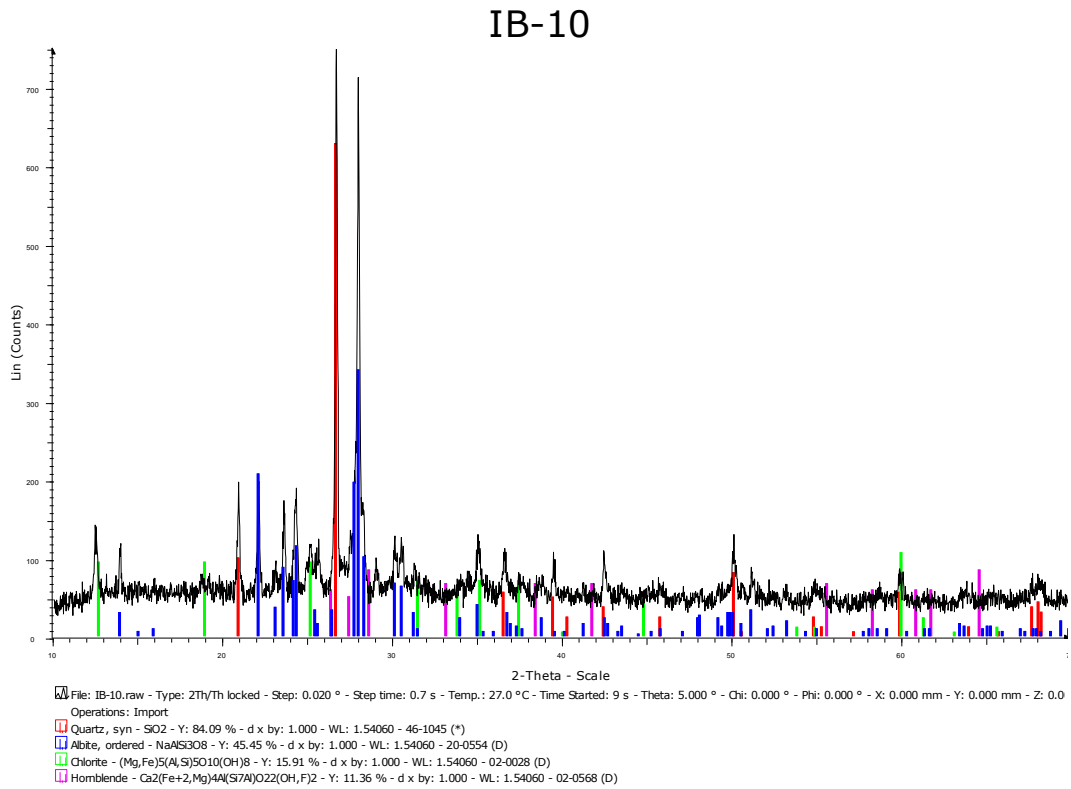


Fig.-60. Difractograma de la muestra IB-10

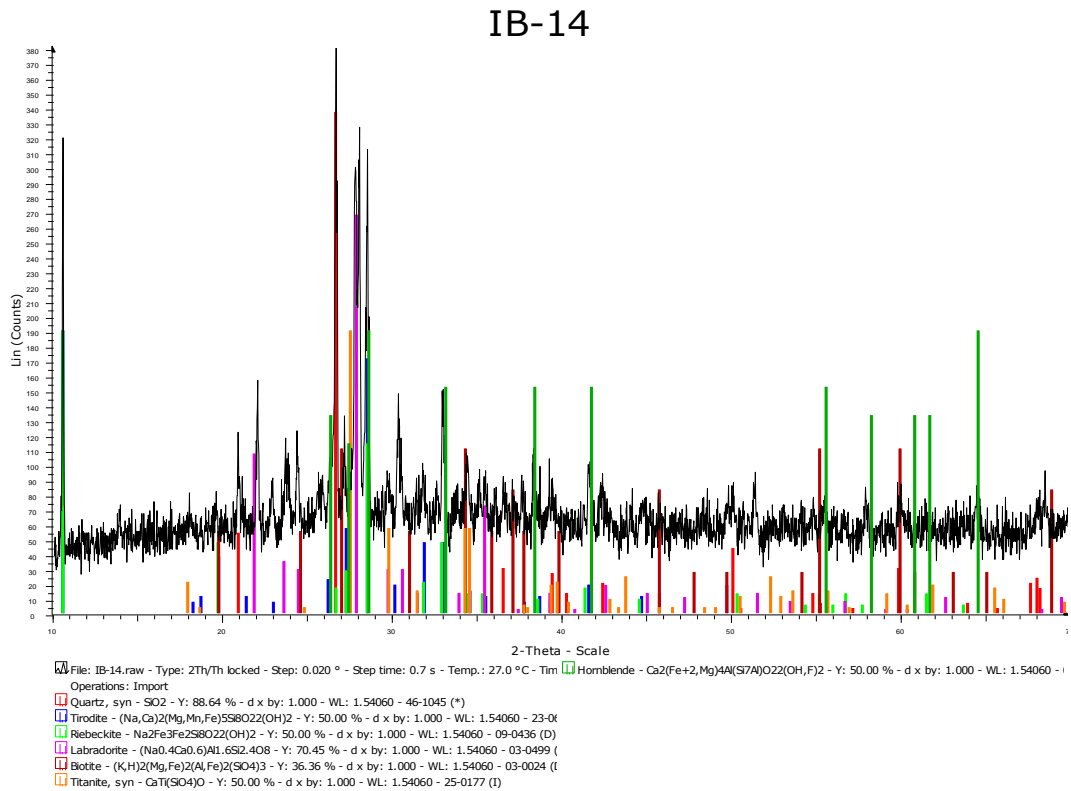


Fig.-61. Difractograma de la muestra IB-14

- Muestras de Bucaramanga:

En el caso de las muestras FV-33 (esquistos cuarzo sericitico), FV-37 (sienogranito), FV-45 (dique de aplia), FV-48 (metatoba félsica) y FV-49 (metatoba félsica), arrojaron minerales observados en cada una de sus secciones. En cambio, en la muestra FV-32 (monzogranito) no se obtuvieron los picos de minerales como la hornblenda y biotita presentes en la muestra, vista con la sección correspondiente.

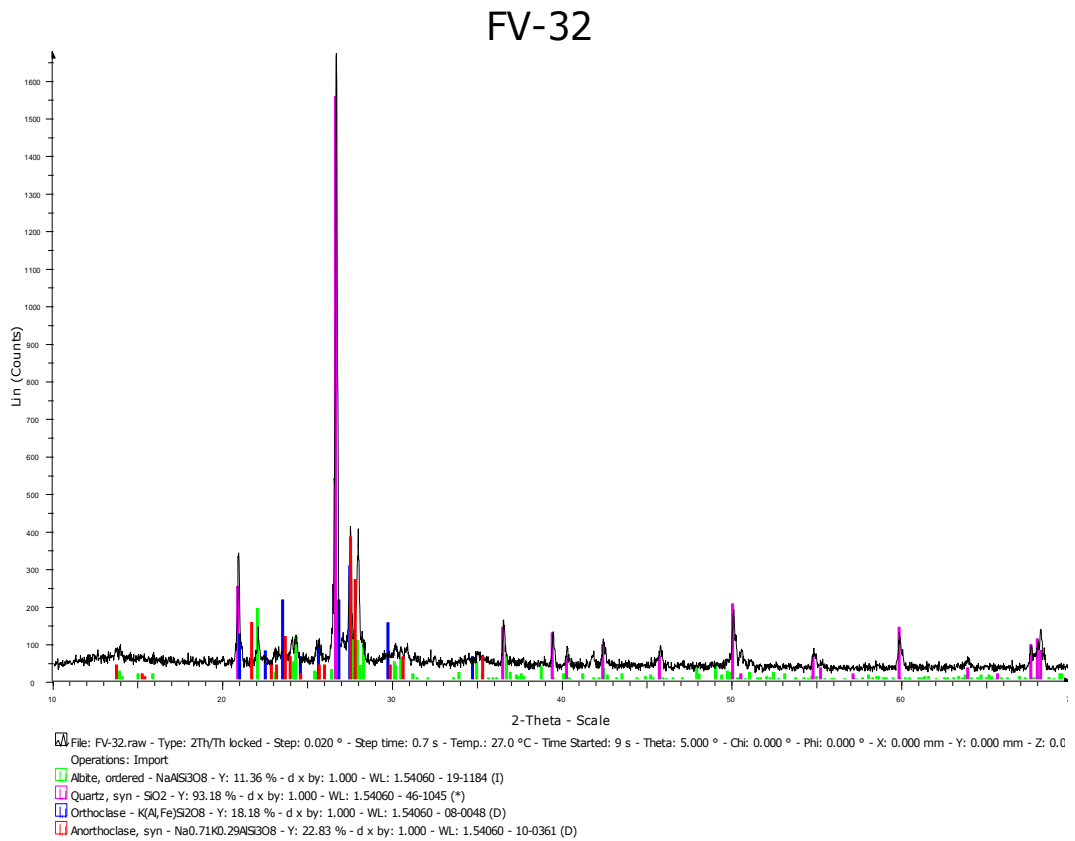


Fig.- 62. Difractograma de la muestra FV-32

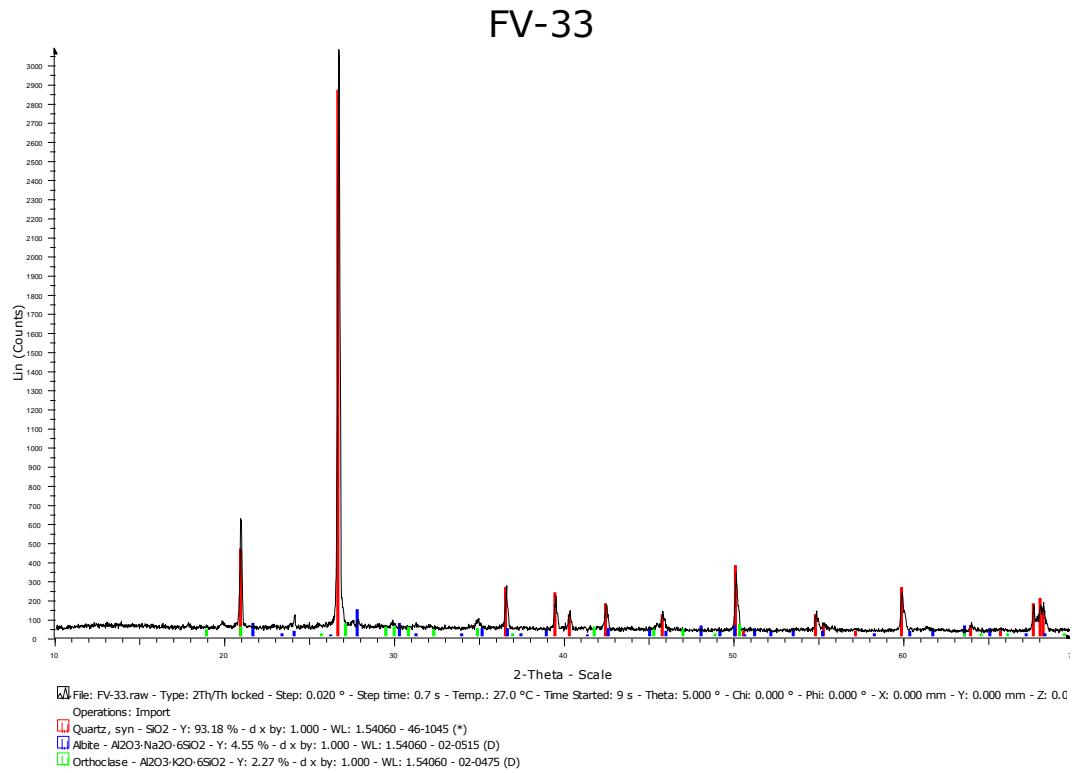


Fig.-63. Difractograma de la muestra FV-33

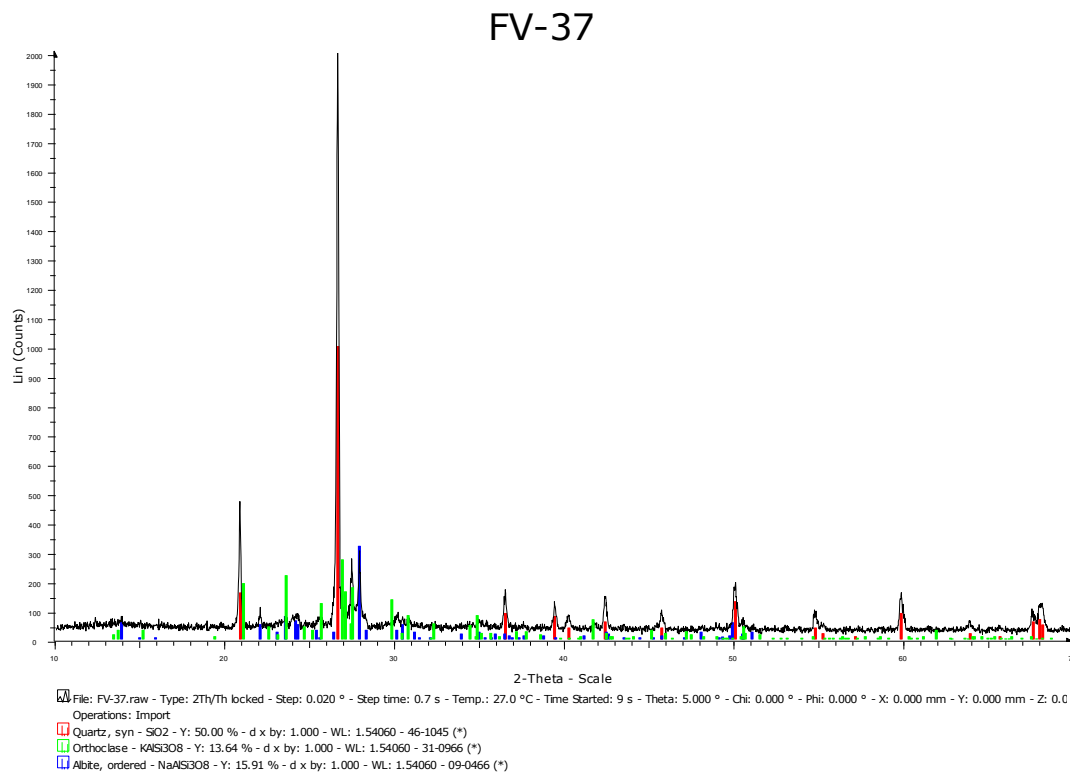


Fig.-64. Difractograma de la muestra FV-37

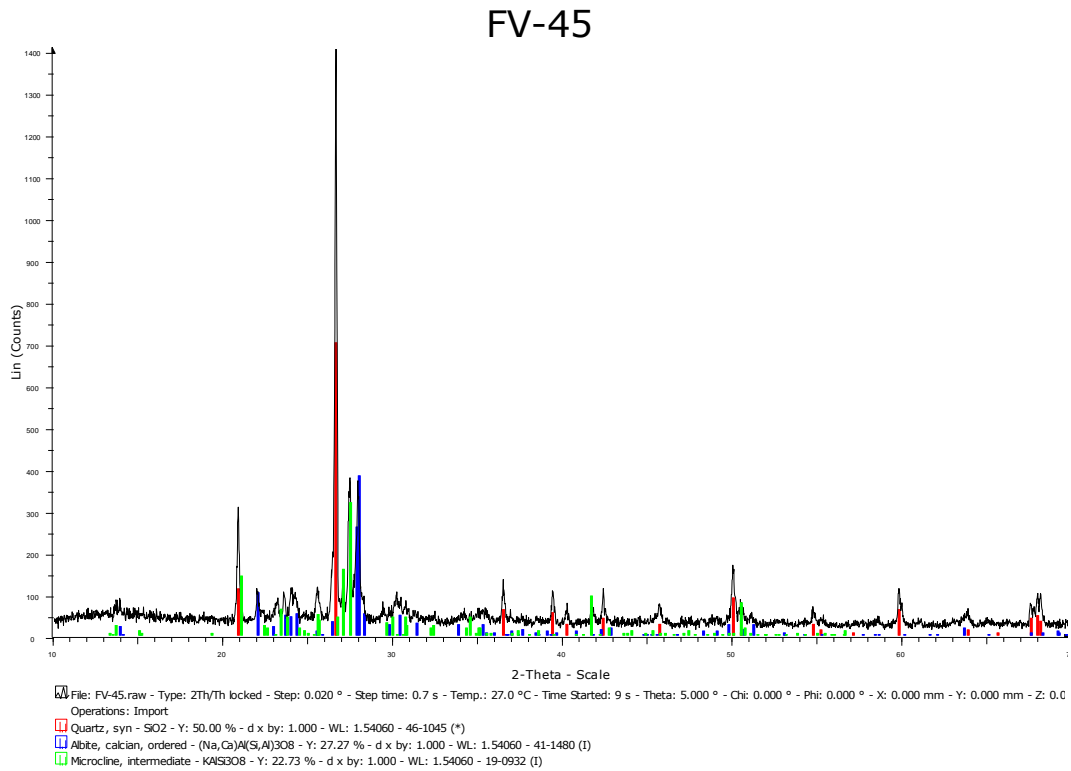


Fig.-65. Difractograma de la muestra FV-45

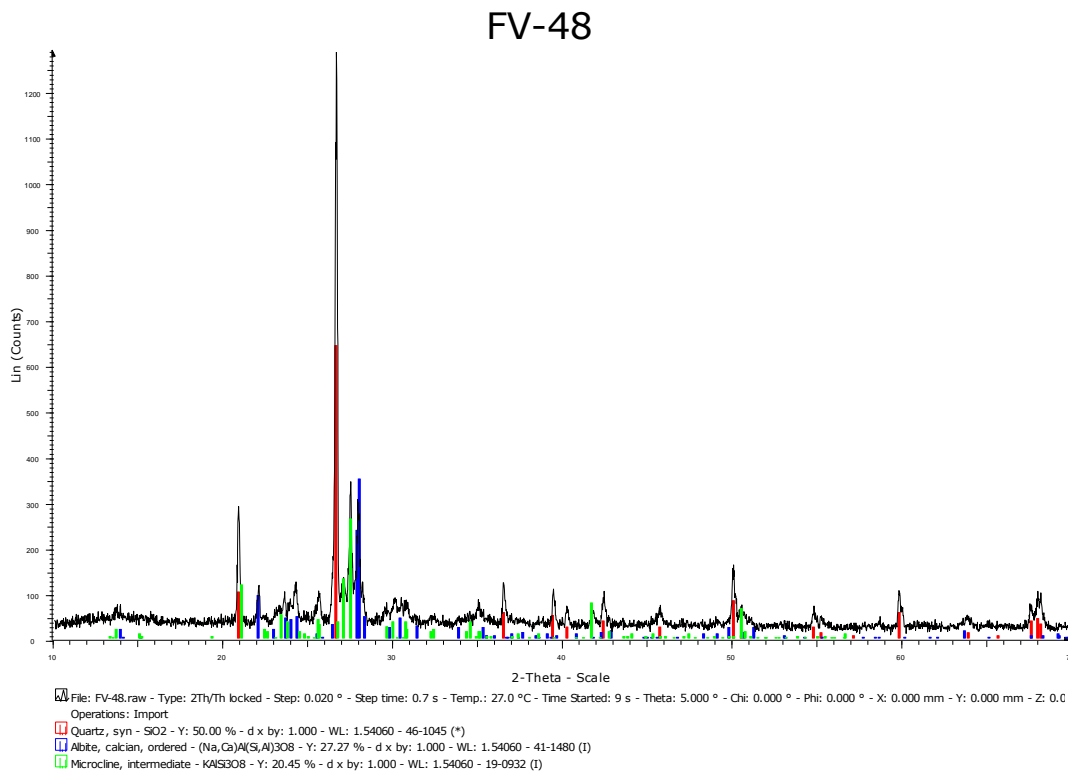


Fig.-66. Difractograma de la muestra FV-48

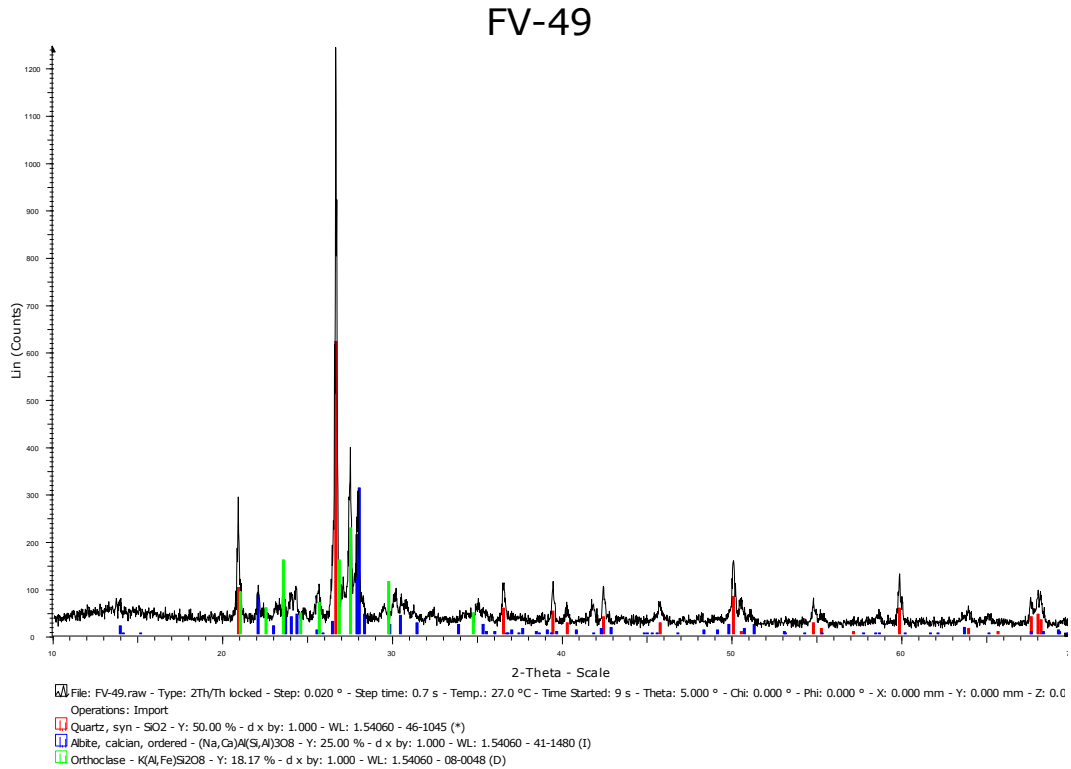


Fig.-67. Difractograma de la muestra FV-49

Grado de meteorización:

En esta sección se estableció una representación donde se establece el tipo y grado de meteorización, siendo estos muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto en cada una de las muestras representado a continuación:

Tabla 5-4. Representación del grado de meteorización en Ibagué

Muestras	Grado de meteorización	Muestras	Grado de meteorización
IB-01	alto	IB-09	bajo
IB-02	bajo	IB-10	medio
IB-04	medio	IB-12	medio
IB-05	medio	IB-13	muy bajo
IB-06	medio	IB-14	bajo
IB-07	bajo	IB-15	medio
IB-08	medio	IB-16	bajo

Tabla 5-5. Representación del grado de meteorización en Bucaramanga

Muestras	Grado de meteorización	Muestras	Grado de meteorización
FV-31	medio	FV-44	alto
FV-32	medio	FV-45	medio
FV-33	medio	FV-46	alto
FV-36	medio	FV-47	medio
FV-37	medio	FV-48	medio
FV-38	bajo	FV-49	alto
FV-39	bajo	FV-50	medio
FV-43	medio	FV-51	alto

Texturas predominantes:

Mediante las observaciones en el microscopio petrográfico fue posible establecer sus texturas predominantes vistas en cada una de ellas, cada una de ellas está representada a continuación (tabla 5-6 y 5-7):

En el caso de las muestras de Ibagué también fue establecida en la tabla 5-8 la representación de las texturas dominantes en sus muestras analizadas mostrándose a continuación:

Tabla 5-7. Representación de texturas dominantes en Ibagué

Muestras	Texturas dominantes	Muestras	Texturas dominantes
IB-01	Granofírica, equigranular	IB-09	Granolepidoblástica, bordes de reacción
IB-02	Granofírica, porfídica	IB-10	Zonación, granofírica, esferulita.
IB-04	Porfídica, vitrofírica, reabsorción	IB-12	Granofírica, Porfídica
IB-05	Granofírica, glomeroporfídica	IB-13	Porfídica, zonación, equigranular
IB-06	Mimerquítica, granofírica	IB-14	Equigranular, porfídica
IB-07	Porfídica	IB-15	Equigranular, granofírica,
IB-08	Porfídica, zonación, reabsorción, coronítica, esferulitas	IB-16	Zonación, glomeroporfídica, equigranular

Tabla 5-6. Representación de texturas dominantes en Bucaramanga

Muestras	Texturas dominantes	Muestras	Texturas dominantes
FV-31	Porfídica, Granofírica	FV-44	Porfídica
FV-32	Porfídica, Pertítica	FV-45	Granofírica
FV-33	Granolepidoblástica	FV-46	Granolepidoblástica
FV-36	Pertítica, Porfídica	FV-47	Granofírica
FV-37	Granofírica	FV-48	Granofírica, reabsorción.
FV-38	Porfídica, Granofírica	FV-49	Granofírica, reabsorción
FV-39	Granofírica	FV-50	Porfidoblástica
FV-43	Porfídica	FV-51	Granofírica, bordes de reacción, reabsorción

5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Representación litológica - bibliografía:

En este segmento se representarán cuadros donde serán visualizados algunos de los trabajos que coinciden con la clasificación litológica establecida en este trabajo, obtenidas mediante las observaciones petrológicas y de las muestras de cada una de las zonas. Con ello se quiere representar la información existente de las muestras en algunas bibliografías, asociadas a su litología en conjunto con sus edades geocronológicas.

- **Muestras de Bucaramanga:**

En este caso las muestras de Bucaramanga de las 16, unas 14 muestras presentan sus edades geocronológicas datadas por el método U- Pb en circón (ver tabla 5.5). Por lo tanto se tiene una edad certera asociada en la mayoría de las muestras. Según Amaya, S. (2012), expresa que en la zona se encuentran mayoritariamente rocas como gneis y anfibolita conformadas por biotitas o sillimanita. También refleja que existen leucosomas levemente foliados concordantes con los mesosomas de composición monzogranítica. Esta litología está directamente asociada a las muestras FV-31(monzogranito), FV-32 (monzogranito) y FV-47 (Monzogranito) presentes en la zona. Además, existen segmentos que presentan rocas meta-sedimentarias clasificadas como gneis que en nuestro caso podría ser clasificado como esquisto de acuerdo a la zona donde fue obtenida la muestra, aquí reportan un gneis cuarzo feldespático muestran que nosotros obtuvimos un esquisto cuarzo sericítico correspondiente a la muestra FV-33. En general en la zona algunas rocas presentan textura esquistosa y textura granoblástica.

Tabla 5-8. Representación litológica- bibliográfica de Bucaramanga

Muestra	Formación asociada	Clasificación litológica obtenida	Trabajos relacionados	Edad Geocronológica obtenida
FV-31	(*)Cuarzo monzonitas	Monzogranito	Amaya, S. (2012)	450-468ma Devónico
FV-32	(*)Cuarzo monzonitas	Monzogranito	Amaya, S. (2012)	450-468 ma Devónico
FV-33	Formación Tibet (Devónico inferior-medio)	Esquisto cuarzo sericitico	Amaya, S. (2012)	450-468ma Devónico
FV-36	Complejo Bucaramanga (precámbrico – Neoproterozoico)	Sienogranito	Ureña Suárez, C. L. (2014). López, I.; Zuluaga, C. & Tassinari, C. (2017).	450-468ma Devónico
FV-37	Complejo Bucaramanga (precámbrico – Neoproterozoico)	Sienogranito	Ureña Suárez, C. L. (2014). López, I.; Zuluaga, C. & Tassinari, C. (2017).	450-468 ma Devónico
FV-39	Complejo Bucaramanga (precámbrico – Neoproterozoico)	Sienogranito	Ureña Suárez, C. L. (2014). López, I.; Zuluaga, C. & Tassinari, C. (2017).	450-468 ma Devónico
FV-46	Ortoigneis de Berlin (Proterozoico Superior-Paleozoico inferior)	Augengneis Sienogranítico	No coincidente	450-468ma Devónico
FV-43	Complejo Bucaramanga (precámbrico – Neoproterozoico)	Sienogranito	Ureña Suárez, C. L. (2014). López, I.; Zuluaga, C. & Tassinari, C. (2017).	195-200 ma jurásico

Continuación...

FV-44	Cuarzo monzonita-granito (Jurásico temprano -tardío)	Brecha cataclástica	No coincidente	195-200 ma jurásico
FV-45	Complejo Bucaramanga (precámbrico - Neoproterozoico)	Aplita	No coincidente	195-200 ma Jurásico
FV-51	(*)Cuarzo monzonita	Toba félsica	No coincidente	193-204 Ma Jurásico
FV-48	(*)Cuarzo monzonita	Toba félsica	No coincidente	193-204 Ma jurásico
FV-49	(*)Cuarzo monzonita	Toba félsica	No coincidente	193-204 Ma Jurásico
FV-50	Cuarzo monzonita-granito (Jurásico temprano -tardío)	Cataclasita félsica	No coincidente	946 ± 40 Ma Neoproterozoico
FV-38	Complejo Bucaramanga (precámbrico - Neoproterozoico)	Sienogranito	Ureña Suárez, C. L. (2014). López, I.; Zuluaga, C. & Tassinari, C. (2017).	No determinada
FV-47	Cuarzo monzonita-granito (Jurásico temprano -tardío)	Tonalita	Amaya, S. (2012)	No determinada
(*)Cuarzo monzonitas: Cuarzo monzonitas rosadas y granitos gris de los batolitos de Río negro y Mogotes (Mesozoico-Triásico, Jurásico Temprano y Tardío)				

Otro autor que se lo refiere es Ureña, C. (2014), refleja que existe gran cantidad de rocas y estas cortan las rocas metamórficas sin una relación con la foliación, “algunas veces dan apariencia de xenolitos inmersos en las rocas monzograníticas”. Aquí expresa que presenta variaciones texturales y composicionales hasta dioritas y las rocas que estuvieron asociadas directamente con esta descripción fueron las FV-36 del Devónico, FV-37 del Devónico, FV-39 del Devónico, FV-43 del Jurásico, FV-47 sin edad y FV-38 sin edad determinada ya que el sienogranito es una variedad de composicional de esta relacionada directamente con la de rocas monzograníticas, donde su constitución en feldespatos y plagioclasas podría ser variante de acuerdo a la zona de la falla, las cuales en este caso varían en edades a pesar de su litología similar.

El resto de las rocas no son coincidentes con las reportadas en la bibliografía y en estos caso vale destacar que según Amaya, S. (2012) expone que "los estudios se han centrado en rocas del gneis de Bucaramanga y en esquistos y filitas de la formación Silgará, por lo tanto es probable que se puedan tener datos muy diferentes en otra zona del macizo de Santander, acerca de las condiciones de presión y temperatura...", además de otras litologías presentes en la zona. Ese trabajo se realizó en las zonas de Cepitá, San Joaquín y Mogotes que es la zona más cercana a donde están nuestras muestras, dejando abierto la posibilidad de encontrar otras litologías que contribuyan al aporte del conocimiento de la evolución tectono-metamórfica en la zona y posteriormente en la región.

- **Muestras de Ibagué:**

En el caso de la zona de Ibagué se tiene que dichas muestras no poseen edades geocronológicas asociadas a cada una de las rocas que permitan obtener un valor absoluto de la misma, por lo tanto se realizó una comparación de las rocas analizadas con las reportadas en la bibliografía (ver tabla 5.6). En muchos casos las rocas son coincidentes con las reportados en los trabajos de Núñez, A. *et al.*, (2001) que esta zona presenta rocas con mineralogía asociada a plagioclasas

(labradorita), piroxenos y magnetita en algunos, este autor expone que la roca dominante es un basalto andesítico de olivino y piogenita. La piogenita es un clinopiroxeno pobre en calcio, pero estos basaltos son terciarios y no se relacionan con rocas Jurásicas. Varios de estos basaltos poseen tendencia potásica con magma de composición intermedia a pesar de ser más jóvenes.

Las muestras IB-01(metatoba andesítica), IB-02(metalava andesítica), IB-04 (metalava andesítica) e IB-05 (metatoba andesítica), son típicas rocas orogénicas calco-alcalinas, siendo tobas y lavas intermedias a félsicas que no tienen olivino ni piroxenos. Debido a que la variación composicional en el batolito es variante no se pueden asociar tampoco a estas las rocas las muestras IB-07 (metatoba félsica cristalina), IB-08 (metalava dacítica) e IB-10 (toba félsica dacítica), a pesar de estar mencionadas en la literatura.

Tabla 5-9. Representación litológica- bibliográfica de Ibaque

Muestra	Formación asociada	Clasificación litológica obtenida	Trabajo relacionado	Edad Geocronológica obtenida	
IB-01	Batolito de Ibaque (Mesozoico- Jurásico temprano)	Metatoba andesítica	Núñez, A. <i>et al.</i> , (2001)	No determinada	
IB-02		Metalava andesítica	Núñez, A. <i>et al.</i> , (2001)		
IB-04		Metalava andesítica	Núñez, A. <i>et al.</i> , (2001)		
IB-05		Metatoba andesítica	Núñez, A. <i>et al.</i> , (2001)		
IB-06		Metatoba cataclástico	No coincidente		
IB-07		Metatoba félsica cristalina	Núñez, A. <i>et al.</i> , (2001)		
IB-08		Metalava dacítica	Núñez, A. <i>et al.</i> , (2001),		
IB-09		Esquisto Cuarzo-Biotítico	Gómez-Tapias, Jorge A. B. (1999)		
IB-10		Toba Félsica dacítica	Núñez, A. <i>et al.</i> , (2001)		
IB-12		Metadiabasa Porfídica	No coincidente		
IB-13		Cuarzo Diorita	Núñez, A. (1986)		
IB-14		Amfibolita	Rodríguez, G. <i>et al.</i> , (2017)		
IB-15		Cuarzo diorita (cataclástica)	Gómez-Tapias, Jorge A. B. (1999)		
IB-16		Cuarzo Diorita	Núñez, A. (1986)		
					Núñez, A. (1986)
					Rodríguez, G. <i>et al.</i> , (2017);

Por otra parte, también Núñez, A. (1986), en su trabajo indica que el batolito de Ibagué intruyen a las rocas metamórficas, sedimentarias y volcánicas más antiguas que este, donde su composición varía desde diorita hasta cuarzomonzonita. Este los representa en cuatro facies composicionales como cuarzdiorítica, granodiorítica, cuarzomonzonítica y diorítica, coincidiendo con las muestras IB-13 (cuarzo diorita), IB-15 (cuarzo diorita cataclástica) e IB 16 (cuarzo diorita) en nuestra clasificación litológica. En el caso de la IB-15 este autor refleja que dichas muestras se encuentran “marcadas por un fuerte cizallamiento”, la cual puede estar relacionada directamente con este muestra.

En el caso del autor Gómez-Tapias, Jorge A. B. (1999) expone en su trabajo que en la zona se observan gneis y anfibolitas, siendo estas de color oscuro a negro y frecuentemente masivas. Estas coinciden directamente con la muestra IB-14 (anfibolita) de la zona. Para el caso de la muestra IB-09 (esquisto cuarzo biotítico) coincide con el gneis cuarzo-biotítico que en nuestro caso es un esquisto. Ambas muestras están relacionadas directamente con el bandeamiento que podría ser variante de acuerdo a la zona donde se tomaron dichas muestras. Además, ellos reportan que esas muestras presentaban plagioclasas alteradas a sericita y biotitas alteradas a clorita, las cuales no fueron encontradas en nuestras muestras. Esto conlleva a que podrían encontrarse esquistos o gneis conformados principalmente de biotita y cuarzo con otros minerales minoritarios.

Para Rodríguez, G. *et al.*, (2017). Ellos coinciden que en la zona está constituida por gneis, esquistos, cuarcita y anfibolita. Reconocen que la presencia de metatonalitas y metagranodiorita con cuarzos policristalinos producto de recristalización metamórfica. Esta roca es coincidente con la muestra IB-16, IB-13 e IB-15 directamente. En nuestra clasificación se dedujo que son cuarzo dioritas donde el “meta” es atribuido directamente a su protolito, y que en nuestro caso la roca era muy fresca la cual no se le fue aplicada este prefijo, aunque la IB-15 se encuentra asociada directamente a la falla manteniendo la misma litología.

Finalmente la muestras IB-06 (Metatoba cataclástica) e IB-12 (Metadiabasa) no se encuentra expresadas en las bibliografías consultadas, pero es lógico que se tenga este tipo de rocas cataclásticas ya que las muestras fueron tomadas en la falla y esta es una roca metamórfica producto de la cizalladura y granulación por esfuerzos mecánicos. Por lo tanto esta acotación es un aporte en los futuros análisis en dicha zona ya que las fallas cortan todas las litologías y no solo se tiene rocas cataclásticas graníticas, si no de cualquier otro tipo litológico incluyendo rocas volcánicas.

Generalidades:

Basados en la petrogénesis y la verificación que se obtuvo a través de la DRX, se ha podido establecer que en ambas zonas dominan las rocas de composición andesítica-dacíticas.

Principalmente se obtuvo que en Ibagué el 50% de las rocas eran de origen volcánico, entre las que destacan mayoritariamente las tobas de composición andesítica con alta concentración de plagioclasas tipo andesina, el cuarzo y la sanidina algunas veces invertida a microclino, muestra gran presencia en esta zona pero generalmente en las rocas plutónicas y metamórficas. Los minerales maficos que se encontraron recurrentemente fueron la biotita y la hornblenda que en muchos casos estaban alteradas.

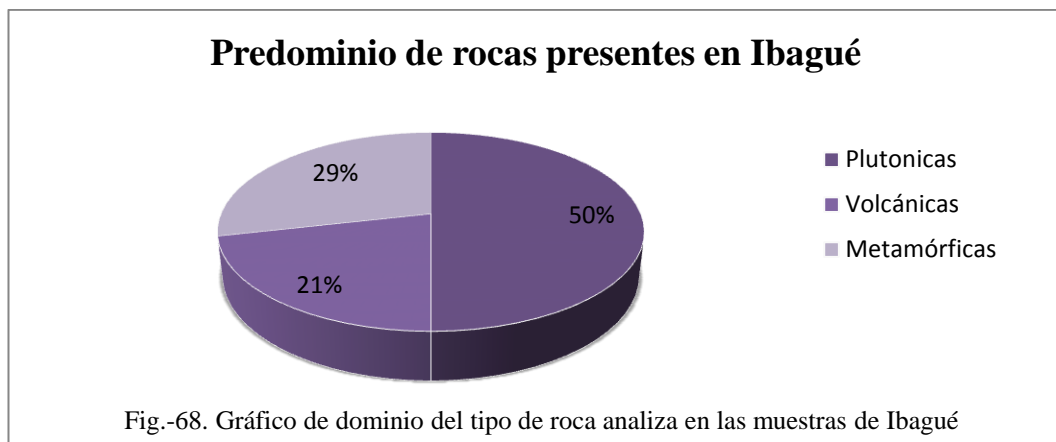
Las plagioclasas estaban muy alteradas a sericitas para su componente alcalino, pero su parte calcica así como la de la hornblenda se alteraron a epidoto, la biotita en el 90% de su presencia esta alterada a la clorita.

Se tiene que la zona de Ibagué a pesar de ser una región con metamorfismo regional y dinámico, solo se encontró el mineral prehnita en 3 muestras, que indican un metamorfismo de muy bajo grado, correspondiente con la facies de esquistos verdes y sin embargo, en esta facies no está presente este mineral. No hay presencia de otros minerales índices de metamorfismo, por lo tanto se atribuye la presencia de este mineral a procesos metamórficos donde se forma en

la matriz, debido a la alteración d otros minerales y no a asociados a sistemas de fallas o procesos hidrotermales ya que no aparece en vetas hidrotermales.

Tambien fueron visualizadas en 2 muestras la presencia de una matriz afanítica que fue completamente desvitrificada ya que no quedó nada de vídrio en ella, lo que indica un proceso de búsqueda de estabilidad por parte de la mineralogía, lo que atado a la presencia de epidotos y clorita productos de alteracion se obtuvo por medio de un proceso de hidrotermal.

Este predominio de rocas basadas en las muestras analizadas se muestra a continuación:



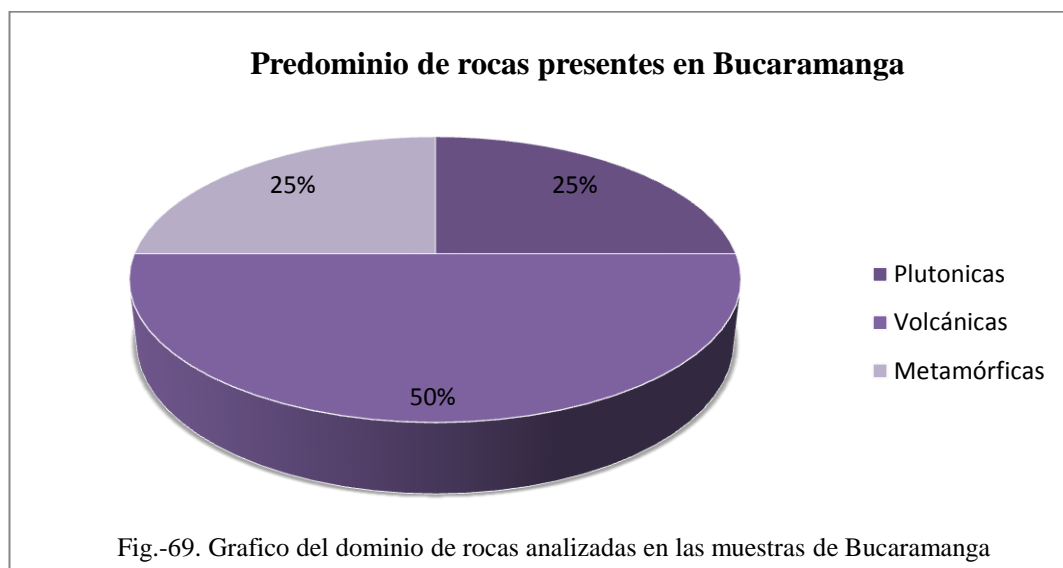
En las muestras analizadas de Bucaramanga se determinó que al igual que Ibagué, eran de composición riolítica, con gran presencia de cuarzo, sanidina y plagioclasas. La mayor presencia de la ortosa en estas muestras, respecto a las de Ibagué, condujo a que la litología encontrada corresponda en un 62,5 % a rocas sienograníticas y un 25% en rocas de composición monzagranítica. Los minerales máficos encontrados fueron la hornblenda y la biotita que generalmente estaban alterando a epidoto y clorita respectivamente.

Los feldespatos en esta región tienen muy poca alteración por sericita, lo que implica que las rocas están menos expuestas a los procesos meteorizantes, sin embargo la presencia de epidotos en la parte cálcica de las plagioclasas junto a la cloritización de hornblendas y biotitas. Hay en proceso al igual que Ibagué de alteración hidrotermal de las rocas plutónicas y volcánicas con muy poco

metamorfismo en la zona, inyectando los fluidos por los planos de fallas de los mismos produciendo poca alteración.

A diferencia de la región de Ibagué, en Bucaramanga se no se encontró ningún mineral a parte de la clorita y la hornblenda que dieran información acerca del grado de metamorfismo, ni alguno relacionado al metamorfismo dinámico, a pesar de estar presente 4 muestras que fueron descritas como cataclásticas.

Este predominio de rocas basadas en las muestras analizadas se muestra a continuación:



5.3.DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Basados en los resultados obtenidos en la descripción petrográfica y las demás observaciones se lograron establecer las petrogénesis de las muestras y establecer unas generalidades seccionadas en el siguiente apartado:

Petrogénesis:

Manteniendo las rocas vinculadas a la sección anterior y en base a sus similitudes petrológicas, permitió que se generaran las petrogénesis en función de cada grupo, para definir completamente las unidades litológicas presentes en ambas zonas de estudio.

- **Muestras de Ibagué:**

En general la relación composicional de minerales petrográficos fue establecida por grupos en los cuales fueron representados a continuación:

Tabla 5.10 Descripción petrográfica de las muestras de Ibagué

Grupo	Qz	Feld-K	Pl	Hb	Bt	Ms	Ph	Ep	Cir	Tn	Mt
Rocas andesíticas	10%		55-75%	25%	Tz	Tz	Tz	Tz			35%
Rocas félsicas	10%	20-30%	40-50%	20%	12%		Tz	Tz	Tz		25%
Metatoba Cataclástica	10%	30%	65%		20%		Tz	5%			
Esquisto czo-biotítico	45%	5%	15%		30%				Tz		
Cuarzo diorita	10%		55-65%	10%	15-25%					Tz	
Anfibolita	10%	10%	20%	30%	20%			Tz		8%	

Cuarzo diorita cataclástica	8%		65%	15%	15%		Tz	Tz			
Metadiabasa	10%	10%	65%	25%	5%		Tz	Tz	Tz		

Rocas volcánicas: son rocas típicas volcánicas separadas en dos grupos, las rocas andesíticas y las tobas félsicas.

- a. Rocas andesíticas:** este grupo de rocas está compuesto por las muestras IB-01 (metatoba andesítica), IB-02 (metalava andesítica), IB-04 (metalava andesítica) e IB-05 (metatoba andesítica), dado que todas fueron reconocidas como rocas de composición andesítica, lo que permite inferir que su origen fue similar.

Estas rocas son el producto de la cristalización de magma andesítico el cual posee una composición de sílice de entre el 52 % y 65 %, siendo un material de baja viscosidad, en comparación con los magmas riolíticos. Este tipo de magma cuyos componentes son generalmente las plagioclasas intermedias, los anfíboles y en menos proporción los feldespatos y micas son producto de la subducción de una placa oceánica, la cual se deshidrata y crea condiciones propicias para la fusión parcial de la cuña mantelar situada por debajo de una placa continental. El magma generado a principio tiene una composición basáltica, cuando se encuentra en la cuña mantelar debajo de la litósfera continental, a unos 100-150 km de profundidad, luego en su acenso hacia la superficie asimila las rocas de la corteza continental generalmente félsicas, lo que permite este adquiera una composición más rica en sílice y álcalis, que finalmente aumenta producto de la diferenciación magmática, para luego acumularse en cámaras magmáticas relativamente someras debajo de volcanes activos donde tuvo dos procesos de cristalización marcados. Uno donde se formaron los fenocristales de plagioclasa (andesina), hornblendas y biotita. Y otro donde el magma residual ya con mayor contenido en sílice permitió la formación de cuarzo y por un cambio brusco en la temperatura debido al

acenso del mismo terminó por englobar a los minerales en una matriz vítrea y microcristalina, que con el pasar de los millones años comenzó a desvitrificarse generando la textura granofírica que está presente hoy en día. La presencia de minerales como prehnita y moscovita, además de hornblenda y biotita cloritizadas indican que fueron metamorfizadas a muy bajo grado, en facies pre-esquistos verde.

- b. **Tobas félsicas:** en este grupo de rocas están englobadas las muestras IB-07 (metatoba félsica cristalina), IB-08 (metalava dacítica) e IB-10 (toba dacítica), ya que son rocas de grano muy fino, con fenocristales félsicos ligeramente de mayor tamaño a los de la matriz que alguna vez fue vítrea, ahora granofírica.

Estas rocas provienen de la cristalización de un magma andesítico que ha completado su proceso de diferenciación magmática, transformándose en un magma riolítico con una composición en sílice mayor al 65 % dentro de la caldera de volcanes activos, donde cristalizaron plagioclasa más sódica, hornblenda, sanidina y biotita como fenocristales hipidiomórficos, luego el cuarzo anhedral. Durante este proceso ocurre la reabsorción del cuarzo volcánico dentro del magma, generando vacuolas del mismo igualmente dentro de los cristales de cuarzo principalmente embahados. Eventualmente producto de una erupción volcánica explosiva, estos materiales fueron expulsados, lo que generó que quedaran encerrados en una matriz vítrea de cenizas volcánicas.

Más tarde con andar de las eras geológicas, el vidrio sufrió el proceso de desvitrificación hacia un granofiro. Finalmente aparecieron minerales como prehnita, epidoto y clorita por metamorfismo de muy bajo grado en facies pre-esquistos verde, en facies prehnita-pumpellyita

Rocas plutónicas: en esta selección de muestras están aquellas rocas que debido a su textura, se clasifican como plutónicas. Pero su parentesco termina allí pues presentan mineralogías diferentes, por lo que al igual que la petrografía, su

génesis será inferida por separado aunque esto implique que algunos conceptos se tornen repetitivos debido al origen común todas guardan.

- a. **Cuarzo-dioritas:** están englobadas las rocas de las muestras IB-13 (cuarzo diorita) y IB-16 (cuarzo diorita), muy similares mineralógicamente, aunque la muestra IB-16 posee presencia de titanita y menor proporción de plagioclasas.

Son el producto de la cristalización de magma andesítico, que se formó por la diferenciación magmática y contaminación cortical de un magma basáltico, que luego se acumuló en un cuerpo ígneo tipo batolito en una región profunda de la corteza continental, donde tuvo un enfriamiento lento y paulatino, que permitió la cristalización de cristales con caras bien definidas, como la andesina, la hornblenda, la titanita, el circón y la biotita, finalmente el fundido residual que se encontraba enriquecido en sílice, se transformó en cuarzo, el cual cristalizó en los espacios disponibles entre los cristales primarios. Con la aparición de la clorita como producto de alteración de biotita y los bordes albiticos en las plagioclasas de la metagranodiorita, se infirió que estas rocas sufrieron metamorfismo regional de bajo grado en la facies del esquisto verde.

- b. **Metadiabasa porfídica:** es la identificada como IB-12, proveniente de la cristalización de un magma andesítico, con una composición en sílice de entre el 50 % y 60 %, de baja viscosidad, en comparación con los magmas riolíticos. Está principalmente conformado por plagioclasas intermedias, con anfíboles y menos proporción en feldespatos, con micas. El magma generado inicialmente presenta una composición basáltica cuando se encuentra en la cuña mantelar, a unos 100-150 km de profundidad. Su ascenso permite que este adquiriera una composición más rica en sílice y álcalis, que finalmente aumenta producto de la diferenciación magmática, donde aumenta el producto de la diferenciación magmática haciéndolo acumular en la cámara magmática someramente debajo de volcanes donde se tiene dos procesos de cristalización marcados. En uno de ellos donde se

formaron los fenocristales de plagioclasa (andesina) en forma de porfido, hornblendas y biotita. Y en el otro magma con mayor contenido de sílice permitió la formación de cuarzo y por un cambio brusco en la temperatura producto del ascenso del mismo englobó a los minerales en una matriz vítrea y microcristalina. Los minerales como hornblenda y biotita cloritizadas indican que fueron metamorfizadas a muy bajo grado.

- c. **Cuarzo diorita cataclástica:** corresponde a la muestra IB-15 donde se tiene una roca félsica. Es el producto de la cristalización de magma andecítico, que se formó por la diferenciación magmática y contaminación cortical de un magma basáltico. Este fue acumulado en un cuerpo ígneo tipo batolito al igual que las anteriores en una región profunda de la corteza continental, allí este fue enfriado lento y progresivamente, permitiendo la cristalización de minerales con caras bien definidas, siendo uno de estos la andesina, la hornblenda, la titanita, el circón y la biotita. Posterior a ello, el fundido residual que se encontraba enriquecido en sílice fue transformado en cuarzo. Este cristalizó en los espacios disponibles entre los cristales primarios. Seguido de esto, hubo la aparición de la clorita como producto de alteración de biotita y los bordes albíticos en las plagioclasas. Esta roca fue sometida a metamorfismo dinámico de granulación de sus minerales conformantes por medio del movimiento de la falla en Ibagué las cuales les dieron su morfología actual. También posteriormente aparecieron minerales como la clorita, la prehnita y el epidoto, se infirió que estas rocas sufrieron metamorfismo regional de bajo grado consecuente de la facies de pre-esquisto verde.

Metamórficas regionales

- a. **Esquisto cuarzo biotítico con oligoclasa:** esta corresponde a la muestra IB-09, una roca foliada de textura granolepidoblástica, para la cual se interpreta la siguiente génesis. Para esta roca según la composición que presenta, se tiene que inicialmente era una roca

pelítica, una limolita que fue sometida un proceso de metamorfismo regional, que recrystalizó el cuarzo y los feldespatos y neomineralizó los minerales tipo arcillas a biotita. El metamorfismo fue de grado bajo, pues la roca presenta una textura granolepidoblástica, de bandas de cuarzo-feldespatos, con bandas de biotita producto de la foliación generada por los esfuerzos dirigidos y altas presiones a las que fue sometida la roca original, alcanzado la subfacies de la biotita, consecuente con la presencia de la biotita y la ausencia de minerales como el granate almandino, polimorfos del aluminio (Al_2SiO_5) y ortopiroxenos para indicar un mayor grado de metamorfismo.

- b. **Anfibolita:** correspondiente a la muestra IB-14, es una roca claramente metamórfica. Aunque no es posible saber su verdadero origen ya que esto se observa en su afloramiento, podrían ser diques máficos intrusionados en la corteza continental durante un evento extensional de tipo reto-arco, que posteriormente sufrió metamorfismo junto a su roca caja. También podría ser producto del metamorfismo de una roca ígnea de composición basáltica. Según la mineralogía que presenta se presume que se tenía una roca, como un basalto que debió pertenecer a un basamento de origen interoceánico, que debido al metamorfismo regional, los minerales alcanzaron nuevas fases de estabilidad en la que todos pudieran coexistir. La presencia de la plagioclasa y la hornblenda nematoblástica, son evidencia del metamorfismo de la facies de las anfibolitas y la titanita alterando es testigo relicto de su pasado ígneo.
- c. **Metatoba cataclástica:** corresponde a la muestra IB-06, donde se aprecia grandes fenocristales alotriomórficos, muy angulosos en una matriz cristalina. Según su composición esta roca proviene de un magma andesítico el cual posee una composición de sílice de entre el 52 % y 65 %, siendo un material de baja viscosidad, en

comparación con los magmas riolíticos, que ha completado su proceso de diferenciación magmática. Encontrándose dentro de la caldera de volcanes activos, donde cristalizaron plagioclasa más sódica, hornblenda, sanidina y biotita como fenocristales hipidiomórficos, luego el cuarzo anhedral. En el proceso ocurre la reabsorción del cuarzo volcánico dentro del magma, donde se generan vacuolas dentro de los cristales de cuarzo principalmente embahados. Producto de una erupción volcánica explosiva, estos materiales fueron expulsados generando que quedaran encerrados en una matriz vítrea de cenizas volcánicas. Posterior a ello, con el paso de las eras geológicas, el vidrio sufrió el proceso de desvitrificación hacia un granofiro. Durante el paso de las eras, la roca fue sometida a metamorfismo dinámico de granulación de sus minerales por medio del movimiento de la falla en Ibagué las cuales les dieron su morfología actual. También, durante este dinamismo aparecieron minerales como la clorita, la prehnita y el epidoto, se infirió que estas rocas sufrieron metamorfismo regional de bajo grado consecuente de la facies de pre-esquistos verde.

- **Muestras de Bucaramanga:**

En general la relación composicional de minerales petrográficos fue establecida por grupos en los cuales fueron representados a continuación:

Tabla 5.11 Descripción petrográfica de las muestras de Bucaramanga

Grupo	Qz	Feld-K	Pl	Hb	Bt	Ms	Aug	Ep	Cir	Mt
Rocas graníticas	20-30%	25-35%	20-25%	5-15%	15%	Tz	Tz			
Tobas félsicas	35%	20%	20%					Tz		55%
Esquisto czo-sericítico	45%	Tz	10%			30%			Tz	
Brecha Cataclástica	30%	25%	10%		15%	Tz		Tz	Tz	
Augengneis	30%	20%	10%		20%	15%		Tz		
Cataclasita félsica	45%	30%			15%	10%				
Sienogranito biotítico protocataclástico	25%	35%	15%	30%	20%			Tz	Tz	
Tonalita	50%		25%	12%	15%		Tz	Tz		
Aplita	30%	25%	25%	12%	15%	Tz	Tz			

Rocas ígneas

- a. **Sienogranitos:** abarcan las muestras FV-36 del devónico, FV-38 sin edad determinada, agrupadas por ser clasificadas como rocas tipo granito y con bajo índice de metamorfismo alguno.

Este grupo de rocas son el producto de la contaminación de un magma andesítico, que se originó por la subducción de la corteza oceánica por debajo de la corteza continental, pero que al ascender y absorber la corteza continental de composición félsica, fue aumentando su contenido en sílice y finalmente durante su ascenso a la superficie se tornó mucho más ácido, por diferenciación magmática, generando un magma riolítico con más del 65 % en sílice, el cual se acumuló en una masas ígnea debajo de antiguos

volcanes. Inicialmente cristalizó según la serie de Bowen el mineral augita que se encontró dentro de algunas hornblendas en la muestra FV-31 perteneciente al devónico, al tiempo que las plagioclasas y las hornblendas, con un magma mucho más rico en sílice y con temperaturas menores cristalizaron la biotita, la ortosa y la moscovita, como últimos cristales hipidiomórficos, ya que con el magma súper enriquecido en sílice, se cristalizó el cuarzo alotriomórfico en los espacios intersticiales. Generando el típico mosaico granítico de este grupo de rocas

- b. **Tonalita biotítico-hornbléndica alterada:** correspondiente a la muestra FV-47 la cual no tiene una edad determinada. Es una roca de composición félsica que se originó posiblemente cuando a través de la fusión parcial de un protolito máfico probablemente una roca basáltica situada en la base de la corteza. El basalto generado por la subducción se reprecipita debajo de la corteza continental debido a la mayor densidad de modo que queda atrapado en la raíz del orógeno formando una capa de rocas gabroides o eclogíticas, donde nuevos fluidos y magmas calientes producto de la subducción causan su fusión parcial para generar los magmas tonalíticos, con muy poco contenido en potasio. la biotita se encuentra alterando a clorita producto de metamorfismo hidrotermal, la hornblenda está alterando a biotita alteración que se denomina deutérica, producto de la acción de fluidos acuosos residuales de la cristalización
- c. **Aplita (dique de aplita):** Corresponde a la muestra FV-45 del jurásico, siendo una roca félsica de grano fino, con los minerales propios del granito. Esta roca fue originada cuando un magma riolítico, en una cámara magmática se encontraba en su etapa final de enfriamiento. La temperatura se encontraba bajando rápidamente lo que permitió la cristalización de los minerales como la biotita, el microclino. La albita y la moscovita, como minerales hipidiomórficos y el cuarzo alotriomórfico en los espacios disponibles entre los minerales primarios, pero como la velocidad de nucleación del magma se mantenía constante, esto generó la aparición de

muchos núcleos minerales, generando un complejo microcristalino de composición granítica. Más tarde por la presencia de la biotita alterando a clorita, se infiere que la roca está sometida a un metamorfismo de bajo grado o más probablemente, a alteración hidrotermal en la zona de falla asociada. También podría decirse que esta aplita podría estar formando uno o varios diques o segregaciones asociadas a los contactos de los granitos los cuales solo podríamos conformar en la visita a este afloramiento.

Metamórficas regionales:

Metapelita: solo esta representada por el esquisto de la muestra FV-33 (Esquisto cuarzo sericítico cataclástico) del devónico, que es una roca foliada, donde la mica relacionada es la sericita. Según la mineralogía que posee se establece que proviene de un protolito sedimentario, una arenisca con poco material arcilloso, que una vez terminado su proceso de litificación comenzó un proceso de metamorfismo que hizo que se movilaran sus componentes asumiendo una disposición más estable de los mismos (cuarzo, plagioclasa sódica, moscovita y feldespato potásico) en forma de bandas alargadas.

Ello fue generado a temperaturas medias y presiones medias a altas en la facies de los esquistos verdes dentro de la corteza continental. Luego por medio de un esfuerzo dinámico de la falla de Bucaramanga, estos recién cristalizados minerales fueron triturados, generando la textura cataclástica que presentan hoy en día. Varios minerales estables conservaron su forma de cristalización y otros fueron deformados y se alteraron en formando sericita que junto a los tectosilicatos forma la textura principal de la roca (granolepidoblástica), para su foliación final.

Metaígneas: están divididas en dos grupos de muestras las FV-31 y FV-32 que son gneis sienograníticos y las muestras FV-48, FV-49 y FV-51 las primeras de edades devónicas y estas últimas de edades jurásicas.

- a. **Ortogneis sienograníticos:** son rocas granitoides de edad devónica, correspondiente a las muestras FV-31 y FV-32, clasificadas como ortogneis biotítico-hornblendico. Con un origen idéntico a los sienogranitos descritos anteriormente, puesto que ambos grupos de rocas son de la misma edad y con igual composición, lo que sucede es que estas muestras a diferencia de las anteriores han sufrido metamorfismo de la facies de la anfibolita, como queda demostrado en la muestra FV-31 donde la hornblenda fue producto de la alteración de augita relictas de la roca ígnea, lo que implica que la hornblenda presente en este grupo de rocas es de origen metamórfico y no ígneo. También existe otra posibilidad de que la augita y el ortopiroxeno presentes en la roca puedan ser relictas de la fusión parcial de rocas fuentes granulíticas de la raíz de la corteza continental, que solo es posible determinar con un análisis isotópico.
- b. **Metatobas félsicas desvitrificadas:** en este grupo de rocas están las muestras FV-48, FV-49 y FV-51, todas rocas volcánicas con edades jurásicas de composición félsica, que se originaron en la finalización de los procesos ígneos anteriores. Inicialmente se tenía un magma riolítico que se encontraba en una cámara magmática de unos o varios volcanes activos donde primero habían cristalizado como fenocristales hipidiomórficos la hornblenda, la biotita y el microclino, luego con el descender de la temperatura se formó la sanidina y la albita, mayormente en microcristales, con el magma saturado en sílice solo continuo la formación de cuarzo que durante este proceso ocurre la reabsorción del mismo dentro del magma, generando vacuolas del mismo igualmente dentro de los cristales de cuarzo principalmente embahados, además que por contener espacio, pudo desarrollar algunas caras cristalinas, luego hubo una erupción volcánica lo que hizo que el material remanente se transformara en vidrio volcánico, finalmente los cristales quedaron envueltos en una matriz de vidrio y de ceniza volcánicas que se depositaba y cementada entre ellos. Con el pasar del tiempo geológico, la matriz

vítrea inicio el proceso de desvitrificación, generando el granofiro que se observa actualmente, debido a procesos metamórficos o de alteración hidrotermal fue producida la sericita y la biotita que se alteró a clorita, lo que implica un evento de bajo grado.

Metamórficas Cataclásticas:

Cataclásticas: incluye las rocas que han sufrido el evidente metamorfismo cataclástico producido por la falla de Bucaramanga, a pesar que la edad de su génesis ígnea es muy discordante, ya que abarca rocas desde el neoproterozoico, devónico y el jurásico, cuya petrogénesis al igual que la petrografía, deben ser descritas por separados, ya que tienen minerales y texturas diferentes.

- a. **Cataclasita félsica:** correspondiente a la muestra FV-50 de edad Neoproterozoico de 950 Ma, de modo que posiblemente corresponda al basamento precámbrico de la zona, y a la unidad denominada gneis de Bucaramanga. La roca de composición granítica, es producto de la deformación generada por el metamorfismo de dinámico que genera la falla de Bucaramanga, en uno u varios momentos del tiempo geológico. Sus cristales han sufrido una intensa deformación y recristalización debido a las grandes fricciones sufridas en profundidad, que termino en la generación de grandes cristales angulosos embebidos en una matriz fina, al tiempo que minerales como las biotitas se cloritizaban y las plagioclasas se alteraban a micas blancas, producto del metamorfismo hidrotermal, quizás simultaneo a la activación de la falla de Bucaramanga, ya que los fluidos hidrotermales suelen percolar por los planos de fallas.

- b. **Brecha cataclástica de monzogranito:** corresponde a la muestra FV-44 de edad jurásica, la cual es una roca con una mineralogía granítica. Inicialmente era una roca que cristalizó de un magma riolítico, en un cuerpo ígneo tipo batolito, en la orogénesis andina como las otras rocas ígneas plutónicas encontradas en la región. Una vez cristalizada la roca, fue sometida a grandes esfuerzos dinámicos, generados por la falla de Bucaramanga, donde los minerales fueron triturados, permitiendo la deformación de estos y su recristalización, en granos angulosos tamaño brecha, encerrándolos en una matriz mucho más fina, la cual es más susceptible a la alteración, en la cual se aprecia la biotita alterando a clorita y las plagioclasas a epidoto, lo que implica que la roca está sufriendo nuevas transformaciones producto de la actividad hidrotermal de baja temperatura, causada por fluidos que se infiltraron a través de los planos de falla.
- c. **Sienogranitos protocataclásticos:** corresponden a las muestras FV-37 del devónico, FV-39 del devónico y FV-43 del jurásico, las cuales tienen composición sienogranítica en los cristales angulosos que están presente en más del 70 %, debido a la actividad de la falla de Bucaramanga a través del tiempo geológico. Estas son rocas que debido a su mineralogía, se infiere que tuvieron un protolito ígneo, con un origen similar al descrito en la génesis de las rocas metasienograníticas en este mismo capítulo, pero que debido al metamorfismo dinámico producido por la falla de Bucaramanga, sus componentes minerales se observan triturados y recristalizados, en medio de una matriz microcristalina, formada por los fragmentos de menor tamaño, producto de la trituración cataclástica que sufrió la roca, que con la incipiente alteración de la biotita en clorita, se interpreta que está entrando en una nueva ventana del metamorfismo hidrotermal.

Milonita: correspondiente a la muestra FV-46 el Augengneis sienogranítico (milonita) de composición félsica, con edad devónica, por lo que tuvo un pasado ígneo compartido con las rocas metasienograníticas y los ortogneis metasienograníticos, por lo que su protolito ígneo era muy similar que fue sometida a un proceso de metamorfismo dinámico generado por la falla de Bucaramanga, produciendo la recristalización de sus minerales. La sericitización se produjo durante la cataclasis, por alteración de los feldespatos, y en parte de la mica original de la roca granítica.

Fallas:

En ambas zonas de estudio las muestras fueron tomadas en las fallas principales. Para cada una de las muestras se observaron sus texturas que unidas a la mineralogía y a la geología estructural ya preestablecida en cada una de las zonas expuesto en parte de los trabajos de Nuñez, A. (1986) y Ureña, C. y Zuloaga, C. (2011), entre otros, en cada una de las zonas puede indicarse:

- a) En la región de Bucaramanga según Cuéllar, M. *et al.*,(2012), en su análisis estructural del segmento Bucaramanga del sistema de fallas de Bucaramanga (SFB) entre los municipios de Pailitas y Curumaní, Cesar-Colombia, interpretaron un sistema de fallas inversas de ángulo alto de componente lateral izquierdo. Estas muestras fueron tomadas en el lado este y en la traza de la falla principal donde las rocas que están en contacto y aflorando. En esta zona se tienen rocas plutónicas típicas con texturas de cristalización convencionales, con volcánicas tipo tobas y cataclásticas que se encuentran muy cerca de la traza de la falla, por lo que se infiere que en el lado oeste de la fallas el predominio de las rocas volcánicas, debido a esto, se puede presumir que el bloque este de la falla se halla más levantado por poner en contacto rocas de génesis profunda con volcánicas de origen superficial, dado que no toda falla rumbo-deslizante es

completamente transcurrente, lo que lleva a determinar que el bloque este de la falla de Bucaramanga es el bloque techo de la componente inversa de la falla en esa zona.

- b) En la región de Ibagué según Montes, N. *et al.*, (2005), en su interpretación morfotectónica de la falla de Ibagué para su caracterización paleosismológica, se estableció la misma como una estructura transcurrente dextral. Nuestras rocas fueron tomadas en ambos lados de la falla principal en el noreste y suroeste respectivamente. Es notable que dicha región posee gran complejidad dado que en ambos lados las rocas plutónicas están en cercanía de rocas volcánicas e incluso de algunas metamórficas. En este caso, se podría indicar que al no tener todas las edades de las rocas, la caracterización petrológica no es suficiente para interpretar el levantamiento diferencial de alguno de los bloques en la zona donde fueron tomadas dichas muestras.

En general, fue posible caracterizar las muestras de rocas ígneo- metamórficas de Bucaramanga e Ibagué aplicándole análisis petrográficos y geoquímico como el de DRX y establecer similitudes y diferencias composicionales entre ambos sistemas de fallas. Estas fallas fueron caracterizadas por sus texturas predominantes, se compararon con la bibliografía de cada una de las zonas acompañado del análisis de DRX el cual arrojó una certera y verificada de algunas muestras que presentaban una matriz un poco complicada. También fue establecido el tipo de meteorización presente en cada una de las muestras y su predominante.

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Basados en nuestros objetivos planteados y resultados obtenidos se llegaron a diversas conclusiones presentadas a continuación.

6.1. CONCLUSIONES

- Fue posible clasificar las distintas muestras ígneo-metamórficas pertenecientes a la terminación sur de la falla de Bucaramanga obteniéndose monzogranitos (FV-31 y 32), esquistos cuarzo sericítico (FV-33), sienogranitos (FV-36, FV-37, FV-38, FV-39 y FV-43), brecha cataclástica (FV-44), aplita (FV-45), augengneis sienogranítico (FV-46), tonalita biotítica- hornbléndica (FV-47), toba félsicas (FV-48,49 y 51) y cataclasita félsica (FV-50). Así, al sector central de la falla de Ibagué le fue posible la clasificación de las distintas muestras ígneo- metamórficas como metatoba andesítica (IB-01), metalava andesítica (IB-02 e IB-04), metatoba andesítica (IB-05), metatoba cataclástica (IB-06), metatoba félsica cristalina (IB-07), metalava dacítica (IB-08), esquistos cuarzo-biotítico con oligoclasa (IB-09), toba félsica dacítica (IB-10), metadiabasa porfídica (IB-12), cuarzo dioritas (IB-13 e IB-16), anfibolita (IB-14) y cuarzo diorita cataclástica (IB-15). Esto fue posible mediante el uso del microscopio petrográfico y observaciones en las muestras de mano.
- Se identificaron las características texturales en las muestras analizadas, que unidas a la mineralogía y a la geología estructural de la zona se puede indicar:

- a) En la región de Bucaramanga las muestras fueron tomadas en el lado este de la falla donde las rocas se tienen en contacto y aflorando, con rocas plutónicas y texturas de cristalización convencionales, con volcánicas y cataclásticas que se encuentran muy cerca de la traza de la falla. Aquí se infiere que en el sector oeste de la falla predominan las rocas volcánicas, debido a esto se puede relacionar que el bloque este de la falla se halla más levantado por poner en contacto rocas de génesis profunda con volcánicas de origen superficial, dado que no toda falla rumbo-deslizante es completamente transcurrente, se teoriza que el bloque este de la falla de Bucaramanga es el bloque techo de la componente inversa de la falla. Seguidamente, fueron encontradas características texturales predominante para Bucaramanga como la granofírica (FV-31, FV-37, FV-38, FV-39, FV-45, FV-47, FV-48, FV-49 y FV-51), porfídica (FV-31, FV-32, FV-36, FV-38, FV-43 y FV-44), reabsorción (FV-48, FV-49 y FV-51), bordes de reacción (FV-51). Además textura peritítica en las muestras FV-32 y FV-36, indicando soluciones sólidas en el momento de la cristalización siendo poco miscibles al disminuir la temperatura; textura granolepidoblástica en la muestra FV-33 y FV-46 y porfidoblástica en roca foliada FV-50 determinando dos etapas de cristalización, una rápida y otra mucho más rápida.
- b) En la región de Ibagué se tiene que las rocas fueron tomadas en ambos lados de la falla en el noreste y suroeste respectivamente, pero la región presenta gran complejidad dado que en ambos lados, las rocas plutónicas están en cercanía de rocas volcánicas e incluso de algunas metamórficas, por lo que se podría interpretar que la falla de Ibagué es mayormente rumbo-deslizante por lo que a través de la caracterización petrológica no se puede interpretar el levantamiento diferencial de alguno de los bloques. En Ibagué existe textura granofírica en las muestras (IB-01, IB-02, IB-05, IB-06, IB-10, IB-12 e IB-15) indicando un ritmo de enfriamiento relativamente lento; textura porfídicas en las muestras IB-02, IB-04, IB-07, IB-08, IB-12, IB-13 e IB-14 estableciendo dos etapas de enfriamiento,

una rápida y otra muy rápida; textura glomeroporfídica de minerales en las muestras IB-05 e IB-16 indicando una baja viscosidad del magma permitiendo la separación de los cristales permitiendo el contacto mutuo entre ellos; reabsorción en las muestras IB-04 e IB-08, por procesos metamórficos producidos entre minerales; zonación en las muestras IB-08, IB-10, IB-13 e IB-16 implicando una alternancia química determinando una pauta lógica en la cristalización progresiva mientras disminuye la temperatura; textura equigranular en las muestras IB-01, IB-13, IB-14, IB-15 e IB-16 indicando un enfriamiento en una sola etapa de los cristales. También se observó la textura vitrofírica (IB-04) y textura esferulítica en las muestras IB-08 e IB-10, indicando un enfriamiento donde no se alcanza a nuclear los cristales solidificándose desordenadamente; textura de corona (IB-08) estableciendo un desequilibrio o indicando una reacción sin completarse producto del reemplazamiento del mineral que se encuentra en el centro de la corona; bordes de reacción muy visibles en la IB-09 mediante fluidos que atacan al cristal siendo en este caso circón o reacción del cristal con el medio donde está en contacto; textura mirmequítica (IB-06) asociadas directamente a la deformación y texturas granolepidoblástica en las rocas IB-09 reorganización de los minerales presentes por medio del metamorfismo para Ibagué.

En general en ambas fallas basadas en las muestras analizadas, donde sus texturas predominantes fueron las granofírica seguida de la porfídica por el predominio de las rocas volcánicas en las muestras.

- Se efectuó el análisis de DRX en 10 muestras seleccionadas, siendo estas las IB-04, IB-08, IB-10, IB-14, FV-32, FV-33, FV-37, FV-45, FV-48 y FV-49, determinando su mineralogía mayoritaria y obteniéndose una certera y verificada en su composición mineralógica ya que en algunos casos estos cristales que conformaban la matriz de las rocas eran de tamaño no visible con el objetivo de máximo aumento del microscopio petrográfico.

- Fue posible realizar la comparación de las muestras analizadas junto a las reportadas en la bibliografía basada principalmente en las litologías determinadas asociadas a las muestras que fue posible determinar sus edades geocronológicas:
 - a) Para el caso de Ibagué, no se cuenta con edades geocronológicas para realizar las comparaciones de las muestras. También, se encontraron algunas muestras que no fueron reportadas o coincidentes dentro de las bibliografías consultadas y entre ellas se tienen la IB-06 (metatoba cataclástica) y la IB-12 (metadiabasa porfídica). Las muestras IB-09 (esquisto cuarzo biotítico), e IB-15 (cuarzo diorita cataclástica), es posible establecer que dichas muestras tengan un ligero cambio de mineralogía de acuerdo al lugar donde estas sean tomadas estableciendo otro nombre a su clasificación litológica y ubicándolas con otro nombre del triángulo de clasificación de Streckeisen empleado para tal fin, ya que la zona se encuentra muy tectonizada y fallada siendo asociadas a las trabajos realizados por Núñez (1986) y Gómez-Tapias, Jorge A. B. (1999) . En general el resto de las muestras (IB-01, 02, 04, 05, 07, 08, 10, 13, 14 y 16) en su clasificación fue coincidente con las reportadas en los trabajos de Núñez, A. *et al.*, (2001), Nuñez, A. (1986), Gómez-Tapias, Jorge A. B. (1999), y Rodríguez, G. *et al.*, (2017).
 - b) En Bucaramanga fue visible una cantidad de muestras que eran coincidentes con la bibliografía, entre estas se encuentra la FV-31 (Monzogranito), FV-32 (Monzogranito), FV-33 (Esquisto cuarzo sercítico) y FV-47 (Tonalita biotítica hornblendica), FV-36, 37, 39 y 43 (Sienogranitos), ellas se encuentran reportadas en el trabajo realizado por Amaya, S. (2012), López, I.; Zuluaga, C. & Tassinari, C. (2017) y Ureña Suárez, C. L. (2014). El estar ubicado en un complejo es posible que dichas muestras presenten cambios litológicos a pocos

metros de distancia cambiando parcialmente la composición mineralógica en algunas muestras siendo el caso de los sienogranitos encontrados ya que su contenido mineralógico es muy parecido a los de los monzogranitos. También, es posible que además de estas rocas se encuentren otras que no fueron clasificadas con anterioridad debido a la complejidad de la zona. Seguido de esto, la mayoría de las edades de las muestras analizadas no fueron coincidentes con las reportadas en la bibliografía pero si se encuentran relacionadas a las edades reportada en el Complejo de Bucaramanga y las Cuarzo monzonita-granitos del lugar, es posible que al estar presentar diversidad de rocas ígneas, metamórficas y hasta de origen sedimentario es posible que dicha es de gran complejidad y sus edades no fueron concurrentes.

- Se estableció el tipo y grado de meteorización en ambas zonas de las fallas analizadas en Ibagué con predominancia media-bajo. Mientras que en Bucaramanga el tipo y grado de meteorización predominante fue de media en las muestras analizadas. En este caso no se cuentan con gran cantidad de minerales supergénicos que indiquen certeramente la visión evolutiva de la zona.

6.2.RECOMENDACIONES

- Obtener un mayor financiamiento bien sea de una empresa o universidad para aplicar otros ensayos (Geoquímicos- Geológicos) como la FRX, huellas de fisión, termobarimetría y determinar los minerales trazas en cada una de las muestras analizadas.
- Relacionar estos segmentos correspondientes a las fallas de Ibagué y Bucaramanga con otros significativas y presentes en la geografía venezolana como la falla de Boconó.
- Realizar ensayos para determinación de edades geocronológicas U-Pb en las muestras de Ibagué para obtener una comparación directa con la establecida en la bibliografía reportada.
- Efectuar un mayor muestreo de cada zona para tener mayor información relacionada.
- Realizar el trabajo de campo para recolección de muestras y observaciones de los esfuerzos, cambio litológico significativo y otros detalles que suelen ser visibles en el mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaya Ferreira, S. (2012). *Caracterización petrográfica y petrológica de las migmatitas del Neis de Bucaramanga, en el Macizo de Santander, departamentos de Norte de Santander y Santander* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia)
- Baamonde, J. (2007), *Petrología*. Universidad Central de Venezuela. PDVSA-Intevep.
- Busch, R. M., & Tasa, D. G. (2014). *Laboratory manual in physical geology*. Pearson Higher Ed.
- Cárdenas, M. A. C., Isaza, J. A. L., Naranjo, J. A. O., & Lombana, E. J. C. (2012). *Análisis estructural del segmento Bucaramanga del Sistema de Fallas de Bucaramanga (sfb) entre los municipios de Pailitas y Curumaní, Cesar-Colombia. Boletín de Geología, 34(2)*.
- Castro, A. (2015) "Petrografía de Rocas ígneas y metamórficas". Libro en línea. Disponible en : https://books.google.co.ve/books?id=3P_rBgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=petrograf%C3%ADa&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj9YnZtIbYAhXDRiYKHe7ABIIQ6AEIJjAA#v=onepage&q=petrograf%C3%ADa&f=false Consultado, diciembre 08 del 2017
- Cediel, F., (1969). Geología del Macizo de Floresta. *Primer Congreso Colombiano de Geología*. Memoria,: 17-29. Bogotá.
- Dorado, A. C. (1989). *Petrografía básica: texturas, clasificación y nomenclatura de rocas*. Madrid, España, Paraninfo.
- Etayo, F. , (1983). Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia. *Publicaciones Geológicas Especiales Ingeominas, (14-I) : 1- 235* Bogotá.
- Grande, S. (2012). Petrología de las rocas de alto grado metamórfico presentes en el noroccidente de Venezuela.(Tesis de Maestría). Universidad Central de Venezuela.
- GRANDE S. & F. URBANI. 2009. Presence of a high grade basement, of probable grenvillian affinity, in NW Venezuela. Geological Society, London, Special Publication, 328: 533-548.
- Gansser, A. (1955). Ein Beitrag zur Geologie und Petrographie der Sierra Nevada de Santa Marta (Kolumbien, Sudamerika). Schweizer. *Mineralog. u. Petrog., Mitt.*, 35 (2) : 209-279. Zürich.
- Gómez, A. B. & Jorge Gómez Tapias (1999). *Estudio geológico estructural de la Falla OTU Pericos al W de la ciudad de Ibagué* (Tesis Doctoral), Universidad de Caldas, Manizales.

Goldsmith, R., Marvin, R. F., & Mehnert, H. H. (1971). Radiometric ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. *U.S. Geological Survey Professional Paper* (750): 44-49. Washington.

LA, R. Y. S. A. (2016). *Realización de estudios petrográficos*. México D.F., México: Comisión Federal de electricidad.

López, J. P., & Bellos, L. I. (2006). *Texturas y estructuras de las rocas ígneas: significado petrológico e implicancias en las condiciones de formación de las rocas*. *INSUGEO. Miscelánea*, 15: 7-57

López, I.; Zuluaga, C. & Tassinari, C. (2017). Evidencias petrográficas de mezclas e hibridación de magmas en la cuarzomonzonita de Santa Bárbara, Macizo de Santander. In *XVI Congreso colombiano de geología, III simposio de exploradores, Geología, Sociedad y Territorio*.

Montes, N., Velandia, F., & Osorio, J. (2005). Interpretación morfotectónica de la falla Ibagué para su caracterización paleosismológica. *Boletín de Geología*, 27(1).

Montes, N.; Velandia, F.; Osorio, J.; Audemard, F. y Diederix, H. (2005). “ Interpretación morfotectónica de la falla de Ibagué para su caracterización Paleosismológica”, *Boletín de Geología*. 27(44), 95-114

Núñez, A (1986). Petrogénesis del batolito de Ibagué, II Congreso Colombiano de Geología. *Revista Ingeominas*. (15) 35-45

Núñez, A., Gómez, J., & Rodríguez, G. (2001). Vulcanismo Básico al sureste de la Ciudad de Ibagué, Departamento del Tolima, Colombia. In *VIII Congreso colombiano de geología, V Conferencia colombiana de geología ambiental, Manizales, Colombia*.

Press, F. y Siever, R. (1999). *Understanding Earth. Second edition*. Freeman. New York.

Reyes, C. (2006). *Apuntes de Petrografía y Petrología ígneas*. Facultad de Ingeniería: Universidad Autónoma de México.

Ríos, C.; García, C. y Takasú, A. (2003). “Tectono-metamorphic evolution of the Silgará Formation metamorphic rocks in the southwestern Santander Massif, Colombian Andes”. *Journal of South American Earth Sciences*. 16: 133-154

Rodríguez, G.; Obando, G.; Correa, A.; Zapata, G.; Obando, M. ; Rincón, A. & Zapata, J. (2017). “ Redefinición del bloque norte del Batolito de Ibagué con base en nuevos datos de petrografía, litogeoquímica y geocronología U-Pb”, Paper, Petrografía y Geoquímica. Disponible en : https://www.researchgate.net/publication/320065696_Redefinicion_del_bloque_n

orte_del_Batolito_de_Ibague_con_base_en_nuevos_datos_de_petrografia_litogeo
quimica_y_geocronologia_U-Pb . Consultado, diciembre 05 del 2017

Royero, J. y Clavido, J. (2001). “Mapa geológico generalizado, Departamento de Santander”. *Memoria explicativa, Instituto de investigación e información Geocientífica.*. Escala 1:400.000. Santander, Colombia

Suarez, C. L. U., & Castrillon, C. A. Z. (2011). Petrografía del gneis de Bucaramanga en cercanías a Cepitá, Berlín y Vetas–Santander. *Geología Colombiana*, 36 (1), 37-55.

Streckeisen, A. (1967). Classification and nomenclature of igneous rocks. Final report of an inquiry. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*, 107: 144-204

Tschanz, C. M., Jimeno, A., & Vesga, C. (1969). Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta área Colombia. *Ingeominas. Informe 1829*. Preliminary report, 288 p. Bogotá.

Ureña Suárez, C. L. (2014). *Metamorfismo, exhumación y termocronología del Gneis de Bucaramanga. Macizo de Santander, Colombia* (Tesis Doctoral) Universidad Nacional de Colombia.

Ward, W., et al., (1970). Recursos minerales de parte de los departamentos de Norte de Santander y Santander. *Ingeominas. Boletín Geológico*. Vol. XVIII,. (3): 1-140.

Williams, H., Turner, F. J., & Gilbert, C. M. (1982). *Petrography: An introduction to the study of rocks in thin section*. WH Freeman and Company, San Francisco: 626 p.

ANEXOS

ANEXO A

Fotografías de los testigos de las muestras analizadas de Ibagué

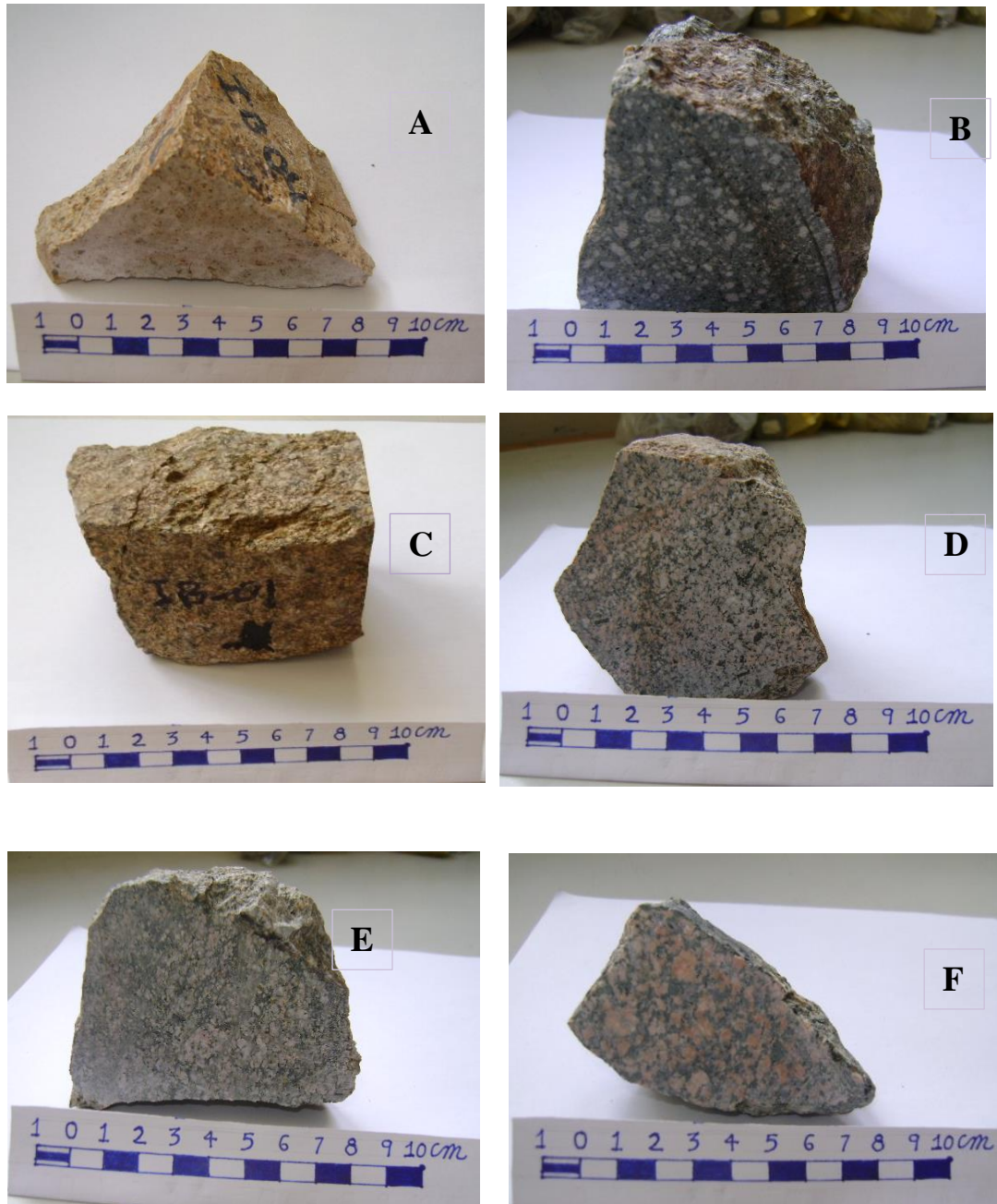


Fig. -65. A) Muestras IB-01: Metatoba andesítica. B) Muestra IB-02: Metalava andesítica. C) Muestra IB-04: Metalava andesítica. D) Muestras IB-05: Metatoba andesítica. E) Muestra IB-06: Metatoba Cataclástica. F) Muestra IB-07: Metatoba félsica cristalina

Fotografías de los testigos de las muestras analizadas de Ibagué

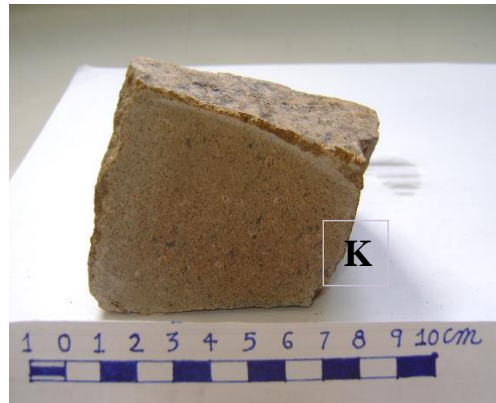


Fig. -66. G) Muestras IB-08: Metalava dasítica H) Muestra IB-09: Esquisto Cuarzo-Biotítico con oligoclasa. I) Muestra IB-10: Toba Félsica dasítica. J) Muestras IB-12: Metadiabasa. K) Muestra IB-13: Cuarzo diorita L) Muestra IB-14: Anfibolita.

Fotografías de los testigos de las muestras analizadas de Ibagué

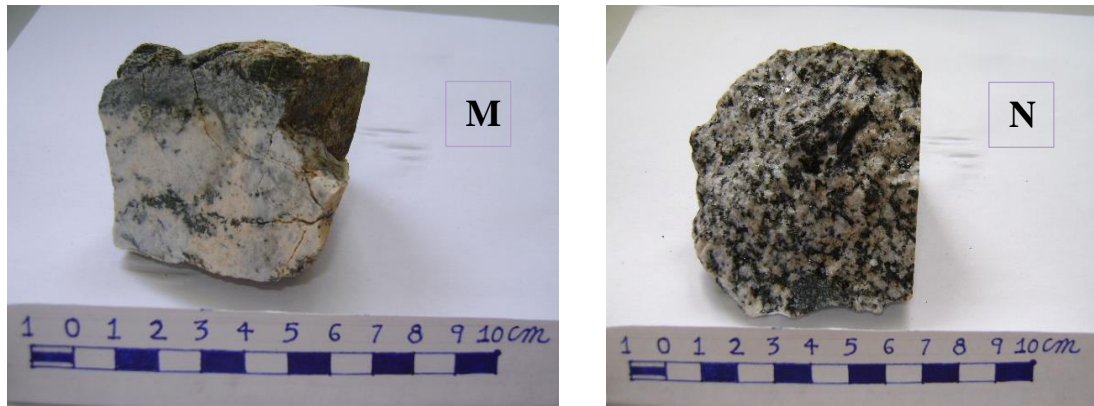


Fig. -67. M) Muestras IB-15: Cuarzo diorita cataclástica. N) Muestra IB-16: Cuarzo Diorita

Fotografías de los testigos de las muestras analizadas de Bucaramanga

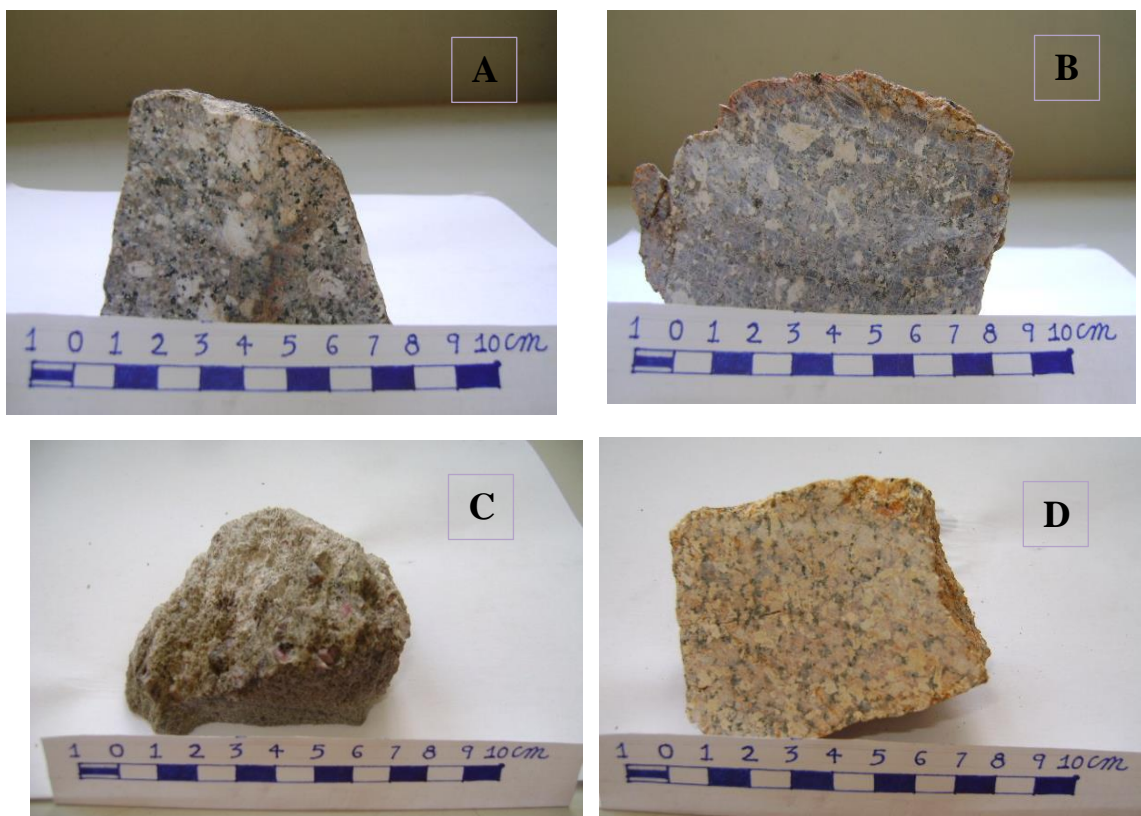


Fig. -68. A) Muestras FV-31: Monzogranito biotítico-hornbléndico. B) Muestra FV-32: Monzogranito biotítico-hornbléndico. C) Muestra FV-33: Esquisto cuarzo sericítico cataclástico. D) Muestras FV-36: Sienogranito clorítico granofírico.

Fotografías de los testigos de las muestras analizadas de Bucaramanga



Fig. -69. E) Muestras FV-37: Sienogranito biotítico protocataclástico. F) Muestra FV-38: Sienogranito biotítico cloritizado. G) Muestra FV-39: Sienogranito protocataclastico. H) Muestras FV-43: Sienogranito. I) Muestra FV-44: Brecha cataclástica de monzogranito. J) Muestra FV-45: Dique de aplita

Fotografías de los testigos de las muestras analizadas de Bucaramanga

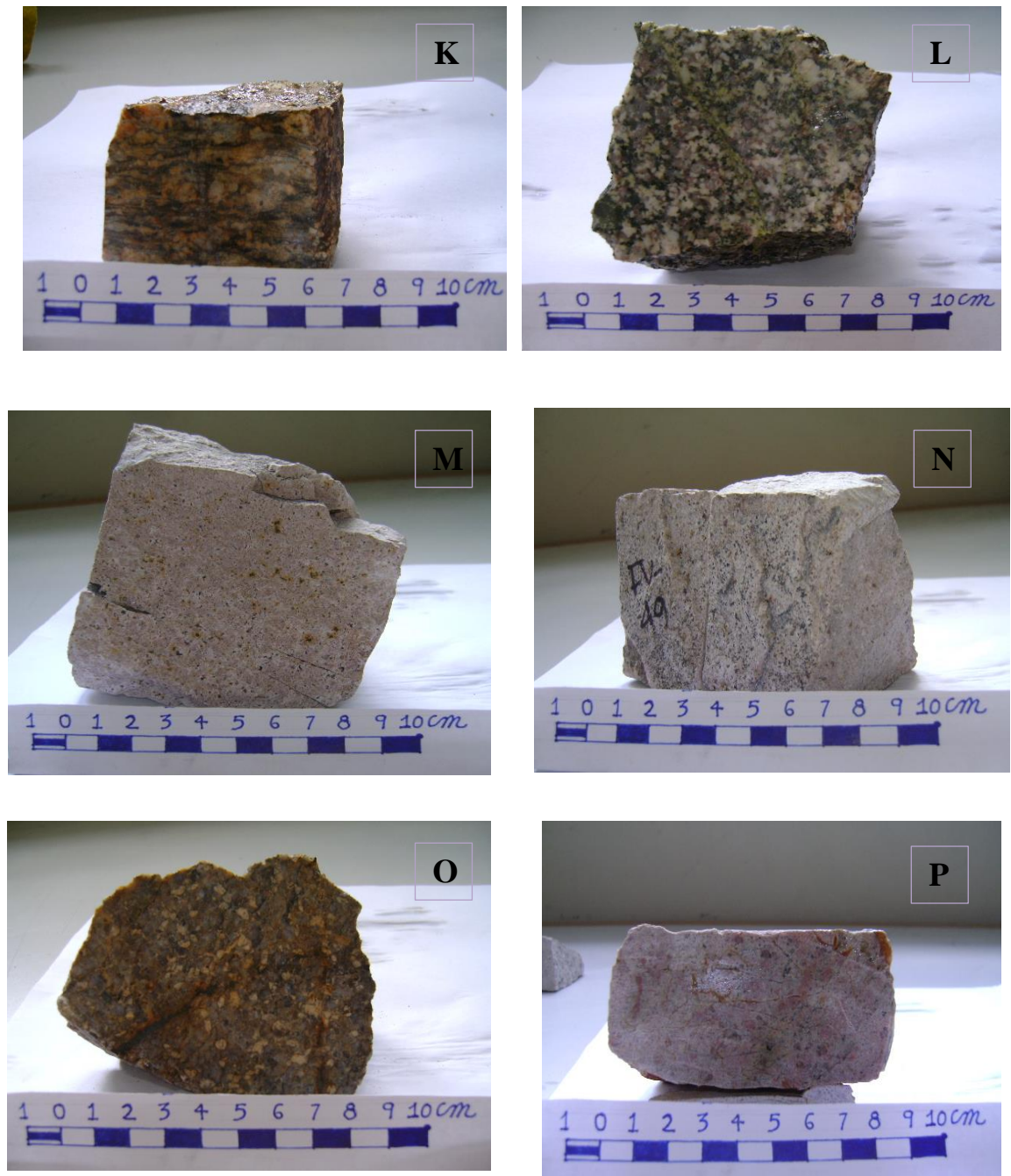


Fig. -70. K) Muestras FV-46: Augengneis sienogranítico (Milonita). L) Muestra FV-47: Tonalita biotítica- hornblendica alterada. M) Muestra FV-48: Toba félsica. N) Muestras FV-49: Toba félsica. O) Muestra FV-50: Cataclasita. P) Muestra FV-51: Toba félsica

PERMISO DE ANALISIS DE MUESTRA



Ibagué, 06 de marzo de 2018

A QUIEN PUEDA INTERESAR

Por medio de la presente autorizo el uso de las muestras de rocas recolectadas a lo largo de los sistemas de fallas Bucaramanga (muestras FV030 a FV060) e Ibagué (IB01 a IB16) para estudios petrológicos, difracción de rayos X, y fluorescencia de rayos X, a los Bachilleres *Yedinet Cortez* y *Victor Barrile*, estudiantes de Ingeniería Geológica en la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, Caracas - Venezuela.

La recolección de tales muestras se realizaron bajo el Proyecto Científico financiado por la Universidad de Ibagué, Proyecto número 15-377-INT titulado: *Estimación de tasas de exhumación de montañas y reactivación de fallas mediante modelado numérico termocinemático 3D de alto rendimiento* a cargo del investigador Mauricio Alberto Bermúdez Cella, perteneciente al grupo de Investigación NATURATU. Las muestras antes mencionadas constituyen parte fundamental de los trabajos especiales de grado de los bachilleres Cortez y Barrile. Sin embargo, esta dependencia no podrá proporcionar fondos al pago de análisis de esas muestras en Venezuela.

Agradeciendo de antemano la atención prestada.

OLIMPO JOSÉ GARCÍA BELTRÁN
Director de Investigaciones



Sede principal: Carrera 22 Calle 67, barrio Ambalá
Commutador (57) + 8 270 9400 Fax: (57) + 8 270 9443 www.unibague.edu.co
Ibagué - Tolima, Colombia

