



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES.
FACULTAD DE INGENIERÍA.
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA.



**ELEMENTOS PETROLÓGICOS DE LAS UNIDADES
METAMÓRFICAS AFLORANTES EN EL FLANCO
NORTE DEL PICO BONPLAND, ESTADO MÉRIDA,
VENEZUELA.**

www.bdigital.ula.ve

Autores:

Br. Gian Marco Mavo Manstretta.

Br. Natalia Belén Payares Peña.

Tutor:

Patxi Joseba Viscarret Valero. PhD.

Mérida, Noviembre de 2013.



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES.

FACULTAD DE INGENIERÍA.

ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA.



**ELEMENTOS PETROLÓGICOS DE LAS UNIDADES
METAMÓRFICAS AFLORANTES EN EL FLANCO
NORTE DEL PICO BONPLAND, ESTADO MÉRIDA,
VENEZUELA.**

Trabajo final de grado realizado como requisito obligatorio para optar al grado de Ingeniero Geólogo otorgado por la ilustre Universidad de Los Andes.

Autores:

Br. Gian Marco Mavo Manstretta.

Br. Natalia Belén Payares Peña.

Tutor:

Patxi Joseba Viscarret Valero. PhD.

Mérida, Noviembre de 2013.

Elementos petrológicos de las unidades metamórficas aflorantes en el Flanco Norte del Pico Bonpland, Estado Mérida, Venezuela.

RESUMEN.

MAVO Gian, PAYARES Natalia.

El presente trabajo tuvo por objetivo fundamental estudiar algunos elementos petrológicos de las unidades metamórficas pertenecientes al Flanco Norte del Pico Bonpland, con énfasis en el sector “Muralla Roja”, para establecer su formación y evolución. El área de estudio comprende una extensión de 1,5 km² aproximadamente. Esta se ubica en la parte central de Los Andes, en el estado Mérida al occidente de Venezuela. Dicha zona se encuentra enmarcada dentro de un contexto geológico montañoso, de pendientes abruptas, donde la actividad tectono-metamórfica y los procesos erosionales de tipo glaciar y periglaciario han tenido un papel protagónico en el modelado de la geología actual. Las altitudes de la zona varían desde los 4.228 msnm en la Laguna El Suero hasta los 4.880 msnm en la cumbre del Pico Bonpland, la cual representa la tercera mayor elevación de todo el país.

El esquema metodológico utilizado para la realización de esta investigación fue modificado del propuesto por HOEGGER (2007) y adaptado al trabajo en rocas metamórficas. A partir del análisis fotogeológico y relaciones de campo se hicieron importantes determinaciones como el establecimiento de la Falla Muralla Roja, así como la disposición de las rocas presentes en función de sus planos de foliación.

Mediante el análisis petrográfico se determinó: la composición mineralógica, paragénesis mineral, facies y subfacies metamórficas, relación presión/temperatura, texturas, microestructuras, relaciones blastesis-deformación, definiendo así una serie de grupos litológicos: esquistos y gneises cuarzo-feldespáticos-micáceos y anfibolitas. Estos grupos litológicos exhiben texturas granoblásticas, granolepidoblásticas y granonematoblásticas. Los resultados obtenidos fueron plasmados en un mapa geológico a escala 1:10.000 el cual representa un valioso aporte a la cartografía geológica de la Asociación Sierra Nevada.

Palabras clave: Petrología, relaciones de campo, metamorfismo, Pico Bonpland, Asociación Sierra Nevada.

DEDICATORIA.

www.bdigital.ula.ve

“A Don Pedro Mavo, Nuestro Ángel de la Guarda”.

“...Pórtate bien, que Dios te Bendiga”

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Pedro Mavo', written in a cursive style.

AGRADECIMIENTOS.

A la ilustre Universidad de Los Andes y a la Escuela de Ingeniería Geológica por acogernos en sus aulas durante nuestra preparación universitaria.

A nuestras familias por siempre darnos el apoyo y la confianza que necesitamos.

A nuestro tutor Patxi Viscarret, por guiarnos en la realización de esta investigación y siempre estar dispuesto a brindarnos su oportuna orientación.

A quienes hicieron posible la realización de la etapa de campo, nuestros compañeros de campo y de vida Gilberto Becerra, José Cuervo y Daniel Cuervo.

A los profesores Daniela Tazzo y Ángel Andara, por guiarnos a lo largo de la realización de este trabajo.

A los profesores Raúl García Jarpa, Sebastián Grande, Omar Guerrero y Franco Urbani por aportarnos valiosa información.

Al profesor Miguel Alvarado y Yorman Marín por el valioso apoyo prestado.

A Jaime Bautista y Denis Torres del Sistema Teleférico de Mérida, a Nerio Ramírez de Inpradem por brindarnos el apoyo interinstitucional que fue de gran ayuda.

A New Impress C.A y su gerente Pedro José Mavo por su valioso aporte en la reproducción de este trabajo.

A los profesores de la Escuela de Ingeniería Geológica, a nuestros compañeros de clases, a “Los Muchachos” y a todas las demás personas que de alguna forma nos apoyaron para que esta investigación se llevara a cabo.

... y a la majestuosa Sierra Nevada que con su fija mirada nos acompañó y nos permitió conocer un poco más de su historia.

ÍNDICE GENERAL.

RESUMEN.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.GENERALIDADES	3
1.1. Planteamiento del Problema.....	3
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo General.	4
1.2.2. Objetivos Específicos	4
1.3. Justificación de la Investigación.	4
1.4. Alcances y Limitaciones	5
1.5. Antecedentes	5
CAPÍTULO II.MARCO REFERENCIAL	10
2.1. Descripción del área de estudio.....	10
2.1.1. Ubicación y extensión del área de estudio	10
2.1.2. Accesibilidad	11
2.2. Marco Geológico.....	15
2.3. Geología estructural	19
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	23
3.1. Recopilación y análisis de información	23
3.1.1. Recopilación de Información	23
3.1.2. Análisis de la información recopilada	23
3.2. Trabajo de Campo	25
3.2.1. Reconocimiento del área de estudio	25
3.2.2. Delimitación y descripción de las unidades metamórficas.....	25
3.2.2.1. Descripción del afloramiento.....	26

3.2.3. Muestreo	26
3.2.4. Determinación de las Relaciones de Campo	27
3.3. Ensayos de Laboratorio.....	28
3.3.1. Análisis Petrográfico	28
3.3.1.1. Patrón textural.....	29
3.3.1.2. Mineralogía.....	30
3.3. Elaboración del Trabajo Final.....	31
CAPÍTULO IV.RESULTADOS Y ANÁLISIS	35
4.1. Análisis Fotogeológico.....	35
4.2. Descripción de las Unidades Metamórficas.....	38
4.2.1. Zona Baja de Muralla Roja.....	39
4.2.1.1. Relaciones de Campo.....	39
4.2.1.2. Análisis petrográfico.....	47
4.2.2. Zona Media de Muralla Roja.....	53
4.2.2.1. Relaciones de Campo.....	53
4.2.2.2. Análisis Petrográfico.....	62
4.2.3. Zona Alta de Muralla Roja.....	67
4.2.3.1. Relaciones de Campo.....	67
4.2.3.2. Análisis Petrográfico.....	77
4.2.4. Pico Bonpland.....	83
4.2.4.1. Relaciones de Campo.....	83
4.2.4.2. Análisis Petrográfico.....	89
4.2.5. Garganta Txomajoma	91
4.2.5.1. Relaciones de Campo.....	91
4.2.5.2. Análisis Petrográfico.....	95
4.3 Análisis e interpretación de patrones mineralógicos.....	98
4.3.1. Feldespatos	98
4.3.2. Micas	99
4.3.3. Granate	100
4.3.4. Silimanita.....	101
4.3.5. Textura Mirmequita.....	103

4.3.6. Textura Pertita	104
4.4 Análisis e interpretación de patrones texturales.....	104
4.5 Análisis e interpretación de grupos litológicos	109
4.5.1. Grupos litológicos	109
4.5.2. Origen de los grupos litológicos de la Asociación Sierra Nevada	110
4.5.3. Metamorfismo y Facies Metamórficas	111
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	114
5.1. Conclusiones	114
5.2. Recomendaciones.....	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
APÉNDICE.....	123
Apéndice A. Texturas Cristaloblásticas.....	124
Apéndice B. Microestructuras	126
Apéndice C. Tabla de Descripción Macroscópica de las Muestras	128
Apéndice D. Composición Mineralógica Modal	135
Apéndice E. Patrón Textural.....	140
Apéndice F. Distribución de los Grupos Litológicos en el área de estudio.....	147
Apéndice G. Mapa Geológico del área de estudio	150

ÍNDICE DE TABLAS.

CAPÍTULO II. MARCO REFERENCIAL	10
Tabla 2.1. Coordenadas que delimitan el área de estudio.....	10
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	25
Tabla 3.1. Muestras de campo recolectadas.	28
Tabla 3.2. Muestras analizadas petrográficamente	29
Tabla 3.3. Abreviatura de los minerales identificados en el análisis petrográfico	31
Tabla 3.4. Clasificación de facies y subfacies metamórficas. Modificado de Winkler (1967)	32
Tabla 3.5. Grupos mineralógicos de cada protolito en relación a las Facies Metamórficas Modificado de Blatt y Tracy (2000)	33
CAPÍTULO IV.RESULTADOS Y ANÁLISIS	35
Tabla 4.1. Foliaciones de la Zona Baja de Muralla Roja.....	45
Tabla 4.2. Grupos litológicos presentes en la Zona Baja de Muralla Roja.....	48
Tabla 4.3. Mineralogía Modal (Muestra PBB3)	49
Tabla 4.4. Mineralogía Modal (Muestra PBD31).....	50
Tabla 4.5. Mineralogía modal de la muestra PBE47	52
Tabla 4.6. Mineralogía modal de la muestra PBD29.....	53
Tabla 4.7. Foliaciones de la Zona Media de Muralla Roja.....	61
Tabla 4.8. Grupos litológicos de la Zona Media de Muralla Roja.....	62
Tabla 4.9. Contenido modal de la muestra PBB5.....	64
Tabla 4.10. Contenido mineralógico modal de la muestra PBB6.....	65
Tabla 4.11. Composición mineralógica modal de la muestra PBE43	66
Tabla 4.12. Orientación de las familias de diaclasas.	73
Tabla 4.13. Foliaciones de la Zona Alta de Muralla Roja	75
Tabla 4.14. Grupos litológicos presentes en la Zona Alta de Muralla Roja	78
Tabla 4.15. Mineralogía modal del la muestra (PBB8)	79
Tabla 4.16. Mineralogía modal del la muestra (PBB9)	82
Tabla 4.17. Mineralogía modal de la muestra (PBD19).....	82
Tabla 4.18. Foliaciones de la Zona del Pico Bonpland.	86
Tabla 4.19. Grupos litológicos presentes en la zona del Pico Bonpland	89
Tabla 4.20. Mineralogía modal de la muestra (PBEA1).....	95
Tabla 4.21. Mineralogía modal de la muestra (PBA2)	97

ÍNDICE DE FIGURAS.

CAPÍTULO II. MARCO REFERENCIAL	10
Figura 2.1. Ubicación geográfica de la zona de estudio	11
Figura 2.2. Delimitación del área de estudio. (Modificada de Bing Maps 3D).....	12
Figura 2.3. Ruta a partir del Sistema Teleférico de Mérida. Modificado de Bing Maps 3D.	13
Figura 2.4. Ruta “La Travesía”. Modificado de Bing Maps 3D	14
Figura 2.5. Rutas tomadas para la recolección de las muestras, a partir de la Laguna El Suero (Campamento Base). Modificada de “Sierra Nevada, Escaladas y Excursiones” Afonso M, 2006).....	14
CAPÍTULO III.METODOLOGÍA	25
Figura 3.1. Metodología de trabajo.....	24
Figura 3.2. Nomenclatura de las Muestras	27
Figura 3.3. Puntos de Muestreo	29
Figura 3.4. Distribución de facies metamórficas con relación a la profundidad, presión y temperatura. Tomado de Winter (2001)	33
CAPÍTULO IV.RESULTADOS Y ANÁLISIS	35
Figura 4.1. Análisis Fotogeológico.....	37
Figura 4.2. Delimitación de las secciones metamórficas. Modificada de Bing Maps 3D	39
Figura 4.3. Delimitación de la Zona Baja de Muralla Roja.....	40
Figura 4.4. Delimitación del área de la Laguna El Suero	41
Figura 4.5. Morrenas de la Laguna El Suero. a) Vista de la laguna y sus morrenas, b) Detalle Morrena Lateral, c) Detalle Morrena Frontal.....	41
Figura 4.6. Forma elíptica del Cuerpo Granítico El Suero. Detalle de fotografía aérea a escala 1:60.000.....	42
Figura 4.7. Vena de cuarzo en la muestra PBD37	43
Figura 4.8. Detalles del afloramiento. a) Franja rojiza PBD30, b) Franja grisácea PBD33.	44
Figura 4.9. Muestra PBB3	45
Figura 4.10. Muestra PBE47.....	45
Figura 4.11. a) Evidencias de procesos de gelifracción, b) Rocas pulidas y producción de estrías glaciares	46
Figura 4.12. Delta de acción fluvial de la Laguna El Suero	47
Figura 4.13. Textura Granolepidoblástica. a) NX, b) N//	49
Figura 4.14. Plagioclasa (An10) alterada a sericita, a) NX, b) N//	49
Figura 4.15. Paragénesis mineral. a) NX, b) N//.....	50

Figura 4.16. Esquistosidad grosera y Foliación metamórfica. a) NX, b) N//	50
Figura 4.17. Cristal de muscovita NX	51
Figura 4.18. Textura Granoblástica. NX.....	52
Figura 4.19. Biotita Cloritizada. a) NX, b) N//	52
Figura 4.20. Tamaño de los Cristales a) Grandes cristales de cuarzo NX, b) Grandes cristales de muscovita NX	53
Figura 4.21. Delimitación de la Zona Media de Muralla Roja	54
Figura 4.22. Valle en “U”	55
Figura 4.23. “Tool marks” o Estrías glaciares	55
Figura 4.24. Rocas pulidas por el avance del glaciar.....	56
Figura 4.25. Proceso de escurrimiento sobre las rocas	57
Figura 4.26. Alternancia de bandas rojizas y grisáceas en la Zona Media de Muralla Roja.	58
Figura 4.27. Bandeado en los Flancos Sur de los Picos Bonpland y Humboldt.....	58
Figura 4.28. Detalle del afloramiento, sección donde fue extraída la Muestra PBB5	60
Figura 4.29. a) Bandeamiento metamórfico, b) Acumulación elíptica.....	60
Figura 4.30. Bandeamientos Microplegados	61
Figura 4.31. Textura granolepidoblástica a) NX, b) N//	63
Figura 4.32. a) Sombra de presión NX, b) Sombra de presión N//, c) Arcos Poligonales NX, d) Arcos Poligonales N//.....	63
Figura 4.33. Texturas cristaloblásticas. a) Textura granoblástica NX, b) Textura granolepidoblástica N//.....	64
Figura 4.34. Textura reaccional. a) Reacción Cuarzo-Muscovita NX, b) Reacción Ortosa-Muscovita N//	65
Figura 4.35. Texturas: a)Granoblástica N//, b)Granoporfidoblástica N//	66
Figura 4.36. a) Foliación metamórfica N//, b) Porfidoblastos de granate N//, c) Bandeamiento composicional N//, d) Sombras de presión N//	66
Figura 4.37. Cristales ortogonales de silimanita con orientación preferencial. a) NX, b) N//	67
Figura 4.38. Evidencias de la Falla Muralla Roja.....	68
Figura 4.39. Evidencias de la Falla Muralla Roja.....	69
Figura 4.40. Lugar de Extracción de la Muestra PBB9	69
Figura 4.41. Lugar de extracción de la Muestra PBB10. Proceso de brechificación	70
Figura 4.42. Emplazamiento del cuerpo tabular de protolito granítico	71
Figura 4.43. Franja en la que está emplazado el cuerpo	72
Figura 4.44. Afloramiento del cuerpo gnéisico de protolito granítico.....	72
Figura 4.45. Familias de diaclasas	73
Figura 4.45. Detalle de la Muestra PBB8	74
Figura 4.45. Aporte de sedimentos a la Laguna Los Hielitos.....	76
Figura 4.46. a) Grietas de desecación, b) Proceso de gelifracción de los suelos.....	76
Figura 4.47. Conjunto de microfallas plasmadas en el afloramiento.....	77

Figura 4.48. Microestructuras: a) Foliación metamórfica NX, b) Sombras de presión efímeras en el borde del megacrystal de granate NX	79
Figura 4.49. Texturas. a) Granoblástica NX, b) Reaccional, c) Textura Poiquiloblástica NX, d) Textura Poquiloblástica N//	79
Figura 4.50. a) Textura Granolepidoblástica. NX, b) Textura Porfidoblástica. NX.....	80
Figura 4.51. Microestructuras de la Muestra PBB9.....	81
Figura 4.52. Textura Granonematoblástica. a) NX, b) N//	82
Figura 4.53. Panorámica de la Cumbre del Pico Bonpland	83
Figura 4.54. Cresta y Cumbre del Pico Bonpland	84
Figura 4.55. Meteorización mecánica en la Cumbre del Pico Bonpland.....	85
Figura 4.56. a) Lugar de extracción de la Muestra PBC11, b) Lugar de extracción de la Muestra PBC12.....	85
Figura 4.57. a) Muestra PBC15, b) Muestra PBC16	86
Figura 4.58. Planos de foliación de la Zona del Pico Bonpland.....	87
Figura 4.59. Flanco Sur del glaciar del Pico Humboldt.....	87
Figura 4.60. Lagunas en Rosario	88
Figura 4.61. Flanco Sur del Pico Humboldt y alineamiento tectónico	89
Figura 4.62. Textura Granoblástica. Muestra PBC13. NX	90
Figura 4.63. Textura granolepidoblástica (Muestra PBC12). a) NX, b) N//.....	91
Figura 4.64 Alteración de feldspatos a sericita (Muestra PBC11) a) NX, b) N//	91
Figura 4.65. Garganta Txomajoma	92
Figura 4.66. Afloramiento en la Garganta Txomajoma.....	93
Figura 4.67. a) Vena aplítica, b) Muestra PBA1	94
Figura 4.68. Lugar de extracción de la Muestra PBA2	94
Figura 4.69. Traza de la Falla La Verde	95
Figura 4.70. Composición mineralógica de la vena aplítica. NX	96
Figura 4.71. Vena de epidoto. a) NX, b) N//	96
Figura 4.72. Textura Granonematoblástica. a) NX, b) N//	97
Figura 4.73. Sombra de Presión. a) NX, b) N//	97
Figura 4.74. Cristales de esfena/titanita asociados con la hornblenda. a) NX, b) N//	98
Figura 4.75. Plagioclasa zonada, (Muestra PBE42) NX.....	99
Figura. 4.76. Plagioclasa (Albita) y Ortosa alteradas a sericita (Muestra PBC11), NX.....	99
Figura 4.77. Biotita alterada a clorita. (Muestra PBE38) N//	100
Figura. 4.78. a) Granate en un esquistos (Muestra PBB9) NX, b) Granate en un ortogneis (Muestra PBB9) N//	101
Figura 4.79. Alteración de granate a clorita. a) Muestra PBB4, N//. B) Muestra PBE31, N//	101
Figura 4.80. Variedad fibrolítica a) Silimanita fibrosa (Muestra PBD22) NX, b) Silimanita fibrosa (Muestra PBD22) N//. C) Silimanita fibrosa (Muestra PBB8) NX, d) Silimanita fibrosa (Muestra PBB8) N//.....	102

Figura 4.81. Formación de la silimanita a partir de la reacción entre el cuarzo y la muscovita, (Muestra PBB8) NX	102
Figura 4.82. Cristales ortogonales de silimanita con orientación preferente Muestra PBE43 a) NX, b) N//	103
Figura 4.83. Textura Mirmequita (Muestra PBC13) NX.....	103
Figura 4.84. Textura Pertita (Muestra PBC13), NX	104
Figura. 4.85. Granate Precinemático Muestra PBE43. N//	105
Figura 4.86. Muestra PBB9.Porfidoblasto de granate N//	106
Figura 4.87. Diagrama Blastesis-Deformación para la muestras PBE43 y PBB9.....	107
Figura 4.88. Muestra PBB10. Cristales de granate postcinemáticos. a) NX, b) N//	108
Figura 4.89. Blastesis-Deformación para la muestra PBB10	108
Figura 4.90. Distribución de las Facies Metamórficas en el área de estudio.....	112

www.bdigital.ula.ve

INTRODUCCIÓN.

Los Andes Venezolanos constituyen el mayor exponente de procesos tectónicos y orogénicos de Venezuela, dentro de su territorio se establecen las cumbres montañosas más elevadas y en donde se encuentran las rocas que han sido sometidas a los procesos ígneo-metamórficos más intensos del occidente del país. Este conjunto de cumbres escarpadas cubre una extensión de unos 40.000Km², que surge del resultado de un importante proceso de levantamiento topográfico debido a una serie de eventos tectónicos que tienen su culminación en la Sierra Nevada de Mérida con la presencia de los picos más elevados entre los que se destacan el Pico Bolívar, Humboldt, León, Toro y Bonpland conocidos en el argot local como las “Cinco Águilas Blancas”.

Desde el punto de vista geológico este sistema montañoso está constituido por rocas pertenecientes a la Asociación Sierra Nevada, en cuya constitución se encuentran las rocas aflorantes más antiguas de Los Andes venezolanos. Muchos han sido los trabajos realizados en la asociación, unos destinados a esclarecer la geocronología de los eventos que se llevaron a cabo para su formación y evolución, y otros con la finalidad de realizar una caracterización geológica de determinadas aéreas; sin embargo, muchas son las zonas de las cuales aún se desconocen sus características en detalle, la información que se tiene de ellas es a escala regional, obviándose así los atributos geológicos locales más importantes y prestándose para la especulación de afirmaciones no comprobadas. Por esta razón se hace necesario fomentar la producción de esta investigación más detallada que sirva para vislumbrar la rica historia geológica que guarda este conjunto de rocas en una de sus cúspides más importantes.

A partir de la siguiente investigación se amplió de forma considerable el conocimiento geológico de la Asociación Sierra Nevada, estableciendo algunos elementos petrológicos de las unidades metamórficas que se encuentran aflorando en el Flanco Norte del Pico Bonpland, haciendo énfasis en el Sector “Muralla Roja”. Esto se logró siguiendo una metodología de trabajo que incluye la realización de un estudio de las relaciones de campo, análisis petrográfico de las muestras recolectadas y el establecimiento de una cartografía geológica a detalle de la zona.

www.bdigital.ula.ve

Capítulo I

Generalidades

CAPÍTULO I.

GENERALIDADES.

1.1. Planteamiento del Problema.

El máximo representante de los procesos tectónicos y orogénicos en Venezuela está constituido por la Cordillera de Los Andes, en cuyo territorio se establece el sistema montañoso más elevado del país alcanzando alturas cercanas a los 5.000 metros sobre el nivel del mar. En su mayoría las antiguas rocas que conforman este sistema montañoso han sido sometidas a intensos procesos ígneos y metamórficos que las convierten en el accidente orográfico más importante del país.

En la Sierra Nevada se han llevado a cabo diversos trabajos con la finalidad de definir cuál ha sido la historia y evolución de Los Andes Venezolanos, sin embargo, las investigaciones se han realizado a escala regional debido en parte a las agrestes condiciones climáticas y de accesibilidad que han dificultado los trabajos de campo en ciertas zonas, impidiendo así tener un conocimiento más detallado de las características geológicas de las rocas pertenecientes a la Asociación Sierra Nevada.

Una de las áreas geográficas que es menos conocida es la comprendida por el Pico Bonpland, en la cual sólo se han realizado algunos estudios, entre los que destacan: un estudio petrográfico de algunos picos nevados del estado Mérida (Urbani, 1969), un trabajo geomorfológico con fines principalmente descriptivos de los Picos Humboldt y Bonpland (Guerrero, 1994) y una caracterización geológica y petrográfica de algunas rocas del Parque Nacional Sierra Nevada (Viscarret *et al*, 2005). Por esta razón se derivan una serie de interrogantes cuya aclaratoria representan de forma general el problema fundamental de esta investigación, que pueden englobarse en un solo aspecto: la necesidad de realizar un estudio de los elementos petrológicos de las unidades metamórficas pertenecientes al Flanco Norte del Pico Bonpland haciendo énfasis en la zona conocida como “Muralla Roja”, el cual abarque una caracterización mineralógica de las rocas presentes y la determinación de algunos procesos geológicos que intervinieron en su formación y evolución.

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo General.

Estudiar los elementos petrológicos de las unidades metamórficas pertenecientes al Flanco Norte del Pico Bonpland, con énfasis en el sector “Muralla Roja”, Mérida-Venezuela, para el establecimiento de su formación y evolución.

1.2.2. Objetivos Específicos.

- Efectuar un levantamiento geológico de superficie para la determinación de las relaciones de campo de las unidades metamórficas aflorantes en el flanco Norte del Pico Bonpland.
- Definir las características mineralógicas y texturales de las muestras recolectadas “*in situ*” a partir de un análisis petrográfico para el establecimiento de las diferentes facies y subfacies metamórficas presentes en el área de estudio.
- Cartografiar los rasgos geológicos que conforman el Flanco Norte del Pico Bonpland y sus adyacencias para la construcción de un mapa geológico a escala 1:10.000.

1.3. Justificación de la Investigación.

Debido a la carencia de información geológica detallada de las rocas pertenecientes a la Asociación Sierra Nevada específicamente las que constituyen el levantamiento orográfico del Pico Bonpland, surgió la necesidad de proyectar una investigación que propusiera la caracterización de algunos elementos petrológicos del Flanco Norte del Pico Bonpland, con la finalidad de establecer la mineralogía y patrones texturales de las rocas, su distribución espacial y los procesos que originaron su formación y evolución.

La cartografía geológica de la Asociación Sierra Nevada está elaborada para toda su extensión, sin embargo, muchas son las zonas en la que la escala utilizada es a nivel regional, impidiendo así la representación detallada de muchos rasgos importantes que no alcanzan la magnitud cartografiable, obviándose las características geológicas más relevantes a escala local. Este caso se presenta en la zona de estudio y es un factor

determinante al momento de justificar el problema planteado, ya que con la realización de la presente investigación se pudieron representar los principales atributos geológicos que conforman el Flanco Norte del Pico Bonpland y sus adyacencias, a una escala más detallada y precisa que sea entendible y utilizable por quien así lo requiera.

1.4. Alcances y Limitaciones.

La presente investigación amplió de forma considerable la información acerca de los elementos petrológicos de la zona de estudio, abarcando cada uno de los fundamentos necesarios para realizar una caracterización más profunda del macizo rocoso que constituye al Flanco Norte del Pico Bonpland, la cual representa una de las elevaciones más características de Los Andes venezolanos. También se obtuvo la construcción de la cartografía geológica a escala 1:10.000, lo que representó un valioso aporte que será de gran utilidad para la realización de estudios posteriores, donde fueron representados con mayor detalle los rasgos geológicos como es su litología, estructuras, entre otros.

La principal limitante que se encontró en la realización de esta investigación es la dificultad de acceso a determinados sectores de la zona de estudio, lo que imposibilitó la recolección de algunas muestras proyectadas y datos de campo en pendientes de alto riesgo y en zonas inaccesibles. Aunado a esto se debe tomar en cuenta que las condiciones climáticas de la zona por tratarse de alturas superiores a los 4.200msnm comprometieron la seguridad de algunos trabajos de campo pautados y fue necesario tomar las previsiones requeridas.

1.5. Antecedentes.

La Sierra Nevada de Mérida ha sido desde tiempos inmemoriales el centro de tradiciones y creencias de los hombres que han habitado sus valles y extensiones. Para las poblaciones prehispánicas que se asentaron en las orillas de los ríos Chama, Mucujún, Motatán y Mocotíes las montañas de nuestras sierras representaban las fuerzas creadoras de su propio universo y la madre de todos los seres vivos.

Según Afonso, M. 2006, el interés con carácter científico por nuestras montañas no llegaría sino hasta mediados del siglo XVIII cuando la visita a Venezuela de estudiosos europeos de histórica notoriedad como Humboldt y Bonpland abriera al mundo las primeras referencias científicas. Desde el punto de vista geológico, fue en el año de 1851 cuando Herman

Karsten realizó los primeros trabajos descriptivos de la geología de la cordillera de Mérida, forjándose así los primeros antecedentes geológicos de nuestra Sierra Nevada. Posteriormente en el año de 1885 el pintor y ornitólogo Anton Goering elaboró los primeros mapas geomorfológicos de nuestras montañas. Al mismo tiempo y por un espacio de nueve años Wilhen Sievers, realizaría una extensa monografía titulada “Geomorfología de la Sierra Nevada de Mérida 1884- 1893”, considerado hasta la fecha como uno de los trabajos más importantes. Luego en el año de 1910 el insigne explorador y geógrafo venezolano Alfredo Jahn se encargó de ordenar y ampliar los primeros trabajos que habían sido realizados sobre la orografía, glaciología, geología e hidrología de nuestras montañas.

Desde entonces la investigación geológica de la Sierra Nevada aunque ha sido intermitente no ha cesado totalmente, y en tiempos más recientes se han generado una serie de trabajos dedicados a deslumbrar la rica historia geológica de este sistema montañoso, incluyendo la zona de estudio en la que se enmarca la presente investigación, entre los que se destacan: el realizado por Franco Urbani en el año de 1969 titulado “Petrografía de muestras de algunos Picos Nevados del Estado Mérida”, en el cual se presenta un breve estudio petrográfico de varias muestras no controladas procedentes de las cimas de ciertos picos nevados de Los Andes venezolanos: Bolívar, Humboldt, Bonpland y Toro. Para el Pico Bonpland se hace la descripción de una muestra de color blanquecino, equigranular, con granos muy fragmentados y bordes suturados clasificada como un “granito gnéisico, cuarzo-microclino-albítico-muscovítico”, denominado con ese nombre por poseer estructuras lineales y minerales metamórficos.

Posteriormente Leon Kovisars en el año de 1972 publica un artículo titulado “Geología de la parte Norte-Central de los Andes Venezolanos”, donde describe que los principales tipos de rocas de la Asociación Sierra Nevada son: esquisto cuarzo-feldespático-micáceo, con conjuntos de silimanita comúnmente presentes, gneis cuarzo-feldespático-micáceo con escasa silimanita y granate, y que la menos común de las rocas principales de la Asociación Sierra Nevada es la anfibolita-plagioclásica-hornbléndica. Además establece que existe un bandeamiento composicional definido por enriquecimiento epidotico-hornbléndico y cuarzo-plagioclásico, que es una característica que se destaca en la superficie meteorizada.

También expresa que las anfibolitas persisten lateralmente y algunas veces en forma de bandas, como en los alrededores de los picos nevados presentando varios kilómetros de extensión. Esta descripción concluye que los contactos de las rocas que conforman esta asociación son concordantes generalmente a través de una zona transicional de bandas intercaladas de anfibolitas- esquistos o anfibolitas- gneis.

En el año de 1994, Omar Guerrero realiza un trabajo denominado “Estudio Geológico y Geomorfológico de la Sierra Nevada de Mérida (Picos Humboldt y Bonpland)” en el cual expresa que el Pico Bonpland se encuentra incluido dentro de lo que denominó la unidad esquistosa- anfibolítica. Que se expone en la parte más alta de la cuenca de la quebrada La Coromoto y se presenta suprayacente a una unidad gnéisica granatífera- clorítica. En el citado trabajo fue analizada una muestra tomada de la sección baja del Pico Bonpland, la cual se describe macroscópicamente como una roca fracturada y meteorizada, con colores grises claros e importantes tonalidades marrón- rojizo; desde el punto de vista petrográfico se denota su origen metaígneo, mostrando una matriz sericítica y lepidoblástica producto de la alteración de los feldespatos y la orientación de las micas, con alto contenido de cuarzo, plagioclasa, feldespatos y micas.

Patxi Viscarret V. *et al.*, en el año 2000 realizan el “Atlas Petrográfico de Rocas Ígneas y Metamórficas de La Sierra Nevada de Mérida, Venezuela”. En este trabajo se encuentra una recopilación de 75 microfotografías tomadas de 40 secciones finas obtenidas a lo largo del macizo que conforma la Sierra Nevada de Mérida y que ayudan a comprender los procesos involucrados en las actividades exógenas y endógenas que originan la geología de la zona. En las microfotografías de muestras recolectadas en las cercanías del Pico Bonpland se pueden observar una serie de esquistos y gneises, con composiciones variables en las que destacan la abundante presencia de anfíboles, silimanita, granate y feldespatos. Además se hace evidente la presencia de texturas y microestructuras metamórficas, donde la alineación preferencial de los blastos sugiere el sometimiento a intensos procesos de deformación de las rocas presentes.

Luego en diciembre del año 2005, fue publicado por Patxi Viscarret, Omar Guerrero y Jaime Laffaille un trabajo enmarcado en la I Jornadas Venezolanas de Geología de rocas Ígneas y Metamórficas titulado “Caracterización Geológica y Petrográfica de rocas del Parque Nacional Sierra Nevada. Mérida. Venezuela”, en el cual infieren que las rocas de la Asociación Sierra Nevada han sido sometidas a por lo menos dos períodos de deformación con intrusiones graníticas a diferentes intervalos de las deformaciones, que la presencia de la silimanita implica alto grado metamórfico y que la zona de la silimanita está definida por asociaciones de minerales de la facies de la anfibolita. Además se expone que se presenta pero en menor grado rocas con asociaciones minerales de las facies de los esquistos verdes, probablemente producto de una etapa metamórfica retrógrada. También fueron definidas en las rocas metamórficas texturas esquistosas y gnéisicas con fábricas-estructuras granoblásticas, granolepidoblásticas y granonematoblásticas. Asimismo, se destaca el caso de la garganta Txomajoma, anexa al Pico Bonpland de la cual se dice podría ser una expresión geomorfológica de la falla de Laguna Verde, la cual atraviesa el área de estudio y en la cual se encuentran evidencias petrográficas correspondientes a un esquisto cuarzo micáceo granatífero.

Geológicamente, la porción que constituye el área de estudio de la presente investigación es territorio casi virgen, sin embargo las escasas investigaciones realizadas en ella y anteriormente expuestas han aportado información que ha contribuido en la elaboración de la cartografía geológica y la ampliación del conocimiento de los factores petrológicos involucrados.

www.bdigital.ula.ve

Capítulo II

Marco Referencial

CAPÍTULO II.

MARCO REFERENCIAL.

2.1. Descripción del área de estudio.

2.1.1. Ubicación y extensión del área de estudio.

El área de estudio comprende una extensión de 1,5 km² aproximadamente, la cual abarca el Flanco Norte del macizo rocoso que constituye el Pico Bonpland. Este se encuentra ubicado en la parte Central de Los Andes, dentro del Parque Nacional Sierra Nevada, en el Estado Mérida al occidente de Venezuela. Dicha zona se encuentra enmarcada dentro de un contexto geológico montañoso, de pendientes abruptas y crestas pronunciadas, donde la actividad tectono- metamórfica y los procesos erosionales de tipo glacial y periglacial han tenido un papel protagónico en el modelado de la geología actual. Las altitudes de la zona fluctúan entre los 4.228 msnm perteneciente a la Laguna El Suero tomado como punto base y los 4.880 msnm ubicado en la cumbre del Pico Bonpland la cual representa la tercera mayor elevación de todo el país.

La zona de estudio se encuentra dentro de la Sierra Nevada de Mérida, el mayor exponente de eventos orográficos de Venezuela y que forma una cadena montañosa de rumbo noreste, que se extiende por unos 400 Km desde la frontera colombo-venezolana hasta la serranía centro occidental de Venezuela en el Estado Lara. La Tabla 2.1 muestra las coordenadas UTM que delimitan el área de estudio.

Tabla 2.1. Coordenadas que delimitan el área de estudio.

Puntos	Coordenadas UTM Norte	Coordenadas UTM Este
1	946212,986	278603,572
2	946212,986	280095,978
3	945245,756	280103,535
4	945238,199	278596,016

En la Figura 2.1 se observa la ubicación geográfica de la zona de estudio y la Figura 2.2 muestra la delimitación del área, por medio de una imagen satelital (tomada y modificada de Bing Maps 3D).

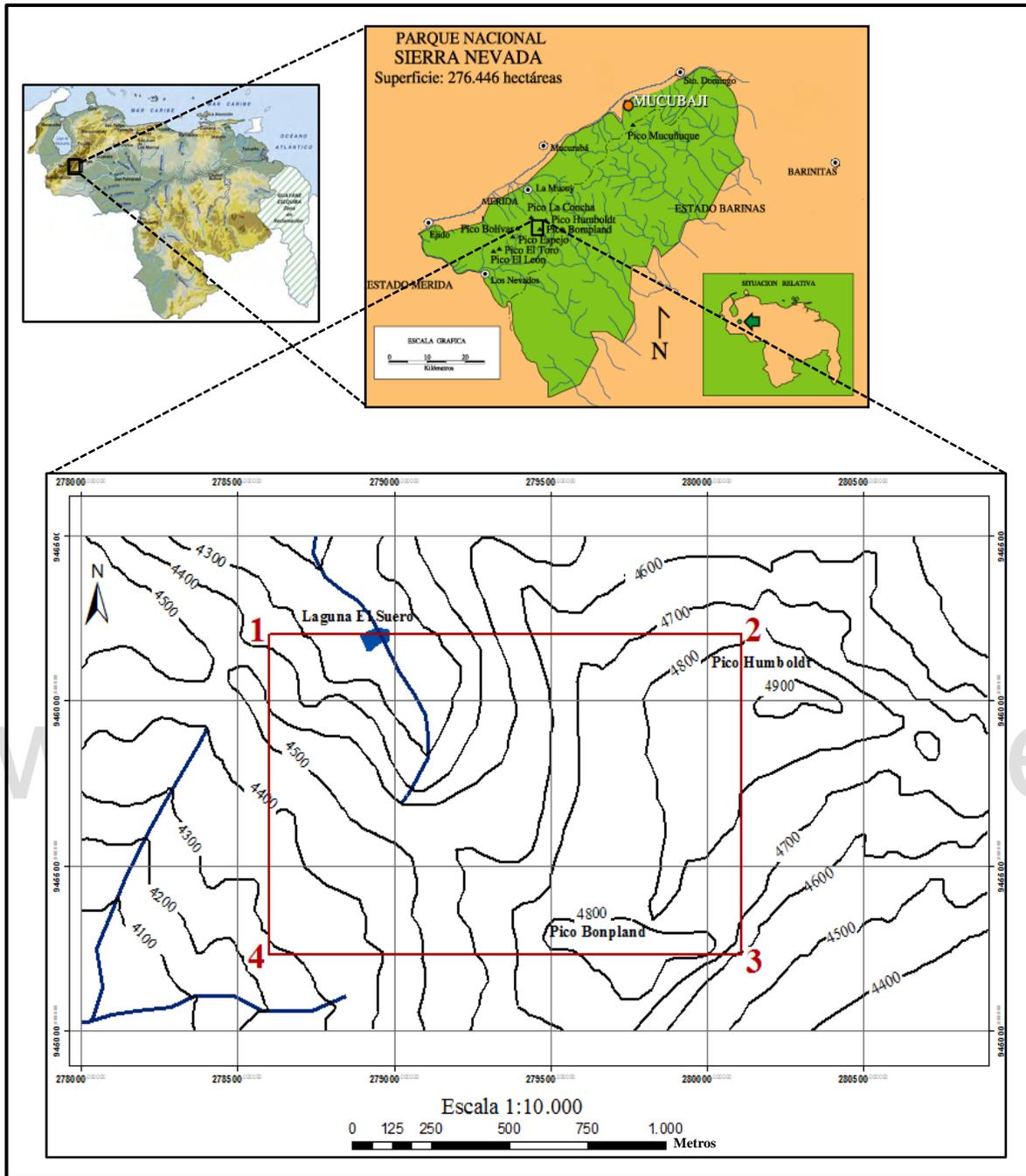


Figura 2.1. Ubicación geográfica de la zona de estudio.

2.1.2. Accesibilidad.

El acceso a la zona de estudio se hace a través de dos rutas principales que fueron las seguidas para la realización de esta investigación, y son:

- **Ruta a partir del Sistema Teleférico de Mérida:** ésta ruta se realiza utilizando el



Figura 2.2. Delimitación del área de estudio. (Modificada de Bing Maps 3D).

Sistema Teleférico de Mérida que permite el ascenso desde la estación Las Heroínas ubicada en la ciudad de Mérida a 1.588 msnm hasta la estación Pico Espejo ubicada a 4.760 msnm, luego se realiza una caminata de aproximadamente 7 horas. En primera instancia esta ruta bordea a la estación, seguida de un descenso en cordada conocido como el paso “La Cloaca” (4.735 msnm). Luego se continúa en travesía, pasando por la base del flanco sureste del Pico Bolívar, en las cercanías de los extintos glaciares de Timoncito y las Hermanas.

Continuando hacia el noreste hasta sortear el paso de arenales conocido como Txomajoma y descender hasta la Laguna El Suero (4.228 msnm), tomada como punto de Campamento Base, desde donde se inicia el ascenso a través de Muralla Roja, luego bordear el glaciar del Pico Humboldt y ascender hasta la cumbre del Pico Bonpland (4.880 msnm). Esta ruta también puede ser empalmada por un camino que tiene su origen en la población de Los Nevados y asciende hasta la Estación Pico Espejo donde se puede continuar la ruta descrita anteriormente. La demarcación de esta ruta se muestra en la Figura 2.3.



Figura 2.3. Ruta a partir del Sistema Teleférico de Mérida. Modificado de Bing Maps 3D.

- **Ruta “La Travesía”:** ésta ruta tiene su origen en el parque La Mucuy ubicado en las cercanías de la Población de Tabay y que representa la entrada al Parque Nacional Sierra Nevada. El trayecto está conformado por una caminata de tipo travesía que recomendablemente se debe realizar en dos jornadas. La primera jornada desde La Mucuy (2.260 msnm) hasta la Laguna La Coromoto ubicada a 3.299msnm cuyo trayecto requiere de unas 6 horas de caminata en buenas condiciones.

Luego la segunda jornada cuyo recorrido tiene una duración de caminata de unas 7 horas aproximadamente, con un grado mayor de dificultad por tratarse del ascenso por arenales, escalones, bandas de rocas y rocas aborregadas conlleva desde la Laguna La Coromoto, pasando por los pasos conocidos como “Puente Quemado” y “Piedras Picadas” hasta la Laguna La Verde (3.947 msnm). Continuando con la travesía se atraviesa las morrenas y depósitos sedimentarios pertenecientes a la parte alta de la cuenca de la Quebrada La Coromoto hasta llegar a la Laguna El Suero (4.228msnm), tomada como punto de Campamento Base, desde donde se inicia el ascenso a través de Muralla Roja, luego bordear el Glaciar del Pico Humboldt y ascender hasta la cumbre del Pico Bonpland (4880msnm).

La ruta “La Travesía” se muestra en la Figura 2.4. En la Figura 2.5 donde se puede observar un croquis con las rutas que se utilizaron para acceder a las secciones que comprenden la zona de estudio durante el trabajo de campo.



Figura 2.4. Ruta “La Travesía”. Modificado de Bing Maps 3D.



Figura 2.5. Rutas tomadas para la recolección de las muestras, a partir de la Laguna El Suero (Campamento Base). Modificada de “Sierra Nevada, Escaladas y Excursiones” (Afonso M, 2006).

2.2. Marco Geológico.

Los Andes venezolanos representan el sistema montañoso más importante de Venezuela y su origen está ligado a la interacción entre las placas Sudamericanas: Nazca, Cocos y Caribe (Weingarten, 1977). Son el accidente orográfico más prominente del país, tienen unos 36.120 km² de extensión y constituyen una prolongación de Los Andes colombianos orientales. El sistema Andino Venezolano comienza a diferenciarse en el nudo de Pamplona, donde la cordillera Oriental de Colombia se subdivide en dos ramales: uno que continúa en dirección noroeste y llega a la frontera colombo-venezolana donde comienza la Sierra de Perijá, y otro que a partir del Páramo del Tamá cae en la depresión o silla de Táchira y continúa hacia el noreste, para formar los Andes Venezolanos o también conocidos como Cordillera de Mérida, que en conjunto abarcan aproximadamente el 6% de la superficie territorial venezolana.

La Cordillera de Mérida forma una estructura geológica muy compleja de gneises y esquistos que han experimentado intenso metamorfismo, intrusiones graníticas y algunas básicas, formando mantos (sills) y diques. El complejo andino ha sido recubierto en parte, por areniscas, pizarras, calizas, conglomerados y material morrénico, lo que ha dificultado su estudio.

Geomorfológicamente Los Andes venezolanos representan un levantamiento topográfico-tectónico cuya culminación se encuentra en la Sierra Nevada de Mérida. Esta culminación se destaca topográficamente por la presencia de los diferentes picos como lo son el Pico Bolívar, Pico Humboldt, Pico Bonpland y el Pico El Toro, a su vez es destacada geológicamente porque en ella afloran las rocas más antiguas del occidente del país, posiblemente pertenecientes al período Precámbrico (\pm 650 millones de años).

Según Testamark *et al* en Guerrero (1994) la geología regional del núcleo andino se puede agrupar en cuatro unidades tectonoestratigráficas mayores; 1) un complejo ígneo metamórfico que constituye el basamento, con un límite inferior no definido, conformado por un núcleo Precámbrico-Paleozoico Inferior (Asociaciones Sierra Nevada y Tostós) y una superficie correspondiente al carbonífero superior (Asociaciones Mucuchachí y unidades equivalentes); 2) una sección paleozoica no metamorfizada (Formaciones Caparo

y el Horno); 3) una secuencia de rocas sedimentarias no metamorfozadas del Carbonífero Superior-Pérmico (Formaciones Sabaneta, Carache y Palmarito) y 4) una cobertura sedimentaria Mesozoica y Cenozoica.

En Los Andes Venezolanos se encuentra una secuencia de rocas probablemente de edad precámbrica, constituyendo el basamento y se compone esencialmente de esquistos y gneises cuarzo-feldespaticos-micáceo-granatífero, ortogneises graníticos y anfibolitas. El complejo del basamento ha sido designado “Grupo Iglesias” por varios autores (p. j., Künding, 1938), para definir someramente una unidad heterogénea de rocas sedimentarias e ígneas, intensamente metamorfozadas. No obstante, Shagam (1969) prefiere el término de Complejo Iglesias debido a que en muchas regiones la unidad abarca una compleja mezcla de intrusiones graníticas y roca caja metamórfica. Sin embargo, sin definición formal, utiliza el término “Asociación Sierra Nevada” para designar a las "rocas más antiguas que se conocen en Los Andes merideños", las cuales están constituidas por gneises, esquistos y rocas graníticas. Este término fue considerado informal, debido a la definición inadecuada. Posteriormente, Kovisars (1972); Grauch (1975); García y Campos (1972) y Harder (1977), realizan estudios detallados de la unidad, lo que ha llevado a considerarla, como una unidad formal, con el rango de formación. Marechal (1983, en Bellizzia y Pimentel, 1994), hace un análisis exhaustivo de la unidad y más recientemente Bellizzia y Pimentel (1994) la incluyen en el Terreno Mérida, con categoría de unidad litodémica y con el rango de Asociación. Esta Asociación muestra una gran variedad de tipos litológicos; presenta alternancia de micaesquisto y gneises migmatíticos, anfibolitas, gneises graníticos y localmente mármoles y cuarcitas.

Según Mendoza (2005), los eventos termales que tuvieron lugar durante el Precámbrico como el evento Orinoquense (1200-1300 Ma) pudieron haber producido metamorfismo de alto grado, mientras que la orogénesis Brasiliana (850-560 Ma) produjo una gran cantidad de plutonismo granítico y deformación penetrativa en la región de Los Andes. (Cordani *et al.* 2005)

Según Burkley (1976) en Los Andes venezolanos, debió existir durante el Precámbrico un ambiente sedimentario que permitiese el depósito de las rocas protolito de la Asociación Sierra Nevada y que posteriormente fueron metamorfozadas durante la orogénesis

Caledoniana. Se cree que durante el Precámbrico Tardío, en un posible ambiente plataformal, fue depositada la Asociación Sierra Nevada. Esta unidad fue intrusionada hace 600Ma y subsecuentemente a este periodo intrusivo, a finales del Precámbrico, fue afectada por la orogénesis Huroniana, la cual representó un período de deformación bastante intenso, que provocó que las rocas sedimentarias de Los Andes venezolanos fueran metamorfizadas y alcanzaran la facies de la anfibolita.

Después de la erosión de las rocas de la Asociación Sierra Nevada previamente levantadas por la orogénesis Huroniana, se inicia la sedimentación del Paleozoico, discordante sobre las rocas precámbricas. La fuente de sedimentos del Paleozoico Temprano, fueron las rocas precámbricas, emergentes a ambos lados del surco originado por la penetración de los mares en el Paleozoico Temprano (Ramirez *et al*, 1971).

La orogénesis Caledoniana tuvo lugar en el Paleozoico Temprano, cuyos efectos se denotan en Venezuela occidental y en el borde sur de la cuenca, por el "hiatus" del Devónico – Mississippense, representado por un levantamiento que no tuvo necesariamente que reflejarse en la parte central de la cuenca, donde la sedimentación pudo continuar de modo ininterrumpido. En la región central andina la sedimentación devónica se encuentra metamorfizada.

Shagam (1972) deduce que las rocas ígneas más jóvenes en la región central andina representan un evento intrusivo Permo-Triásico, y Grauch (1975) indica un metamorfismo regional por actividad termal durante el Pérmico. Burkley (1976) indica dos eventos termales principales: uno hace 245 Ma que sólo se observa en los alrededores más alejados de las rocas cajas, y el segundo hace 225 Ma que estuvo acompañado de todas las intrusiones permo-triásicas.

Shagam (1972) opina que en Los Andes venezolanos han ocurrido varios ciclos orogénicos, que involucran acumulaciones de espesas secuencias sedimentarias, las cuales culminan deformadas producto del metamorfismo regional o plutonismo granítico; estos ciclos corresponden a intervalos de "Hiatus" que fueron denominados por Shagam como H₂ al ciclo ocurrido durante el periodo Pérmico Superior, H₆ (Devónico-Mississippense) y H₇ (Pérmico Superior- Triásico Inferior).

En la era Paleozoica se dan varios eventos importantes, entre ellos la orogénesis Herciniana (finales del Pérmico y principios de Triásico) depositándose primero las Formaciones Caparo y el Horno, luego las Asociaciones Tostós, Mucuchachí, Cerro Azul y por último las Formaciones Sabaneta, Carache y Palmarito. Marcados dichos eventos por las intrusiones graníticas y el metamorfismo tectónico regional.

Ramírez *et al.* (1971) proponen que a finales del ciclo del Paleozoico se produce un nuevo período de deformación, equivalente a la orogénesis Herciniana, acompañada del metamorfismo regional de las rocas del Paleozoico Tardío. A esta orogénesis se relacionan las numerosas intrusiones graníticas del Permo-Triásico, que desarrollan aureolas metamórficas de contacto en las rocas encajantes, hace unos 270 a 190Ma.

La orogénesis Herciniana produjo el levantamiento de la mayor parte de Los Andes venezolanos, trayendo como consecuencia la formación de pequeños surcos en los cuales se depositó la Formación La Quinta de edad Jurásica, de ambiente continental, constituida por capas rojas y que suprayace a la sección del Paleozoico Superior con discordancia angular pasando gradualmente a la sección del Cretáceo suprayacente.

El Cretáceo comienza con una profunda transgresión marina sobre la mayor parte de Venezuela septentrional. Las rocas cretáceas a su vez gradan a rocas del Paleoceno-Eoceno, de aspecto predominantemente lacustre, que aparentemente representan una facies regresiva. La sedimentación posterior en Los Andes venezolanos fue de tipo continental y se restringió en gran parte a los flancos norte y sur, donde parece ser principalmente de edad Mioceno.

El levantamiento de Los Andes ha sido determinado por diferentes técnicas y aproximaciones y la mayoría concuerdan en que el levantamiento comenzó en el Mioceno Tardío y estuvo caracterizado por grandes movimientos verticales que continúan hasta nuestros días. La evidencia de esta continua elevación en Los Andes es el desarrollo de terrazas aluviales escalonadas en el Pleistoceno y Holoceno, a lo largo de los ríos principales (Hoeger, 2007).

Durante el Pleistoceno se depositaron gravas no consolidadas en forma de terrazas, abanicos y conos a lo largo de ambos flancos andinos y dentro de una estructura de tipo

graben. La sedimentación estuvo controlada en gran parte por la tectónica. Schubert (1993) indica que el inicio del Cuaternario marca la elevación de las máximas alturas de Los Andes de Venezuela. En este periodo suceden las últimas glaciaciones, las cuales afectaron también la orografía venezolana lo cual se ve representado por rasgos erosivos y depósitos de sedimentos fluvio-glaciales y aluviales en los frentes de montaña de los valles.

2.3. Geología estructural.

El levantamiento de los Andes venezolanos constituye un gran bloque alargado en dirección noreste, de unos 420 km de longitud entre el pico el Tama en Táchira hasta su desaparición en la depresión de Lara, el cual presenta una culminación topográfica y tectónica en la Sierra Nevada de Mérida. El levantamiento es relativamente estrecho, ya que la distancia horizontal hasta el noroeste de la Cuenca del Lago de Maracaibo es aproximadamente 60 km y hasta el sureste de Barinas es de unos 50 km.

La geología estructural de la Cordillera de Mérida ha sido descrita por diversos autores (González de Juana, 1952; Shagam, 1972; Audemard y Audemard, 2003) quienes han interpretado esta cadena montañosa como el producto de esfuerzos compresivos horizontales, originando el desarrollo de un mega-anticlinorio recortado en ambos lados por fallas inversas. Dentro de la cordillera montañosa la mayoría de las estructuras observables responderían a movimientos de tipo vertical, asociadas a un importante desarrollo de grandes pilares y fosas debido al colapso o reajuste gravitacional del centro del mega-anticlinorio.

La evolución tectónica de Los Andes venezolanos ha sido descrita por Shagam (1972), el cual presenta una serie de evidencias de por lo menos tres o cuatro episodios principales de actividad orogénica. Una de ellas se presenta en la facies de los esquistos verdes, el cual puede ser vestigio de un evento orogénico del Precámbrico. Otra evidencia se presenta en la sección fosilífera de Paleozoico Inferior, la cual parece estar separada de las rocas del Paleozoico Superior por un periodo de ausencia de sedimentación (Devónico-Mississippiense). Por otra parte, el plutonismo, metamorfismo y deformación del Paleozoico Superior marcan la culminación de otro episodio de formación de montañas.

Finalmente se tiene que la última orogénesis andina tuvo lugar después del Paleozoico, con el período de mayor levantamiento a fines del Eoceno.

Según Shagam (1972), durante el Fanerozoico la región de la Cordillera de Mérida fue afectada por cuatro discordancias asociadas con abundantes deformaciones: Precámbrico-Ordovícico-Temprano, Devónico-Mississippiense, Pérmico-Tardío, Triásico-Temprano y Eoceno Tardío-Oligoceno. Estas deformaciones originadas por la invasión del mar van acompañadas por movimientos compresionales y de metamorfismo sobre las rocas ya depositadas. El estilo estructural cambió radicalmente a través del límite Paleozoico-Mesozoico.

Según Shagam, (1972), las deformaciones pre-mesozoicas consistieron principalmente de compresión lateral, plegamiento apretado, corrimiento y plutonismo granítico; las deformaciones postpaleozoicas se caracterizaron por levantamiento e inclinación de bloques fallados, es decir, movimientos tectónicos predominantemente verticales; también se desarrollaron un sistema de surcos probablemente por las reactivaciones de fallas preexistentes.

Según González de Juana *et al.* (1980), el “nudo andino” permaneció emergente y el tectonismo de los pilares (“horst”) y fosas (“graben”) controló la acumulación de sedimentos. Durante la orogénesis Herciniana, todas las formaciones paleozoicas en la región central andina, fueron plegadas y levantadas por efecto de una tectónica compresiva con actividad ígnea calco-alcalina, ocasionando un intenso metamorfismo regional y una gran deformación tectónica en forma de pliegues y fallas

Shagam, (1972), indica que el último ciclo orogénico, comienza en el Eoceno Tardío-Oligoceno, este consistió principalmente en levantamientos de bloques, del cual difiere de los ciclos anteriores en estilo estructural y debido a su ausencia de eventos termales, este ciclo continua hasta el presente. Luego se produjo la Orogénesis Andina que dio lugar al arqueamiento de Los Andes, el cual está caracterizado por el predominio de sistema de fallas normales de gran desplazamiento en el centro de la cadena montañosa, la cual le confiere una estructura de pilares, fosas y fallas escalonadas.

Según Audemard & Audemard (2002), se han propuesto diversos modelos geológicos para explicar la estructura de Los Andes de Mérida, los cuales se resumen en dos teorías. Por una parte, se han descrito Los Andes de Mérida como una cadena esencialmente simétrica a un eje principal (falla transcurrente), con ambos lados limitados por fallas inversas, responsables del crecimiento vertical de la cadena. En términos más geológicos, Los Andes de Mérida constituirían una estructura en flor positiva, de acuerdo con este razonamiento.

Por otra parte, están los modelos asimétricos, entre los cuales hay dos tendencias dependiendo de la vergencia del corrimiento principal. Audemard & Audemard (2002) indican que la principal estructuración de Los Andes resulta a partir de un acñamiento arraigado a escala cortical con vergencia noroeste sobre el tope de una corteza despegada con buzamiento suave noroeste.

www.bdigital.ula.ve

www.bdigital.ula.ve

Capítulo III

Metodología

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA.

La metodología utilizada para la realización de la presente investigación está basada en el esquema propuesto por Hoeger (2007), sin embargo, éste fue diseñado para el trabajo en rocas granitoides. Por esta razón, el esquema tuvo que ser modificado y adaptado para el flujo de trabajo que se requiere en el caso de rocas metamórficas. El esquema metodológico propuesto para investigaciones en rocas metamórficas desarrollado en este trabajo es señalado en la Figura 3.1.

3.1. Recopilación y análisis de información.

3.1.1. Recopilación de Información

En esta etapa se reunió toda la información existente de la zona de estudio. Para esto se contó con la revisión de información bibliohemorográfica referente a estudios petrológicos de rocas metamórficas, material cartográfico, imágenes aéreas e imágenes satelitales; con el fin de establecer una metodología adecuada para la realización del trabajo.

3.1.2. Análisis de la información recopilada.

A partir del análisis de la información recopilada que pudo aportar algunos datos geológicos sobre la zona de estudio, se logró obtener un conocimiento general sobre el contexto geológico y así comprender los posibles procesos que se han llevado a cabo y que han sido los responsables de la formación y evolución de las rocas presentes.

Se emplearon como mapas bases, el mapa geológico de la región de Mérida elaborado por Shagam *et al.*, (1981) a escala 1:50.000 y los mapas topográficos de cartografía nacional correspondientes a las cartas: 5941-I-SE y 6041-IV-SO a escala 1:25.000. También se emplearon imágenes satelitales de Bing Maps 3D consultadas el 5 de junio del año 2013 y fotografías aéreas de la misión A34 (1952), dupleta 979 y 980, correspondientes al área de estudio. A través de imágenes aéreas e imágenes satelitales se estudiaron las estructuras que conforman el área de estudio así como su disposición espacial, geformas relevantes, cambios de tonalidad, vías de acceso, cambios litológicos, entre otros.



Figura 3.1. Metodología de trabajo.

Como se expresó anteriormente, la zona de estudio no cuenta con información detallada, por lo tanto el objetivo de esta etapa es lograr una comprensión global de la configuración y distribución del área integrando todos los conocimientos extraídos de fuentes existentes.

3.2. Trabajo de Campo.

El trabajo de campo fue la etapa donde se tuvo contacto directo con la zona de estudio, etapa en la cual se obtuvieron las muestras y los datos de campo necesarios. Esta fase se realizó siguiendo una planificación sistemática de ascensos a la zona de estudio cumpliendo progresivamente una serie de objetivos propuestos para tal fin.

La etapa de campo se produjo entre los meses de enero y junio de 2013. El área geográfica comprendida durante los levantamientos de campo es la que conforma al Pico Bonpland, específicamente su Flanco Norte, zona que cubre las adyacencias de la Laguna El Suero, el denominado sector Muralla Roja, cercanías del Flanco Sur del Glaciar del Pico Humboldt y la zona de crestas pertenecientes a la Cumbre del Pico Bonpland.

El levantamiento de campo fue dividido en las siguientes etapas:

3.2.1. Reconocimiento del área de estudio.

La primera etapa de los trabajos de campo consistió en un reconocimiento a grandes rasgos de las características y atributos geológicos más fundamentales del área, tal como su ubicación, continuidad de los cuerpos geológicos, variabilidad en los afloramientos, así como los aspectos estructurales y geomorfológicos más importantes. También, dadas las agrestes condiciones que enmarcan la zona surgió la necesidad de evaluar las posibles vías de acceso que se tomaron para llegar a los distintos puntos del área involucrada.

3.2.2. Delimitación y descripción de las unidades metamórficas.

Las condiciones climáticas del área de estudio por tratarse de altitudes superiores a los 4.200 msnm se incluyen dentro del piso vegetal denominado “tundra”, teniendo así un clima árido, donde la producción de suelos y el crecimiento de vegetación son efímeros. Por esta razón se cuenta con un gran afloramiento de roca desnuda que abarca casi la totalidad de la extensión de la zona de estudio, con excepción de algunos escasos depósitos

sedimentarios y pequeñas lagunas. Por lo tanto para esta investigación se hace la descripción de un solo afloramiento perteneciente a la Asociación Sierra Nevada dividido en varias secciones, según su disposición areal y otros criterios tectono-litológicos.

3.2.2.1. Descripción del afloramiento.

El afloramiento fue descrito tomando en cuenta las siguientes características:

- En primera instancia se tomó la ubicación del afloramiento desde distintos puntos importantes, según coordenadas UTM tomadas mediante un dispositivo de posicionamiento global GPS, marca Garmin, modelo GPSmap 62, con una precisión aproximada de 3 m.
- Descripciones que permitieron establecer la variabilidad litológica de la zona.
- Descripciones mineralógicas a gran escala que entre otras cosas permitió establecer la variabilidad composicional. Se tomó con particular interés la presencia de bandeamientos bien definidos de superficies meteorizadas con tonalidades de oxidación variables como respuesta a la diferenciación composicional.
- Observaciones texturales y estructurales tales como zonas plegadas, diaclasas, fracturas, alineamientos, bandeados composicionales, zonados, venas, direcciones de foliación y rasgos erosionales.

3.2.3. Muestreo.

En esta etapa fueron recolectadas 47 muestras de campo, tomadas de forma estratégica a lo largo de toda la zona de estudio, abarcando así la mayor extensión posible del área de estudio y cubriendo los rasgos presentes más importantes.

Para la toma de muestras se procedió de la siguiente manera:

- Selección de la muestra.
- En su posición original la muestra fue orientada según el norte magnético.
- Luego se procedió a su cuidadosa extracción.
- Fueron debidamente identificadas tomando en cuenta la siguiente nomenclatura (Figura 3.2):

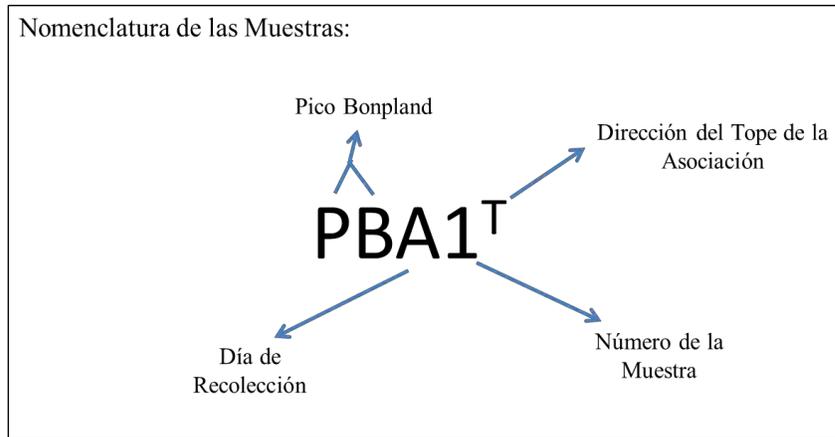


Figura 3.2. Nomenclatura de las Muestras.

- Posteriormente fueron preservadas en bolsas plásticas debidamente identificadas según la nomenclatura de cada muestra.

Es importante resaltar que en la toma de muestras se procuró seleccionar secciones del afloramiento que estuviesen lo más frescas posible. Los criterios utilizados para la selección de las muestras que se recolectaron responden de forma general al tipo litológico, cambios litológicos y/o texturales importantes, tipo de análisis que se efectuarán en ellas posteriormente y como se dijo anteriormente procurar cubrir todos los rasgos importantes presentes en la totalidad del área de estudio.

Todo el proceso de recolección de muestras y otros rasgos importantes fueron documentados en una libreta de campo, donde se incluyeron las siguientes anotaciones:

- Identificación de cada una de las muestras con su debida nomenclatura.
- Ubicación, según coordenadas UTM y altura.
- Descripción macroscópica.
- Identificación de las fotografías tomadas, con su debida orientación y escala.
- Direcciones de foliación.
- Observaciones vistas en campo.

3.2.4. Determinación de las Relaciones de Campo.

Esta etapa se fundamentó en la adquisición de datos que puedan ayudar a esclarecer la formación y evolución de las unidades metamórficas presentes. En la tabla 3.1 se reflejan

las muestras de campo recolectadas en cada una de las secciones y gráficamente se pueden observar los puntos de muestreo en la Figura 3.3.

Tabla 3.1. Muestras de campo recolectadas.

Sección del Afloramiento	N° de Muestras recolectadas	Rango de Altura (msnm)	Tipo Litológico
Zona Baja de Muralla Roja	13	4224 - 4256	Esquistos
Zona Media de Muralla Roja	10	4270 - 4317	Esquistos
Zona Alta de Muralla Roja	16	4377 - 4438	Esquistos y Gneises
Garganta Txomajoma	2	4437 - 4438	Esquisto y Aplita
Pico Bonpland	6	4767 - 4868	Gneises

3.3. Ensayos de Laboratorio.

3.3.1. Análisis Petrográfico

Se analizaron un total de 40 secciones finas correspondientes al Flanco Norte del Pico Bonpland, éste estudio petrográfico se realizó en el Laboratorio de Mineralogía Óptica y Petrografía de la Universidad de Los Andes, utilizando un microscopio de luz polarizada modelo Nikon Alpha-phot. La elaboración de las secciones finas se llevó a cabo en el Laboratorio 330 de la Universidad Central de Venezuela. La Tabla 3.2 describe la cantidad de muestras que fueron analizadas petrográficamente.

Los análisis petrográficos permitieron determinar: el desarrollo textural, composición mineralógica, mineralogía modal, paragénesis mineral, facies y subfacies y los rangos de presión y temperatura metamorfismo.

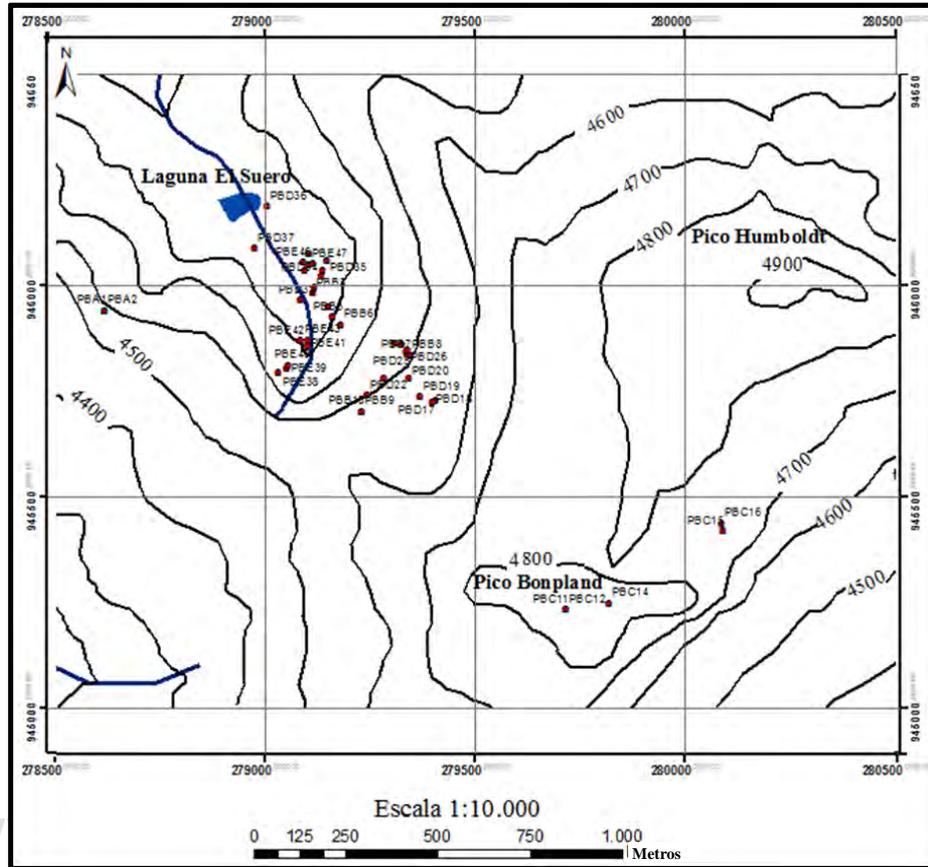


Figura 3.3. Puntos de Muestreo.

Tabla 3.2 Muestras analizadas petrográficamente.

Zona	Nº de muestras analizadas
Zona Baja de Muralla Roja	Se analizaron 10 muestras
Zona Media de Muralla Roja	Se analizaron 8 muestras
Zona Alta de Muralla Roja	Se analizaron 14 muestras
Garganta Txomajoma	Se analizaron 2 muestras
Pico Bonpland	Se analizaron 6 muestras

3.3.1.1. Patron textural:

A través del desarrollo textural se lograron definir las texturas y estructuras dominantes en la roca, éste es el mejor indicador del posible contexto geológico en que se produjo el

metamorfismo. Para la determinación de los diferentes elementos que conforman el desarrollo textural se empleó la nomenclatura utilizada por Castro (1989).

El estudio de las texturas metamórficas permitió determinar las relaciones texturales características de diversos minerales incluyendo también las relaciones entre granos con respecto a texturas deformacionales. Para la clasificación textural se agruparon en cuatro tipos morfológicos dependiendo del hábito de los cristales que la forman, éstas texturas son: granoblástica, lepidoblástica, nematoblástica y porfidoblástica. También existen combinaciones de texturas cristaloblásticas entre ellas como: granolepidoblástica (granoblástica + lepidoblástica), granonematoblástica (granoblástica + nematoblástica) y granoporfidoblástica (granoblástica + porfidoblástica) (Apéndice A).

En cuanto al estudio de las microestructuras, se lograron establecer las relaciones microestructurales, permitiendo así conocer el orden relativo del crecimiento de los minerales según su posición en el tiempo con relación a las fases de deformación. El Apéndice B muestra el esquema utilizado para la clasificación de las microestructuras.

3.3.1.2. Mineralogía.

Mediante el estudio y descripción mineralógica se lograron determinar diversos aspectos de particular importancia, entre ellos su composición y asociación mineral, y con esto poder dar una clasificación del tipo de roca, su tipo de roca parental (protolito) y las condiciones de presión y temperatura sufridas por la roca. La Tabla 3.3 muestra las abreviaturas de los minerales identificados en la descripción mineralógica.

Para la clasificación del tipo de roca se utilizó el criterio mineralógico-textural propuesto por la Subcomisión Sistemática de Rocas Metamórficas (SSCMR), el cual propone que la roca debe recibir un nombre genérico de acuerdo a sus rasgos texturales y composicionales seguido, por una secuencia en orden de abundancia de uno a cuatro minerales esenciales; éstos minerales esenciales deben tener un porcentaje modal mayor al 5%.

El estudio de las asociaciones minerales (paragénesis), permitió el establecimiento de las distintas facies y subfacies metamórficas y a su vez determinar los diversos rangos de presión y temperatura involucrados en los procesos metamórficos. La Tabla 3.4 muestra la

clasificación de las facies y subfacies metamórficas y el rango de temperatura correspondiente. La Figura 3.4 representa la distribución de las facies metamórficas con relación a la profundidad, presión y temperatura. La Tabla 3.5 muestra las asociaciones minerales típicas para la determinación del protolito.

Tabla 3.3. Abreviatura de los minerales identificados en el análisis petrográfico.

Minerales	Abreviatura	Minerales	Abreviatura
Albita	Ab	Hematita	Hem
Biotita	Bt	Hornblenda	Hbl
Clorita	Chl	Magnetita	Mag
Cordierita	Crd	Muscovita	Ms
Cuarzo	Qtz	Ortosa	Or
Epidoto	Ep	Plagioclasa	Pl
Esfena/Titanita	Tnt	Rutilo	Rt
Estaurolita	St	Sericita	Ser
Feldespato potásico	Kfs	Silimanita	Sil
Granate	Gr	Zircón	Zrn

3.3. Elaboración del Trabajo Final.

En esta etapa final del trabajo de investigación se contempló lo relacionado con el proceso de redacción, revisión y corrección del manuscrito donde fueron desarrolladas y ampliadas las etapas anteriores, y donde están documentados todos los resultados obtenidos durante la investigación del cual se logró conseguir una comprensión más detallada de los Elementos Petroológicos del Flanco Norte del Pico Bonpland.

Tabla 3.4. Clasificación de facies y subfacies metamórficas. Modificado de Winkler (1967).

Facies	Composición Mineralógica	Subfacies	Composición Mineralógica	Temperatura
Esquistos Verdes	Cuarzo, Plagioclasa, Clorita, Muscovita, Biotita, Granate	Cuarzo-Albita-Muscovita- Clorita	Clorita, Muscovita, Cuarzo, Albita, Microclino, Epidoto	400°C
		Cuarzo-Albita-Epídoto- Biotita	Muscovita, Biotita, Clorita, Cuarzo, Albita, Epidoto	450°C
		Cuarzo-Albita-Epído- Granate	Muscovita, Biotita, Granate, Cuarzo, Clorita, Albita, Epídoto.	500°C
			Muscovita, Biotita, cuarzo, Albita, Epídoto, Microclino	
		Estauroлита-Granate	Estauroлита, Biotita, Granate, Muscovita, Cuarzo, Plagioclasa.	550°C
			Granate, Muscovita, Biotita, Plagioclasa, Epidoto, Cuarzo	
Anfibolita	Cuarzo, Plagioclasa, Clorita, Muscovita, Biotita, Granate, Estauroлита, Cianita, Silimanita	Cianita-Granate-Muscovita	Cianita, Granate, Biotita, Muscovita, Cuarzo, Plagioclasa, Epidoto.	600°C
			Muscovita, Biotita, Granate, Cuarzo, Plagioclasa, Epídoto	
		Silimanita-Granate-Ortosa	Cuarzo, Silimanita, Granate, Ortosa, Plagioclasa	680°C
			Cuarzo, Granate, Biotita, Ortosa, Plagioclasa	

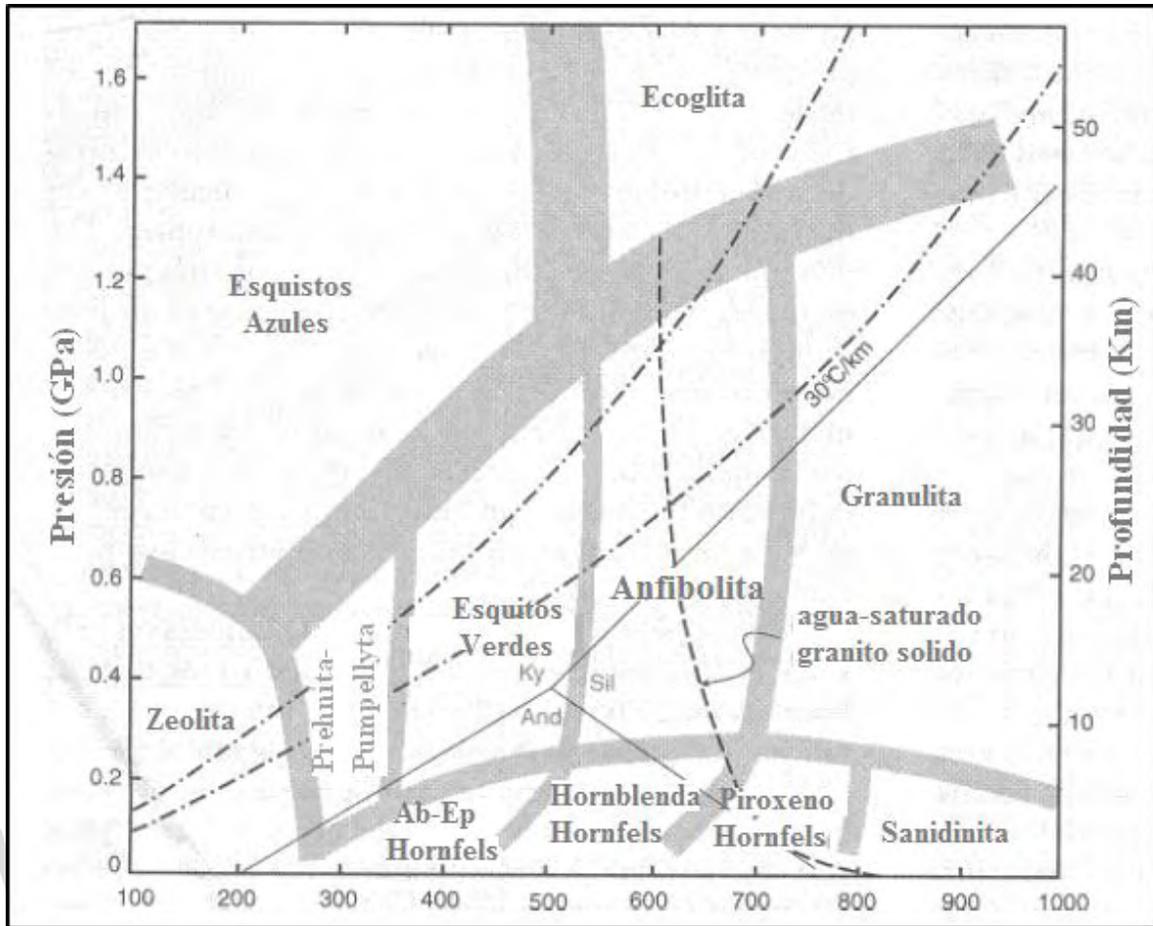


Figura 3.4. Distribución de facies metamórficas con relación a la profundidad, presión y temperatura. Tomado de Winter (2001).

Tabla 3.5. Grupos mineralógicos de cada protolito en relación a las Facies Metamórficas Modificado de Blatt y Tracy (2000).

Facies	Ígneas Máficas	Pelitas
Esquistos Verdes	Clorita, Actinolita, Epídoto, Albita.	Granate almandino, Clorita, Muscovita, Biotita, Cuarzo.
Anfibolita	Hornblenda, Andesina, Granate, Cuarzo.	Granate, Biotita, Muscovita, Silimanita, Cuarzo.

www.bdigital.ula.ve

Capítulo IV

Resultados y Análisis

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y ANÁLISIS.

4.1. Análisis Fotogeológico.

Para la zona de estudio se realizó un análisis fotogeológico con el objetivo fundamental de visualizar los diversos tipos de materiales que integran su superficie, además de las huellas que han dejado en ellos la serie de procesos a los que han estado sometidos a lo largo del tiempo geológico. Para esto se utilizó la dupla de fotografías aéreas pertenecientes a la Misión: A34, Fecha de vuelo: 1952, Escala: 1:40.000, Fotografías: 979 y 980.

Las rocas metamórficas constituyen el grupo más difícil de identificar en fotos aéreas, ya que existen pocos indicios que permitan distinguir las unidades metamórficas entre sí, dado que son el resultado del sometimiento a procesos metamórficos de rocas ígneas, sedimentarias e incluso las mismas rocas metamórficas, lo que ocasiona que las unidades puedan guardar rasgos típicos de esos grupos litológicos que conforman sus protolitos. Sin embargo, a partir del análisis de las imágenes aéreas se pudieron concebir las siguientes deducciones, tomando en cuenta los principales parámetros fotogeológicos:

- **Hidrografía:** se presenta una red de drenajes de tipo dendrítico, de poca densidad, muy espaciado, lo que refleja la dureza de las rocas y el alto nivel de intensidad de los procesos metamórficos involucrados. Algunos drenajes de la zona de estudio se adaptan a las direcciones de las fallas y alineamientos tectónicos presentes, incluyendo el drenaje principal que es el que acompaña a la Falla La Verde hasta su desembocadura en la Laguna La Verde (Ver 1, en Figura 4.1). Los afluentes secundarios (Ver 2, en Figura 4.1) también siguen alineamientos tectónicos hasta desembocar en el drenaje principal y otros se ajustan a las direcciones de foliación de las rocas (Ver 3, en Figura 4.1), todo esto como el resultado de la predominancia del control estructural y tectónico en el modelado del control de drenaje en el área. Dada la naturaleza árida de la zona de estudio, la producción de suelos se hace efímera, como producto de esto los drenajes se encajan directamente en el basamento metamórfico que con su alta resistencia a la erosión produce que los cauces sean poco acusados en la roca.

- **Relieve y morfología:** en la zona de estudio se presenta un relieve fuerte, con pendientes pronunciadas y crestas sobresalientes. Por lo antes mencionado y tomando en cuenta el criterio referido en Vergara (1971), el cual expresa que se puede admitir que el relieve formado por los materiales metamórficos es mayor cuanto mayor sea el grado de metamorfismo de la roca y la dureza de la misma, se desprende la intervención de intensos procesos metamórficos donde el resultado ha sido la construcción de la abrupta topografía presente.

En cuanto a la morfología, se presentan una serie de lomas alargadas con crestas abruptas cuyas culminaciones se enmarcan en aristas dispuestas como puntos triples bien definidos (Ver 4, en Figura 4.1), algunos de estos puntos triples representan las elevaciones topográficas más relevantes de la zona como son los picos Bonpland y Sucre, además de las crestas que conforman el extinto circo glaciar Agustín Codazzi.

De forma generalizada la textura que se presenta es rugosa, pero con una marcada variación. Se presentan zonas con un aspecto de rugosidad bandeada como el reflejo de la adaptación a la foliación (Ver 5, en Figura 4.1) y una zona que presenta una morfología de un cuerpo dómico alargado con una rugosidad más intensa y caótica perteneciente al cuerpo granítico El Suero propuesto por Guerrero (1994) (Ver 6, en Figura 4.1).

- **Tonalidad:** como en la mayoría de las rocas metamórficas la tonalidad que se observa varía entre grises claros a oscuros, cuya variación se debe a la diferenciación composicional con zonas ricas en cuarzo y ortosa (Ver 7, en Figura 4.1) y otras con tonalidades más oscuras por la presencia de minerales ferruginosos (Ver 8, en Figura 4.1).
- **Depósitos Sedimentarios:** la mayoría de los depósitos sedimentarios presentes en el área son de origen glaciar y periglaciar. Predominan la presencia de grandes morrenas acumuladas por actividad de los hoy extintos glaciares que ocupaban la zona. Uno de los mejores ejemplos de esto es la morrena lateral de la Laguna El Suero, afectada por un alineamiento tectónico (Ver 9, en Figura 4.1). Además se presentan algunos depósitos cuaternarios piemontanos de fondo de valle, con particular singularidad en la base del circo glaciar Agustín Codazzi.

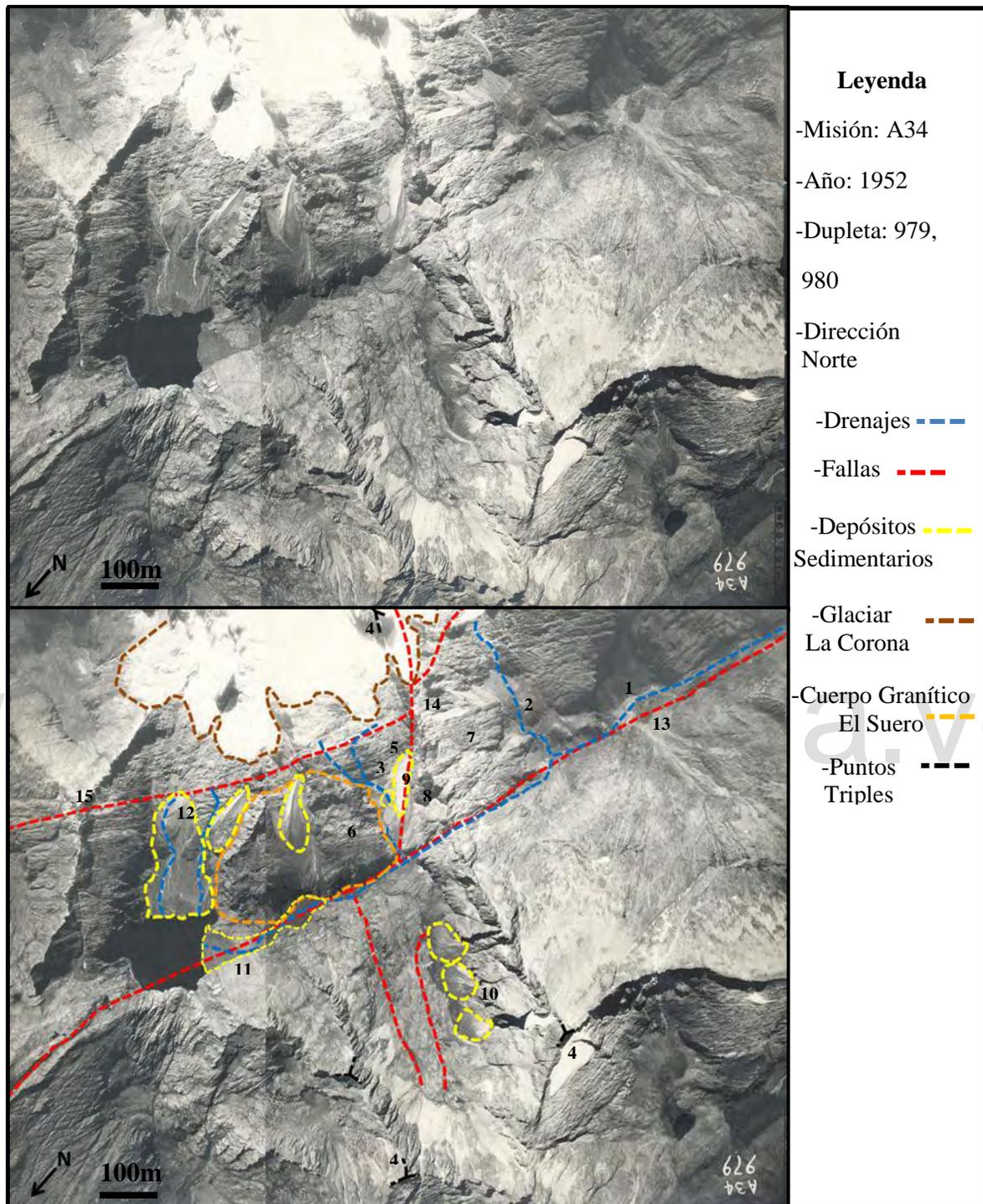


Figura 4.1 Análisis Fotogeológico.

(Ver 10, en Figura 4.1). Los depósitos sedimentarios de mayor envergadura se encuentran en las adyacencias de la Laguna La Verde, cuyo delta de acción fluvial y

los depósitos de llanura de inundación de su afluente son los más grandes del área (Ver 11, en Figura 4.1).

Es importante denotar con particular interés la formación de algunos conos de derrubios desencadenados por el movimiento de la Falla Muralla Roja (Ver 12, en Figura 4.1), en las fotografías se puede analizar como su vértice originario se encuentra localizado justo en la traza del alineamiento tectónico, factor a tomar en cuenta al momento de describir la intervención del control tectónico en la constitución geomorfológica actual.

- **Control Estructural:** el área de estudio se encuentra enmarcada dentro de evidencias de procesos tectónicos importantes, la Falla La Verde (Ver 13, en Figura 4.1) es el principal alineamiento de la zona, y hacia ella convergen otras fallas de menor envergadura (Ver 14, en Figura 4.1) pero cuya actividad ha sido en conjunto factor importante en el modelado de la geología local.

La determinación más importante desde el punto de vista del análisis fotogeológico es la delimitación de una posible falla geológica que se denominó “Falla Muralla Roja”, por encontrarse en la cabecera del sector conocido con ese nombre. Esta falla hasta ahora inexistente en la bibliografía y cartografía geológica, en imágenes aéreas se puede constatar por una serie de evidencias, tales como: presencia de trazas bien definidas a lo largo de toda la zona donde la continuidad del alineamiento puede ser delineado (Ver 15, en Figura 4.1), el desencadenamiento de movimientos en masa como resultado de su actividad así como la producción de laderas inestables (Ver 12, en Figura 4.1) y desviación de drenajes. Evidencias que con el refuerzo del estudio petrográfico sugieren la presencia de un posible alineamiento tectónico.

4.2. Descripción de las Unidades Metamórficas.

El afloramiento que constituye el área de estudio posee unos 652 metros de altura. El mismo fue dividido en cinco secciones, tomando en cuenta para su división una serie de criterios litológicos, estructurales y tectónicos que permitieron hacer una diferenciación entre las secciones presentes. Las secciones metamórficas presentes están representadas gráficamente en la Figura 4.2, estas son:

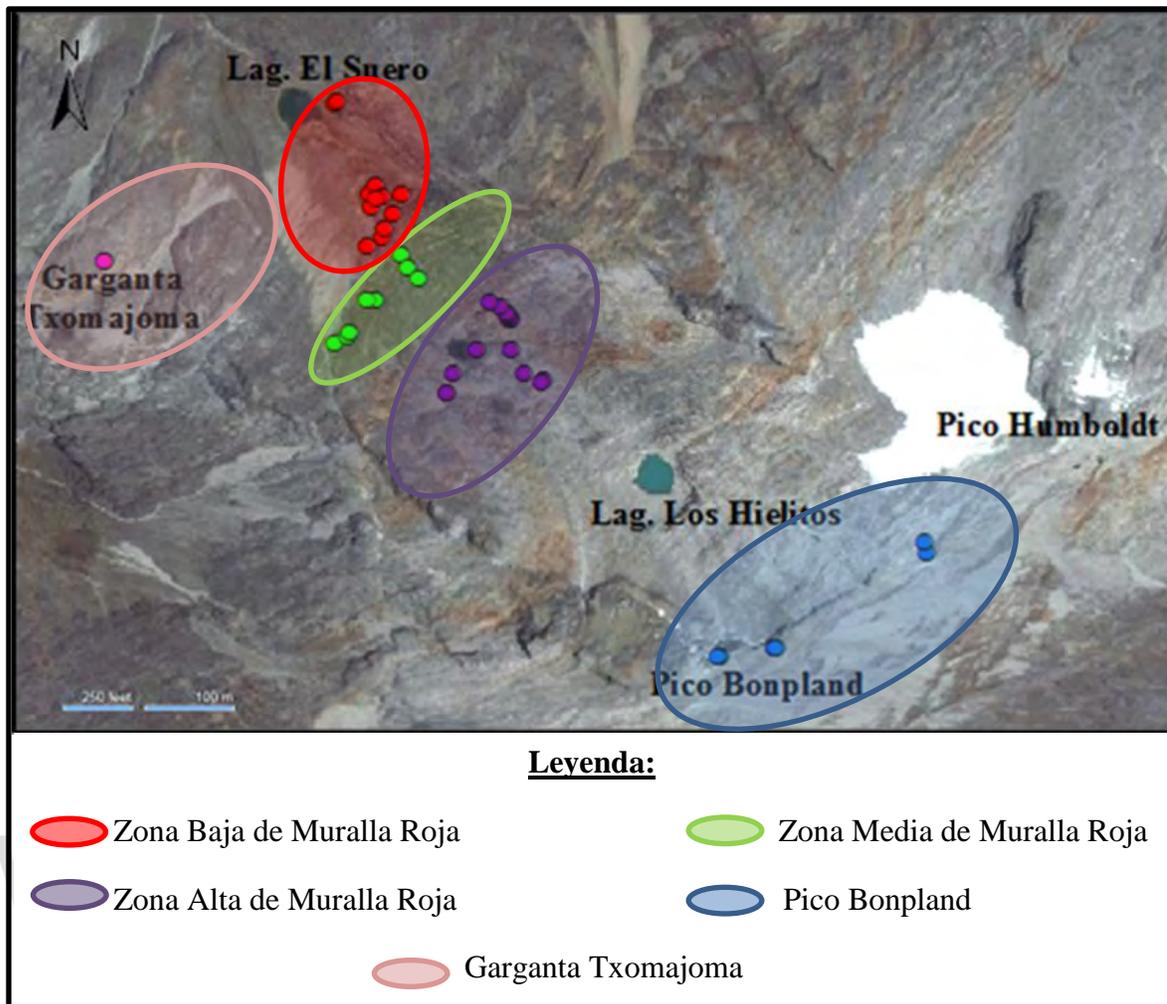


Figura 4.2. Delimitación de las secciones metamórficas. Modificada de Bing Maps 3D.

4.2.1. Zona Baja de Muralla Roja.

4.2.1.1. Relaciones de Campo.

De forma general, la Asociación Sierra Nevada, que es una de las unidades litodémicas más importantes de Los Andes, está constituida principalmente por esquistos y gneises, formados y estructurados por la acción de procesos de metamorfismo regional principalmente de rocas sedimentarias (afirmación corroborada por varios autores de notoria importancia en la elaboración de trabajos referentes a la Asociación Sierra Nevada), donde ocurren localmente superposición de metamorfismo de contacto debido a la presencia de intrusiones ígneas. Según Guerrero (1994), la unidad que corresponde a la zona de estudio de la presente investigación se encuentra suprayaciendo a una unidad

gnéisica granatífera-clorítica, que no llega a aflorar en esta área ni en sus adyacencias. La zona de estudio se acopla a estas descripciones a escala regional presentando características relevantes que deben ser estudiadas a escala más detallada, lo que será expuesto a continuación.

La Zona Baja de Muralla Roja conforma la parte basal del macizo rocoso que constituye al Flanco Norte del Pico Bonpland. Como parte de esta sección se toma las adyacencias de la Laguna El Suero y los primeros 90 metros que conforman Muralla Roja. Dicha zona se ubica en la parte alta de la cuenca de la Quebrada La Coromoto. En la Figura 4.3 se muestra una imagen delimitando la Zona Baja de Muralla Roja.

La Laguna El Suero, punto más bajo de esta zona, con una altitud de 4.228msnm, se ubica como uno de los cuerpos lagunares más elevados de Los Andes Centrales. Esta laguna debe su formación a la disposición de los cuerpos morrénicos frontales y laterales del antiguo glaciar que descendía por Muralla Roja y que en la actualidad rodean y encierran a la laguna, lo que causa esta acumulación hídrica. Las dimensiones de esta laguna no eran conocidas, sin embargo durante el trabajo de campo se determinó que tiene un área de 521m². En la Figura 4.4 se muestra la delimitación del área de la Laguna El Suero y en la Figura 4.5 las morrenas que la forman.



Figura 4.3. Delimitación de la Zona Baja de Muralla.

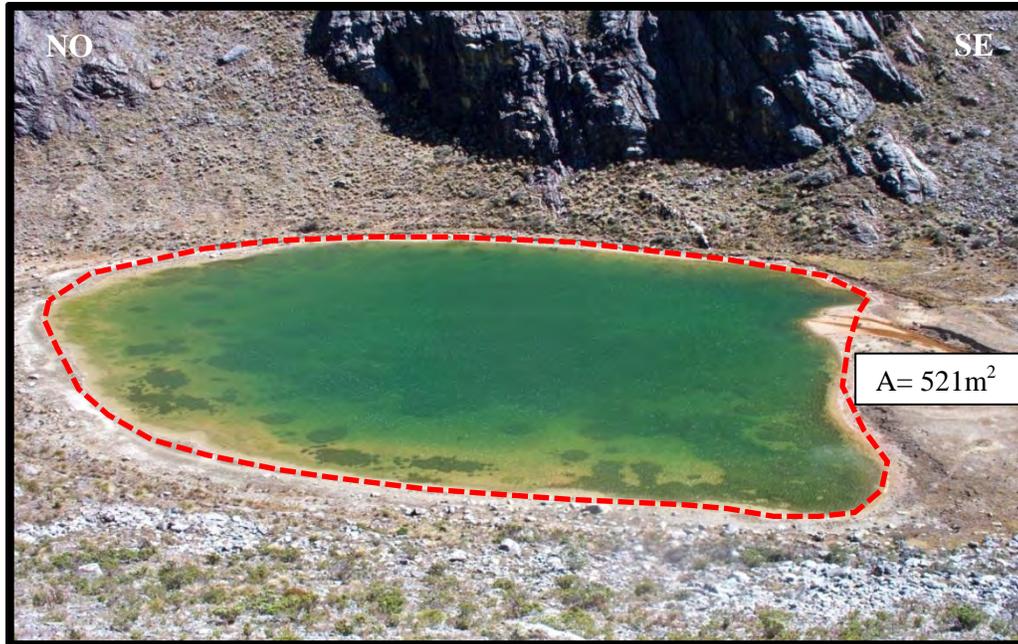


Figura 4.4. Delimitación del área de la Laguna El Suero.

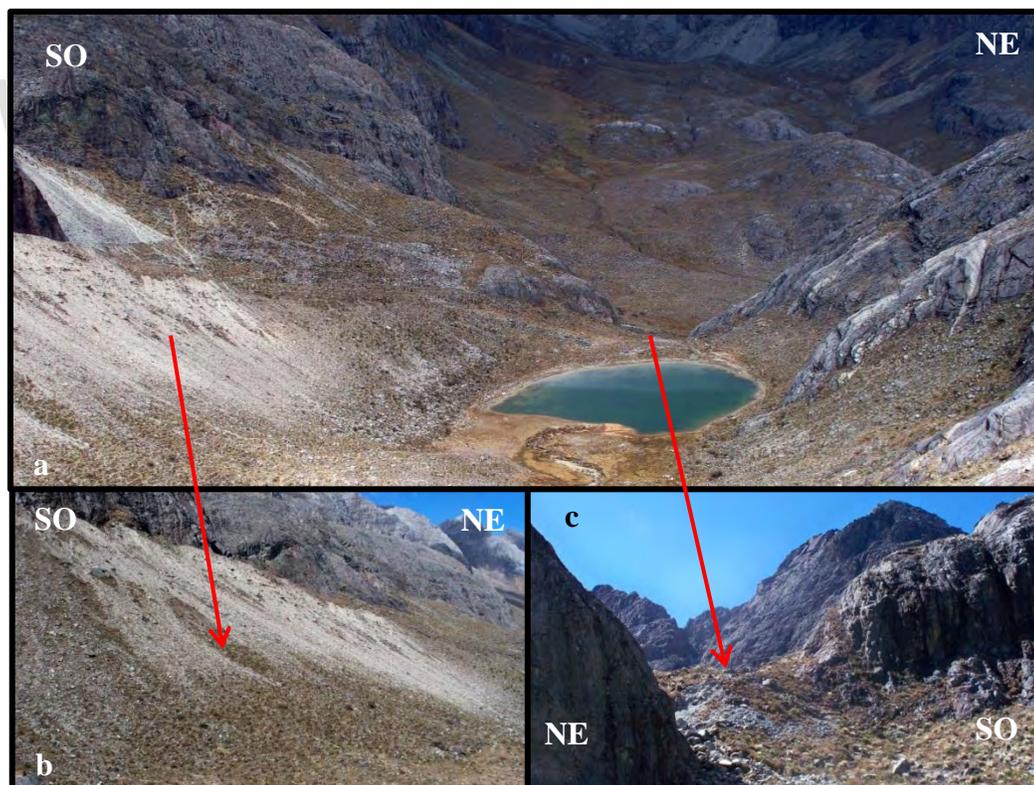


Figura 4.5. Morrenas de la Laguna El Suero. a) Vista de la laguna y sus morrenas, b) Detalle morrena lateral, c) Detalle morrena frontal.

En el lado Este de la Laguna El Suero se encuentra aflorante el cuerpo definido por Guerrero (1994) como el Cuerpo Granítico El Suero, el cual se presenta intrusivo directamente con esquistos de la Asociación Sierra Nevada. Este cuerpo granitoide tiene una forma elíptica, ya que su relación vista en fotografías aéreas indica que es Largo/Ancho > 1. En la Figura 4.6 se muestra un detalle de la fotografía aérea indicando la forma del cuerpo granitoide.



Figura 4.6. Forma elíptica del Cuerpo Granítico El Suero. fotografía aérea a escala 1:60.000.

En este cuerpo fueron recolectadas dos muestras (PBD36 y PBD37), cuyos análisis macroscópicos determinan que poseen un aspecto masivo, homogéneo y de una contextura de alta dureza. Las muestras presentan cristales de grano fino a medio (según la tabla de tamaño de cristales expuesta en Castro, 1989), heterogranulares, con un nivel medio de meteorización. El color fresco de la roca es *Pale Green 10G 6/2*, según la tabla de colores de Munsell (1995) y el meteorizado *Moderate Brown 5YR 4/4*. En las muestras se pueden apreciar venas de cuarzo, un ejemplo de esto es mostrado en la Figura 4.7 de la muestra PBD37. Mineralógicamente se puede notar la abundancia de cuarzo (como mineral predominante) y feldespatos, la presencia de micas claras como la muscovita se puede observar pero no en gran abundancia. Suprayaciendo a este Cuerpo Granítico El Suero se encuentran los primeros bloques de rocas esquistosas que representan el comienzo de Muralla Roja y la base del macizo. Muralla Roja está conformada por una gran pared de

roca desnuda, con altas pendientes, pulidas y trabajadas por la antigua acción de procesos glaciares, donde las características fundamentales las establecen la variabilidad litológica en forma bandeada que atraviesa toda su extensión. A nivel de afloramiento este primer tramo está constituido por rocas que han sufrido un intenso proceso de metamorfismo regional, donde los protolitos sedimentarios pelíticos (según el estudio petrográfico que será explicado posteriormente) han sido sometidos a altas presiones y temperaturas que los han deformado hasta lograr la disposición actual. El afloramiento comienza con bloques potentes de roca maciza de colores rojizos, debido a la oxidación de minerales ricos en hierro. En la Figura 4.8a se muestra en detalle uno de los primeros bloques de Muralla Roja de donde se extrajo la Muestra PBD30, se puede notar su color de meteorización rojizo intenso. Yuxtaponiéndose a estos se encuentran bloques con tonalidades grisáceas (la Figura 4.8b muestra un detalle del afloramiento en una de sus franjas grisáceas, de donde fue extraída la muestra PBD33) alternándose con otras bandas rojizas de menor espesor. En general esta sección del afloramiento está basada en esa dinámica de franjas rojizas y grises aflorantes en toda su extensión, conformando unos 90 metros de altura.



Figura 4.7. Vena de cuarzo en la muestra PBD37.

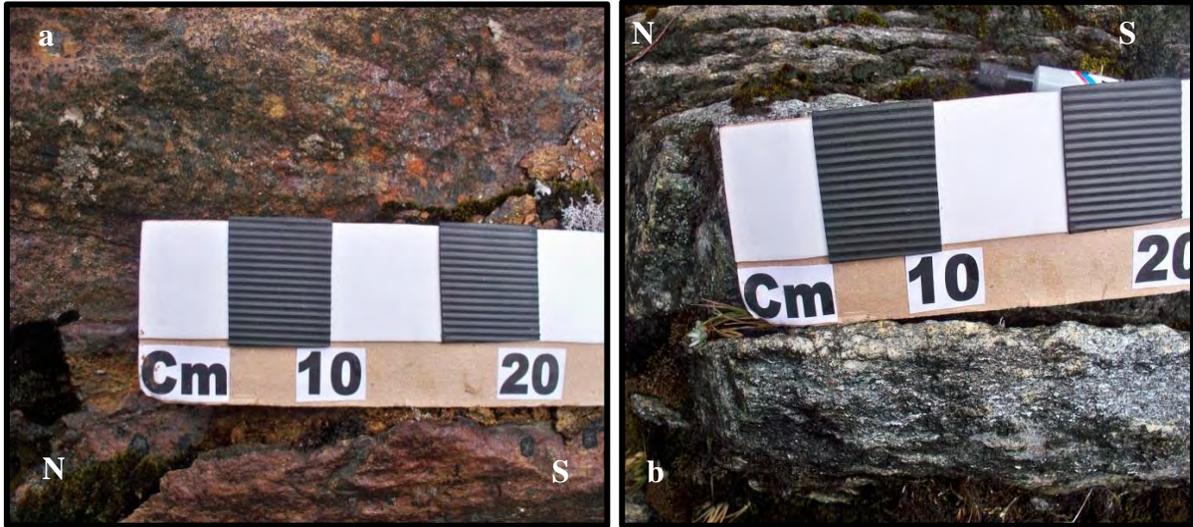


Figura 4.8. Detalles del afloramiento. a) Franja rojiza PBD30, b) Franja grisácea PBD33.

Desde el punto de vista litológico, la mayoría de las 13 muestras que fueron extraídas de esta zona corresponden a rocas esquistosas (solo exceptuando la muestra PBE47, que es un gneis), las características macroscópicas de cada una de las muestras están representadas en la Tabla de Descripción Macroscópica de las Muestras anexada en el Apéndice C.

Una de las muestras más representativas de esta zona es la PBB3, la cual se caracteriza por poseer una esquistosidad bien definida, con gran abundancia de muscovita y también fenocristales de cuarzo, con un tamaño de grano de medio a grueso, aspecto heterogéneo granudo, (Figura 4.9). Por otra parte la única muestra de composición gnéisica es la PBE47, que se observa en la Figura 4.10. Esta tiene un aspecto heterogéneo bandeado, con gran abundancia de cuarzo y micas, con una segregación bien definida entre los minerales claros y oscuros. Dicha diferenciación litológica en una zona de tan poca extensión se debe principalmente a cambios composicionales en sus protolitos, que una vez sometidos a los procesos metamórficos generaron esta diferencia litológica de esquistos y gneises superpuestos a lo largo de este macizo.

La Tabla 4.1 muestra las foliaciones de algunas de las muestras tomadas en esta zona. De esta se puede inferir que la totalidad de las rocas que conforman la Zona Baja de Muralla Roja siguen el mismo plano de foliación, ya que sus orientaciones son similares, determinando así que ha sido formado por el mismo proceso de deformación.



Figura 4.9. Muestra PBB3.



Figura 4.10. Muestra PBE47.

Tabla 4.1. Foliaciones de la Zona Baja de Muralla Roja.

Muestra	Foliación
PBB3	N60E 65SE
PBD30	N48E 74SE
PBD31	N56E 77SE
PBE47	N41E 83SE

El grado de meteorización generalizado para toda la zona va de medio a alto, con diferenciaciones importantes en ciertos sectores con respecto a otros. Las evidencias erosionales más relevantes son producto de la oxidación de las rocas. También hay presencia de materia orgánica que ha contribuido a la disgregación mecánica de algunos fragmentos de roca. A su vez es importante señalar que a lo largo de esta zona se encuentran evidencias de procesos erosivos asociados a condiciones glaciares y periglaciares, donde el efecto de la gelifracción ha sido causante de la meteorización mecánica de la roca.

Un ejemplo de procesos de gelifracción puede observarse en la Figura 4.11a, en donde está representado un gran bloque de roca cubierto por una capa de hielo que contribuye con la meteorización de las rocas presentes. En la figura 4.11b se demuestran evidencias del pulido y producción de estrías en las rocas por consecuencia del avance del glaciar sobre ellas.

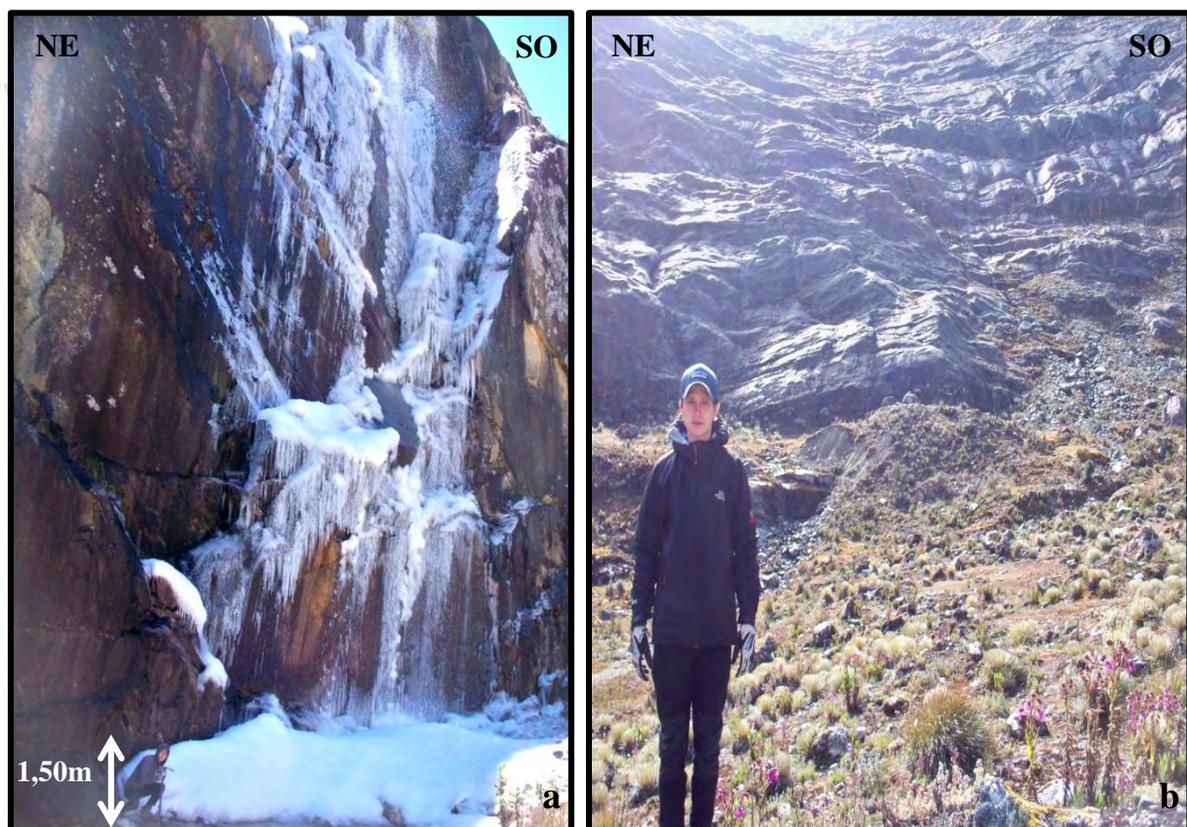


Figura 4.11. a) Evidencias de procesos de gelifracción, b) Rocas pulidas y producción de estrías glaciares.

En la zona también se pueden encontrar depósitos sedimentarios de fondo de valle como pequeños conos de derrubios ubicados en los pies de las escarpadas laderas, así como depósitos emplazados en forma de morrenas. El depósito cuaternario más importante de la zona está constituido por un pequeño delta de acción fluvial en la cabecera de la Laguna el Suero (Figura 4.12).

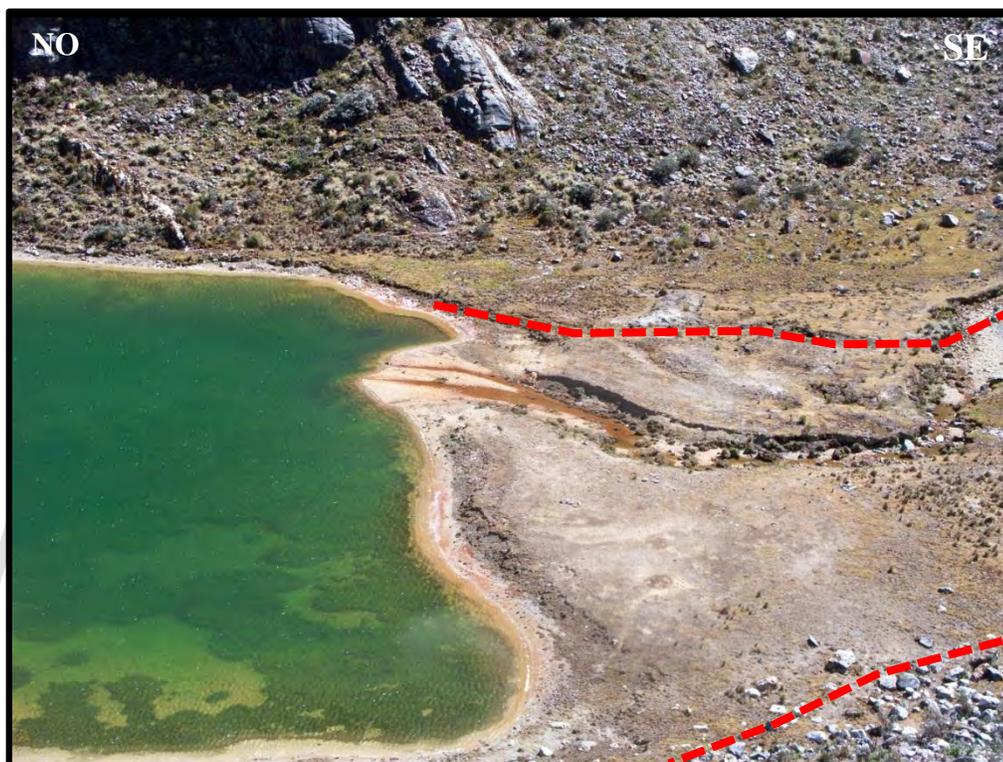


Figura 4.12. Delta de acción fluvial de la Laguna El Suero.

4.2.1.2. Análisis petrográfico.

Mediante el análisis petrográfico se determinó: la composición mineralógica, paragénesis mineral, relación presión/temperatura, texturas, microestructuras y relaciones blastesis-deformación, mediante el esquema de clasificación de Castro, A (1989). Las facies y subfacies metamórficas se clasificaron según el criterio de Winkler (1967). La distribución de las facies metamórficas con relación a la profundidad, presión y temperatura, se clasificó según el criterio propuesto por Winter (2001). La clasificación del protolito se determinó mediante el esquema propuesto por Blatt y Tracy (2000). Para dar nombre al tipo de roca fue usada la clasificación realizada por la Subcomisión Sistemática de Rocas Metamórficas.

(SSCMR). Los apéndices D y E muestran la composición modal y el patrón textural de todas las muestras correspondientes a la zona de estudio.

En la Zona Baja de Muralla Roja se comprende un total de 10 muestras analizadas, las rocas esquistosas de esta unidad, presentan una composición mineralógica principalmente de cuarzo, feldespatos, biotita, muscovita, clorita, silimanita, granate y magnetita. Su patrón textural dominante es textura granolepidoblástica, microestructuras con esquistosidad grosera, foliación metamórfica, bandeo composicional, sombras de presión y esquistosidad interna en porfidoblastos. En cuanto al gneis presente en esta unidad su composición mineralógica corresponde esencialmente a cuarzo, ortosa, plagioclasa del tipo albita y microclino. La vena pegmatítica se presenta según el índice de color como una roca leucocrática, con un alto contenido mineralógico de cuarzo y muscovita en su totalidad. La Tabla 4.2 representa los grupos litológicos presentes en esta unidad.

Tabla 4.2. Grupos litológicos presentes en la Zona Baja de Muralla Roja

Muestra	Grupo Litológico
PBB3	Esquisto cuarzo ortósico muscovítico clorítico
PBD29	Vena pegmatítica
PBD30	Esquisto cuarzo ortósico biotítico muscovítico
PBD31	Esquisto cuarzo muscovítico clorítico silimanítico
PBD32	Esquisto cuarzo muscovítico biotítico ortósico
PBD33	Esquisto cuarzo biotítico muscovítico ortósico
PBD35	Esquisto cuarzo biotítico muscovítico ortósico
PBE45	Esquisto cuarzo muscovítico biotítico ortósico
PBE46	Esquisto cuarzo biotítico feldespático muscovítico
PBE47	Gneis cuarzo feldespático muscovítico

A continuación se describirán los grupos litológicos más representativos de esta zona, los cuales son:

Esquisto cuarzo ortósico muscovítico clorítico (Muestra PBB3).

Presenta una estructura bandeada con foliación esquistosa, la forma de sus cristales son subidiomorfos y xenomorfos con un tamaño superior a 1mm. La textura característica es granolepidoblástica (Figura 4.13), y microestructuras como foliación metamórfica, bandeo composicional, sombras de presión y esquistosidad interna en porfidoblastos. En

la Figura 4.14 se puede observar un cristal de plagioclasa alterada a sericita junto con inclusiones de cristales idiomorfos de muscovita y biotita. La formación de sericita a partir del feldespato es producto de la acción de los fluidos. La Tabla 4.3 muestra el contenido mineralógico modal de esta roca.

Tabla 4.3. Mineralogía modal (Muestra PBB3).

Minerales	Qtz	Or	Ms	Chl	Bt	Ab	Gr	Sil	Mgt	Crd
PBB3	25	18	17	12	6	6	4	3	3	5

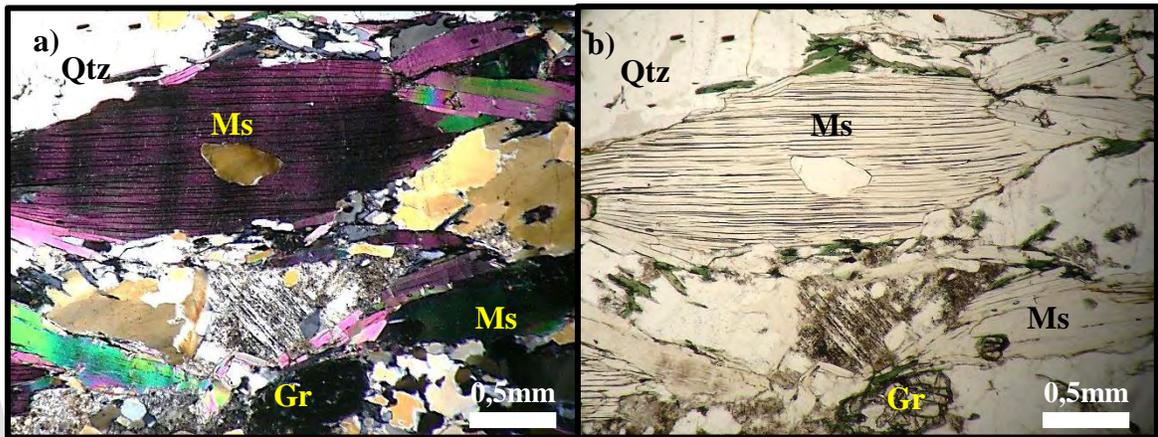


Figura 4.13. Textura Granolepidoblástica. a) NX, b) N//.

La paragénesis mineral para la muestra PBB3 viene dada por cuarzo+muscovita+clorita (Figura 4.15), clasificándola en la Facies de la Anfibolita, Subfacies Silimanita-Granate-Ortosa

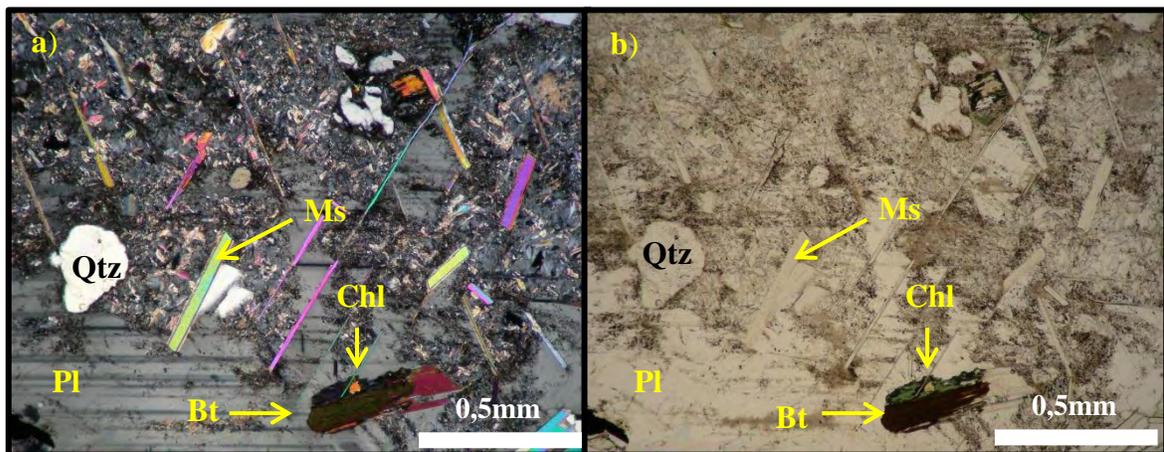


Figura 4.14. Plagioclasa (A_{n10}) alterada a sericita, a) NX, b) N//

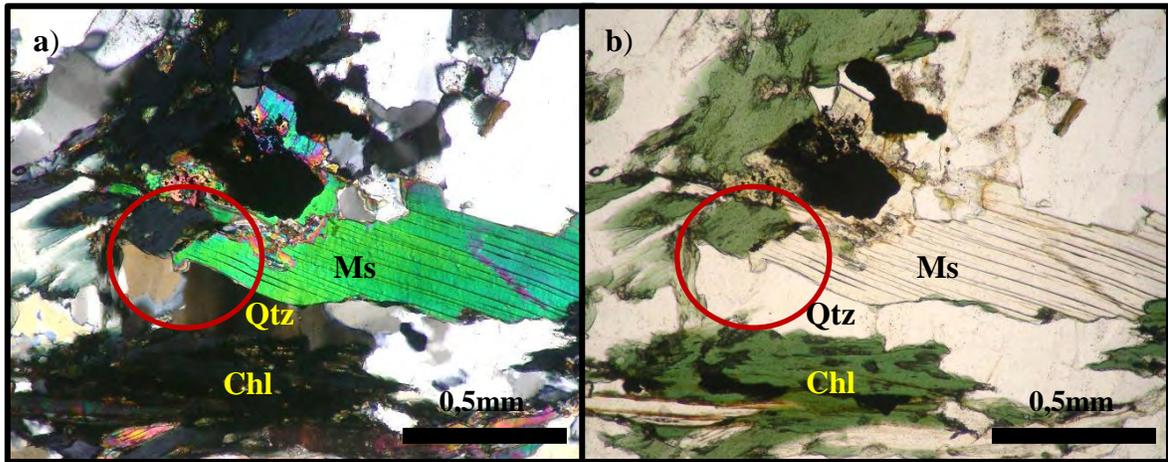


Figura 4.15. Paragénesis mineral. a) NX, b) N//

Esquisto cuarzo muscovítico clorítico silimanítico (Muestra PBD31).

Esta roca presenta un desarrollo textural: con un patrón de textura granolepidoblástica y microestructuras como foliación metamórfica (Figura 4.16). El tamaño de los cristales de la mica muscovita es superior a los 2mm tal y como se observa en la Figura 4.17. En la Tabla 4.4 se observa la composición mineralógica representativa de esta muestra.

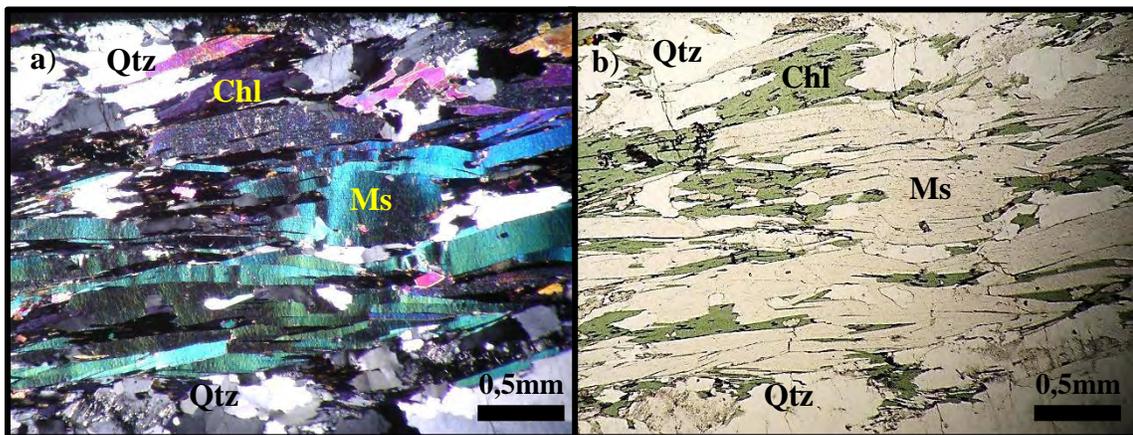


Figura 4.16. Foliación metamórfica. a) NX, b) N//

Tabla 4.4. Mineralogía Modal (Muestra PBD31)

Minerales	Qtz	Ms	Chl	Sil	Ab	Gr	Or	Bt	Mgt
PBD31	25	25	16	10	10	7	5	3	2

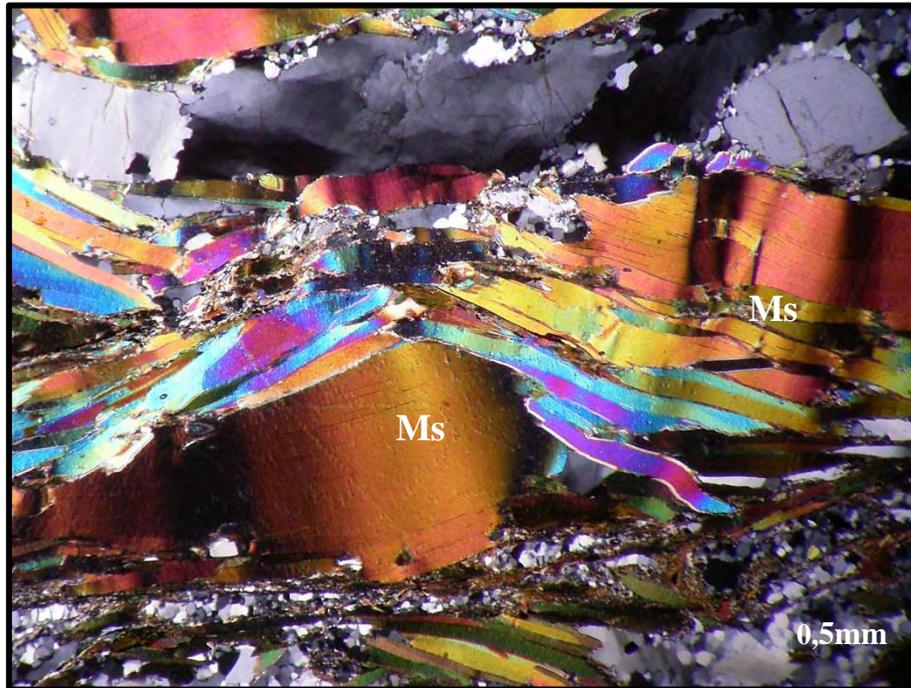


Figura 4.17. Cristal de muscovita NX.

La asociación mineral cuarzo+plagioclasa+clorita+muscovita+granate±biotita obtenida para esta muestra, es clasificada en la Facies de la Anfibolita Subfacies Silimanita-Granate-Ortosa.

Gneis cuarzo feldespático muscovítico (Muestra PBE47).

La muestra PBE47 se caracteriza por poseer una estructura homogénea y textura granoblástica en toda la sección tal y como se observa en la Figura 4.18. La forma de sus cristales son subidiomorfos y xenomorfos presentando un tamaño que va desde los 2mm hasta los 10mm (megacristales), en cuanto a sus microestructuras solo presenta foliación metamórfica. En la Figura 4.19 se observa la alteración de biotita a clorita, esta alteración es causada por los fluidos que intervienen en la roca originando un proceso de cloritización.

La composición mineralógica representativa de esta sección corresponde esencialmente a minerales de cuarzo, ortosa, plagioclasa (A_{an8}), microclino y muscovita, en la Tabla 4.5 se muestra la composición modal que caracteriza a esta roca.

En cuanto a su asociación mineralógica corresponde a cuarzo+plagioclasa+clorita+biotita, clasificándola en la Facies de la Anfibolita, Subfacies Silimanita-Granate-Ortosa.

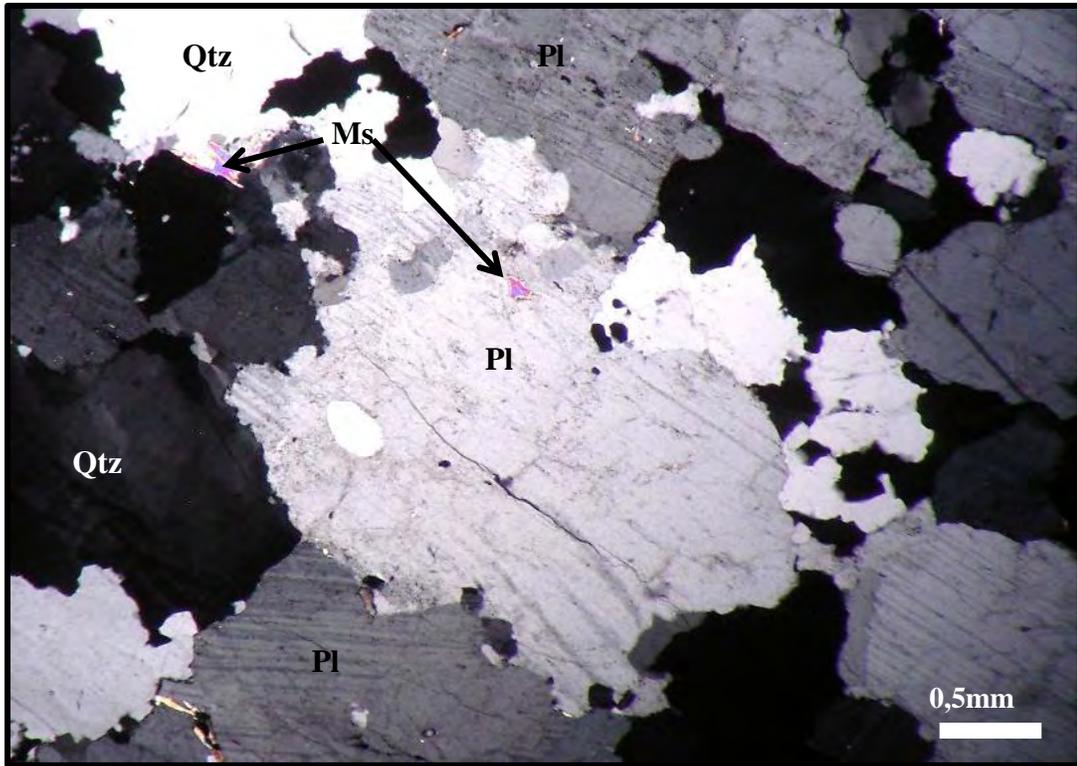


Figura 4.18. Textura Granoblástica. NX.

Tabla 4.5. Mineralogía modal de la muestra PBE47.

Minerales	Qtz	Or	Pl (A _{An18})	Ms	Sil	Kfs	Chl	Bt
PBE47	22	22	20	10	8	8	5	5

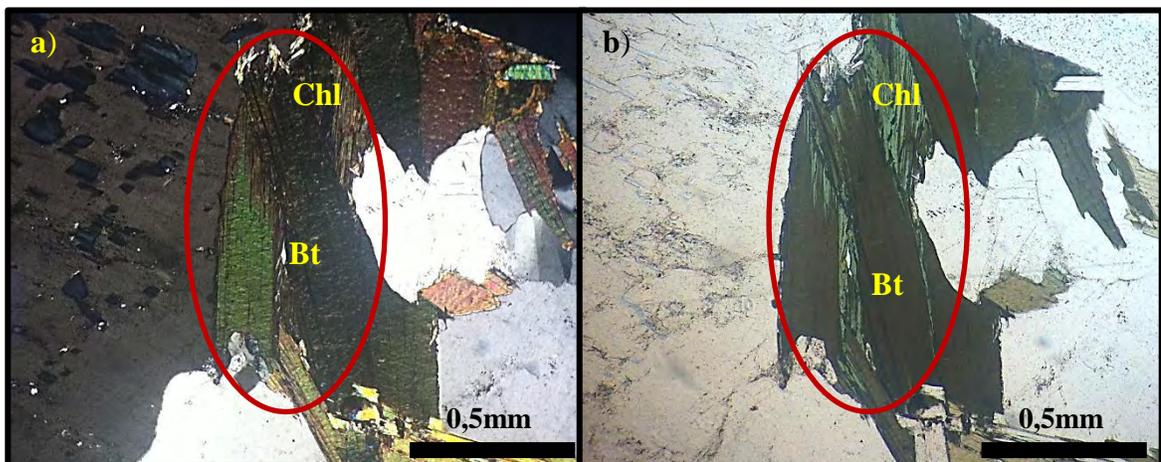


Figura 4.19. Biotita Cloritizada. a) NX, b) N//.

Vena Pegmatítica (Muestra PBD29).

La pegmatita se presenta en forma de vena y se encuentra ubicada en la zona mas baja de esta unidad, es decir en su base. La vena pegmatítica está compuesta por cuarzo y muscovita, la forma de sus cristales varían entre subidiomorfos (micas) y xenomorfos (cuarzo), algunos de sus cristales presentan un gran tamaño (>2mm) (Figura 4.20), esto es debido a que en la etapa de cristalización de un ambiente rico en fluidos hace que se incremente una migración iónica originando la formación de grandes cristales especialmente de micas (muscovita) (Méndez, 2006). La Tabla 4.6 muestra el contenido mineralógico modal presente en esta roca.

Tabla 4.6. Mineralogía modal de la muestra PBD29

Minerales	Ms	Qtz
PBD29	60	40

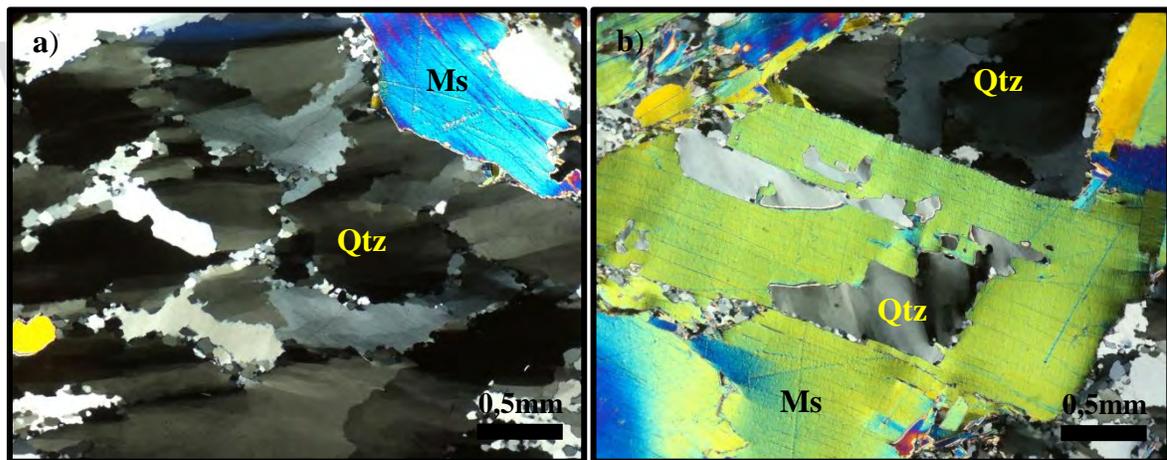


Figura 4.20. Tamaño de los Cristales a) Grandes cristales de cuarzo NX, b) Grandes cristales de muscovita NX.

4.2.2. Zona Media de Muralla Roja.

4.2.2.1. Relaciones de Campo.

La Zona Media de Muralla Roja se encuentra directamente suprayacente a la Zona Baja. La Figura 4.21 muestra una imagen donde se puede observar la mayor parte de la sección del afloramiento abarcada por esta Zona Media, demarcando a su vez la línea divisoria

entre las zonas baja y media. Esta zona se ubica dentro de un gran valle en “U” labrado por el avance del hoy extinto glaciar. Este valle en “U” bien definido se muestra en la Figura 4.22, que es una fotografía tomada desde las adyacencias del flanco Sur del glaciar del Humboldt, que por estar topográficamente más elevado permite una amplia visión de este rasgo geomorfológico; además, se representa el punto culminante de la zona media y el comienzo de la Zona Alta de Muralla Roja. Como consecuencia de la influencia glaciar las rocas se encuentran marcadas por evidencias glaciares, donde quizás la más representativa sea la presencia de estrías glaciares o “*tool marks*”, las cuales tienen una orientación NW. La Figura 4.23 muestra algunas “*tool marks*” labradas sobre la roca, se puede ver que la orientación marcada por el avance del glaciar sobre las superficies estriadas no se corresponden ni guardan ninguna relación con los planos de foliación de las rocas presentes. Otra evidencia bastante destacada es el aspecto pulido del conjunto de rocas resultante del avance del glaciar sobre las mismas. Este aspecto se muestra en la Figura 4.24. Según Schubert, C. (1972) en Guerrero (1994), toda la extensión superficial que conforma la zona de estudio de la presente investigación fue afectada por el evento climático denominado “Glaciación Mérida”, término que empleo para designar un periodo equivalente al avance glaciar del Pleistoceno Tardío.

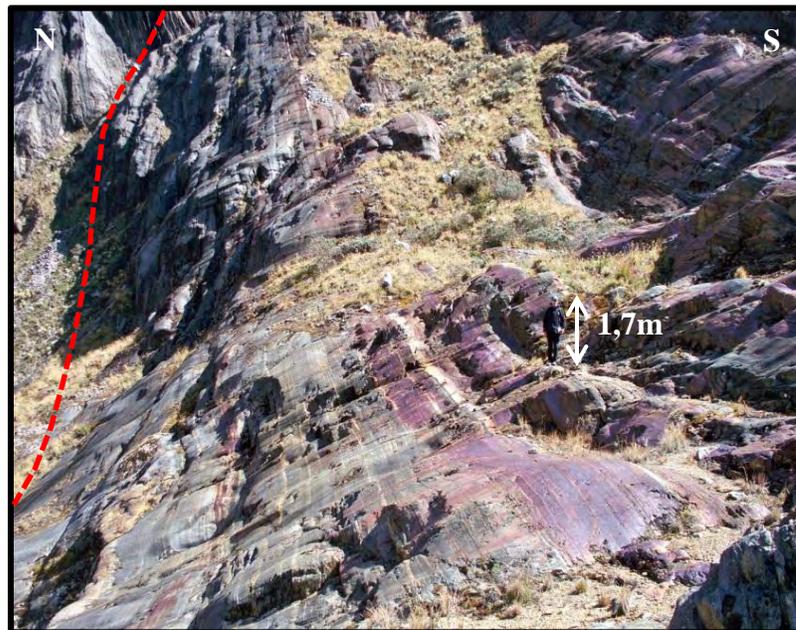


Figura 4.21. Delimitación de la Zona Media de Muralla Roja.



Figura 4.22. Valle en "U".

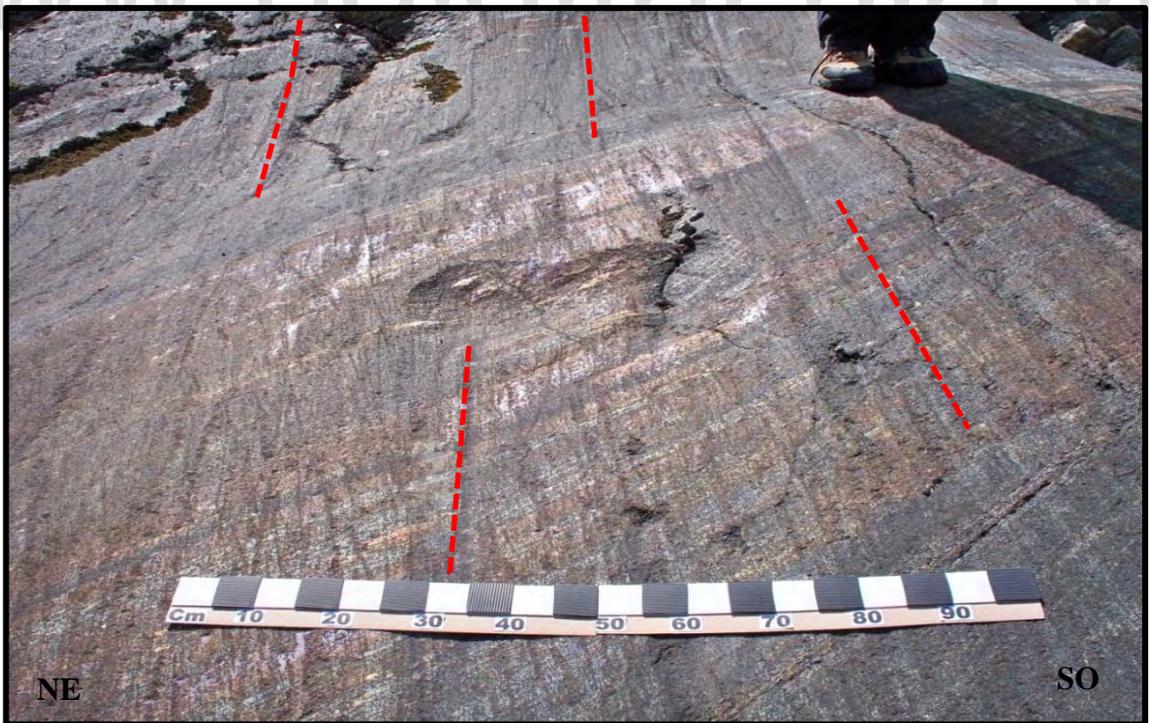


Figura 4.23. "Tool marks" o estrías glaciares.



Figura 4.24. Rocas pulidas por el avance del Glaciar.

En la actualidad ya la zona no se encuentra sometida a procesos de erosión glaciár, más sin embargo, esta sección de la Asociación Sierra Nevada sigue siendo modelada por la incidencia de agentes geodinámicos externos, entre los que pueden destacarse procesos periglaciares, tectónicos, litológicos e hídricos.

Este conjunto rocoso está sometido a un constante escurrimiento hídrico de pequeños afluentes producto de la escasas de cobertura vegetal y las fuertes pendientes que en él se encuentran; este proceso de escurrimiento puede observarse en la Figura 4.25, perteneciente a la caída de un pequeño afluente sobre las rocas que conforman esta sección del área de estudio en su parte oeste. Todos estos factores geodinámicos dan como resultado un relieve accidentado, con pendientes que superan los 40° de inclinación, donde el acceso a las vertientes y laderas es bastante difícil.

Esta sección del afloramiento se encuentra fuertemente afectada por procesos de oxidación, donde la variabilidad litológica de rocas con alto porcentaje composicional de minerales ferromagnesianos, intercaladas con bandas empobrecidas en estos minerales ha causado la

formación de bandas de forma tabular alargadas, con tonalidades bien diferenciadas, en las que franjas rojizas y grisáceas se intercalan a través de la extensión de esta zona.

Este fenómeno se encuentra bien registrado en la panorámica tomada de esta sección y mostrada en la Figura 4.26, donde se puede apreciar la alternancia de bandas de rocas fuertemente oxidadas de tonalidades rojizas y bandas grisáceas pobremente afectadas por este factor.

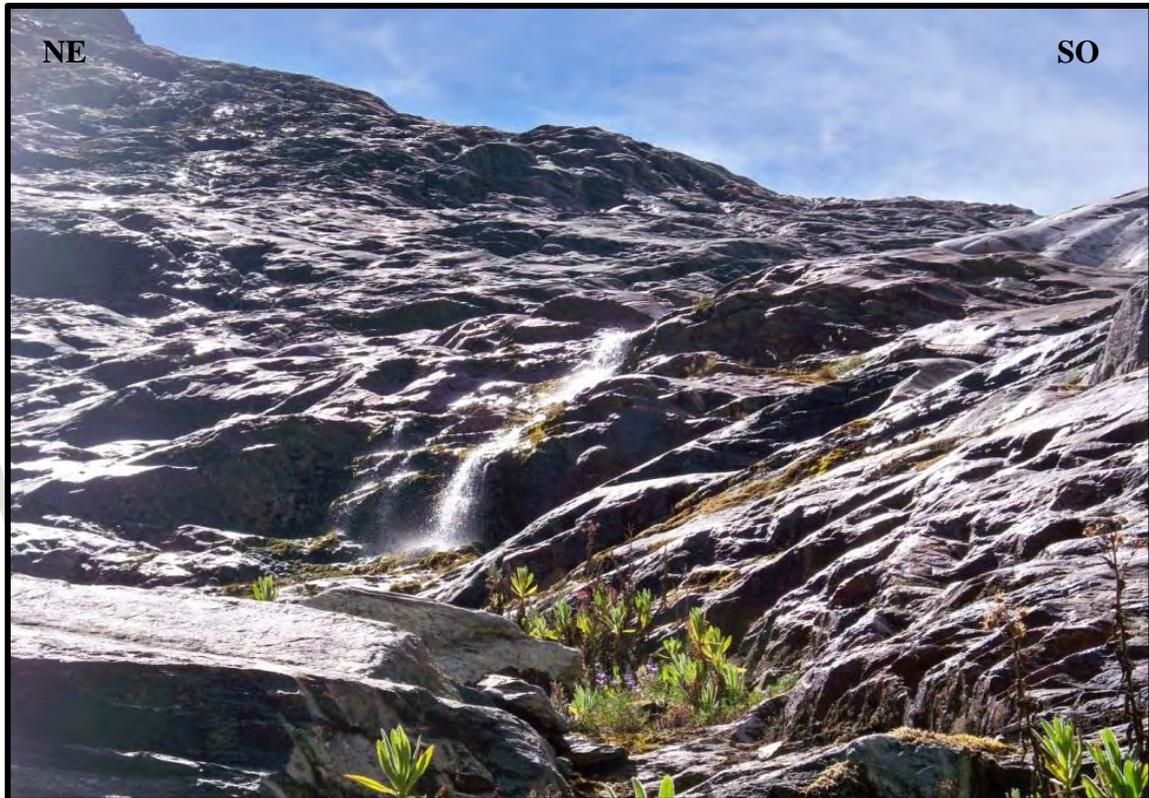


Figura 4.25. Proceso de escurrimiento sobre las rocas.

A su vez en el afloramiento se pueden apreciar fracturas y diaclasas, que aunque están dispuestas de forma caótica sin ninguna orientación preferencial aparente, influyen en el proceso de meteorización de las rocas aflorantes.

Este bandeamiento composicional reflejado en forma de bandas con alternados niveles de oxidación puede ser apreciado incluso desde el otro Flanco del macizo rocoso. En la Figura 4.27 se puede apreciar una toma del Flanco Sur del Pico Bonpland, en el que el bandeamiento puede ser igualmente diferenciado.

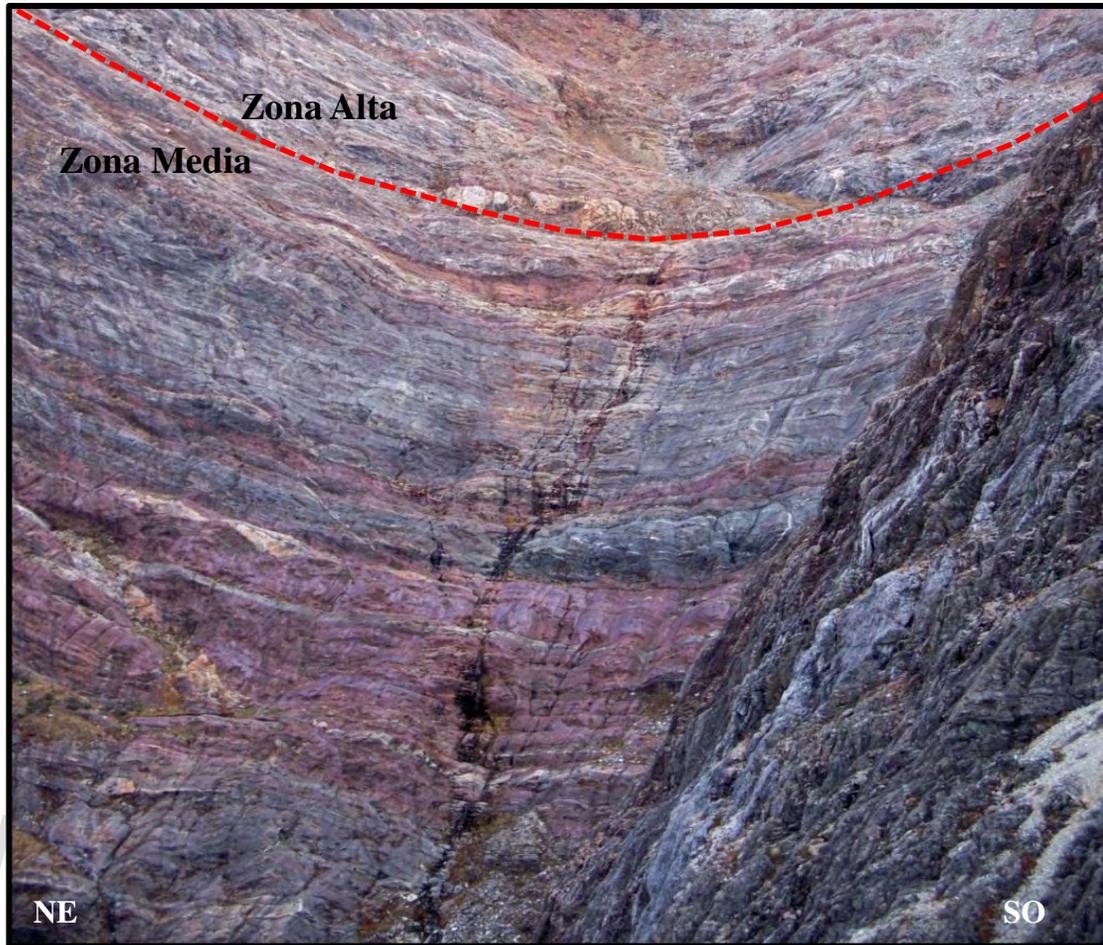


Figura 4.26. Alternancia de bandas rojizas y grisáceas en la Zona Media de Muralla Roja.

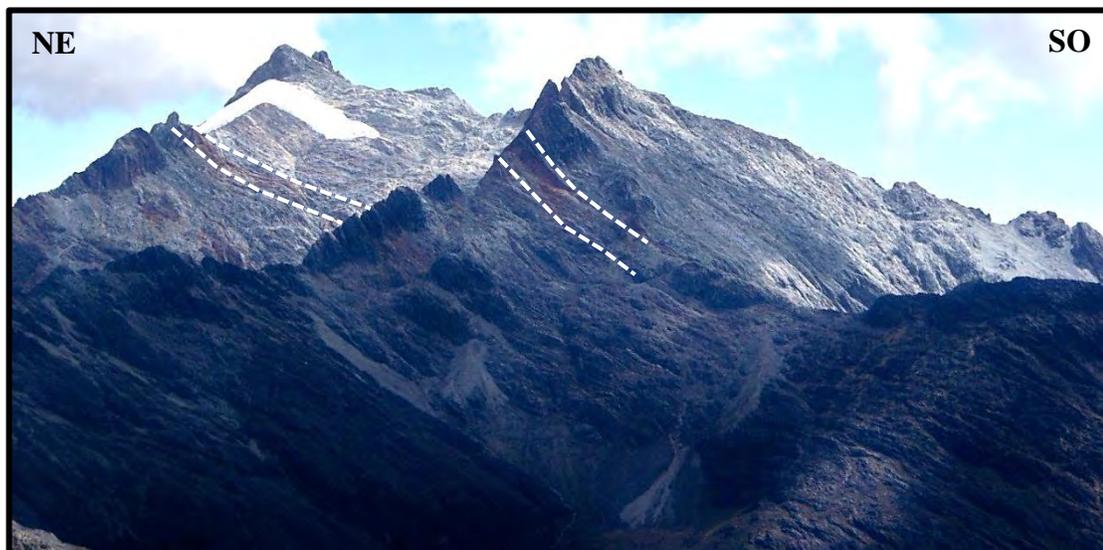


Figura 4.27. Bandeado en los Flancos Sur de los Picos Bonpland y Humboldt.

En esta zona fueron recolectadas 10 muestras de campo, cuyas altitudes varían entre los 4.270 y los 4.317 msnm. Los atributos macroscópicos de cada una de las muestras se encuentran en el Apéndice C.

Litológicamente esta sección se compone por una serie de esquistos que al igual que en la zona anterior provienen de protolitos sedimentarios pelíticos, con la intercalación de una franja gnéisica de donde fueron extraídas las muestras PBB6 y PBE42. Macroscópicamente estos gneises tienen un aspecto masivo, de grano fino, con colores frescos grisáceos y de meteorización marrón rojizo. Estas muestras presentan una alineación preferencial de los minerales y en el caso particular de la muestra PBB6, se denota una gran abundancia de mica muscovita.

Por otra parte, los esquistos aunque con características diferenciables entre ellos presentan de forma general una fuerte oxidación que hace que su color de meteorización sea rojizo, sus colores frescos son grisáceos, granos de finos a medios, de aspectos masivos, granudos y esquistosos. En la mayoría se pueden determinar gran abundancia de micas y cuarzo presentándose en algunos casos en forma de bandas o venas. Uno de los casos más representativos de estas rocas esquistosas lo demuestra la muestra PBB5, tomada de una de las franjas más oxidadas de color rojizo de toda la zona de estudio. En esta muestra se denota la presencia de importantes cantidades de micas, lo que se corresponde con muestras adyacentes como la muestra PBB4. Petrográficamente se demostrará posteriormente que dicha muestra tiene gran abundancia de anfíboles y de biotita, coadyudantes en el proceso de oxidación y la coloración de las bandas meteorizadas. La sección del afloramiento de donde fue extraída la muestra PBB5 se muestra en la Figura 4.28.

Otro rasgo de notoria importancia encontrado en esta zona del afloramiento es la presencia de abundantes bandeamientos metamórficos. Estos bandeamientos se pueden encontrar de forma generalizada en gran parte de esta sección metamórfica, van desde 0,5 hasta 8 cm de ancho y lateralmente se pueden extender por varios metros. En la Figura 4.29 se pueden observar estas bandas, con respecto a estructuras bien definidas, y segregación de minerales claros con respecto a minerales oscuros, en los que en algunos casos la acumulación de cuarzo es de forma rectilínea (Figura 4.29a), y en otros casos la segregación minerales claros se presenta de forma elíptica y cuya acumulación tiene unos 6cm (Figura 4.29b). En

las figuras anteriores se puede observar que la tendencia de estas bandas tiende a ser horizontal y rectilínea, sin embargo este no es el caso exclusivo, ya que en otros lugares del afloramiento se pudieron encontrar bandeamientos microplegados, donde las bandas de los micropliegues están bien definidas (Figura 4.30). Esto último es posiblemente resultado de los procesos deformacionales y de intenso metamorfismo al que estas rocas han sido sometidas a lo largo del tiempo geológico. Estos procesos metamórficos también han eliminado totalmente cualquier atributo o textura relictas.

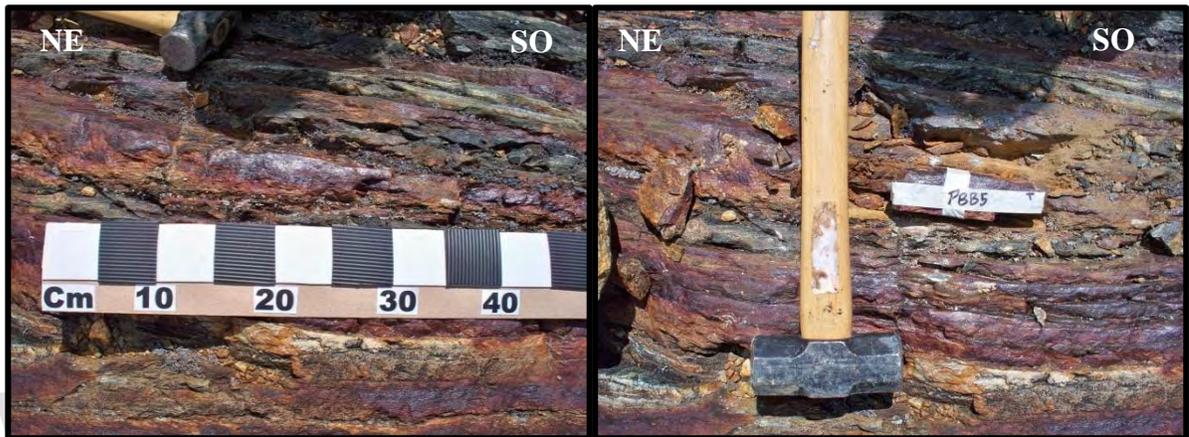


Figura 4.28. Detalle del afloramiento, sección donde fue extraída la Muestra PBB5.

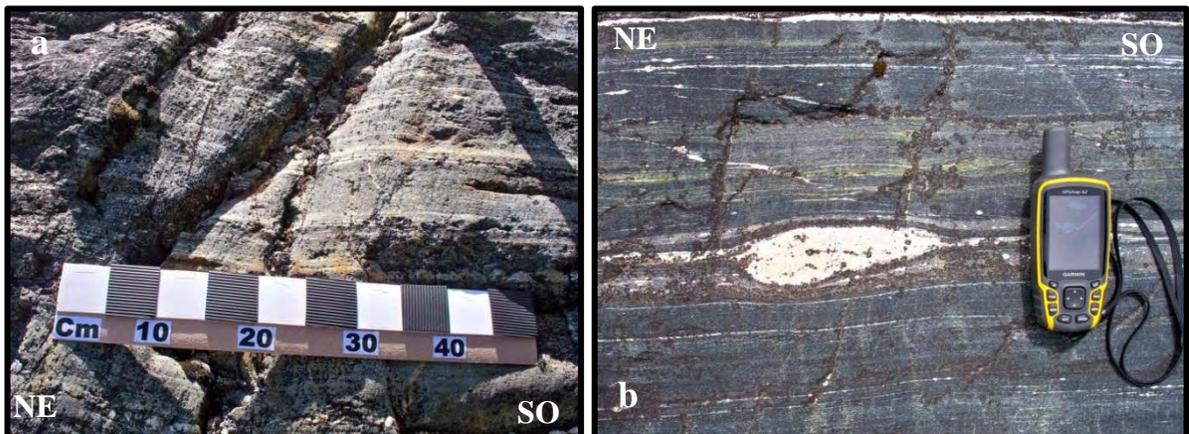


Figura 4.29. a) Bandeamiento metamórfico, b) Acumulación elíptica.

En esta sección también fueron medidas en campo las direcciones de foliación de las rocas, con fines de determinar la continuidad o variabilidad del vasculamiento de las rocas a lo largo de la extensión de la zona de estudio.

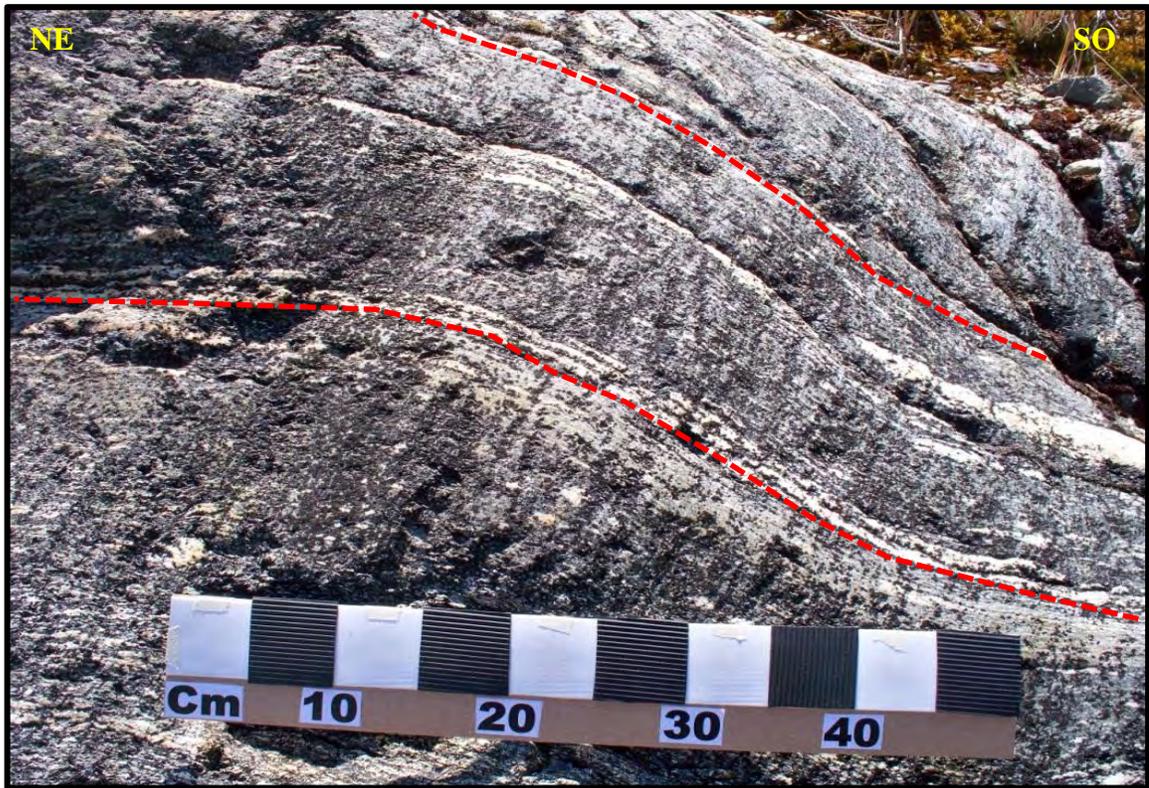


Figura 4.30. Bandeamientos microplegados.

En este caso las foliaciones se muestran en la Tabla 4.7, de la cual se puede determinar que existe una concordancia de orientaciones, sin ningún cambio significativo, resultado del metamorfismo a escala regional con procesos de deformación en donde estuvieron involucradas todas las rocas presentes; son además similares en todos los casos a las obtenidas en la Zona Baja de Muralla Roja.

Tabla 4.7. Foliaciones de la Zona Media de Muralla Roja.

Muestra	Foliación
PBB5	N47E 64SE
PBE38	N42E 78SE
PBE40	N7E 75SE
PBE43	N39E 87SE

4.2.2.2. Análisis Petrográfico.

En la Zona Media de Muralla Roja se comprende un análisis de 8 muestras entre las que destacan esquistos, gneis y anfibolita, su patrón dominante son texturas granoblástica y granolepidoblástica, microestructuras como foliación metamórfica, sombras de presión, bandeo composicional, arcos poligonales y esquistosidad interna en porfidoblastos.

Las rocas de esta zona presentan un contenido mineralógico esencialmente de cuarzo, plagioclasas, biotita, muscovita, silimanita, granate y en el caso de la anfibolita de hornblenda. La Tabla 4.8 muestra los distintos grupos litológicos presentes en esta zona.

Tabla 4.8. Grupos litológicos de la Zona Media de Muralla Roja

Muestra	Grupo Litológico
PBB4	Esquisto muscovítico cuarzo silimanítico
PBB5	Anfibolita hornbléndica
PBB6	Gneis cuarzo ortósico muscovítico albítico
PBE38	Esquisto cuarzo muscovítico ortósico clorítico
PBE39	Esquisto cuarzo muscovítico ortósico clorítico
PBE40	Esquisto biotítico cuarzo granatífero muscovítico
PBE42	Gneis cuarzo ortósico biotítico muscovítico
PBE43	Esquisto biotítico cuarzo granatífero silimanítico

A continuación se describirán los grupos litológicos más representativos de esta zona, los cuales son:

Anfibolita hornbléndica (Muestra PBB5).

Esta anfibolita presenta una estructura bandeada con foliación esquistosa, la forma de sus cristales son subidiomorfos y xenomorfos con un tamaño superior a 1mm. El patrón dominante viene dado por una textura granonematoblástica producto de su contenido de anfíbol (Figura 4.31).

En la Figura 4.32 se observan sus microestructuras como: foliación metamórfica, sombras de presión y arcos poligonales.

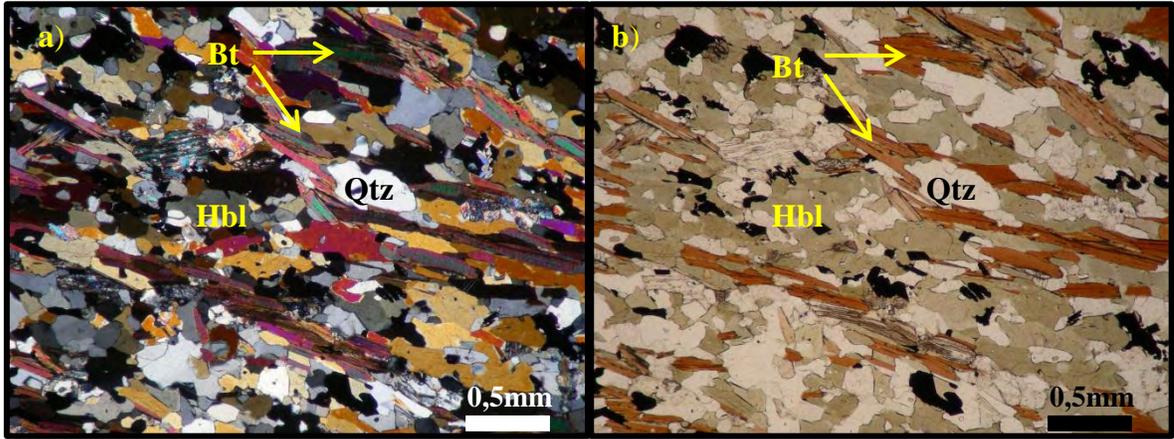


Figura 4.31. Textura Granolepidoblástica a) NX, b) N//.

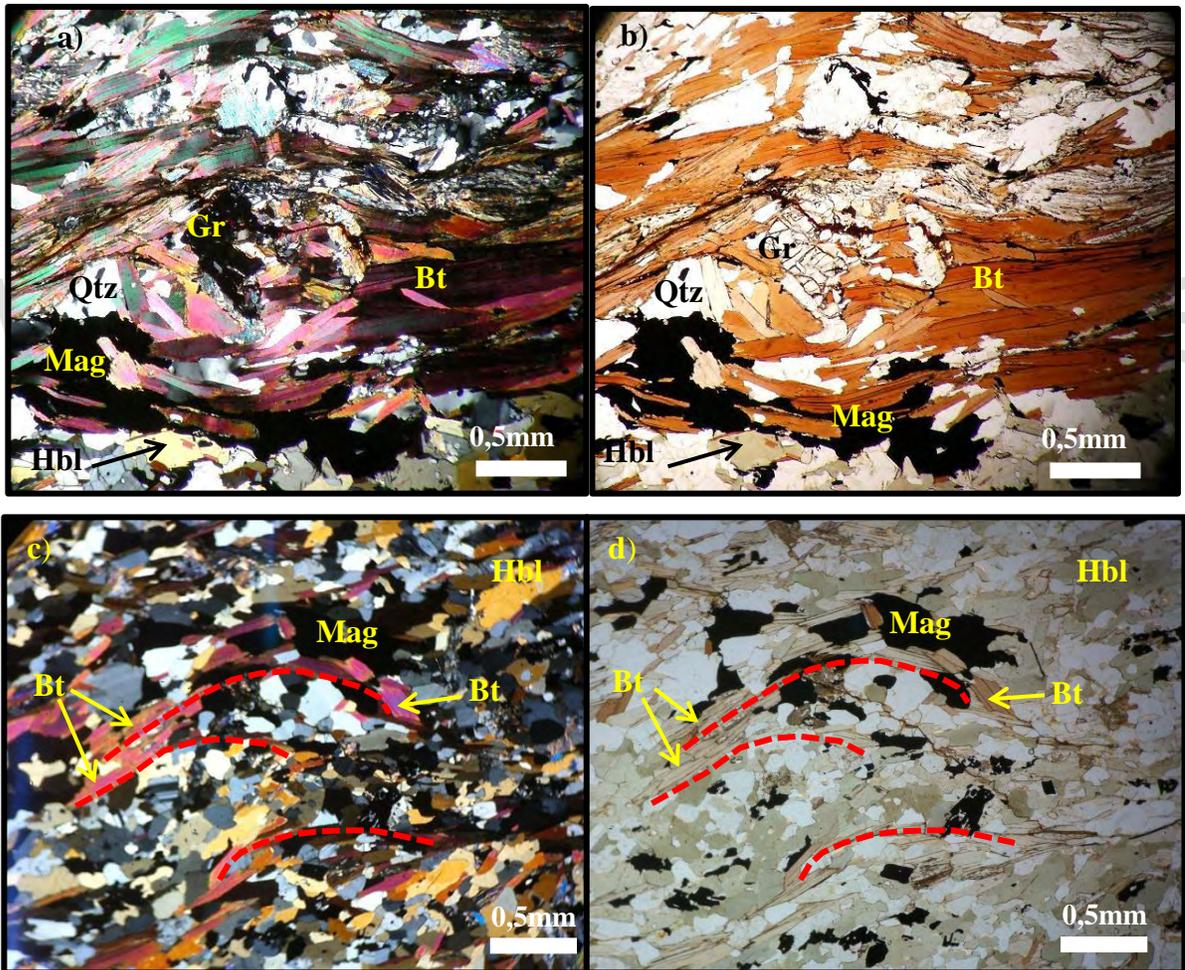


Figura 4.32. a) Sombra de Presión NX, b) Sombra de Presión N//, c) Arcos Poligonales NX, d) Arcos Poligonales N//.

Su composición mineralógica es “híbrida” ya que contiene minerales máficos como hornblenda, biotita y plagioclasas y minerales como granate, cuarzo, feldespato y muscovita, lo que indica un protolito bastante “mezclado” esto es debido a que la muestra fue tomada justo en el contacto con un esquistos cuarzo micáceo (Comunicación Personal, María Daniela Tazzo 25/10/2013). La Tabla 4.9 muestra el contenido mineralógico presente en esta muestra.

Tabla 4.9. Contenido modal de la muestra PBB5

Minerales	Hbl	Bt	Qtz	Gr	Mgt	Pl(A _{An31})	Or	Chl	Ms	Ttn
PBB5	20	18	15	15	10	7	7	3	3	2

Debido a su composición mineralógica tan variada se presentan dos tipos de asociaciones mineralógicas, la primera viene dada por hornblenda+biotita+cuarzo, y la segunda por granate+cuarzo+biotita. Estas asociaciones mineralógicas permiten clasificar esta muestra en la Facies de la Anfibolita, Subfacies Silimanita-Granate-Ortosa.

Gneis cuarzo ortósico muscovítico albítico (Muestra PBB6).

Presenta una estructura bandeada con foliación gnéisica, sus características texturales principales son textura granoblástica con predominancia en la mayor parte de la sección, y granolepidoblástica de forma localizada tal y como se observa en la Figura 4.33 y textura reaccional originada en los bordes de la muscovita en contacto con cuarzo o feldespato (Figura 4.34).

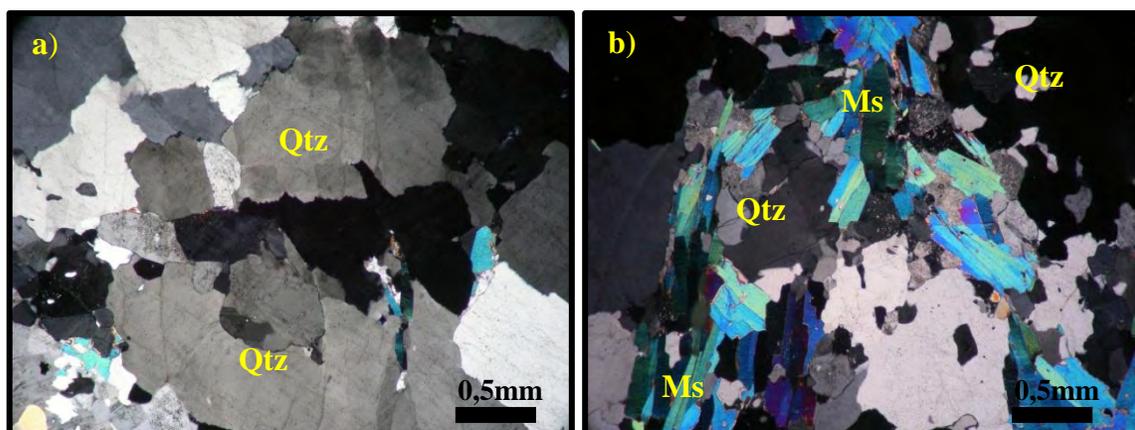


Figura 4.33. Texturas Cristaloblásticas. a) Textura Granoblástica NX, b) Textura Granolepidoblástica N//.

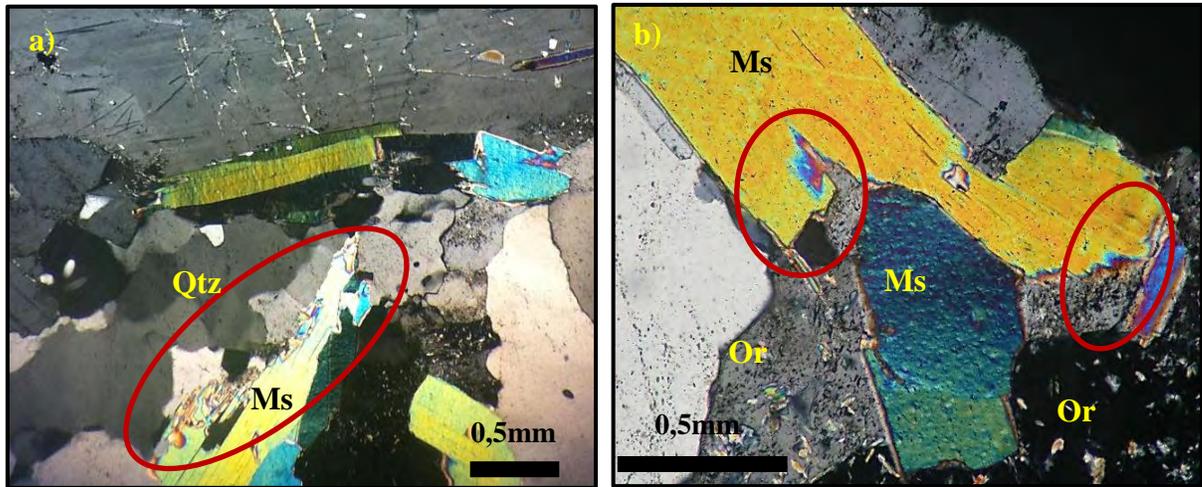


Figura 4.34. Textura Reaccional. a) Reacción Cuarzo-Muscovita NX, b) Reacción Ortosa-Muscovita N//.

Las microestructuras incluyen, foliación metamórfica y esquistosidad interna en porfidoblastos. Esta roca esta compuesta principalmente por cuarzo, muscovita y feldespato, este último se encuentra parcialmente alterado a sericita.

La Tabla 4.10 muestra el contenido mineralógico presente en esta roca, su asociación mineral viene dada por cuarzo+muscovita+silimanita+ortosa, clasificándola en la Facies de la Anfibolita, Subfacies Silimanita-Granate-Ortosa-

Tabla 4.10. Contenido mineralógico modal de la muestra PBB6

Minerales	Qtz	Or	Ms	Pl(A _{An8})	Sil	Mgt
PBB6	30	26	25	12	5	3

Esquisto biotítico cuarzo granatífero silimanítico (Muestra PBE43).

Esta roca presenta una estructura bandeada con foliación esquistosa, su patrón textural viene dado por texturas como granolepidoblástica y granoporfidoblástica (Figura 4.35). Sus microestructuras pueden observarse en las Figuras 4.36 representadas por: foliación metamórfica, porfidoblastos de granate, bandeo composicional y sombras de presión. Su composición mineralógica consta principalmente de minerales de biotita, cuarzo, granate y silimanita, tal y como se observa en la Tabla 4.11.

Los cristales de silimanita en este esquisto muestran una orientación preferencial muy marcada (Figura 4.37), esto se debe a que la mayoría de sus cristales están cortados ortogonalmente a su longitud y presentan secciones en forma de rombo, los colores de interferencia son generalmente bajos ya que los colores mas altos se presentan en las secciones longitudinales. La silimanita es el polimorfo de alta temperatura de Al_2SiO_5 , típico del metamorfismo regional (Mackenzie, 1996).

Tabla 4.11. Composición mineralógica modal de la muestra PBE43.

Minerales	Bt	Qtz	Gr	Sil	Or	Ms	Mgt	Pl(A _{An15})	Ap
PBE43	20	15	15	15	13	10	6	6	< 1

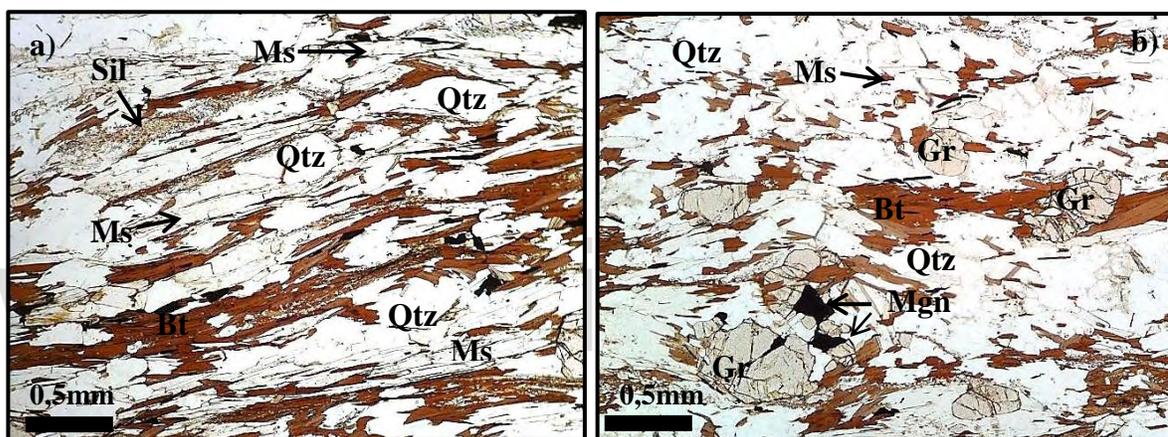


Figura 4.35. Texturas. a) Textura granoblástica N//, b) Textura granoporfidoblástica N//.

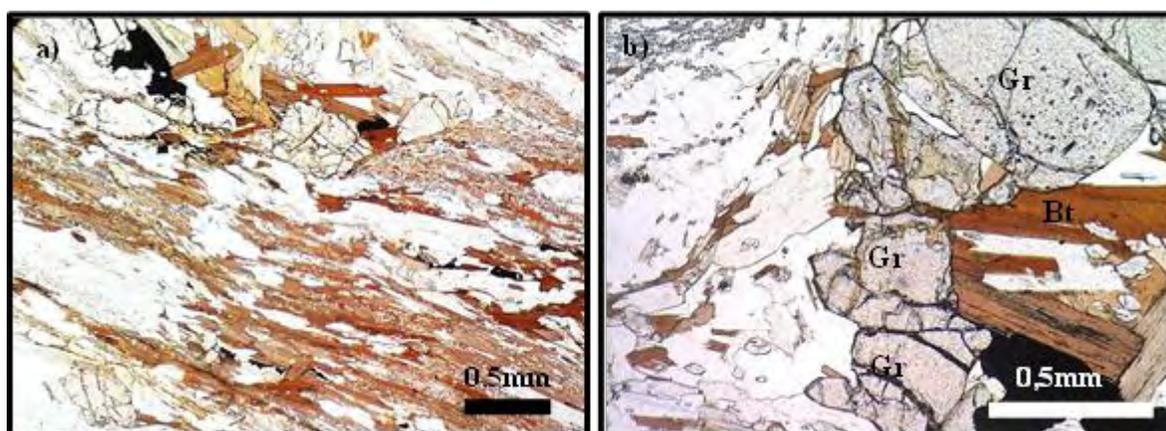


Figura 4.36. a) Foliación metamórfica N//, b) Porfidoblastos de granate N//.

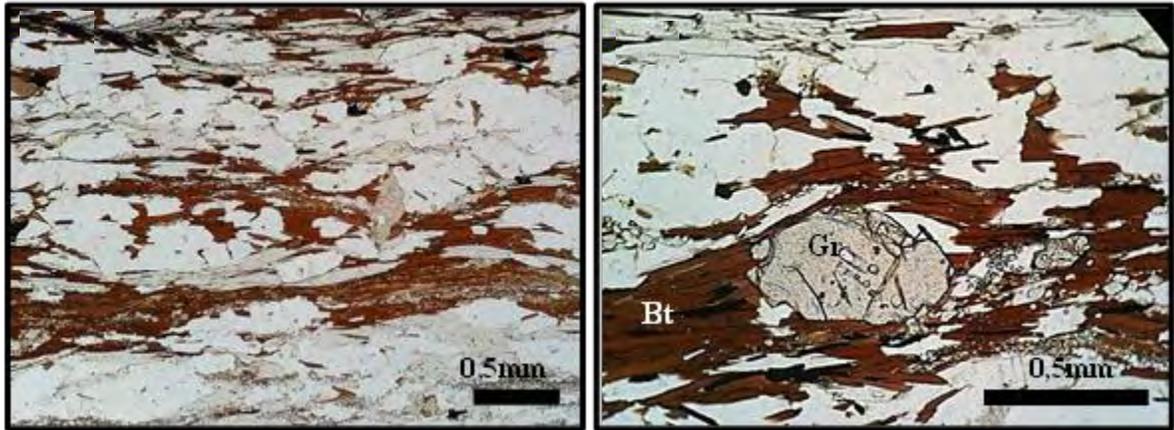


Figura 4.36. c) Bandeado composicional N//, d) Sombras de Presión N//

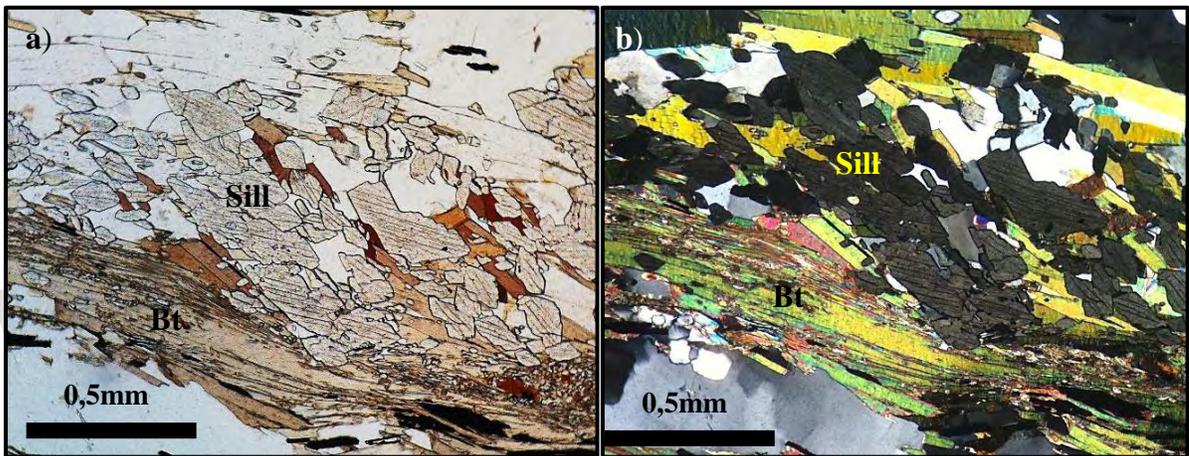


Figura 4.37. Cristales ortogonales de silimanita con orientación preferencial. a) NX, b) N//

4.2.3. Zona Alta de Muralla Roja.

4.2.3.1. Relaciones de Campo.

La Zona Alta de Muralla Roja se encuentra suprayaciendo a la Zona Media, ambas están separadas por un posible alineamiento tectónico que atraviesa la zona longitudinalmente y crea una variación en sus características.

En esta zona se produjo una de las determinaciones más importantes de la presente investigación, que fue la posible delimitación de una falla hasta ahora inexistente en la bibliografía y cartografía geológica. Esta falla fue denominada con el nombre de “Falla Muralla Roja” usando el recurso toponímico del sector en el cual se encuentra. Las trazas de este alineamiento se demarcan de forma paralela a la falla La Verde, que es la falla

tectónica principal del área. Este alineamiento tectónico fue determinado según el descubrimiento de una serie de evidencias que van desde su demarcación fotogeológica hasta evidencias petrográficas que serán expuestas posteriormente. El alineamiento separa una sección del macizo compacta y masiva con otra parte más caótica y brechificada, con bloques erráticos dispuestos en posiciones diferenciales, con una textura más rugosa y disposición menos ordenada de zonas bandeadas similares a las zonas media y baja. En la Figura 4.38 se muestra una imagen con algunas de las evidencias vistas durante el trabajo de campo que ratifica la presencia de este rasgo tectónico. En ella se puede observar en su parte superior la berma producida en la cresta del macizo, se puede apreciar la grieta que forma el plano de falla, la zona de rocas brechificadas producidas por el efecto de cizalla que esta genera entre los bloques separados por el alineamiento y también, se puede notar una pequeña depresión adyacente a la traza de la falla pudiendo representar una trinchera de falla. El plano de la falla también fue medido en campo, teniendo un rumbo N48E y un buzamiento 89NW.

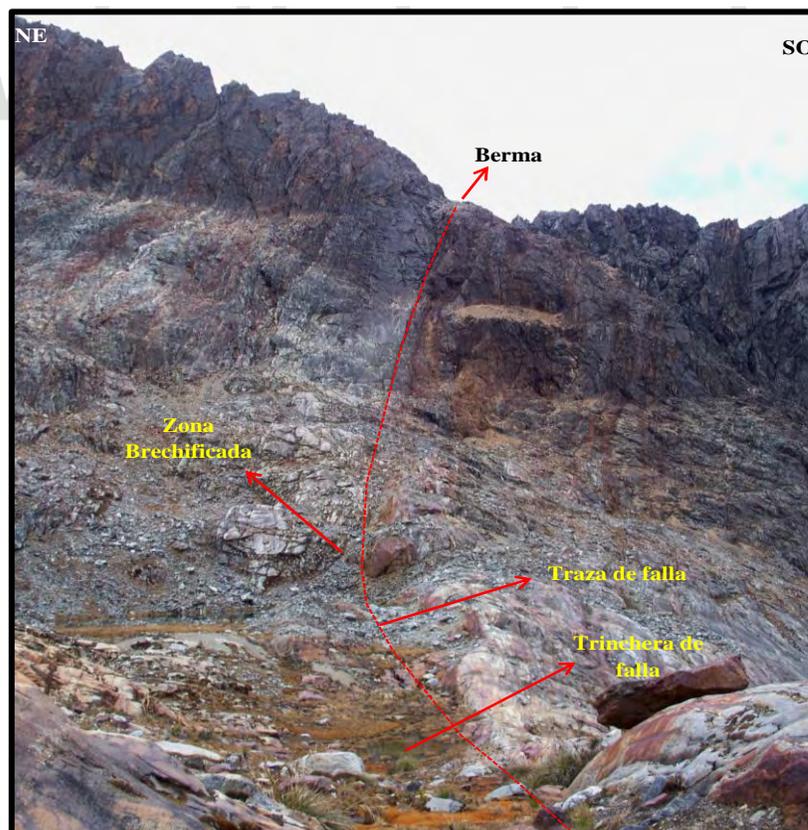


Figura 4.38. Evidencias de la Falla Muralla Roja

La Figura 4.39, muestra una vista panorámica más lejana de las evidencias de la Falla Muralla Roja. Se puede observar la tonalidad terrosa de la zona brechificada, donde se producen sedimentos por la descomposición de las rocas involucradas en el movimiento tectónico.



Figura 4.39. Evidencias de la Falla Muralla Roja.

La muestra PBB9 fue tomada directamente de la traza de la falla. El lugar donde fue extraída esta muestra se puede observar en la Figura 4.40.

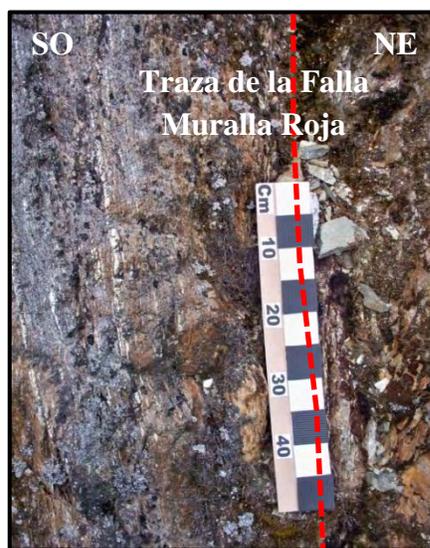


Figura 4.40. Lugar de Extracción de la Muestra PBB9.

En la Figura 4.41 se muestra la zona de extracción de la Muestra PBB10, donde se puede apreciar el proceso de brechificación. Ambas muestras presentan evidencias de procesos de deformación a nivel macroscópico y microscópico como se expondrá posteriormente.

Desde el punto de vista macroscópico las muestras PBB9 y PBB10, pertenecen al grupo litológico de los esquistos, de aspecto heterogéneo, con granos de tamaños de fino a medio, un alto grado de alteración y esquistosidad bien definida. Ambas tienen la particularidad de poseer rasgos deformacionales, como cristales de cuarzo deformados, superficies anastomosadas de minerales y microfracturas.

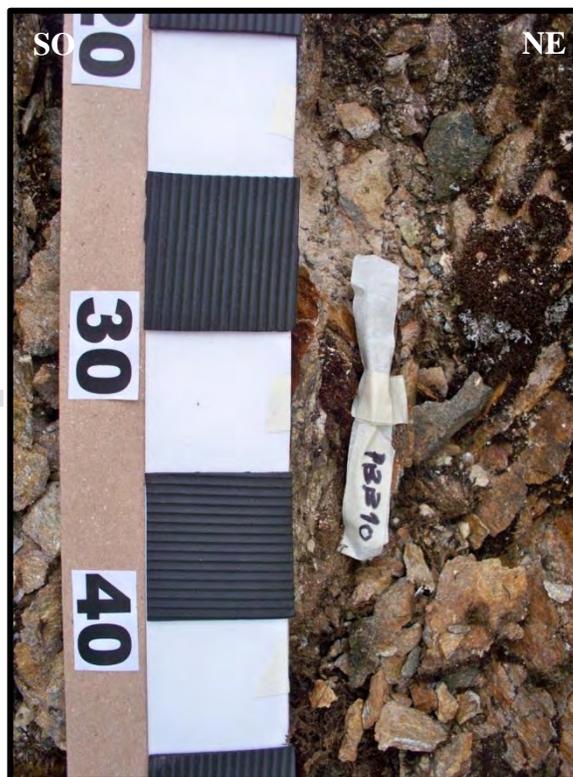


Figura 4.41. Lugar de extracción de la Muestra PBB10. Proceso de brechificación.

Sobreponiéndose al plano de falla se ubica directamente un cuerpo de forma tabular alargada, que atraviesa la zona de estudio de forma paralela al alineamiento y posee unos 30m de espesor. Este es un cuerpo de tonalidades blancuzcas, de apariencia granítica que ha sido emplazado y que sugiere un cambio composicional abrupto con el comportamiento del afloramiento a lo largo de las zonas más bajas. En las rocas adyacentes a este no se denotan evidencias de algún tipo de aureola de contacto, su contacto inferior es

directamente con la Falla Muralla Roja y su contacto superior con los esquistos de la Asociación, sin que estos muestren evidencias de cambios por parte del emplazamiento del cuerpo. El emplazamiento de este cuerpo puede observarse en la Figura 4.42, donde puede notarse la tonalidad blanquizca del cuerpo y su diferenciación con las rocas adyacentes. En la Figura 4.43 puede denotarse la franja tabular que conforma el cuerpo y que se prolonga con afloramientos dispersos a lo largo de la zona pero siempre emplazados dentro de esa franja de 30m.



Figura 4.42. Emplazamiento del cuerpo tabular de protolito granítico.

Un afloramiento de este cuerpo es mostrado en la Figura 4.44, allí se puede observar la apariencia granítica que este posee. Se denotan sus colores frescos y de meteorización, su aspecto masivo sin presencia de planos de foliación, diferenciándose así de las rosas esquistosas y gnéicas que forman la Zona Baja, Media y las demás secciones de la Zona Alta de Muralla Roja. El afloramiento presenta fracturas y diaclasas en toda su extensión, tres familias de diaclasas fueron definidas y se muestran en la Figura 4.45. Los planos que conforman estas familias de diaclasas identificables a lo largo de todo el cuerpo se muestran en la Tabla 4.12.

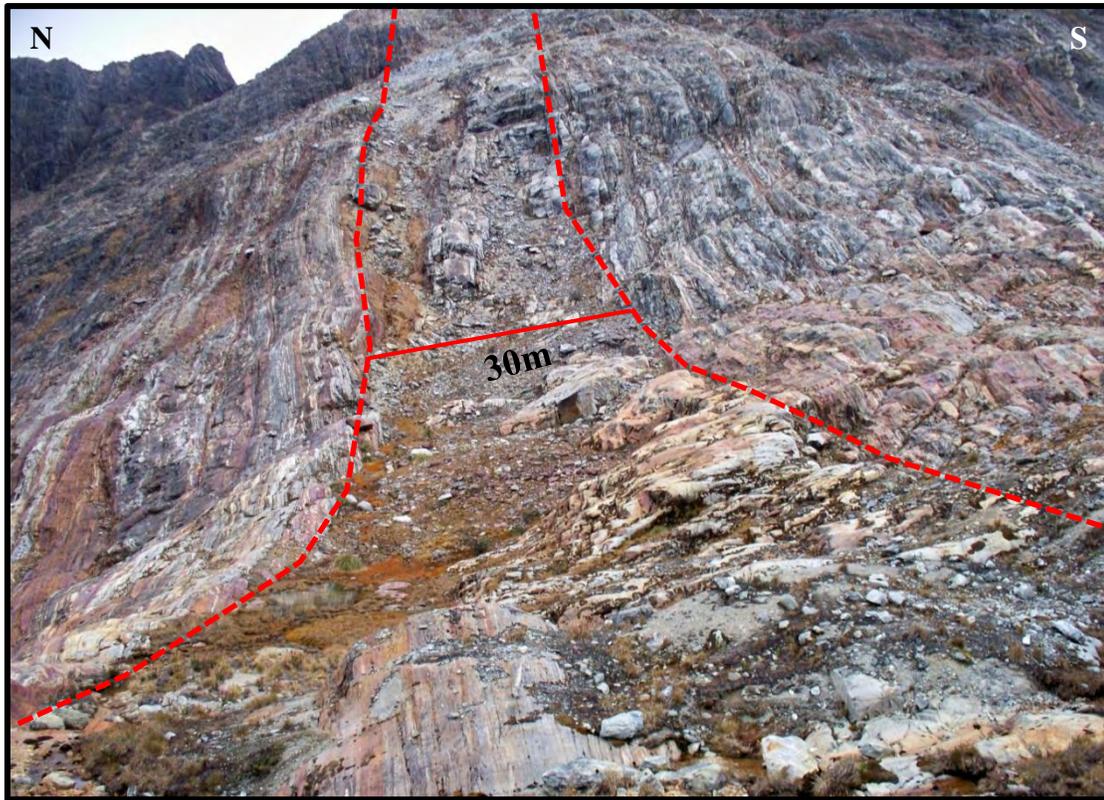


Figura 4.43. Franja en la que está emplazado el cuerpo.



Figura 4.44. Afloramiento del cuerpo gnéusico de protolito granítico

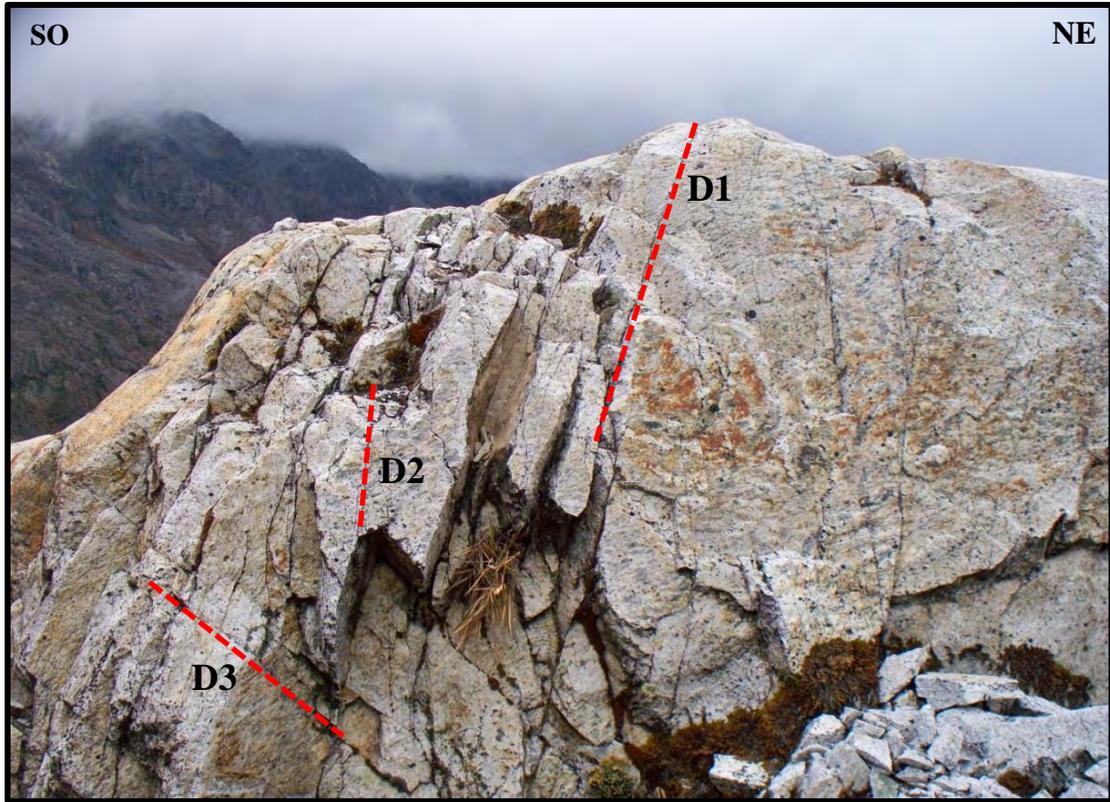


Figura 4.45. Familias de diaclasas.

Tabla 4.12. Orientación de las familias de diaclasas.

Familia	Orientación
D1	N63W 60SW
D2	N79W 76SW
D3	N30E 65SW

De este afloramiento anteriormente descrito y otros similares adyacentes fueron extraídas 5 muestras de campo; la totalidad de estas guardan características similares, siendo de color fresco blanzuzco con tendencia leucocrática, color de meteorización verdoso, nivel bajo de alteración, con un patrón textural masivo sin foliación ni esquistosidad y un aspecto

granítico y micáceo. Un detalle de la muestra de mano de la PBB8 es mostrada en la Figura 4.45.

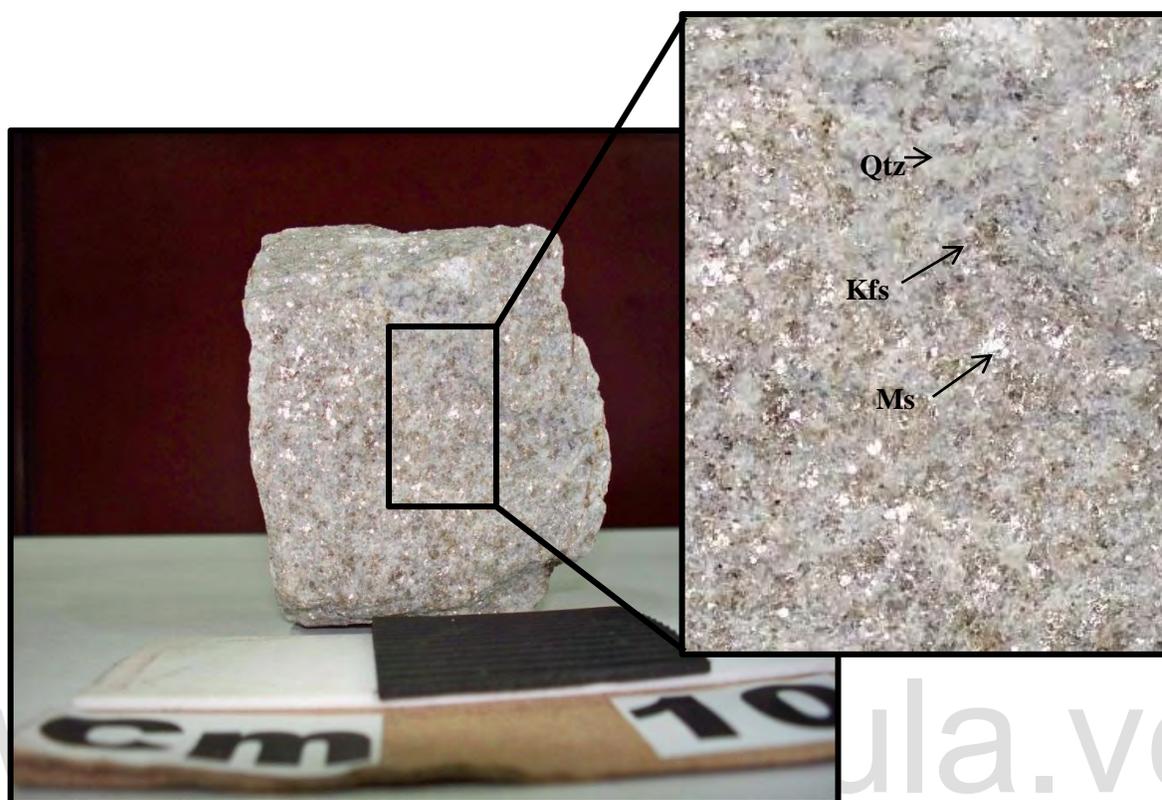


Figura 4.45. Detalle de la Muestra PBB8.

Luego de este cuerpo los afloramientos de rocas esquistosas y gnéicas se vuelven a hacer presentes, con bandeo semejante al de las zonas infrayacentes pero con una textura más rugosa.

Desde el punto de vista composicional las rocas adyacentes están conformadas en su mayoría por esquistos con abundante cantidad de cuarzo, biotita y anfíboles. De estos esquistos fueron tomadas 6 muestras que presentan características macroscópicas similares como lo son: su aspecto heterogéneo, colores frescos grisáceos medios, colores de meteorización marrón rojizo, con presencia de bandeamientos y esquistosidad, de tamaño de granos de fino a medio y mostrando eventuales venas y porfidoblastos de cuarzo. A su vez se pueden encontrar algunos gneises, representados por las muestras PBD20 y PBD28, cuyas características macroscópicas más relevantes son su aspecto masivo y homogéneo,

tamaños de grano de fino a medio y en el caso de la PBD20 presencia de superficies bandeadas.

Las foliaciones tomadas en esta zona se describen en la Tabla 4.13. De las cuales se puede hacer una importante observación: las rocas continúan teniendo una foliación muy similar a la que tenían en la Zonas Baja y Media de Muralla Roja, determinando así que la Falla Muralla Roja no ha tenido influencia alguna que haga variar la disposición de las rocas en zonas más altas.

Tabla 4.13. Folioaciones de la Zona Alta de Muralla Roja.

Muestra	Foliación
PBB9	N48E 89SE
PBD17	N31E 88SE
PBD19	N75E 72SE
PBD22	N47E 66SE
PBD23	N37E 84SE

En esta zona los procesos de fracturación mecánica de las rocas es bastante importante, la generación de sedimentos ha proporcionado una fuente de colmatación para las lagunas presentes como ocurre en el caso de la Laguna Los Hielitos, cuyas laderas escarpadas que la encierran aportan una cantidad de sedimentos que están produciendo su colmatación. Este hecho puede observarse en la Figura 4.45.

Otros procesos erosionales como el de gelifracción pueden ser observados en el área (Figura 4.46), las grietas de desecación que puede producir este proceso en los escasos suelos presentes.



Figura 4.45. Aporte de sedimentos a la Laguna Los Hielitos.

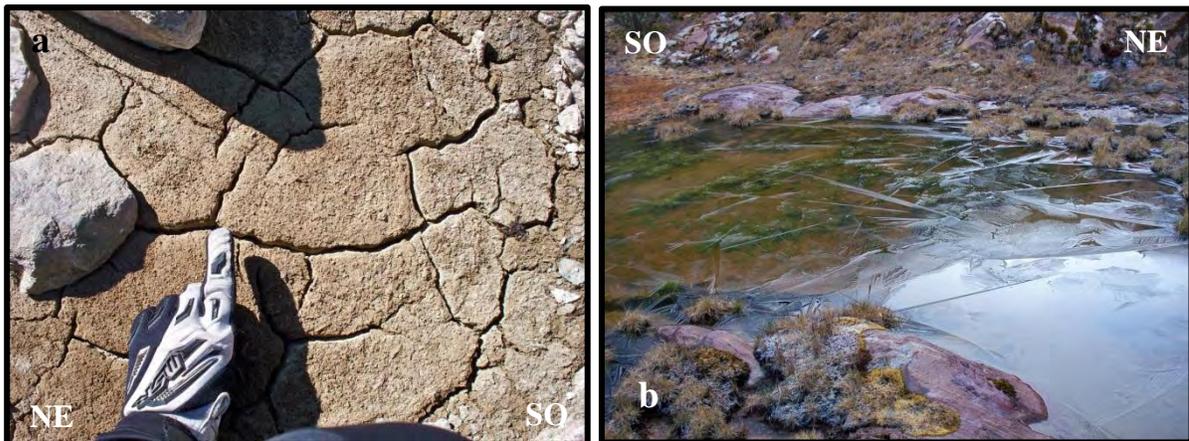


Figura 4.46. a) Grietas de desecación, b) Proceso de gelifracción de los suelos.

Desde el punto de vista estructural, además de la falla, fue encontrada en esta zona una importante evidencia, que refleja el sometimiento de las rocas a intensos procesos de deformación, el cual ha sido generalizado para toda esta zona de la Asociación Sierra Nevada. Esta evidencia se muestra en la Figura 4.47. La cual representa un conjunto de

microfallas de tendencia normal plasmadas en las rocas. Se puede ver efectivamente como el bloque suprayacente al plano de falla desciende con respecto al otro bloque.

El bandeamiento mineral con alternancia de bandas de minerales claros y oscuros favorece la determinación del comportamiento de la falla. Esto concuerda con lo expuesto por Shagam, (1972) en donde explica que luego de la orogénesis Andina que dio lugar al arqueamiento de Los Andes, en esta parte central andina existen sistemas de fallas normales con algunos casos de gran desplazamiento.

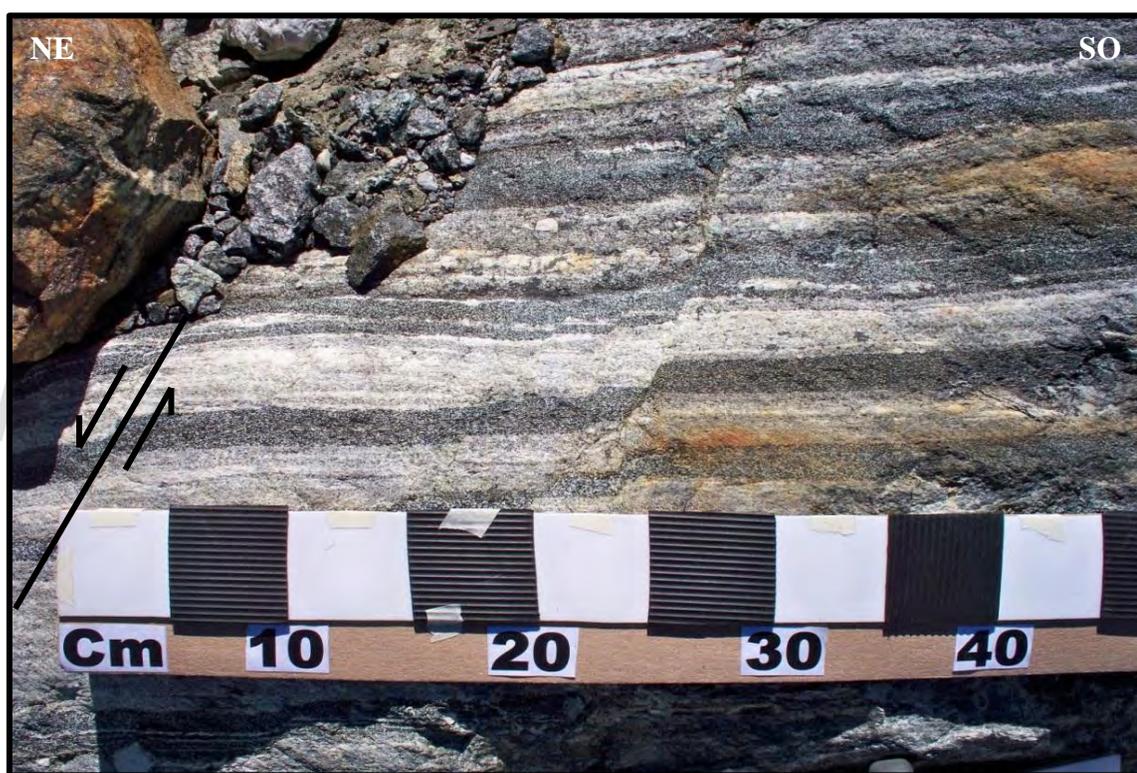


Figura 4.47. Conjunto de microfallas plasmadas en el afloramiento.

4.2.3.2. Análisis Petrográfico.

La Zona Alta de Muralla Roja fue separada de la Zona Media de Muralla Roja mediante criterios tectónicos y texturales, en la cual se analizaron 14 muestras. Entre las características más relevantes destacan texturas granoblástica, granoporfidoblástica, granonematoblástica, poiquiloblástica, porfidoblástica y reaccionales. En cuanto a sus microestructuras presenta foliación metamórfica, sombras de presión, venas minerales,

esquistosidad grosera, sombras de deformación, esquistosidad interna en porfidoblastos y bandeo composicional. La mineralogía presente en esta zona está constituida principalmente por cuarzo, plagioclasa, ortosa, granate, silimanita, muscovita, biotita, estaurólita, microclino y hornblenda. Este último mineral solo se encuentra en una anfíbolita. En la Tabla 4.14 se observan los distintos grupos litológicos presentes en esta zona.

Tabla 4.14. Grupos litológicos presentes en la Zona Alta de Muralla Roja

Muestra	Grupo Litológico
PBB7	Ortogneis cuarzo feldespático muscovítico
PBB8	Ortogneis cuarzo feldespático muscovítico
PBB9	Esquisto cuarzo muscovítico granatífero silimanítico
PBB10	Esquisto cuarzo biotítico granatífero silimanítico
PBD17	Esquisto cuarzo biotítico ortósico silimanítico
PBD18	Esquisto biotítico cuarzo ortósico granatífero
PBD19	Anfíbolita horbléndica
PBD20	Gneis cuarzo oligoclásico biotítico silimanítico
PBD22	Gneis cuarzo ortósico silimanítico biotítico
PBD23	Esquisto muscovítico biotítico cuarzo ortósico
PBD24	Ortogneis cuarzo feldespático muscovítico silimanítico
PBD25	Ortogneis cuarzo feldespático muscovítico silimanítico
PBD27	Esquisto cuarzo ortósico biotítico granatífero
PBD28	Gneis cuarzo ortósico albítico clorítico

A continuación se describirán los grupos litológicos más representativos de la zona alta de Muralla Roja, los cuales son:

Ortogneis cuarzo feldespático muscovítico (Muestra PBB8).

Esta roca pertenece a un cuerpo intrusivo de origen granítico. Presenta una estructura homogénea con foliación gnéisica, el tamaño de sus cristales son mayores a 0,5mm y porfidoblastos > 2mm. El patrón textural se caracteriza por poseer microestructuras como foliación metamórfica y un granate formando una efímera sombra de presión (Figura 4.48), y texturas del tipo granoblásticas, reaccional y poiquiloblástica (Figura 4.49).

Su composición mineralógica consta principalmente de: cuarzo, muscovita, plagioclasa y microclino tal y como se muestra en la Tabla 4.15, la cual representa el contenido mineralógico modal de esta roca.

Tabla 4.15. Mineralogía modal de la muestra (PBB8)

Minerales	Qtz	Ms	Kfs	Pl(A _{An8})	Gr	Chl	Sil	Bt	St
PBB8	23	22	18	15	10	5	3	2	2

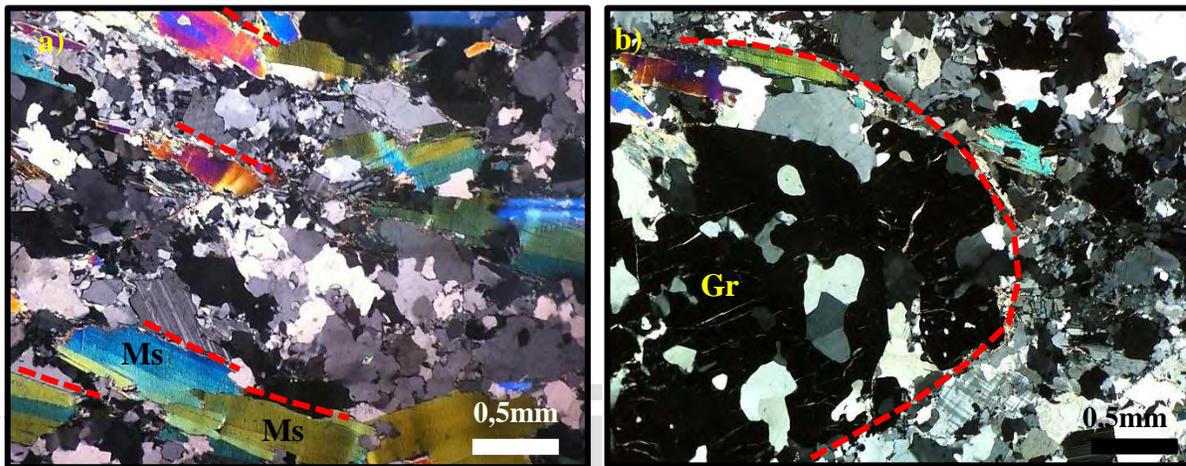


Figura 4.48. Microestructuras: a) Foliación metamórfica NX, b) Sombras de presión efímeras en el borde del megacrystal de granate NX.

La paragénesis mineral característica de esta roca es la asociación entre minerales de cuarzo+granate+muscovita, clasificándola en la Facies de la Anfibolita, Subfacies Silimanita-Granate-Ortosa.

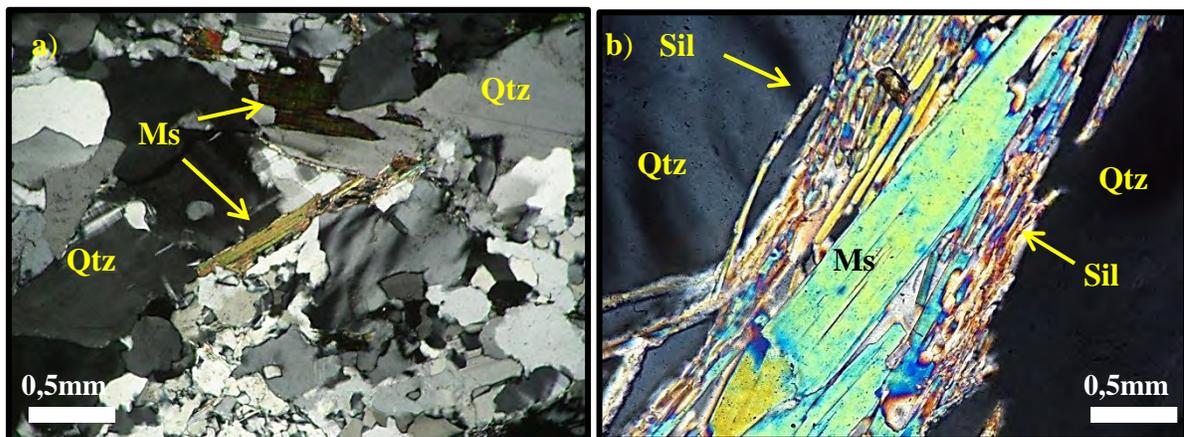


Figura 4.49. a) Textura Granoblástica NX, b) Textura Reaccional NX

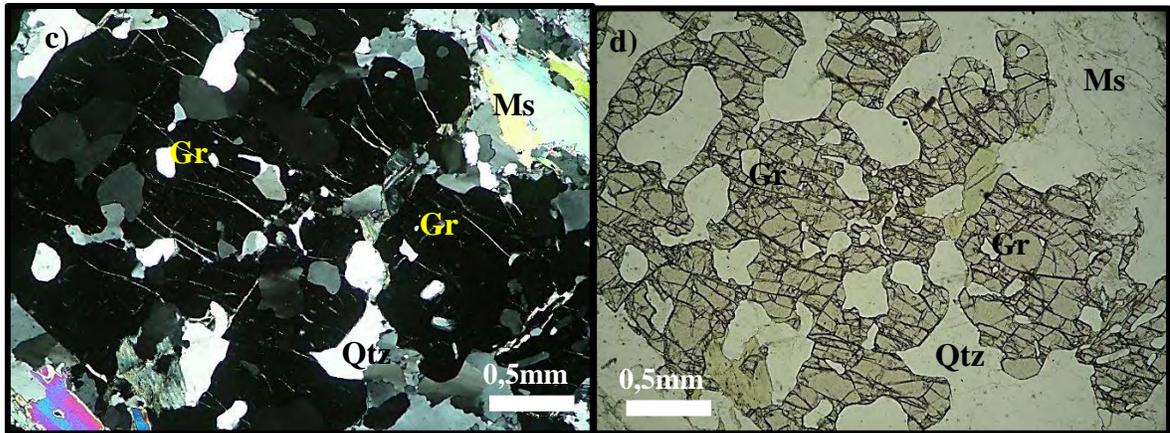


Figura 4.49. a) Textura Poikiloblastica NX, b) Textura Poikiloblástica N//.

Esquisto cuarzo muscovítico granatífero silimanítico (MuestraPBB9).

Presenta una estructura bandeada curva con foliación esquistosa, la forma de sus cristales son xenoformos con un tamaño de los blastos menor a 0,5mm y los porfidoblastos con un tamaño que varía desde los 2mm hasta los 5mm.

El patrón textural es muy característico ya que esta muestra fue tomada en las cercanías a la Falla Muralla Roja, es por ello que presenta texturas del tipo porfidoblásticas y granolepidoblásticas tal y como se observa en la Figura 4.50) y microestructuras como esquistosidad milonítica, esquistosidad grosera, sombras de presión, sombras de deformación y esquistosidad interna en porfidoblastos (Figura 4.51).

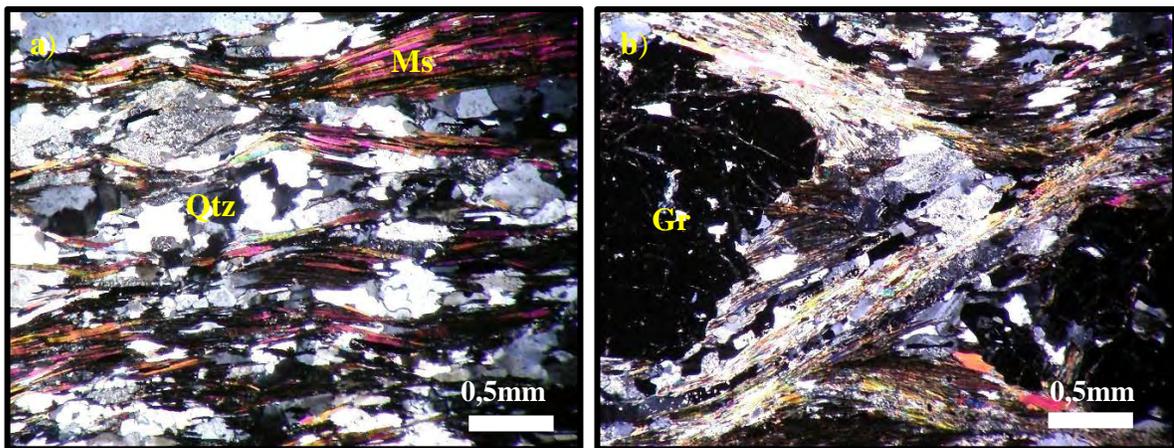


Figura 4.50. a) Textura Granolepidoblástica. NX, b) Textura Porfidoblástica. NX

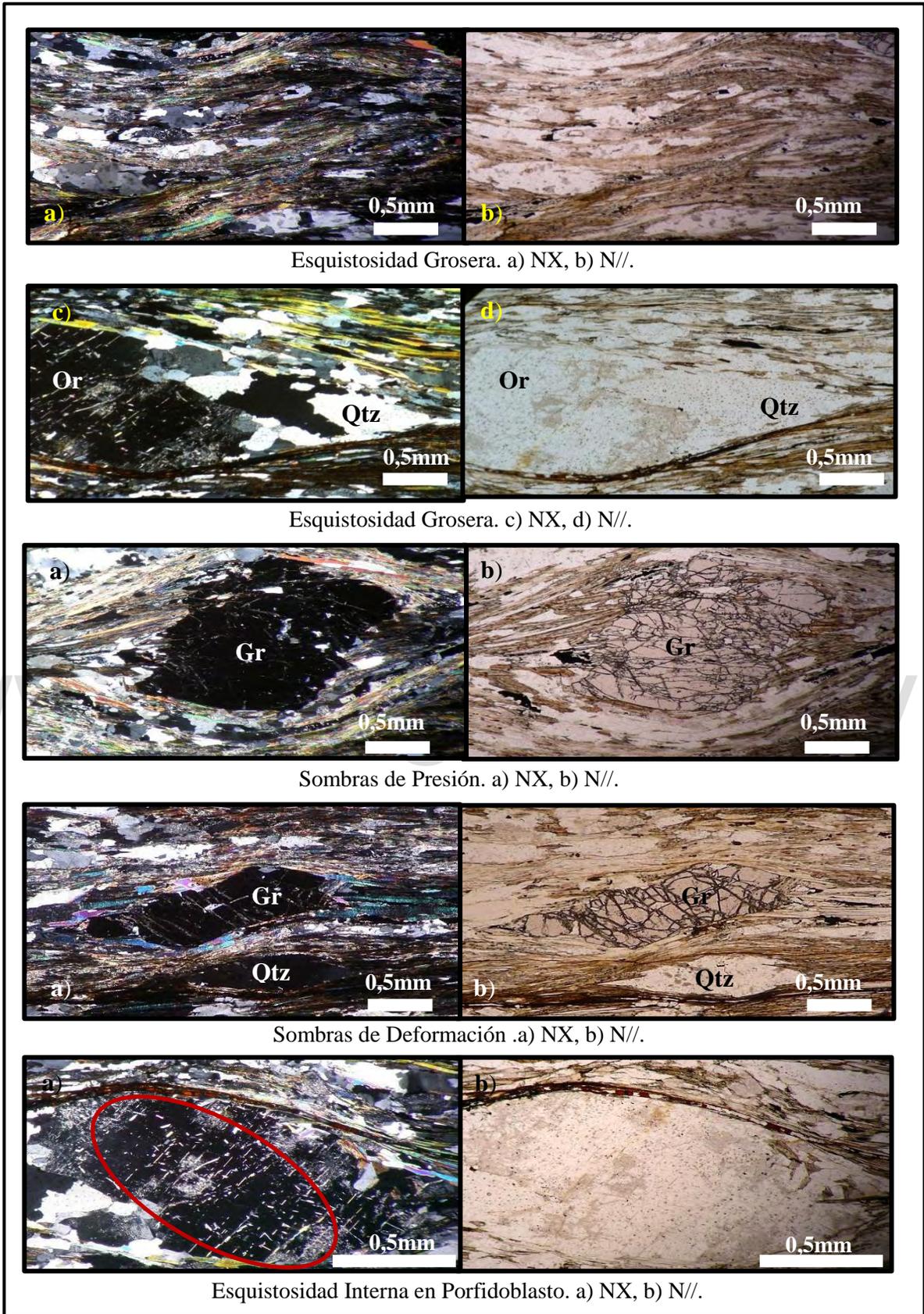


Figura 4.51. Microestructuras de la Muestra PBB9.

La paragénesis mineral de cuarzo+granate+muscovita+silimanita es la asociación mineralógica característica de esta roca, clasificándola en la Facies de la Anfibolita, Subfacies Silimanita-Granate-Ortosa. La Tabla 4.16 muestra el contenido mineralógico modal de este esquisto.

Tabla 4.16. Mineralogía modal de la muestra (PBB9)

Minerales	Qtz	Ms	Gr	Sil	Bt	Pl(A _{An13})	Or	Mgn
PBB9	25	16	16	15	15	5	5	3

Anfibolita hornbléndica (Muestra PBD19).

Presenta una estructura homogénea con foliación de tipo esquistosa, la forma de sus cristales son subidiomorfos y xenomorfos con un tamaño que varía entre 0,5mm a 1mm. En cuanto a su patrón textural dominante su textura característica es granonematoblástica (Figura 4.52). Presenta un bandeo composicional de minerales de hornblenda y biotita, cuarzo y plagioclasa.

La Tabla 4.17 muestra el contenido mineralógico presente en esta muestra, en la cual se logran observar los minerales de composición máfica como la hornblenda y la plagioclasa (andesina). Los cristales de apatito aparecen como mineral accesorio en ocasiones como inclusiones dentro de la hornblenda.

Tabla 4.17. Mineralogía modal de la muestra (PBD19)

Minerales	Hbl	Bt	Pl(A _{An31})	Qtz	Mgt	Ms	Ap
PBD19	30	22	17	15	3	< 1	< 1

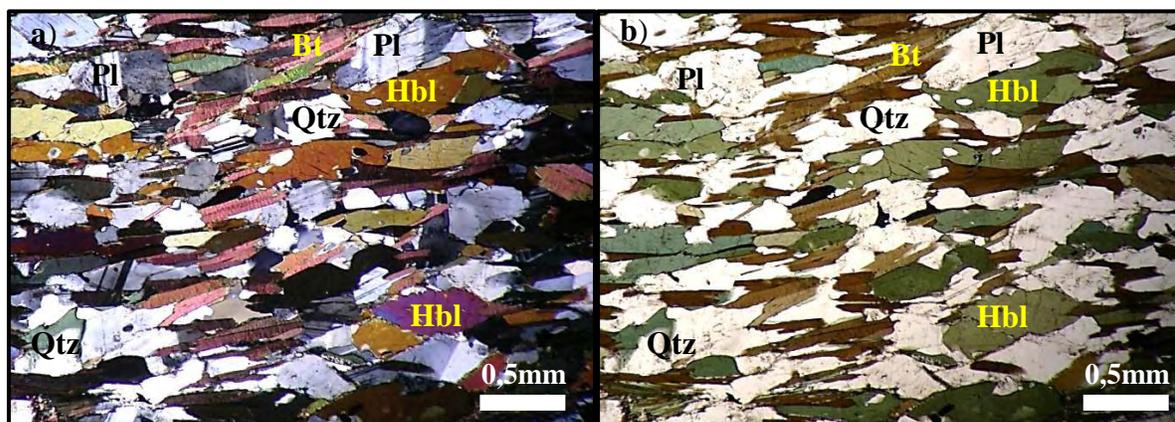


Figura 4.52. Textura Granonematoblástica. a) NX, b) N//.

4.2.4. Pico Bonpland.

4.2.4.1. Relaciones de Campo.

La Zona del Pico Bonpland es la que posee la mayor altitud del área de estudio, esta se encuentra suprayaciendo a la Zona alta de Muralla Roja y está constituida por el conjunto de crestas y cumbre del Pico Bonpland, la tercera mayor elevación de Venezuela ubicándose a 4.880msnm.

En la Figura 4.53, se puede observar una panorámica del cuerpo metamórfico que constituye al Pico Bonpland. Morfológicamente está comprendido por un gran volumen rocoso, con pendientes sumamente abruptas donde finaliza el gran circo glaciar que antiguamente descendía desde esta zona, donde las nieves perpetuas modelaron un gran valle en “U” y que se extendía a lo largo de toda la zona de estudio.



Figura 4.53. Panorámica de la cumbre del Pico Bonpland.

La Figura 4.54, muestra una perspectiva que permite describir el conjunto de crestas que se originan desde la unión con el Pico Humboldt y que bordean hasta llegar a la cumbre del Pico Bonpland. En esta imagen se puede notar que la zona está compuesta por rocas que varían en su coloración, presentándose bandas grisáceas con tonalidades terrosas y rojizas como resultados de procesos de oxidación.

Esta zona se encuentra sometida a procesos erosionales que han provocado la disgregación mecánica de las rocas de sus crestas, los procesos de gelifracción actúan disgregando a las rocas en cantos angulosos de gran tamaño. Este caso tiene notoria importancia justo en la cumbre del Pico Bonpland, donde por esta razón no fue posible extraer una muestra justo en su punto más alto. La meteorización mecánica de las rocas de la Cumbre se puede observar en la Figura 4.55. Para la extracción de muestras de la cumbre se tuvo que hacer un descenso hasta alcanzar una zona fresca del afloramiento, que se encontró a escasos 12 metros de ella. De allí fueron extraídas dos muestras las PBC11 y la PBC12. Macroscópicamente estas muestras poseen un aspecto heterogéneo y masivo, color fresco gris claro y meteorizado marrón moderado, con un bajo grado de alteración y presencia de fracturas. Su tamaño de grano es de medio a grueso con presencia de venas y fenocristales de cuarzo. En la Figura 4.56 se pueden observar las secciones del afloramiento de donde fueron extraídas las Muestras PBC11 y PBC12 respectivamente.

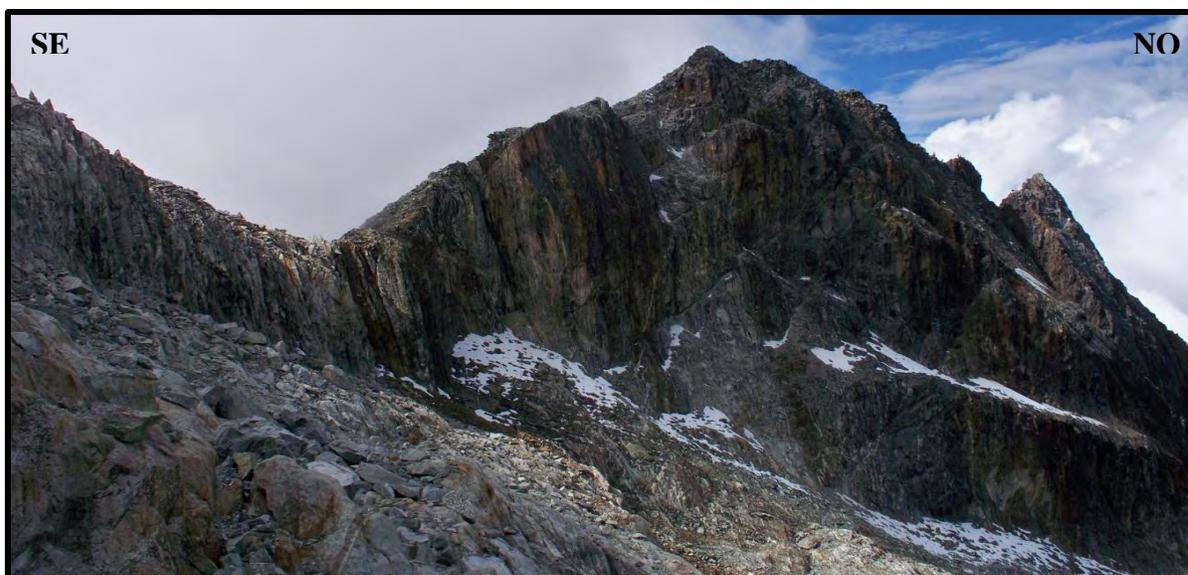


Figura 4.54. Cresta y Cumbre del Pico Bonpland.



Figura 4.55. Meteorización mecánica en la Cumbre del Pico Bonpland.



Figura 4.56. a) Lugar de extracción de la Muestra PBC11, b) Lugar de extracción de la Muestra PBC12.

Posteriormente fueron recolectadas 4 muestras más en zonas con altitudes más bajas pertenecientes a la cresta del Pico. La totalidad de estas guardan estrecha relación con las anteriormente descritas caracterizándose también dentro del grupo litológico de los gneises, con aspecto heterogéneo y masivo, colores frescos grisáceos y de meteorización marrón terroso, con tamaños de granos medios y ocasional bandeamiento. En la Figura 4.57 se pueden observar en detalle el lugar de extracción de las Muestra PBC15 y PBC16.

Los planos de foliación de las rocas presentes en esta zona tienen buzamientos de alto grado, denotándose su abrupta inclinación que puede llegar a tender a la verticalidad. Esto se puede observar en la Figura 4.58, que muestra una toma de los planos de foliación con tendencia casi vertical. Las foliaciones tomadas en esta zona se presentan en la Tabla 4.18.

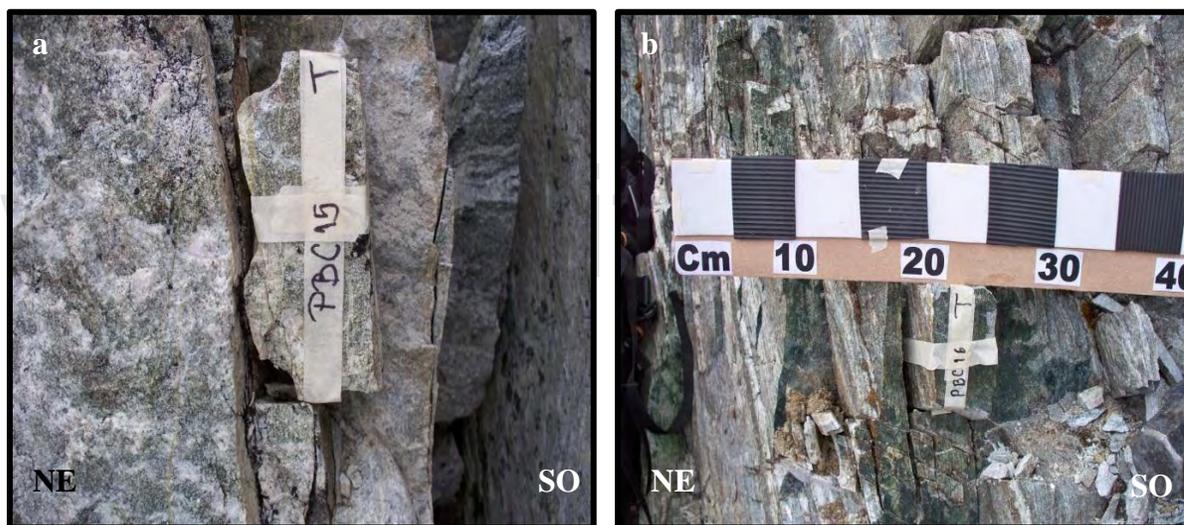


Figura 4.57. a) Muestra PBC15, b) Muestra PBC16.

Tabla 4.18. Foliosaciones de la Zona del Pico Bonpland.

Muestra	Foliación
PBC14	N28E
	84SE
PBC16	N32E
	79SE



Figura 4.58. Planos de foliación de la Zona del Pico Bonpland.

En esta zona se encuentran presentes agentes erosionales que a grandes rasgos son los responsables del modelado de la geología actual del área. Se puede observar la lengüeta glaciar permanente que desciende desde el Pico Humboldt y que en otrora se uniera con el glaciar del Pico Bonpland para formar lo que se conocía como el Glaciar La Corona, el más grande que existía en la Sierra Nevada de Mérida. El Flanco Sur del Glaciar actual se muestra en la Figura 4.59. También se puede observar la formación de cuerpos lagunares dispuestos en lo que se conoce geomorfológicamente como “lagunas en rosario”, formadas como el resultado del retroceso de los glaciares. En la Figura 4.60 se muestran tres lagunas en rosario, en forma descendente correspondiente a la Laguna Los Hielitos, la Laguna del final de Muralla Roja y en la parte más baja la Laguna El Suero.



Figura 4.59. Flanco Sur del glaciar del Pico Humboldt.



Figura 4.60. Lagunas en Rosario.

Desde el punto de vista composicional, el cuerpo que constituye al Pico Bonpland en su cúspide difiere de todas las demás secciones infrayacentes del afloramiento. Puede que esta diferenciación se trate de un cambio litológico abrupto o bien puede tratarse de la presencia de otro cuerpo separado por algún elemento tectónico. Dicho contacto entre las intercalaciones esquistosas y gnéisicas del sector de Muralla Roja y este cuerpo totalmente gnéisico de tendencia leucocrática no se pudo encontrar en campo debido básicamente a la inaccesibilidad en esta zona. Sin embargo, en vistas de la diferenciación de unidades metamórficas se puede observar que este cuerpo perteneciente al Pico Bonpland se extiende lateralmente hacia su homólogo topográfico en dirección Norte que es el Pico Humboldt, en cuya parte basal también se encuentran los grupos texturales análogos a este macizo del Pico Bonpland. La continuidad lateral es mostrada en la Figura 4.51, imagen que muestra el Flanco Sur del Pico Humboldt, señalando un alineamiento tectónico que puede ser el responsable de la separación de ambas unidades metamórficas.



Figura 4.61. Flanco Sur del Pico Humboldt y alineamiento tectónico.

4.2.4.2. Análisis Petrográfico.

El análisis realizado para la zona comprendida por el Pico Bonpland corresponde a un total de 6 muestras, de las cuales 4 de ellas pertenecen a la cumbre del Pico Bonpland. Las muestras analizadas arrojaron resultados similares en cuanto a su tipo de roca y composiciones mineralógicas (Tabla 4.19).

Tabla 4.19. Grupos litológicos presentes en la Zona del Pico Bonpland

Muestra	Grupo Litológico
PBC11	Gneis cuarzo ortósico clorítico albítico
PBC12	Gneis cuarzo ortósico biotítico albítico
PBC13	Gneis cuarzo ortósico clorítico albítico
PBC14	Gneis cuarzo ortósico clorítico albítico
PBC15	Gneis cuarzo albítico ortósico clorítico
PBC16	Gneis cuarzo ortósico clorítico albítico

El patrón textural que caracteriza a los gneises pertenecientes a esta zona son texturas granoblásticas, tal y como se observa en la figura 4.62. Presentan un patrón microestructural generalmente con foliación metamórfica, y en ocasiones cleavage suave y venas minerales como es el caso de la muestra PBC12 con una vena mineral de biotita. (Figura 4.63).

Los feldspatos de las muestras PBC11, PBC13, PBC14, PBC15 y PBC16 se encuentran parcial a completamente alterados por sericita tal y como se observa en la Figura 4.64. Esta alteración no permite establecer un campo de estabilidad en los minerales, por lo que no se pueden definir paragénesis mineral en estas muestras (Comunicación Personal, Daniela Tazzo 25/10/2013).

La asociación mineralógica cuarzo+albita+clorita±biotita±epidoto±granate corresponde a la muestra PBC12 y se clasifica en la Facies de los Esquistos Verdes, Subfacies Cuarzo-Albita-Epidoto-Granate.

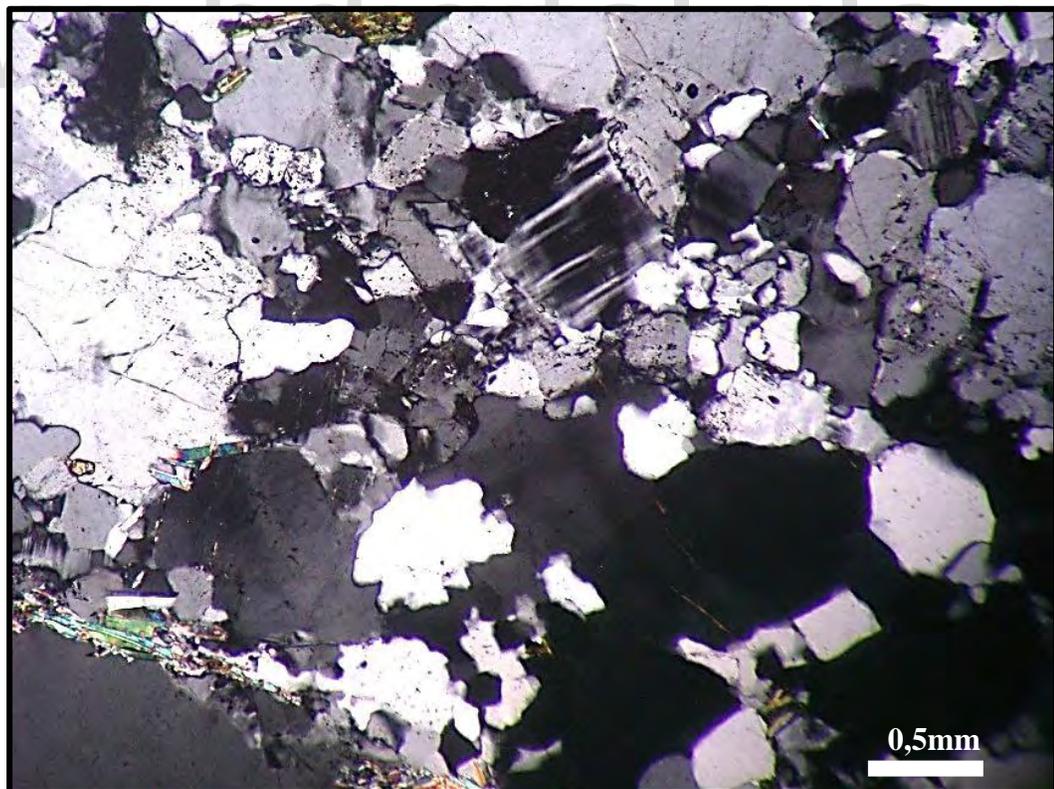


Figura 4.62. Textura Granoblástica. Muestra PBC13. NX

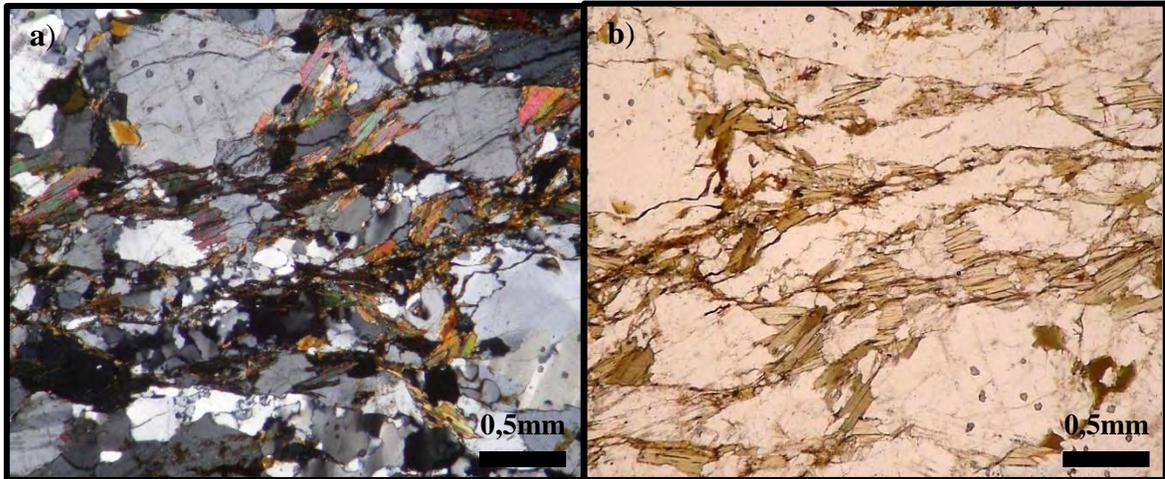


Figura 4.63. Textura Granolepidoblástica (Muestra PBC12). a) NX, b) N//.

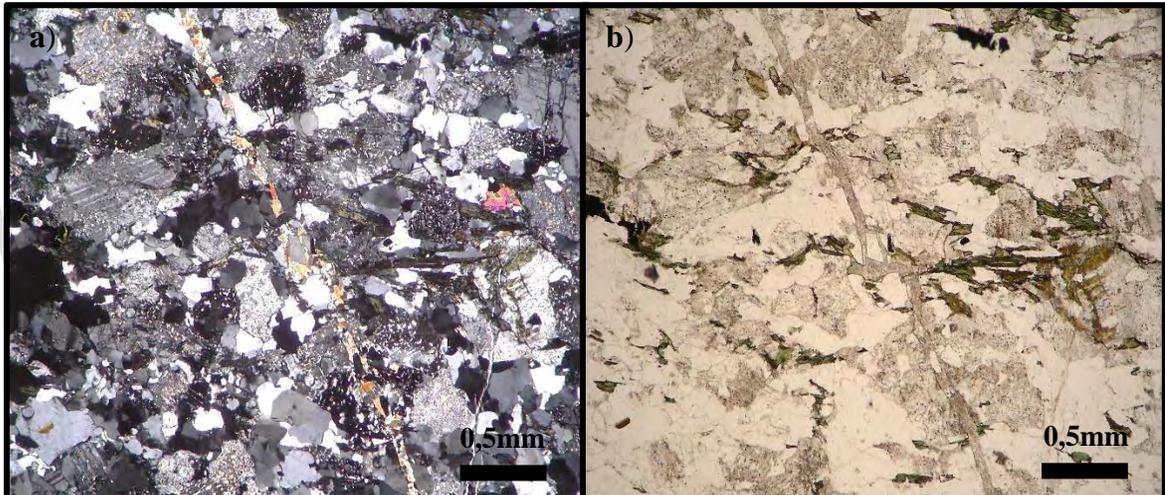


Figura 4.64 Alteración de feldespatos a sericita (Muestra PBC11) a) NX, b) N//.

4.2.5. Garganta Txomajoma.

4.2.5.1. Relaciones de Campo.

El Txomajoma es una garganta anexa al Pico Bonpland. Este paso de arenales de alta inclinación es conocido por ser la conexión entre La Travesía y el paso por el pueblo de Los Nevados y el Sistema Teleférico. La garganta Txomajoma se muestra en la Figura 4.65 vista desde la Laguna El Suero. La Garganta Txomajoma está separada de Muralla Roja por las crestas del Flanco Norte del Pico Bonpland y por un alineamiento tectónico que atraviesa la zona en dirección casi perpendicular a la Falla Muralla Roja y Falla La Verde.



Figura 4.65. Garganta Txomajoma.

En la garganta Txomajoma fue levantado un afloramiento igualmente perteneciente a la Asociación Sierra Nevada y al macizo que conforma al Pico Bonpland, que está constituido por un gran bloque de rocas foliadas, desprovisto de vegetación, de aspecto masivo y bandeado, donde se pueden apreciar las rocas que están siendo incluidas por unas venas minerales de tonalidades más claras y fácilmente diferenciables con las rocas que las rodean. Estas venas pueden llegar a tener unos 30cm de ancho y varios metros de longitud a lo largo del macizo. El afloramiento se muestra en la Figura 4.66, señalándose la dirección de una de las venas presentes. En dicha figura también puede notarse la abrupta inclinación de la garganta y su composición de sedimentos saprolitizados por agentes tectónicos y erosionales que descienden hasta las adyacencias de la Laguna El Suero.

En la garganta Txomajoma fueron recolectadas 2 muestras. La Muestra PBA1, perteneciente al interior de una de las venas aplíticas, donde macroscópicamente se puede determinar su aspecto heterogéneo, color fresco verde oliva y de meteorización naranja terroso, tamaño de granos fino, la presencia de microfracturas y vena de cuarzo.

La vena donde fue extraída la muestra tiene un ancho de 19cm y una orientación N22E y 65SE, la que se corresponde con la foliación de las rocas en la cual está incluida. Al respecto es importante resaltar que la totalidad de las foliaciones tomadas a lo largo de la zona de estudio pertenecientes al macizo de Pico Bonpland guardan una concordancia en todos los puntos donde fueron tomadas, con una variabilidad no representativa, de lo que se puede inferir que la mayoría de las rocas que conforman este macizo fueron sometidas a procesos de deformación que a grandes rasgos dispusieron a las rocas con una orientación preferencial apreciable y continua a lo largo de toda la zona de estudio.



Figura 4.66. Afloramiento en la Garganta Txomajoma.

Un detalle de la vena donde fue extraída la muestra PBA1 se muestra en la Figura 4.67a, y en la 4.67b se muestra una toma de la Muestra PBA1 señalando la vena de cuarzo que esta contiene.



Figura 4.67. a) Vena aplítica, b) Muestra PBA1.

La otra muestra recolectada en esta sección fue la PBA2, muestra que representa al grupo litológico circundante en las que están incluidas las venas aplíticas presentes. Estas rocas foliadas tienen un aspecto homogéneo y masivo, color fresco grisáceo y meteorizado marrón rojizo. De tamaños de grano fino un grado de alteración bajo. El lugar de extracción de la muestra PBA2 se muestra en la Figura 4.68



Figura 4.68. Lugar de extracción de la Muestra PBA2.

Una posible evidencia tectónica de gran envergadura pudo ser determinada desde la garganta Txomajoma, y esta fue el avistamiento y demarcación de la traza de la Falla La

Verde, que es el alineamiento tectónico principal de la zona de estudio y sus adyacencias. Esta determinación se muestra en la Figura 4.69.



Figura 4.69. Traza de la Falla La Verde.

4.2.5.2. Análisis Petrográfico.

Se analizaron dos muestras pertenecientes a la zona de la Garganta Toxomajoma, una de ellas corresponde a una vena aplítica y la otra a una Anfibolita hornbléndica. Ambas muestras se encuentran en contacto.

Vena Aplítica (PBA1).

Las aplitas son rocas filonianas, esta roca se presenta en forma de vena y pudo haber sido formada como el resultado de la cristalización de los últimos fluidos en la evolución de un cuerpo magmático, la cual se cristalizó en una zona superficial de la corteza. Esta roca está compuesta esencialmente por cristales de feldespato alcalino, plagioclasa y cuarzo como se observa en la Figura 4.70. El contenido de epidoto (Figura 4.71) se debe a que este mineral se encuentra en forma de venas en algunas partes de la sección. La Tabla 4.20 muestra el contenido mineralógico modal de esta roca filoniana.

Tabla 4.20. Mineralogía modal de la muestra (PBA1)

Minerales	Qtz	Or	Pl(A _{An37})	Ep	Chl	Kfs	Hem
PBA1	35	25	15	10	8	6	1

Por medio de la clasificación de Le Bas & Streckeisen (1991), se determinó que esta vena aplítica presenta una composición de tipo sienogranito.

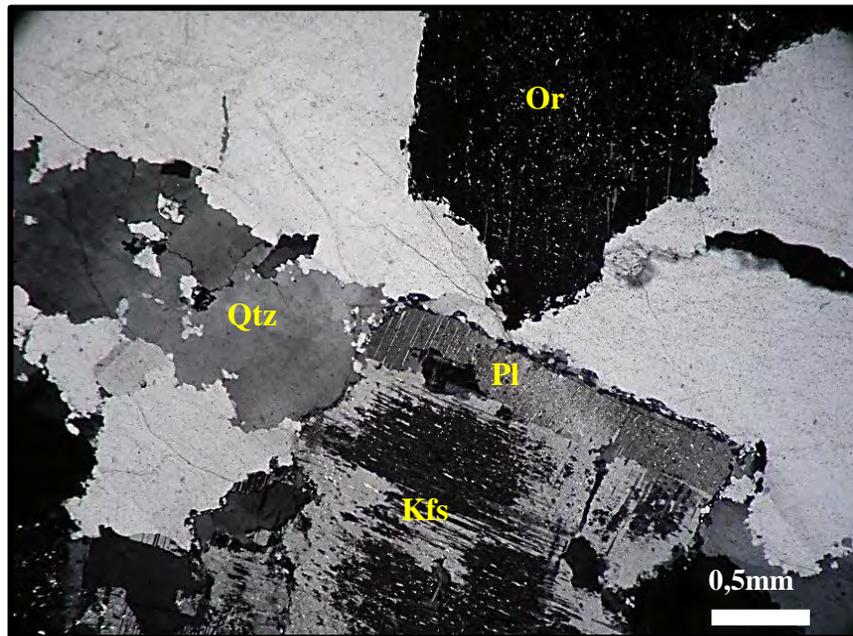


Figura 4.70. Composición mineralógica de la vena aplítica. NX

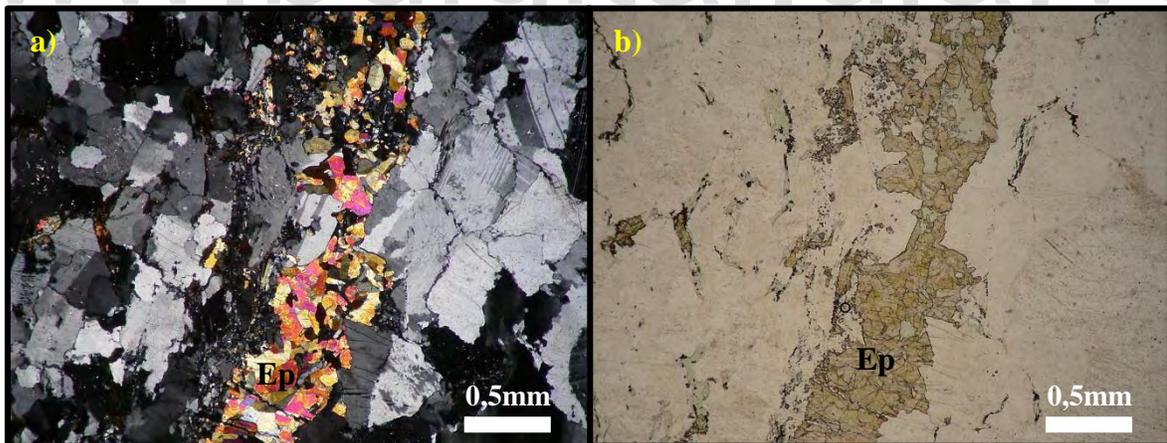


Figura 4.71. Vena de epidoto. a) NX, b) N//

Anfibolita hornbléndica (Muestra PBA2).

Esta roca presenta una estructura bandeada con foliación esquistosa, su patrón textural dominante es la textura granonematoblástica (Figura 4.72) y microestructuras como foliación metamórfica, bandeo composicional y sombras de presión (Figura 4.73). La anfibolita hornbléndica está compuesta principalmente de hornblenda, plagioclasa

(andesina), cuarzo y clorita, lo que deduce un protolito máfico. Los cristales de esfena/titanita se encuentran asociados a la hornblenda, tal y como se observa en la Figura 4.74. La Tabla 4.21 muestra el contenido mineralógico modal de esta roca.

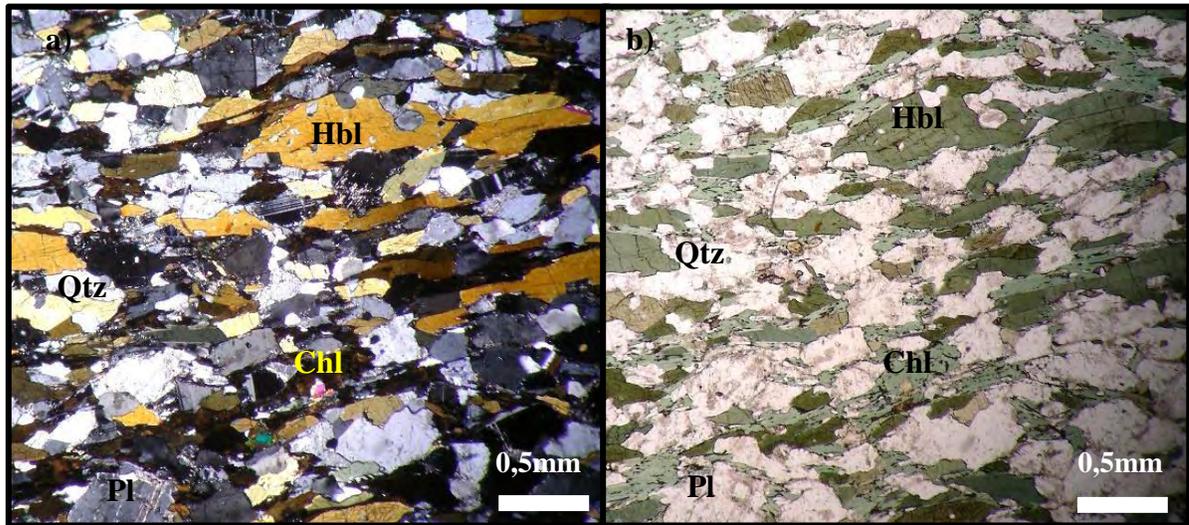


Figura 4.72. Textura Granonematoblástica. a) NX, b) N//.

Tabla 4.21. Mineralogía modal de la muestra (PBA2)

Minerales	Hbl	Pl(A _{An31})	Chl	Qtz	Ttn	Ep	Hem	Ap	Zr
PBA2	30	25	18	18	6	2	1	<1	<1

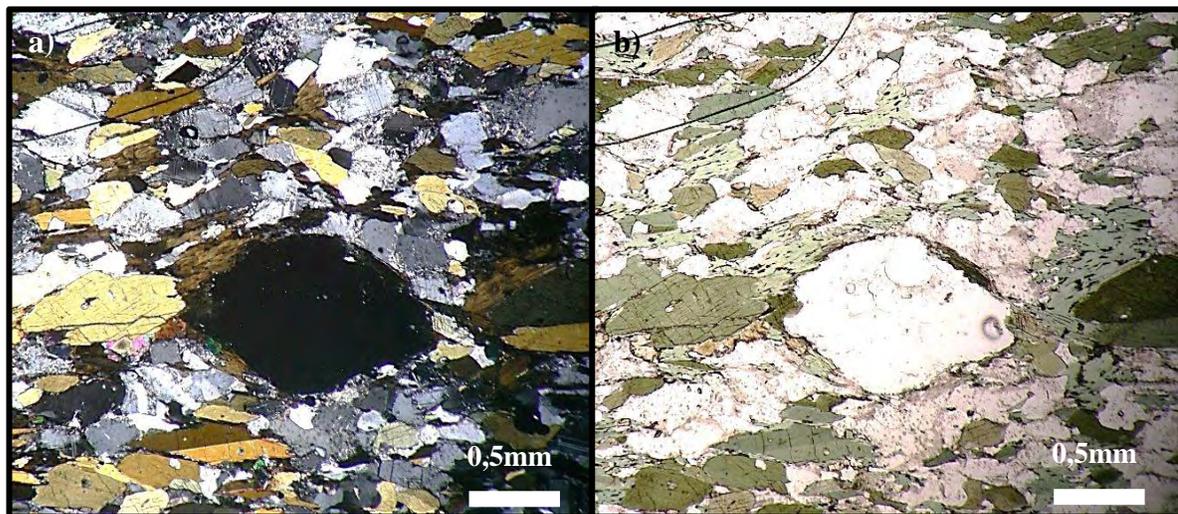


Figura 4.73. Sombra de Presión. a) NX, b) N//.

La paragénesis mineral que caracteriza a esta Anfibolita hornbléndica, está representada por la asociación de hornblenda+clorita+plagioclasa+cuarzo. Esta roca es clasificada en la Facies de la Anfibolita

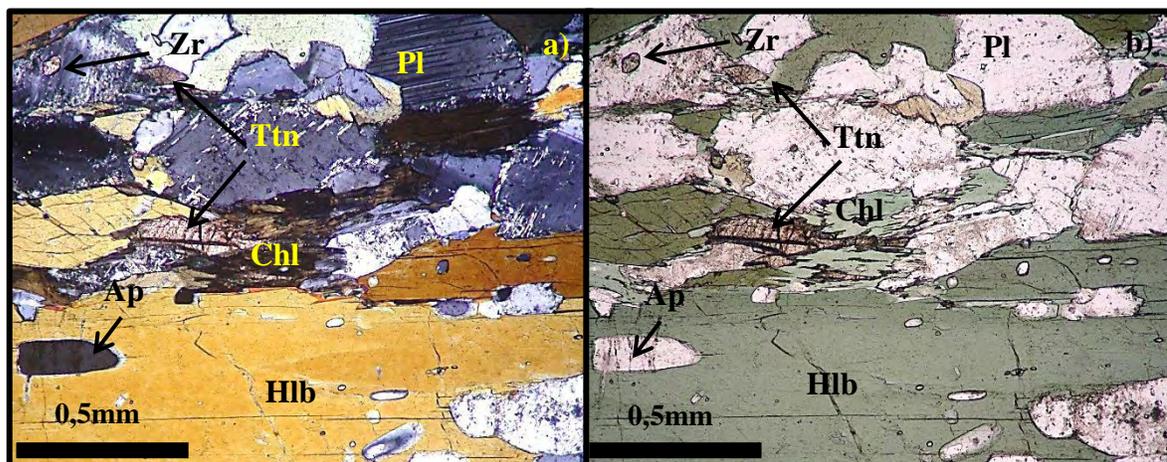


Figura 4.74. Cristales de esfena/titanita asociados con la hornblenda. a) NX, b) N//.

4.3. Análisis e interpretación de patrones mineralógicos.

En este apartado se presenta un análisis de los grupos mineralógicos más representativos y de las texturas secundarias encontradas en la zona de estudio, los cuales surgieron del análisis petrográfico.

4.3.1. Feldespatos.

Los feldespatos presentes en la mayoría de las rocas son ortosa, microclino y plagioclasa del tipo albita-oligoclasa para esquistos y gneises, y del tipo andesina para las anfibolitas. Algunas plagioclasas se encuentran ligeramente zonadas (Figura 4.75).

Las zonaciones en las plagioclasas resultan probablemente por agotamiento de Ca por baja difusión y re-enriquecimiento de Na del líquido adyacente al cristal en crecimiento, (Mackenzie, 1996)

Los minerales de ortosa y plagioclasa en algunas muestras se encuentran alterados a sericita. Esta alteración se debe a la acción de los fluidos en la roca y puede ser una característica del metamorfismo retrogrado (Yardley, 1996). La Figura 4.76 muestra algunos feldespatos alterados a sericita



Figura 4.75. Plagioclasa zonada, (Muestra PBE42) NX

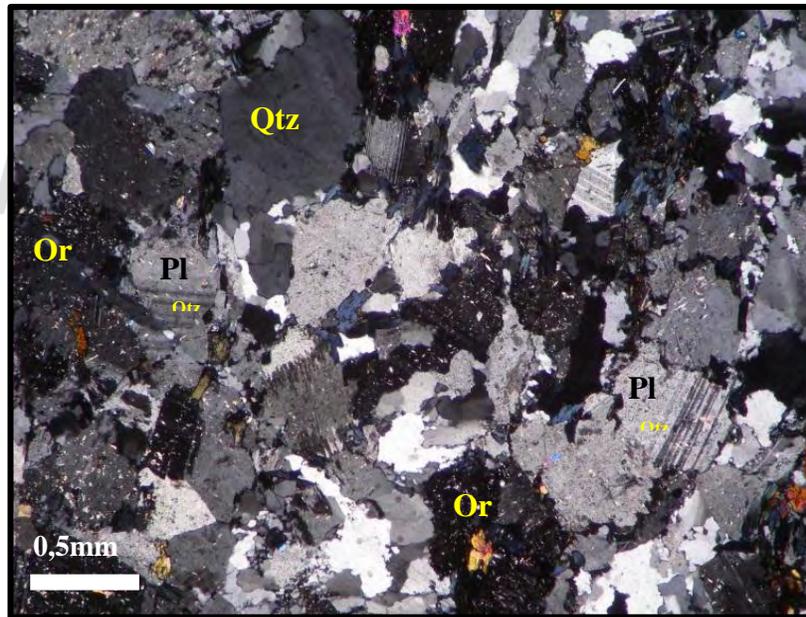


Figura. 4.76. Plagioclasa (Albita) y Ortosa alteradas a sericita (Muestra PBC11), NX

4.3.2. Micas.

La muscovita se encuentra en la mayoría de las muestras sobre todo en los esquistos de origen pelítico, esta mica es muy común en este tipo de rocas por su alto contenido en Al, K y H₂O principalmente, propiciando las condiciones idóneas para la formación de este mineral. Las idromuscovitas (sericita) se componen con un contenido en H₂O mas alto que

el de la muscovita (Mackenzie, 1996). Además su orientación preferencial genera una foliación muy marcada en la roca.

La biotita presenta una gama de colores muy variables en las diferentes muestras. Estos colores varían de marrón a verde y de marrón claro a marrón rojizo, esta variedad de colores implica su alto contenido en Fe y Mg. La tonalidad rojiza es producto de la predominancia del Ti en la muestra. En algunas muestras la biotita se encuentra asociada con la muscovita, clorita, silimanita y rutilo.

Algunas biotitas están bordeadas o alteradas por clorita como se observa en la Figura 4.77. Estas observaciones sugieren un metamorfismo retrogrado tardío y pueden eliminarse del análisis del equilibrio en el momento de la cristalización. Esto implica que no se introdujeron otras fases mineralógicas durante el evento retrógrado (Grauch, 1975).

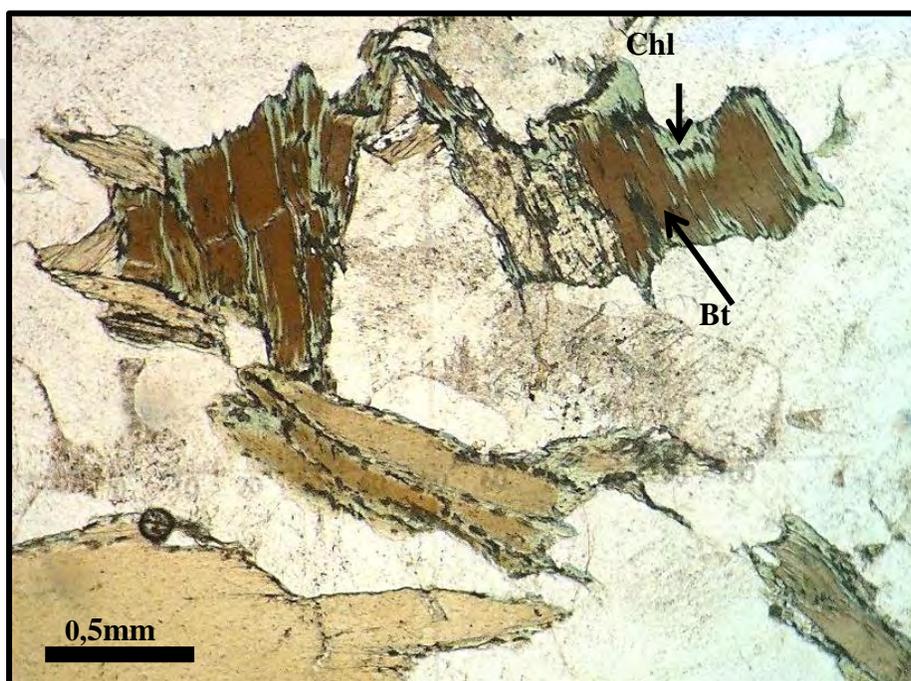


Figura 4.77. Biotita alterada a clorita. (Muestra PBE38) N//.

4.3.3. Granate.

El granate es de tipo almandino y se encuentra en gran proporción en las rocas de la zona de estudio, éste está asociado a los esquistos y gneises de origen pelítico, y a los ortogneis de composición peralumínica (Figura 4.78). En algunas muestras el granate se encuentra

alterado por clorita (Figura 4.79), esto es indicativo de un proceso de retrogradación metamórfica de la roca, (Yardley, 1996).

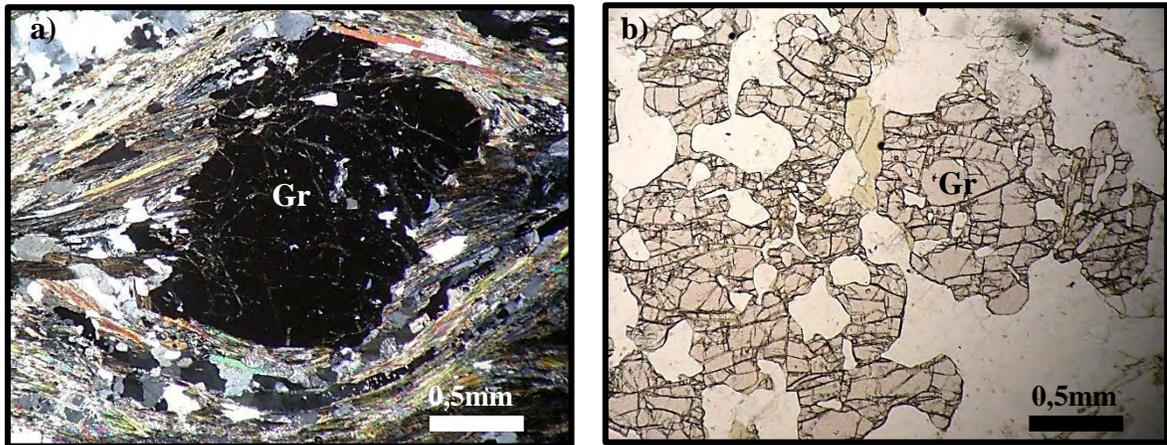


Figura. 4.78. a) Granate en un esquist (Muestra PBB9) NX, b) Granate en un ortogneis (Muestra PBB9) N//

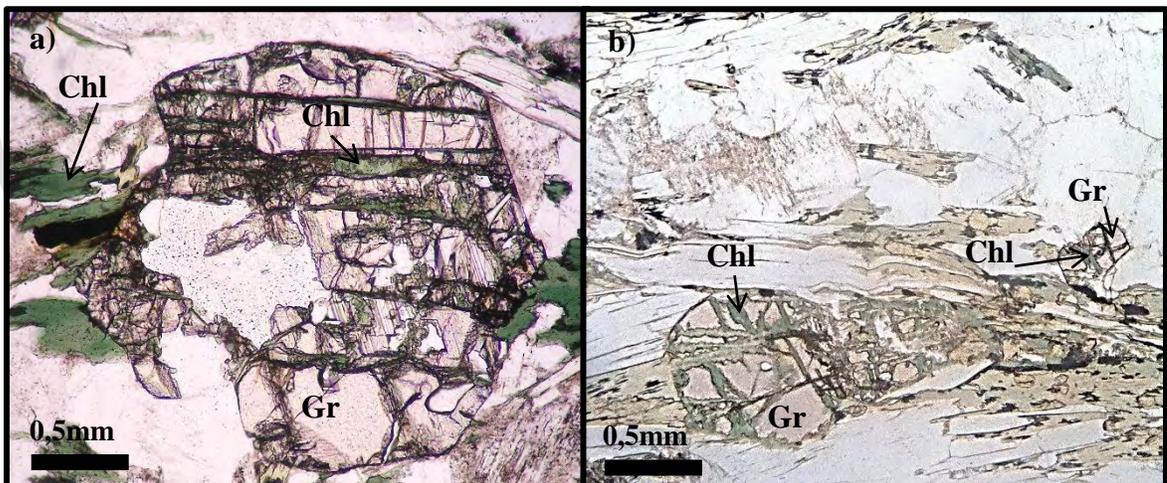


Figura 4.79. Alteración de granate a clorita. a) Muestra PBB4, N//. b) Muestra PBE31, N//

4.3.4. Silimanita.

La silimanita se encuentra en algunos esquistos y gneises, frecuentemente en la variedad fibrolítica (Figura 4.80), este mineral generalmente se encuentra asociado a la muscovita y el cuarzo como producto de la reacción $\text{Muscovita} + \text{Cuarzo} \rightarrow \text{Silimanita} + \text{Ortosa} + \text{H}_2\text{O}$. (Figura 4.81). También se presenta en cristales con orientación preferente muy marcada, debido a que los cristales se encuentran cortados ortogonalmente a su longitud presentándose en forma de rombos tal y como se observa en la Figura 4.82.

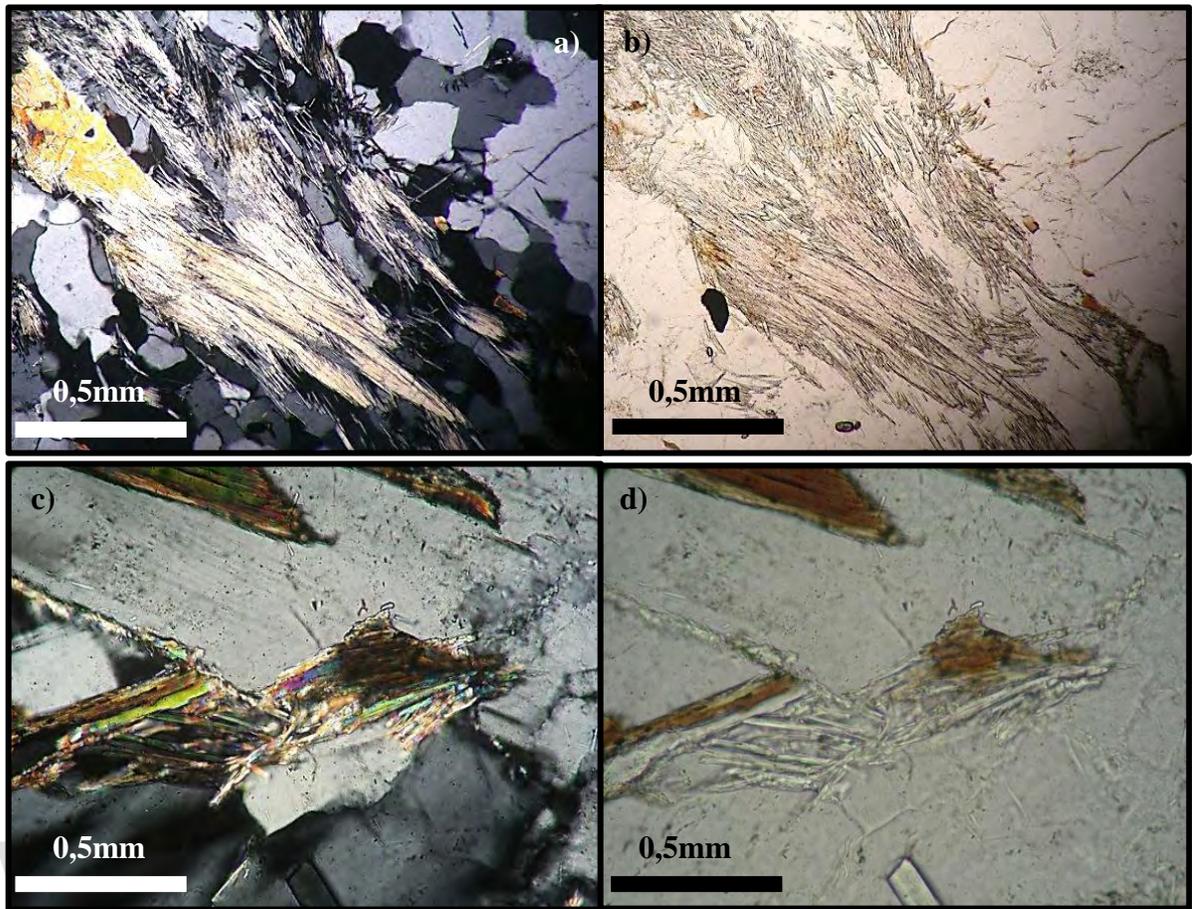


Figura 4.80. Variedad fibrolítica a) silimanita fibrosa (Muestra PBD22) NX, b) silimanita fibrosa (Muestra PBD22) N//. c) silimanita fibrosa (Muestra PBB8) NX, d) silimanita fibrosa (Muestra

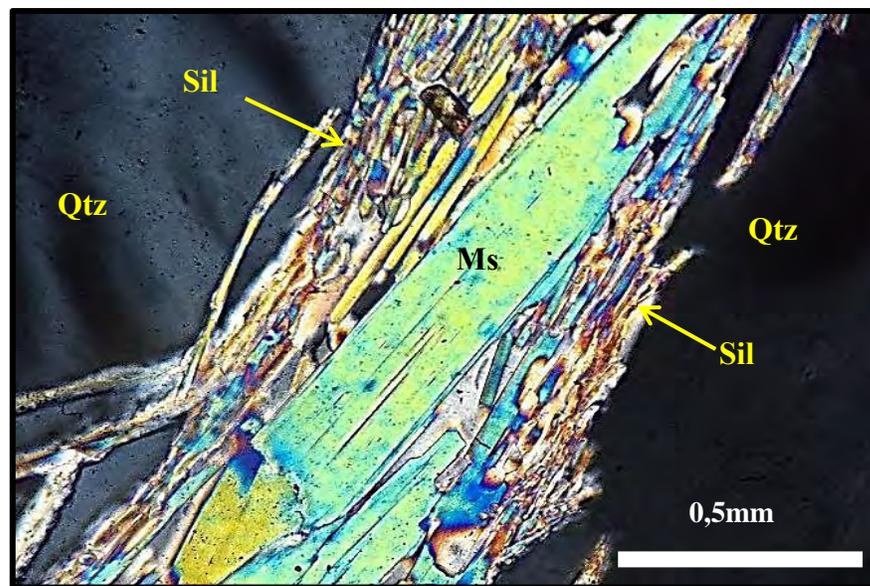


Figura 4.81. Formación de silimanita a partir de la reacción entre el cuarzo y la muscovita, (Muestra PBB8) NX.

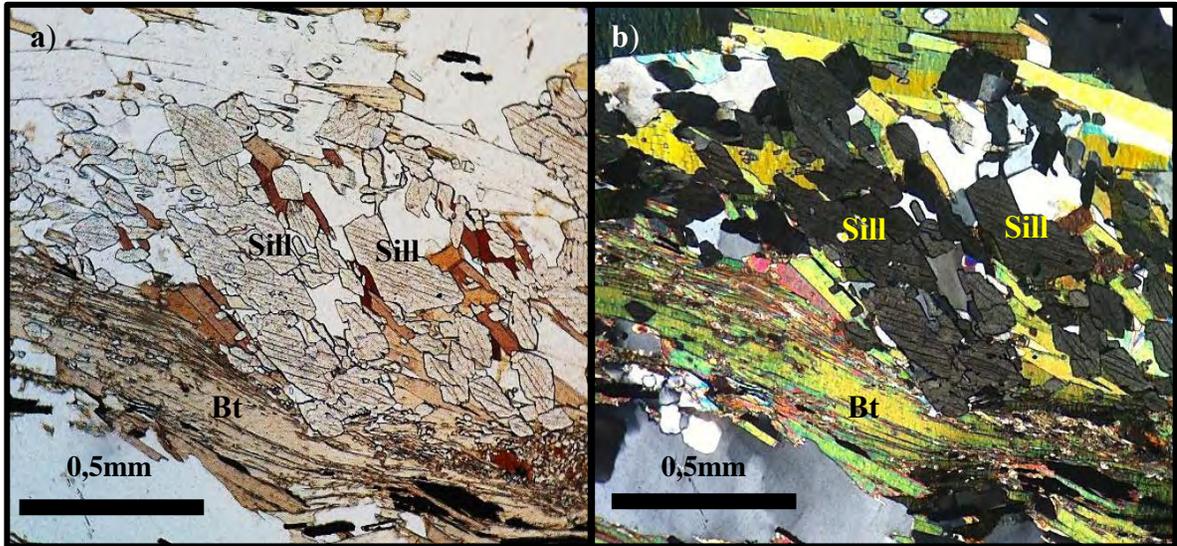


Figura 4.82. Cristales ortogonales de silimanita con orientación preferente (Muestra PBE43) a) NX, b) N//.

4.3.5. Textura Mirmequita.

Esta textura también se encuentra en rocas metamórficas, no es exclusiva de rocas ígneas. La textura mirmequita se forma por una cristalización simultánea de dos o más fases en una misma zona de la roca, de forma que las fases adoptan disposiciones geométricas regulares de intercrecimiento. Hyndman (1985) explica su desarrollo como un crecimiento eutéctico de dos fases minerales y por otra parte, lo atribuye a procesos de reemplazamiento mineral. En este caso ocurre un intercrecimiento de cristales de cuarzo en el feldespato tal y como se observa en la Figura 4.83.



Figura 4.83. Textura Mirmequita (Muestra PBC13) NX.

4.3.6. Textura Pertita.

Son originadas por el aumento de presión y temperatura que produce el metamorfismo. La presión causa la exsolución del feldespato sódico (albítico) dentro de los cristales de feldespato potásico (Figura 4.84). Como todo el proceso es dirigido por difusión iónica dentro de las redes cristalinas sódicas, un aumento de la temperatura favorece dicha difusión (Comunicación Personal, Sebastián Grande 03/10/2013).



Figura 4.84. Textura Pertita (Muestra PBC13), NX.

4.4. Análisis e interpretación de patrones texturales.

En este apartado se realizó un análisis de las relaciones blastesis-deformación en algunas de las muestras más características. Se realizaron dos diagramas de blastesis-deformación que engloban las características texturales y microestructurales de la totalidad de las muestras analizadas. Las curvas de los diagramas de blastesis-deformación construidos fueron deducidas a partir de un análisis de las relaciones microestructurales presentes. Mediante estos análisis se lograron detectar en las muestras dos procesos principales de deformación ordenados cronológicamente como D_1 al proceso más antiguo y D_2 como el proceso más reciente. Estos procesos de deformación causaron la producción de dos microestructuras

planares específicamente esquistosidades, las cuales pueden ser diferenciadas en las muestras, de igual forma fueron nombradas según su aparición cronológica como S_1 siendo la esquistosidad formada por la deformación D_1 y S_2 la que se generó como consecuencia de la deformación D_2 . La segunda deformación tuvo una marcada influencia en la totalidad de las rocas que conforman el área de estudio, los vestigios de su ocurrencia radican fundamentalmente en la marcada superficie de esquistosidad S_2 , la cual elimino casi totalmente las evidencias de la deformación anterior exceptuando el caso de la presencia de S_1 en forma de esquistosidad interna en porfidoblastos. En la Figura 4.85 se puede observar un porfidoblasto precinemático de granate, el cual posee en su interior vestigios identificables de una esquistosidad interna perteneciente a la esquistosidad S_1 . A su alrededor se puede identificar la tendencia ondulada de la esquistosidad S_2 que atraviesa toda la sección. Esta microfotografía de sección fina pertenece a la muestra PBE43, constituida por un esquistos rico en biotita, cuarzo, sillimanita y granate en los cuales se forman bien definidas sombras de presión como la que se muestra en la Figura 4.85.

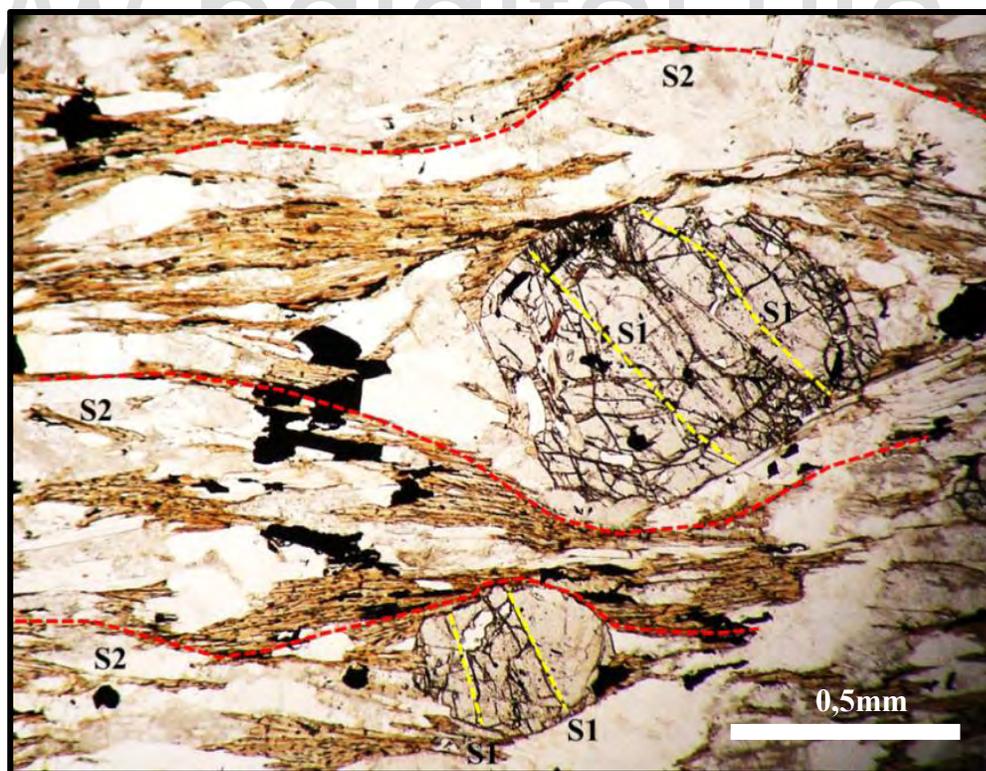


Figura. 4.85. Granate Precinemático Muestra PBE43. N//

Otro ejemplo representativo se puede observar con la Muestra PBB9, en cuyo caso se forman una variedad de sombras de presión y deformación englobando a porfidoblastos de granate a lo largo de toda la muestra. En este caso representado en las Figura 4.86 se muestra un porfidoblasto de granate formando una sombra de presión asimétrica muy bien definida. En el interior del granate se pueden diferenciar las orientaciones de la esquistosidad S_1 y a los alrededores del granate se dibuja la orientación preferencial de los minerales con la esquistosidad S_2 .

La formación de una sombra de presión asimétrica sugiere en algunos casos un comportamiento de deformación rotacional, sin embargo, según Zwart (1962) en Castro (1989), una deformación regional de aplastamiento puro puede localmente manifestarse como una deformación rotacional, y si se suma a esto el hecho de que la muestra PBB9 fue tomada directamente de la traza de la Falla Muralla Roja en cuya actividad se han generado procesos deformacionales se puede explicar el comportamiento rotacional local que influyó en la generación de este patrón microestructural presente en la muestra.

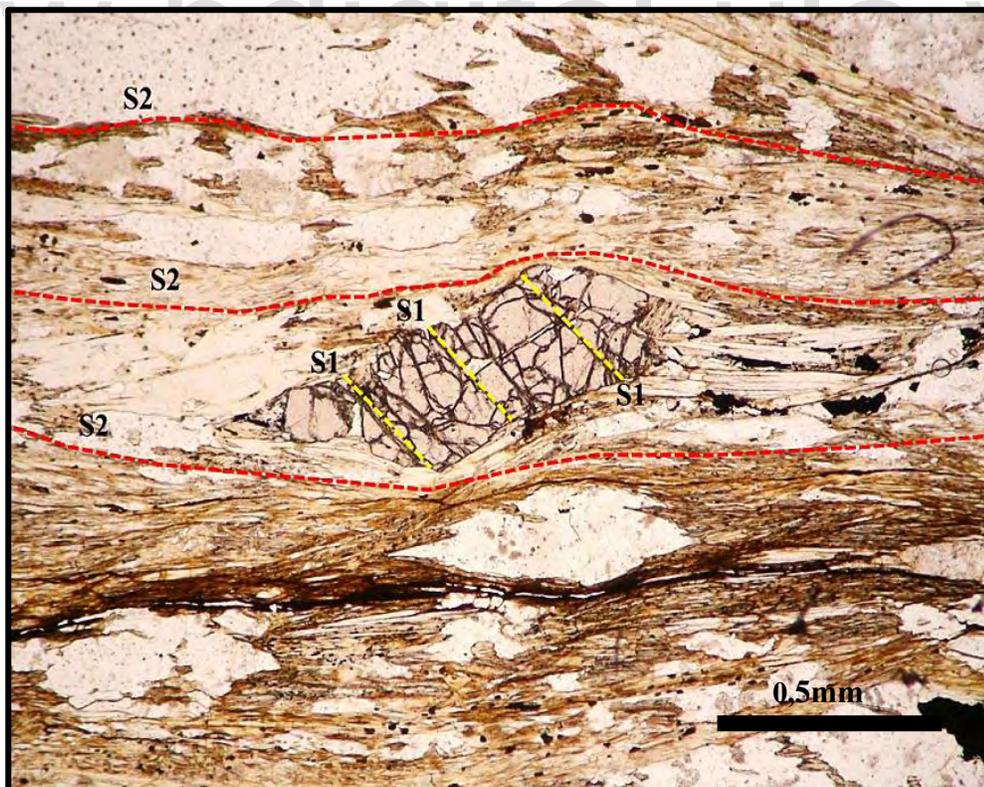


Figura 4.86. Muestra PBB9. Porfidoblasto de granate N//

Para las muestras PBB9 y PBE43 fue realizado un diagrama de blastesis-deformación, considerando para su construcción la geometría de la esquistosidad interna en los porfidoblastos de granate y su diferenciación con la esquistosidad externa. Este diagrama se muestra en la Figura 4.87, en el que se puede observar el comportamiento de la blastesis de los minerales mayoritarios presentes en dichas muestras a lo largo de la influencia de ambos periodos de deformación y la generación de las esquistosidades.

En las muestras también se puede observar otro comportamiento de los blastos de granate con respecto a los episodios de deformación. A partir del análisis de la muestra PBB10 se pudo determinar la presencia de granates postcinemáticos a la segunda deformación, este hecho se muestra en la Figura 4.88, y en la Figura 4.89 se puede observar el diagrama de blastesis- deformación para este caso donde los blastos de granate se comienzan a nuclear posterior a la D_1 y el comienzo de D_2 .

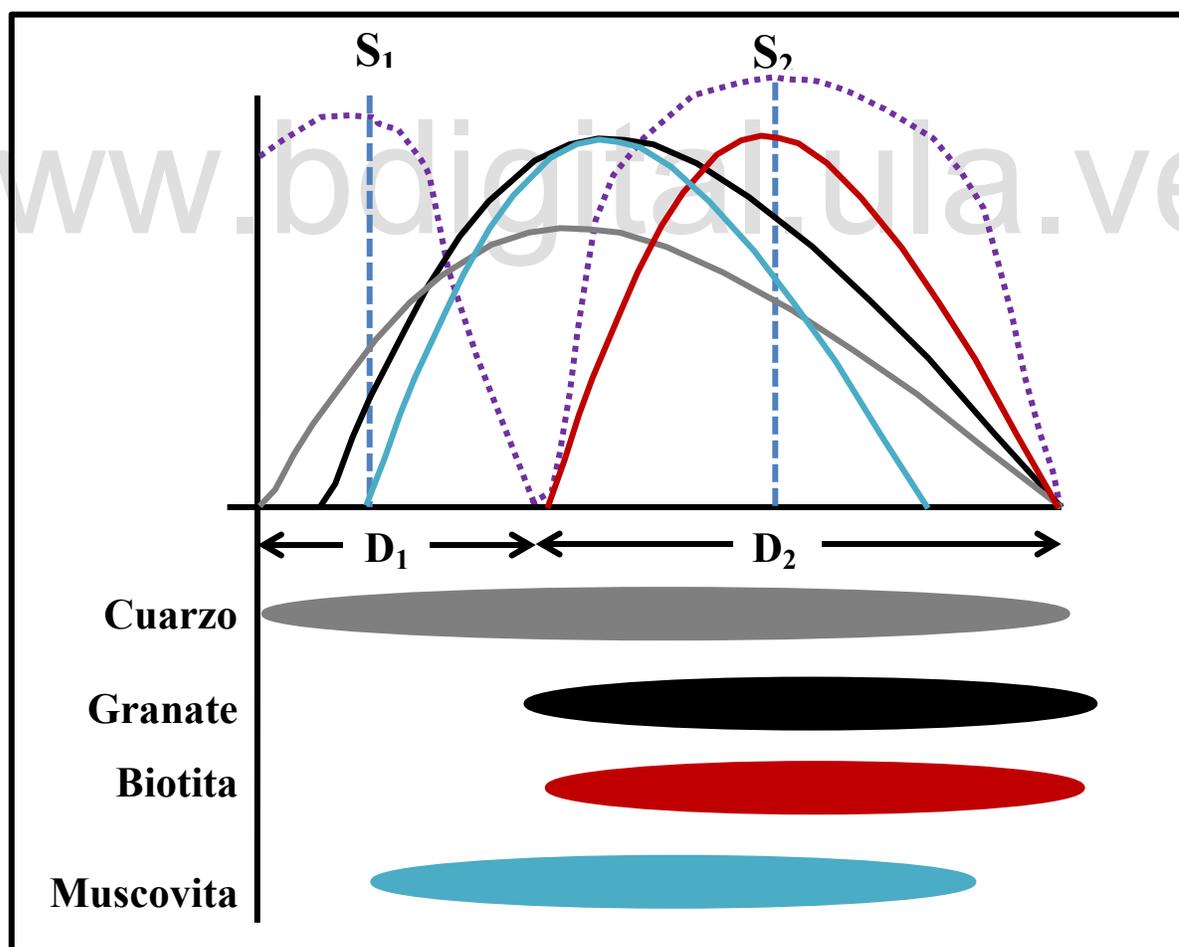


Figura 4.87. Diagrama Blastesis-Deformación para la muestras PBE43 y PBB9

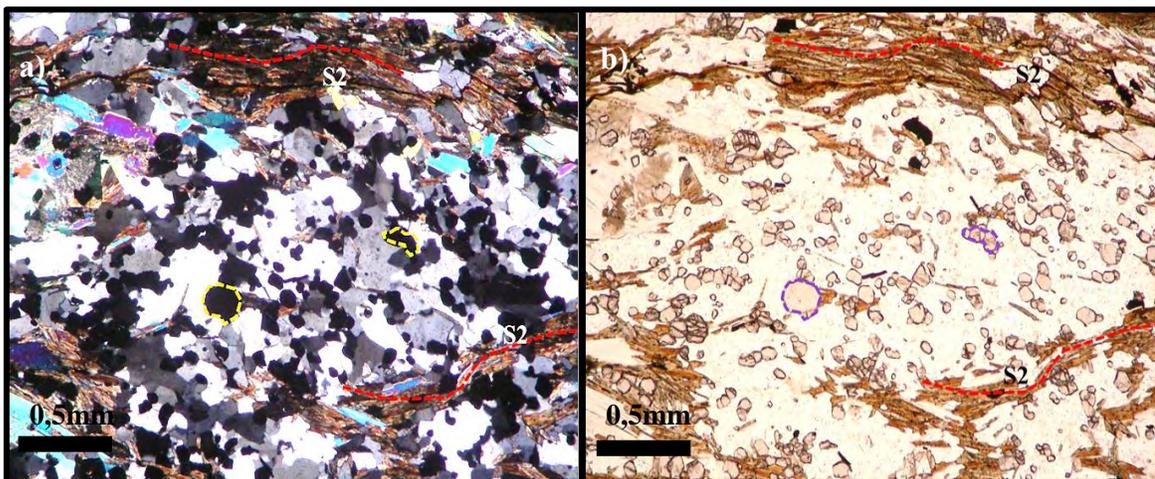


Figura 4.88 Muestra PBB10. Cristales de granate postcinemáticos. a) NX, b) N//.

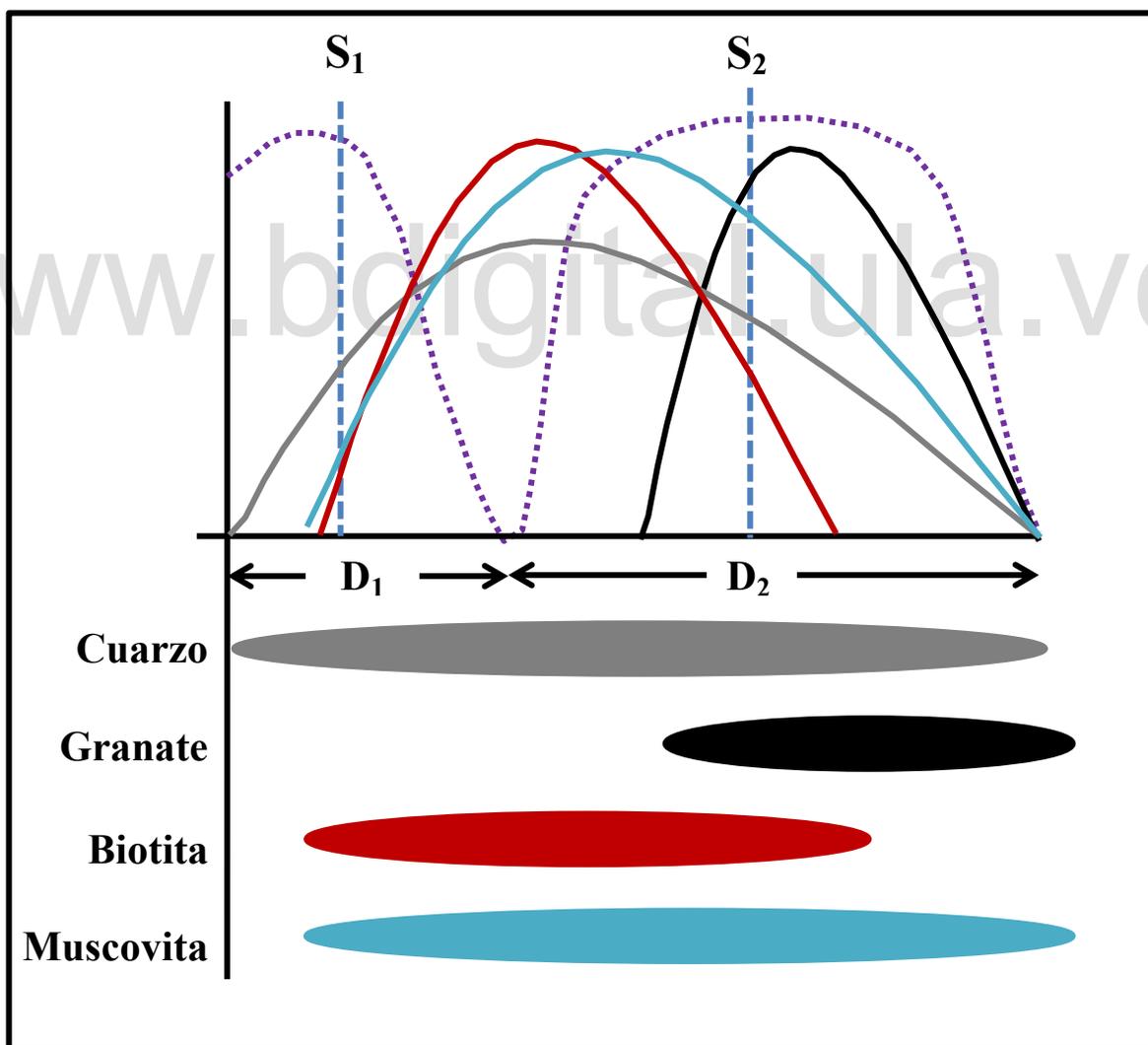


Figura 4.89. Blastesis-Deformación para la muestra PBB10

Si incluimos esta representación de las microestructuras y texturas en un contexto geológico a gran escala se puede deducir la influencia de un metamorfismo regional enmarcado como un proceso dinámico el cual ha sido acompañado por procesos tectónicos y de deformacionales que han originado los patrones texturales de las rocas que conforman el área de estudio.

4.5. Análisis e interpretación de grupos litológicos.

4.5.1. Grupos litológicos.

Los tipos principales de rocas metamórficas analizadas en el área de estudio corresponden a esquistos cuarzo-feldespático-micáceo con conjuntos de silimanita y granate, gneises cuarzo-feldespático-micáceo con escasa silimanita y granate, y anfibolitas hornbléndicas con plagioclasa y biotita en las que la esfena es accesorio común. Los tipos principales de rocas se consideran representativos de roca sedimentaria metamorfizada, según Kovisars, (1972).

Los esquistos constituyen un 60% del volumen de las muestras del área de estudio. En sección fina el esquisto consiste de láminas lepidoblásticas que alternan con láminas de cuarzo y feldespato generalmente granoblástico (Apéndice F).

Los gneises son menos frecuentes que los esquistos, ocupando un volumen de 35% de las muestras en el área de estudio. La foliación esta definida por la disposición paralela de las micas y en menor grado por cristales de cuarzo. El gneis característico de esta zona, es una roca granoblástica, hasta algo granolepidoblástica. Son comunes las láminas de micas cuya abundancia determina el grado de esquistosidad de la roca. La mayoría de las características de los minerales descritos en los esquistos se observan también en los gneises. El tamaño promedio de los granos de cuarzo y feldespato (>0,5mm) es ligeramente mayor que en los esquistos (Apéndice F).

Las anfibolitas son las menos comunes de las rocas presentes en la zona de estudio. Estas rocas poseen un bandeamiento composicional, definido por láminas de hornblenda-biotita, hornblenda-clorita y hornblenda-plagioclasa que es una característica que se destaca en las superficies meteorizadas según Kovisars (1972), (Apéndice F).

La textura característica de las anfibolitas es granonematoblástica cuya fábrica está definida por el alineamiento subparalelo a paralelo del anfíbol en los planos de foliación. La biotita es escasa, pero es más común en las superficies de separación de la roca y suministra las láminas delgadas que definen un plano de separación, según la hipótesis descrita por Kovisars (1972) que concuerda con el análisis petrográfico de la muestra PBB5. Los contactos con los esquistos y gneises en esta zona son concordantes, generalmente a través de una zona transicional de bandas intercaladas de anfibolita-esquisto o anfibolita-gneis.

Las aplitas y pegmatitas se encuentran intrusionadas en forma de pequeños diques y vetas. Grauch en el año 1975, postula que estas rocas se asocian con la anatéxis en el Paleozoico Superior, de una porción profundamente enterrada de Sierra Nevada.

4.5.2. Origen de los grupos litológicos de la Asociación Sierra Nevada.

Mediante el análisis mineralógico se estipuló el origen de cada muestra a través del modelo de clasificación de protolitos realizado por Ehlers y Blatt (1982), en donde se estableció que los esquistos y gneises son de origen sedimentario con protolito pelítico. Esta clasificación también se determinó en base a correlaciones con análisis en otras zonas pertenecientes a la Asociación Sierra Nevada, donde diversos autores deducen el origen sedimentario de esta asociación.

Kovisars (1972), propone que los sedimentos originales de la Asociación Sierra Nevada son una secuencia espesa y algo monótona de pelitas y arenitas intercaladas, la cual es una asociación típica de la sedimentación miogeosinclinal. Esto concuerda con los resultados obtenidos del análisis de los distintos grupos litológicos. También infiere que el origen de las anfibolitas es sedimentario en base a sus relaciones estratigráficas y la química global de la roca; sin embargo, los problemas inherentes al establecimiento de los orígenes de esta roca permiten interpretaciones muy variables de sus condiciones de formación.

La asociación de esquistos micáceos con silimanita y granate que caracteriza a la Asociación Sierra Nevada da la idea de que el tipo de cuenca original pudo haber sido una cuenca extensional de tipo retro-arco, donde diques de diabasas o basaltos son inyectados en los sedimentos de la cuenca (Comunicación Personal, Sebastián Grande 03/10/2013).

4.5.3. Metamorfismo y Facies Metamórficas.

El metamorfismo que afectó a la Asociación Sierra Nevada es de tipo regional. Se produjeron dos ciclos metamórficos diferentes que afectaron las rocas de la región de Sierra Nevada, cada uno de los cuales originó una mineralogía característica, siendo el primero mucho más intenso. Kovisars (1972), confirma que el segundo evento metamórfico tuvo efectos retrógrados menores sobre las mineralogías y texturas de las rocas, a través de los grandes esquemas de muscovita transversales a la foliación predominante, y alteraciones tales como la cloritización del granate. Grauch (1975) deduce un metamorfismo retrógrado con evidencias como la presencia de porfidoblastos no orientados de clorita y muscovita, y la alteración del feldespato, la biotita, y el granate. Estas determinaciones concuerdan con lo establecido en los análisis de los patrones mineralógicos llevados a cabo en la presente investigación.

Las facies del metamorfismo regional para la zona de estudio fueron definidas por los diversos conjuntos mineralógicos, estas facies se conjugan según el esquema de clasificación de Winkler (1967). La zona comprendida por Muralla Roja y Garganta Txomajoma se encuentran en la Facies de las Anfibolitas, Subfacies Silimanita-Granate-Ortosa, mientras que la zona del Pico Bonpland se encuentra en la Facies de los Esquistos Verdes, Subfacies del Granate (Figura 4.90). El cambio de facies en la zona de estudio se puede deber a varias razones, una de las hipótesis es que se deba a una falla que yuxtapone unidades diferentes, las cuales fueron formadas a diferentes profundidades; otra razón es que corresponda a una zona hidrotermal retrograda (Comunicación Personal, Sebastián Grande 03/10/2013).

Las presiones y temperaturas obtenidas mediante los conjuntos mineralógicos fueron comparadas y correlacionadas con datos experimentales realizados por Kovisars en el año 1972 sobre minerales silicatados, los cuales permitieron estimar los valores límites de las condiciones físicas del metamorfismo, teniendo como resultado que para la Asociación Sierra Nevada, se estima una T_{max} en 490°C a 600°C y presiones de 3.7 a 4.7Kbars.

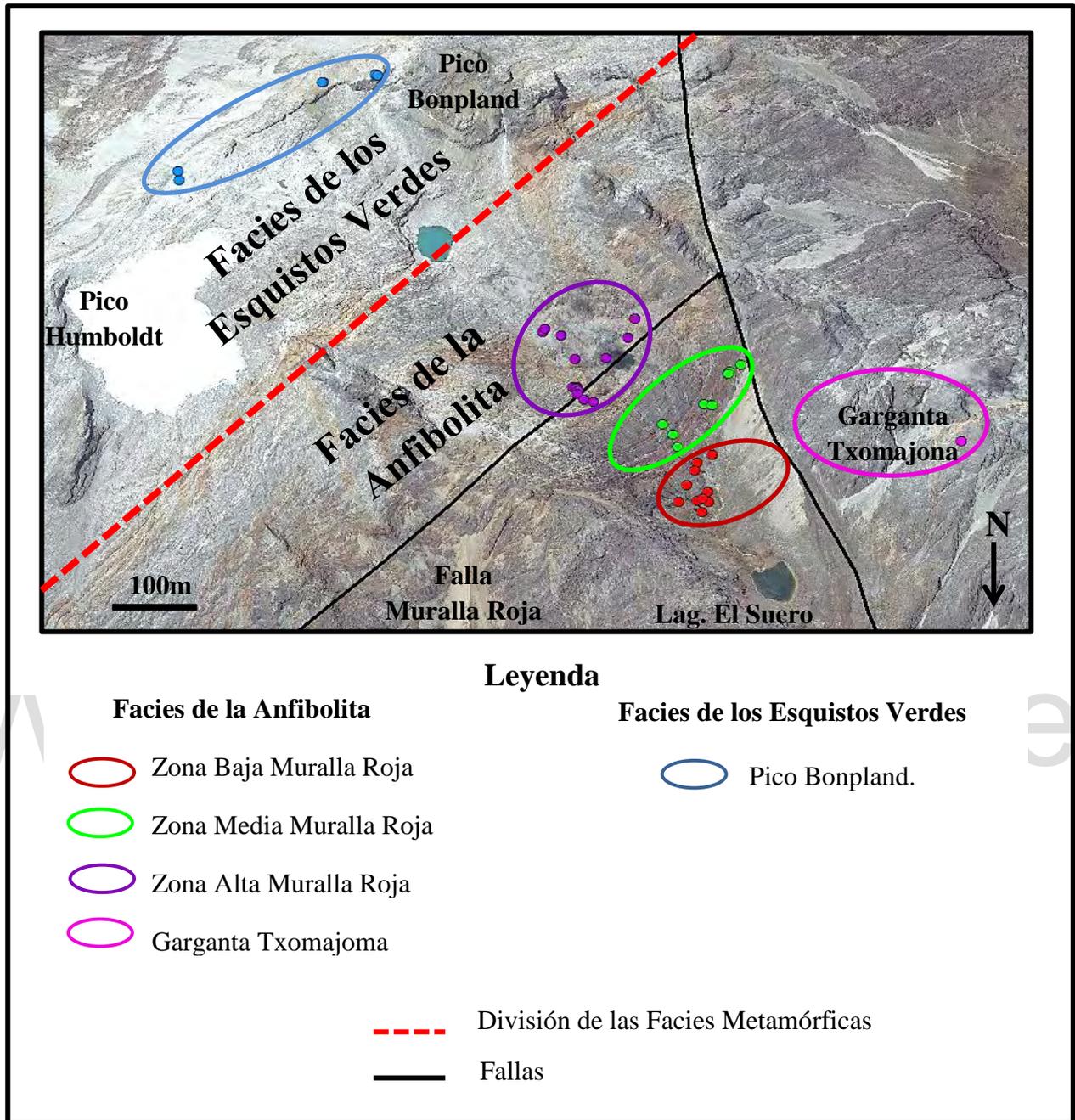


Figura 4.90. Distribución de las Facies metamórficas en el área de estudio.

www.bdigital.ula.ve

Capítulo V

Conclusiones y

Recomendaciones

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. Conclusiones.

- Se propuso un nuevo modelo metodológico modificado de Hoeger (2007), que se adapta a los trabajos en rocas metamórficas. El principal aporte reside en la elaboración de un flujo de trabajo para los análisis petrográficos que abarcan las descripciones de los patrones texturales y microestructurales que definen el desarrollo textural de las rocas (aspecto fundamental en las rocas metamórficas), además de la determinación mineralógica de las rocas enmarcando la caracterización de su composición mineralógica modal, paragénesis mineral y facies y subfacies metamórficas.
- A partir del estudio y análisis de las relaciones de campo se pudo determinar la existencia de una concordancia en las orientaciones de los planos de foliación presentes en las unidades metamórficas a lo largo de la totalidad de la extensión del área de estudio, factor que sugiere el sometimiento a procesos análogos de vasculamiento de las rocas a escala regional, donde los procesos metamórficos han dispuesto a los planos de las rocas presentes en posiciones similares, sin cambios significativos en el macizo rocoso que constituye al Flanco Norte del Pico Bonpland. A su vez se establece que la actividad de los alineamientos tectónicos presentes no han afectado la orientación preferencial de las rocas.
- Se estableció la posible existencia de la Falla Muralla Roja, a partir de determinaciones de evidencias a diferentes escalas, desde la demarcación de su traza en imágenes aéreas y satelitales, la consecución de evidencias en campo mediante el establecimiento de sus relaciones de campo y la presencia de estructuras deformacionales y esquistosidad milonítica en sus adyacencias, lo que representa la determinación microestructural a partir de análisis petrográficos.
- Se determinó la presencia del emplazamiento tectónico de un cuerpo granítico de composición peralumínica como resultado de la actividad de la Falla Muralla Roja, ubicado en la Zona Alta de Muralla Roja y estructurado como un cuerpo tabular con clara tendencia leucocrática, el cual posteriormente fue metamorfozido hasta alcanzar su tipología gnéisica actual.

- Mediante el estudio de las relaciones blastesis-deformación se determinó la existencia de dos procesos principales de deformación y a su vez la generación de dos esquistosidades, determinadas bajo criterios microestructurales. Esto refleja el carácter dinámico y el acompañamiento de procesos tectónicos del metamorfismo regional al que fueron sometidas las rocas de Los Andes Centrales venezolanos.
- A partir del análisis de las composiciones mineralógicas se determinaron los diversos grupos litológicos que constituyen el área de estudio, los cuales se encuentran representados por esquistos, gneises y anfibolitas. Los esquistos y gneises están compuestos principalmente por cuarzo, feldspatos, micas, granate y silimanita, lo que deduce un protolito sedimentario de origen pelítico. A diferencia de las anfibolitas las cuales están compuesta principalmente por hornblenda, cuarzo y plagioclasa; el origen de estas anfibolitas aún se desconoce, algunos autores postulan su origen sedimentario en base a relaciones estratigráficas y a la química de la roca, mas sin embargo los problemas inherentes al establecimiento de su origen permiten interpretaciones muy variables de sus condiciones de formación.
- Mediante el estudio de asociaciones minerales se estableció que la unidad metamórfica del Pico Bonpland se encuentra conformada por rocas de las Facies de los Esquistos Verdes y las Subfacies del Granate, estas presentan un gradiente de temperatura de formación entre 400 a 550°C y presiones que varían desde los 3 a 4 Kbar aproximadamente, mientras que en la zona de Muralla Roja y Garganta Txomajoma se determinaron las Facies de la Anfibolita y Subfacies Silimanita-Granate-Ortosa con un gradiente de temperatura entre 600 a 680°C y presiones entre 4 a 6 Kbar.

5.2. Recomendaciones.

- Realizar dataciones radiométricas a los diques aplíticos, pegmatíticos y ortogneises encontrados en el área de estudio, para la determinación de correlaciones con cuerpos similares pertenecientes otras zonas de la Sierra Nevada, Macizo de Los Conejos y de la Sierra de La Culata con la finalidad de establecer posibles relaciones genéticas entre ellos.
- Llevar a cabo estudios de neotectónica en la Falla Muralla Roja para establecer su comportamiento y actividad.

- Realizar estudios petrológicos al Cuerpo Granítico El Suero que incluyan estudios petrográficos, geoquímicos y la determinación de sus contactos con las rocas metamórficas de la Asociación Sierra Nevada.
- Realizar estudios petrológicos a muestras que comprendan altitudes entre los 4405 y los 4750msnm del Flanco Norte del Pico Bonpland, con la finalidad de completar la totalidad de la extensión del macizo y la determinación detallada de los aspectos que producen la variabilidad entre la Zona Alta de Muralla Roja y la Zona de Pico Bonpland, así como las causas del cambio de facies metamórficas presentes.
- Realizar estudios químicos para determinar la composición química de las rocas que establezcan el equilibrio de las asociaciones mineralógicas para la construcción de diagramas de fases que permitan clasificar con mayor precisión la tipología de los protolitos presentes.
- Proponer trabajos que sigan esta línea de investigación con la finalidad de ampliar el conocimiento de la Sierra Nevada y sus cumbres. Así como llevar a cabo una recopilación de las investigaciones realizadas en distintas áreas de Los Andes venezolanos para hacer determinaciones y correlaciones importantes que permitan el establecimiento de nuevos mapas geológicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Audemard, F., Audemard, F. (2002). *Structure of the Merida Andes, Venezuela: relations with the South America–Caribbean geodynamic interaction*. *Tectonophysics* 345. 300–327.

Audemard, F. (2003). *Geomorphic and geologic evidence of ongoing uplift and deformation in the Mérida Andes, Venezuela*. *Quaternary International* 101–102. 44– 65.

Afonso, M. (2006). *Sierra Nevada, Escaladas y Excursiones*. Mérida, Venezuela.

Baamonde, J. (2006). *Petrología*. Universidad Central de Venezuela. Instituto de Ciencias de la Tierra. Caracas, Venezuela.

Bellizia, A., Pimentel, N. (1994). *Terreno Mérida: un cinturón Alóctono Herciniano en la Cordillera de Los Andes de Venezuela*. V Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas, Memoria. 271-299. Puerto La Cruz, Venezuela.

Blatt, H. y Tracy. (2000). *Petrology. Igneous, Sedimentary, and Metamorphic*. Second Edition. New York, USA: W.H. Freeman and Company.

Brown, A. (En prensa). *Provenance and Tectonic Evolution of the Caparo Block and Merida Terrane in the Venezuelan Andes*. Master's Thesis. University of Georgia. Georgia, USA.

Burkley, L. (1975). *Geochronology of the Central Venezuelan Andes*. Ph. D. Thesis. Case Western Reserve University, Department of Geology.

Castro, A. (1989). *Petrografía Básica. Texturas, Clasificación y Nomenclatura de Rocas*. Madrid, España: Editorial Paraninfo.

Cordani, U., Cardona, A., Jimenez, D., Liu, D., y Nutman, A. (2005). “*Geochronology of Proterozoic basement inliers in the Colombian Andes: tectonic history of remnant of a fragmented Greenville belt*”. Geological Society London, Special Publication 247, 17.

Cortes, M. [s.a.]. *Petrografía y Petrología Metamórfica*. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México.

Corvalán, M. [s.a.]. *Modernización e Integración Transversal de la Enseñanza en Ciencias de la Tierra*. Universidad de Chile. Proyecto MECESUP UCH 030. Disponible en línea: www.dgf.uchile.cl/mece

Dirección de Cartografía Nacional. Ministerio de Obras públicas (1974). Mapa topográfico carta 6041-IV-SO, Escala 1:25.000.

Dirección de Cartografía Nacional. Ministerio de Obras públicas (1975). Mapa topográfico carta 5941-I-SE, Escala 1:25.000.

Donald, H. (1985). *Spider Plots. Petrology of Igneous and Metamorphic Rocks.* Second Edition. New York, USA: McGraw-Hill.

Duque, G. [s.a.]. *Rocas Metamórficas.* Manual de geología para ingenieros. Disponible en línea: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/16/geo13.pdf>

Fotografías aéreas. (1952). Misión A-34. Fotos: 979, 980. Escala 1: 40.000. Mapoteca de la Escuela de Geografía, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.

García, J., Campos, C. (1972). *Las rocas paleozoicas en la región del Río Momboy.* IV Congreso Geológico Venezolano, Memoria, Vol. 2; Boletín de Geología Publicación Especial vol. 5. 796-806.

González de Juana, C. (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuenca Petrolíferas.* Tomo I. Caracas, Venezuela.

Gonzales, J. (1987). *Revisión de la Zonación Metamórfica y los Procesos de Blastesis-Deformación de la Región de Somosierra (Sistema Central Español).* Estudios geol., 43. 209-216. Universidad Complutense, Facultad de Geología, Departamento de Geodinámica. Madrid, España.

Grauch, R. (1975). *Geología de la Sierra Nevada al sur de Mucuchíes, Andes Venezolanos: Una Región metamórfica de aluminosilicatos.* Publicación del Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Caracas, Venezuela.

Guerrero, O. (1994). *Estudio Geológico y Geomorfológico de La Sierra Nevada de Mérida (Picos Humboldt y Bonpland).* Trabajo de Ascenso. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Geológica. Mérida, Venezuela.

Guía Interactiva de Minerales y Rocas. [s.a.] *Petrografía Microscópica.* Disponible en línea: <http://www2.montes.upm.es/Dptos/DptoSilvopascicultura/Edafologia/>

Gutiérrez, J. (2005). *Guía Teórica de Fotogeología.* Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Geológica. Mérida, Venezuela.

Harder. (1977). *“Geología de la región al sur de Bailadores, estados Táchira y Mérida”.* Sociedad venezolana de Geólogos. Caracas, Venezuela.

Hoeger, T. (2007). *Geología de la Región de Chachopo, Estado Mérida, Venezuela*. Trabajo Final de Grado Mc.Sc. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias de la Tierra, Postgrado en Geoquímica. Caracas, Venezuela.

Hyndman, D. (1985). *Petrology of igneous and metamorphic rocks*. Second Edition. New York, USA: McGraw-Hill.

Jiménez, L. (2006). *Metamorfismo*. Universidad de Zaragoza, Departamento de Ciencias de la Tierra. Zaragoza, España.

Kerr, P. (1965). *Mineralogía Óptica*. Madrid, España: MacGraw Hill. Tercera Edición.

Kilmurray, J., Teruggi, M. (1982). *Fábrica de Metamorfitas. Texturas y Estructuras*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones Científicas Argentinas Librart.

Kovisars, L. (1972). *Geología de la Parte Norte-Central de Los Andes Venezolanos*. Memorias del IV Congreso Geológico Venezolano. 817-859. Caracas, Venezuela.

Kündig, E. (1938). *The pre-Cretaceous rocks of the central Venezuelan Andes with some remarks about the tectonics*. Boletín Geología y Minas. Caracas, Venezuela. 2(2-4). 21-43.

Liborius, A. (2012). *Geología y Modelo Petrogenético de los granitoides que afloran en la zona de Pico El Águila – Piñango. Mérida Estado Mérida, Venezuela*. Trabajo Final de Grado. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Geológica. Mérida, Venezuela.

Lopez, M. (1971). *Manual de Fotogeología*. Madrid, España: Ediciones J.E.N.

Mackenzie, W., Guilford, C. (1996). *Atlas de Petrografía. Minerales formadores de rocas en lámina delgada*. Barcelona, España: Masson.

Mackenzie, W., Adams, A. (1997). *Atlas en color de rocas y minerales en lámina delgada*. Barcelona, España: Masson.

Maninat, C. (2009). *La Adamellita de La Culata: Elementos Indicativos de su Petrogénesis. Sector Torondoy, Mucumpiz y valle de Mifafí, Estado Mérida, Venezuela*. Trabajo Final de Grado. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Geológica. Mérida, Venezuela.

Melgarejo, J. (2003). *Atlas de Asociaciones Minerales en lámina delgada*. Biblioteca de la Universitat de Barcelona. Barcelona, España. Disponible en línea: <http://books.google.co.ve/booksatlas+de+petrografia++metamórficas>

Mendoza. (2005). *Geología de Venezuela. Guayana, Los Andes y Sistema Montañoso del Caribe*. Universidad de Oriente, Escuela Ciencias de la Tierra. Ciudad Bolívar, Venezuela.

Ministerio de Energía y Minas. (1981). *Mapa Geológico de la Región de Mérida, Estado Mérida*. Dirección General Sectorial de Minas y Geología. Dirección de Geología. División de Exploraciones Geológicas. Escala 1:50.000.

Miyashiro, A., (1994). *Metamorphic Petrology*. New York, USA: Oxford University Press.

Monod, B., Dhont, D., & Hervouët Y. (2010) *Orogenic float of the Venezuelan Andes*. Tectonophysics 490. 123– 135.

Munsell, A. (1995). *Rock-Color Chart*. Prepared by The Rock- Color Chart Committee, representing the U.S Geological Survey, The Geological Society of America, the American Association of Petroleum Geologists, the Society of Economic Geologists, and the Association of American State Geologist.

Pascchier, C., Myers, J., & Kröner, A. (1990). *Field Geology of High- Grade Gneiss Terrains*.

Ramirez, J. García, R. y Campos. (1971). “*Geología de la Región de Timotes, estados Mérida, Barinas y Trujillo*”. Memoria de IV Congreso Geológico Venezolano, Tomo II. 898-934. Caracas, Venezuela.

Romero, R. [s.a.]. *Nieves y Riscos Merideños*. Centro Excursionista Caracas. Caracas, Venezuela.

Revista Geológica de Chile. (2003).Vol. 30, No. 1. 39-52. Disponible en línea: <http://www.scielo.cl/scielo.php>

Schubert, C. (1993) *El Cuaternario de la Cordillera de Mérida, Andes Venezolanos*. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.

Shagam, R. (1972). *Geología de Los Andes Venezolanos*. Memorias del IV Congreso Geológico Venezolano. 935- 938.Caracas, Venezuela.

Silva, A. (2001). *Los Picos más Altos de Mérida- Venezuela*. Revista Geográfica Venezolana. Volumen 42. 73- 97.

Solano, L. (2010). *La Adamelita de La Culata: Elementos Indicativos de su Petrogénesis entre las Poblaciones de Tucaní y Torondoy, Estado Mérida*. Mérida, Venezuela. Trabajo Final de Grado. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Geológica. Mérida, Venezuela.

Tazzo, D. (2008). *Elementos Petrogenéticos de la Granodiorita de El Carmen. Sector Capilla del Carmen y Cacute, Noreste de la ciudad de Mérida*. Trabajo Final de Grado. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Geológica. Mérida, Venezuela.

Torres, R., García, J., y Molina, J. (2004). *Petrología Metamórfica. Asistente de Prácticas*. Universidad de Granada. Departamento de Mineralogía y Petrología. Granada, España.

Urbani, F., (1969). *Petrografía de muestras de algunos Picos nevados del Estado Mérida*. Asociación Venezolana de Geología, Minería y Petróleo. Boletín Informativo. Volumen 12, Número 11. 425- 437.

Velilla, N. *Atlas de Minerales constituyentes de Rocas*. Universidad de Granada. Departamento de Mineralogía y Petrología. Disponible en línea: www.ugr.es/velilla/atlas_mineral

Vidal, J. [s.a.]. *Minerales y Rocas*. Barcelona, España: Océano Grupo Editorial.

Viscarret, P., Guerrero, O., y Andara, A. (2000). *Atlas Petrográfico de Rocas Ígneas y Metamórficas de La Sierra Nevada de Mérida, Venezuela*. Mérida, Venezuela: Talleres Gráficos Universitarios.

Viscarret, P., Laffaille, J., y Guerrero, O. (2005). *Caracterización Geológica y Petrográfica de Rocas del Parque Nacional Sierra Nevada*. Mérida. Geos 38. I Jornadas de Geología de Rocas Ígneas y Metamórficas. 51- 53.

Weingarten. (1977). *“Tectonic and paleoclimatic significance of a Late- Cenozoic Paleozoic from the Central Andes, Venezuela”*. USA.

Winkler, H. (1967). *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Second Edition. New York-Berlin: Springer- Verlag.

Winkler, H. (1974). *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Third Edition. New York-Berlin: Springer-Verlag.

Winter, J. (2001). *Igneous and Metamorphic Petrology*. New Jersey, USA: Prentice-Hall Inc.

Smulikowski, W., Desmons, J., Harte, B., Sassi, F., y Schmid, R. (2003). Metamorfismo. Tipos, grados y facies. Disponible en línea: <http://www.ugr.es/~agcasco/personal/IUGS/tipos.htm>

Yardley, B., Mackenzie, W., y Guilford, C. (1996). *Atlas de Rocas Metamórficas y sus Texturas*. Barcelona, España: Masson.

www.bdigital.ula.ve

www.bdigital.ula.ve

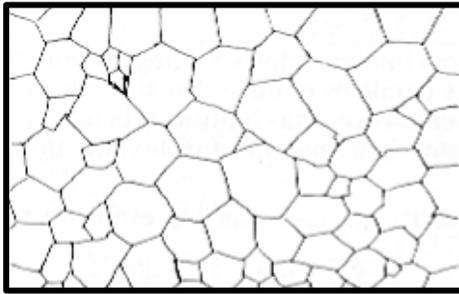
Apéndices

www.bdigital.ula.ve

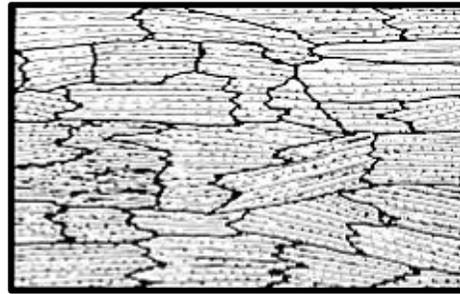
Apéndice A

Texturas Cristaloblásticas.

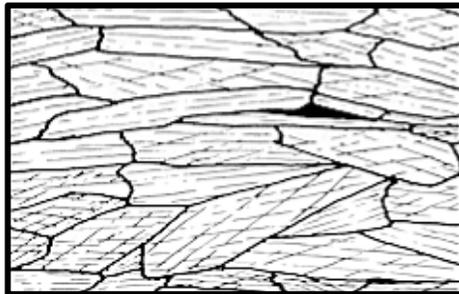
Texturas Cristaloblásticas



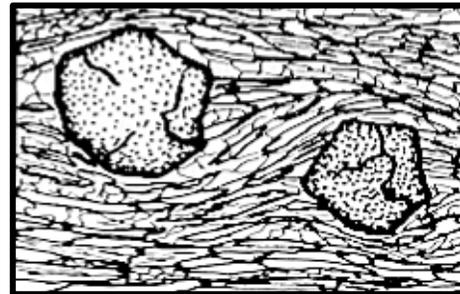
Granoblástica



Lepidoblástica

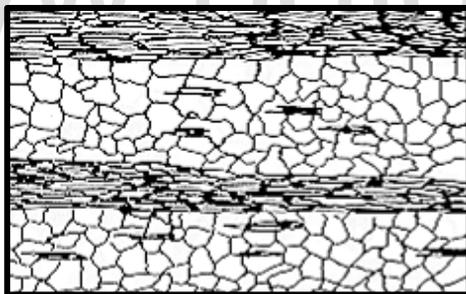


Nematoblástica



Porfidoblástica

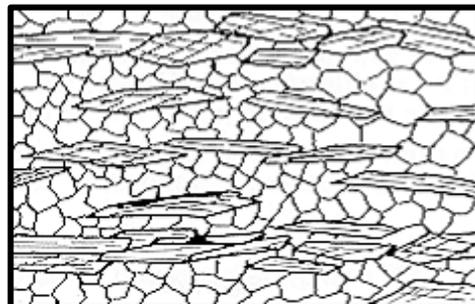
Combinaciones de Texturas Cristaloblásticas



Granolepidoblástica



Granoporfidodoblástica



Granonematoblástica

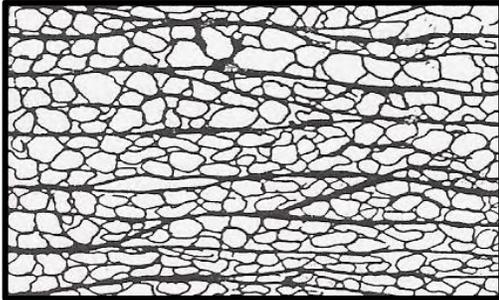
Tomado de Castro, A. (1989).

www.bdigital.ula.ve

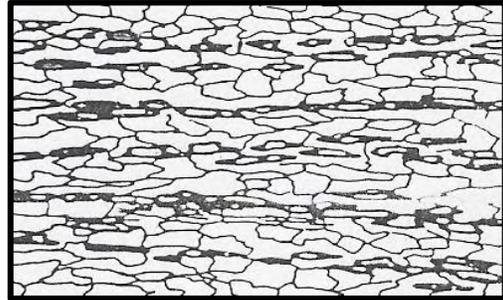
Apéndice B

Microestructuras.

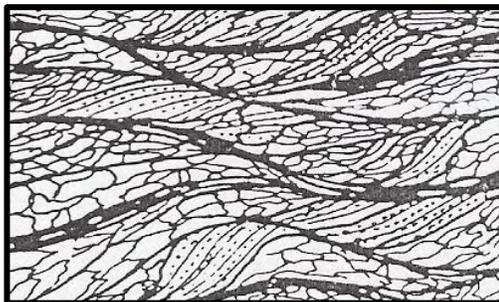
Microestructuras.



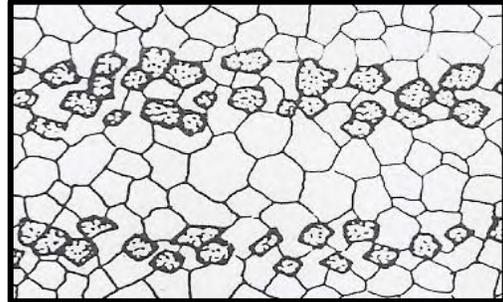
Esquistosidad Grosera



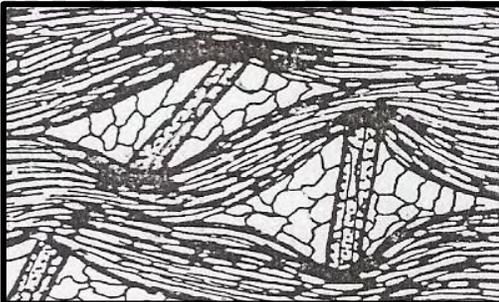
Foliación Metamórfica



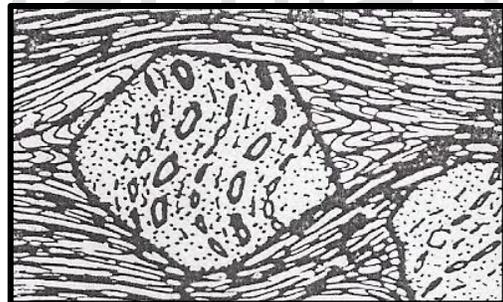
Esquistosidad Milonítica



Bandeado Composicional



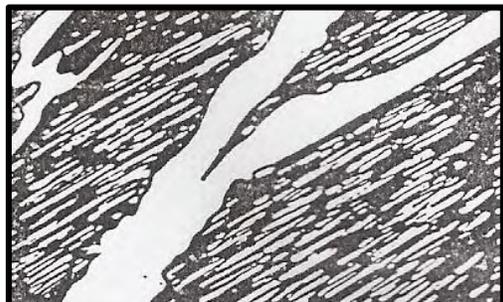
Sombras de Presión



Esquistosidad Interna en Porfidoblastos



Arcos Poligonales



Venas Minerales

Tomado de Castros, A. (1989)

www.bdigital.ula.ve

Apéndice C

Tabla de Descripción Macroscópica de las Muestras.

Tabla de descripción macroscópica para las muestras de la Zona Baja de Muralla Roja.

Muestra	Coordenadas (UTM)	Altura (msnm)	Tipo Litológico	Foliación	Aspecto	Color Fresco	Color Meteorizado	Grado de Alteración	Tamaño de los Cristales	Presencia de Fracturas y Diaclasas	Patrones texturales y Estructurales	Observaciones
PBB3	0945618 0278905	4244	Esquisto	N60E 65SE	Heterogéneo Granudo	Medium light gray N6 6	Pale reddish Brown 10R 5/4	Bajo	Medio- grueso	No	Esquistosidad	Micáceo, fenocristales de cuarzo
PBD29	0945693 0278882	4224	Pegmatita	-	Heterogéneo granudo	Very light gray N8 8	Dark greenish yellow 10Y 6/6	Bajo	Grueso	No	Masivo	Micáceo
PBD30	0945673 0278886	4228	Esquisto	N48E 74SE	Heterogéneo	Medium light gray N5 5	Dusky red 5R 3/4	Medio	Fino	No	Esquistosidad, bandeado	Vena de cuarzo
PBD31	0945633 0278909	4243	Esquisto	N56E 77SE	Heterogéneo granudo	Medium gray N5 5	Moderate Brown 5YR 4/4	Bajo	Medio- grueso	No	Esquistosidad	Fenocristales de cuarzo, micáceo
PBD32	0945602 0278877	4235	Esquisto	-	Heterogéneo granudo	Medium light gray N5 5	Grayish Brown 5YR 3/2	Medio	Medio- grueso	No	Esquistosidad	Fenocristales de cuarzo
PBD33	0945660 0278925	4251	Esquisto	-	Heterogéneo	Médium dark gray N4 4	Dark reddish Brown 10R 3/4	Bajo	Medio- grueso	No	Esquistosidad	Micáceo, venas de cuarzo
PBD34	0945671 0278927	4251	Gneis	-	Heterogéneo	Médium gray N5 5	Dusky yellowish Brown 10YR 2/2	Bajo	Fino- medio	No	Masivo	Bandas de cuarzo
PBD35	0945694 0278939	4256	Esquisto	-	Heterogéneo	Médium gray N5 5	Dark yellowish orange 10YR 6/6	Bajo	Fino- medio	No	Masivo	-
PBD36	0945824 0278797	4244	Granito	-	Homogéneo	Pale Green 10G 6/2	Moderate Brown 5YR 4/4	Medio	fino	Si	masivo	-
PBD37	0945724 0278765	4242	Granito	-	homogéneo	Pale Green 10G 6/2	Moderate Brown 5YR 4/4	Bajo	fino	Si	masivo	Venas de cuarzo
PBE44	0945712 0278896	4276		-	Heterogéneo	Médium gray N5 5	Dark yellowish orange 10YR 6/6	Baja	Fino- medio	No	Masivo	Micáceo, fenocristales de cuarzo
PBE45	0945712 0278895	4274	Esquisto	-	Heterogéneo granudo	Médium gray N5 5	Dark yellowish Brown 10YR 4/2	Baja	Medio- grueso	No	Esquistosidad, bandeado	Venas de cuarzo

PBE46	0945690 0278904	4272	Esquisto	-	Heterogéneo granudo	Médium gray N5 5	Moderate yellowish Brown 10R 5/4	Baja	Fino- medio	No	Masivo	-
PBE47	094586 0278894	4270	Gneis	N41E 83SE	Heterogéneo	White N9 9	Grayish orange 10YR 7/4	Baja	Medio	No	Bandeado	Cuarzoso, micáceo

www.bdigital.ula.ve

Tabla de descripción macroscópica para las muestras de la Zona Media de Muralla Roja.

Muestra	Coordenadas (UTM)	Altura (msnm)	Tipo Litológico	Foliación	Aspecto	Color Fresco	Color Meteorizado	Grado de Alteración	Tamaño de los Cristales	Presencia de Fracturas y Diaclasas	Patrones texturales y Estructurales	Observaciones
PBB4	0945587 0278941	4301	Esquisto	-	Heterogéneo Granudo	Medium Gray N5 5	Moderate brown 5YR 4/4	Medio	Medio	No	Masivo	Micáceo
PBB5	0945562 0278950	4297	Anfibolita	N47E 64SE	Homogéneo	Dusky Brown 5YR 2/2	Very dark red 5R 2/6	Alto	Fino	No	Masivo	Fuertemente oxidada
PBB6	0945544 0278970	4302	Gneis	-	Homogéneo	Medium Light Gray N6 6	Very Dark red 5R 2/6	Medio	Fino	No	Masivo	-
PBE38	0945429 0278822	4317	Esquisto	N42E 78SE	Heterogéneo granudo	Medium light gray N6 6	Light olive Brown 5Y 5/6	Medio	Medio-grueso	No	Esquistosidad	Bandas de cuarzo
PBE39	0945441 0278843	4313	Esquisto	-	Homogéneo	Médium gray N5 5	Dark reddish Brown 10R ¾	Medio	Fino	No	Esquistosidad	-
PBE40	0945447 0278847	4302	Esquisto	N7E 75SE	Homogéneo	Médium light gray N6 6	Dark reddish Brown 10R ¾	Medio	Fino	No	Esquistosidad	Venas de cuarzo
PBE41	0945493 0278891	4276	Esquisto	-	Homogéneo	Médium gray N5 5	Dark reddish Brown 10R ¾	Medio	Fino	No	Esquistosidad	Micáceo
PBE42	0945505 0278892	4281	Gneis	-	Homogéneo	Light gray N7 7	Light Brown 5YR 5/6	Medio	Fino	No	Masivo	-
PBE43	0945507 0278877	4278	Esquisto	N39E 87SE	Homogéneo	Médium gray N5 5	Moderate Brown 5YR 4/4	Media	Fino	No	Esquistosidad, bandeado	Micáceo

Tabla de descripción macroscópica para las muestras de la Zona Alta de Muralla Roja.

Muestra	Coordenadas (UTM)	Altura (msnm)	Tipo Litológico	Foliación	Aspecto	Color Fresco	Color Meteorizado	Grado de Alteración	Tamaño de los Cristales	Presencia de Fracturas y Diaclasas	Patrones texturales y Estructurales	Observaciones
PBB7	0945473 0279131	4403	Gneis	-	Heterogéneo	Very light gray N8 8	Grayish Green 5G 5/2	Bajo	Fino - Medio	No	Masivo	Aspecto granítico
PBB8	0945473 0279131	4403	Gneis	-	Heterogéneo	Very light gray N8 8	Grayish Green 5G 5/2	Bajo	Fino-Medio	No	Masivo	Aspecto granítico
PBB9	0945339 0279021	4397	Esquisto	N48E 89SE	Heterogéneo	Very light gray N8 8	Dusky Red 5R 3/4	Medio	Medio	Si	Esquistosidad	Rasgos de deformación, micáceo
PBB10	0945339 0279021	4397	Esquisto	-	Heterogéneo	Medium gray N5 5	Dark Reddish Brown 10R ¾	Alto	Fino	Si	Esquistosidad, bandeado	Rasgos de deformación, fenocristales de cuarzo deformados
PBD17	0945365 0279196	4401	Esquisto	N31E 88SE	Heterogéneo	Medium light gray N6 6	Light Brown 5YR 5/6	Bajo	Fino	No	Bandeado	-
PBD18	0945360 0279191	4399	Esquisto	-	Heterogéneo	Medium gray N5 5	Light Brown 5YR 5/6	Bajo	Fino	No	Esquistosidad	Fenocristales de cuarzo, bandas de oxidos
PBD19	0945373 0279161	4389	Anfibolita	N75E 72SE	Homogéneo	Medium gray N5 5	Light brow 5YR 6/4	Bajo	Fino	No	Esquistosidad	-
PBD20	0945417 0279135	4391	Gneis	-	Homogéneo	Very light gray N7 7	Dusky red 5R 3/4	Bajo	Medio	No	Bandeado	Venas de cuarzo
PBD21	0945416 0279075	4386	Esquisto	-	Heterogéneo	Medium gray N5 5	Very dark red 5R 2/6	Medio	Fino	No	Esquistosidad	Fenocristales de cuarzo, fuerte oxidación
PBD22	0945376 0279034	4395	Gneis	N47E 66SE	Heterogénea	Médium light gray N6 6	Very dark red 5R 2/6	Medio	Fino	No	Bandeado	-
PBD23	0945471 0279138	4392	Esquisto	N37E 84SE	Heterogénea	Médium light gray N6 6	Very dark red 5R 2/6	Medio	Fino	No	Masivo	-
PBD24	0945474 0279132	4393	Gneis	-	Heterogéneo granudo	Very light gray N8 8	Grayish orange pink 5YR 7/2	Bajo	Medio	Si	Masivo	Aspecto granítico
PBD25	0945479 0279127	4391	Gneis	-	Heterogéneo granudo	Very light gray	Grayish orange pink	Bajo	Medio	No	Masivo	Aspecto granítico, micáceo

						N8 8	5YR 7/2						
PBD26	0945484 0279130	4388	Gneis	-	Heterogéneo granudo	Very light gray N8 8	Grayish orange pink 5YR 7/2	Bajo	Medio	No	Masivo	Aspecto granítico, micáceo	
PBD27	0945496 0279118	4390	Esquisto	-	Heterogéneo	Medium gray N5 5	Dark yellowish orange 10YR 6/6	Bajo	Fino	No	Bandeado, esquistosidad		
PBD28	0945501 0279099	4377	Gneis	-	Homogéneo	Very light gray N8 8	Pale olive 10Y 6/2	Medio	Fino- medio	No	Masivo		

www.bdigital.ula.ve

Tabla de descripción macroscópica para las muestras de la Zona del Pico Bonpland.

Muestra	Coordenadas (UTM)	Altura (msnm)	Tipo Litológico	Foliación	Aspecto	Color Fresco	Color Meteorizado	Grado de Alteración	Tamaño de los Cristales	Presencia de Fracturas y Diaclasas	Patrones texturales y Estructurales	Observaciones
PBC11	0944870 0279509	4866	Gneis	-	Heterogéneo Granudo	Very light gray N8 8	Grayish orange 10YR 7/4	Bajo	Medio-Grueso	Si	Bandeado	Venas de cuarzo
PBC12	0944871 0279506	4868	Gneis	-	Heterogéneo	Medium light gray N6 6	Moderate Brown 5YR 4/4	Bajo	Fino	Si	Masivo	Fenocristales de cuarzo
PBC13	0945248 0279538	4845	Gneis	N37E 86SE	Heterogéneo	Medium light gray N6 6	Light olive Brown 5Y 5/6	Bajo	Fino-Medio	No	Bandeado	Venas de cuarzo
PBC14	0944885 0279610	4835	Gneis	N28E 84SE	Homogéneo	Medium Gray N5 5	Moderate olive Brown 5Y 4/4	Medio	Fino	Si	Masivo	Venas de cuarzo
PBC15	0945055 0279880	4767	Gneis	-	Heterogéneo Granudo	Very light gray N8 8	Pale Olive 10Y 6/2	Bajo	Fino-Medio	Si	Masivo	-
PBC16	0945073 0279877	4771	Gneis	N32E 79SE	Heterogéneo	Light gray N7 7	Light olive Brown 5Y 5/6	Bajo	Fino-Medio	No	Bandeado	Venas de cuarzo

Tabla de descripción macroscópica para las muestras de la Zona de la Garganta Txomajoma.

Muestra	Coordenadas (UTM)	Altura (msnm)	Tipo Litológico	Foliación	Aspecto	Color Fresco	Color Meteorizado	Grado de Alteración	Tamaño de los Cristales	Presencia de Fracturas y Diaclasas	Patrones texturales y Estructurales	Observaciones
PBA1	0945576 0278408	4437	Aplita	N22E 65SE	Heterogéneo	Pale olive 10Y 4/2	Dark yellowish orange 10YR 6/6	Bajo	Fino	Si	Masivo	Vena de cuarzo
PBA2	0945576 0278408	4438	Anfibolita	-	Homogéneo	Grayish Green 10GY 5/2	Dark reddish Brown 10R 3/4	Bajo	Fino	No	Masivo	-

www.bdigital.ula.ve

Apéndice D

Composición Mineralógica Modal.

Composición mineralógica modal de las muestras de la Zona Baja Muralla Roja.

Muestra	Qtz	Ms	Bt	Chl	Gr	Sill	Fks	Or	Pl	Crd	Mag	Hem	Ep	Tnt	St	Hbl	Rt	Ap	Zr	Clasificación
PBB3	26	17	6	12	4	3	-	20	6	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	Esquisto cuarzo ortósico clorítico muscovítico
PBD29	40	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Vena Pegmatítica
PBD30	25	8	22	-	-	6	-	23	12	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	Esquisto cuarzo ortósico biotítico muscovítico
PBD31	25	25	3	16	7	10	-	5	10	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	Esquisto cuarzo muscovítico clorítico silimanítico
PBD32	27	25	20	-	-	3	-	16	5	-	2	1	-	-	-	-	-	-	1	Esquisto cuarzo muscovítico biotítico ortósico
PBD33	28	15	20	4	-	5	-	15	8	-	3	1	-	-	-	-	-	1	-	Esquisto cuarzo biotítico muscovítico ortósico
PBD35	25	13	24	4	-	7	-	15	8	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	Esquisto cuarzo biotítico muscovítico ortósico
PBE45	22	21	18	5	2	7	-	12	10	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	Esquisto cuarzo muscovítico biotítico ortósico
PBE46	25	8	23	4	-	5	-	8	22	-	2	1	-	-	-	-	-	1	1	Esquisto cuarzo biotítico oligoclásico muscovítico
PBE47	22	10	5	5	-	8	8	22	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Gneis cuarzo feldespático muscovítico

Composición mineralógica modal de las muestras de la Zona Media Muralla Roja.

Muestra	Qtz	Ms	Bt	Chl	Gr	Sill	Fks	Or	Pl	Crd	Mag	Hem	Ep	Tnt	St	Hbl	Rt	Ap	Zr	Clasificación
PBB4	17	27	26	<1	-	6	2	10	6	3	3	1	-	-	-	-	-	-	<1	Esquisto muscovítico biotítico cuarzo silimanítico
PBB5	15	3	18	3	15	-	-	7	7	-	10	-	-	2	-	20	-	-	-	Anfibolita hornbléndica
PBB6	30	25	-	-	-	5	-	26	12	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	Esquisto cuarzo ortósico muscovítico albítico
PBE38	18	17	15	15	-	5	-	16	2	-	2	1	-	-	-	-	-	-	<1	Esquisto cuarzo muscovítico ortósico biotítico
PBE39	18	17	15	15	-	5	-	16	2	-	2	1	-	-	-	-	-	-	<1	Esquisto cuarzo muscovítico ortósico biotítico
PBE40	21	10	35	-	15	2	-	15	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	Esquisto biotítico cuarzo granatífero muscovítico
PBE42	20	16	16	-	1	8	2	16	17	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	Gneis cuarzo ortósico biotítico muscovítico
PBE43	15	10	20	-	15	15	-	13	6	-	6	-	-	-	-	-	-	<1	-	Esquisto biotítico cuarzo granatífero silimanítico

www.bdigital.ula.ve

Composición mineralógica modal de las muestras la Zona Alta Muralla Roja.

Muestra	Qtz	Ms	Bt	Chl	Gr	Sill	Fks	Or	Pl	Crd	Mag	Hem	Ep	Tnt	St	Hbl	Rt	Ap	Zr	Clasificación
PBB7	18	16	-	2	5	4	15	27	12	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	Ortogneis cuarzo feldespático muscovítico granatífero
PBB8	23	20	2	5	10	3	18	-	15	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	Ortogneis cuarzo feldespático muscovítico granatífero
PBB9	25	16	3	2	16	15	-	15	5	-	3	1	-	<1	-	-	-	-	-	Esquisto cuarzo muscovítico granatífero silimanítico
PBB10	28	11	20	-	22	5	-	4	4	2	2	1	-	-	-	-	-	-	-	Esquisto cuarzo biotítico granatífero silimanítico
PBD17	30	1	25	1	3	5	-	15	15	2	2	1	-	-	-	-	-	-	-	Esquisto cuarzo biotítico ortósico silimanítico
PBD18	20	<1	25	4	12	5	-	14	10	-	9	1	-	-	-	-	-	-	-	Esquisto biotítico cuarzo ortósico granatífero
PBD19	15	<1	22	-	1	-	-	-	15	-	3	-	-	-	-	30	-	1	-	Anfibolita hornbléndica
PBD20	27	3	20	1	3	8	-	10	26	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	Gneis cuarzo oligoclásico biotítico silimanítico
PBD22	30	2	12	4	2	15	-	25	3	-	5	-	-	-	-	-	2	-	-	Gneis cuarzo ortósico silimanítico biotítico
PBD23	20	25	20	-	3	7	-	9	12	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	Esquisto muscovítico biotítico cuarzo silimanítico
PBD24	19	17	-	8	3	10	12	19	8	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	Ortogneis cuarzo feldespático muscovítico silimanítico
PBD25	25	10	-	6	3	8	17	12	14	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	Ortogneis cuarzo feldespático muscovítico silimanítico
PBD27	25	-	22	-	5	2	-	25	16	-	3	2	-	-	-	-	-	1	<1	Esquisto cuarzo ortósico biotítico granatífero
PBD28	30	-	2	17	-	3	-	25	18	2	3	1	-	-	-	-	-	-	-	Gneis cuarzo ortósico albitico clorítico

Composición mineralógica modal de las muestras de la Zona del Pico Bonpland.

Muestra	Qtz	Ms	Bt	Chl	Gr	Sill	Fks	Or	Pl	Crd	Mag	Hem	Ep	Tnt	St	Hbl	Rt	Ap	Zr	Clasificación
PBC11	28	3	5	13	-	-	-	28	12	-	4	-	6	-	-	-	-	-	-	Gneis cuarzo ortósico clorítico albítico
PBC12	25	-	20	10	3	-	9	20	10	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	Gneis cuarzo ortósico biotítico albítico
PBC13	30	8	6	10	1	-	12	20	10	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-	Gneis cuarzo ortósico clorítico albítico
PBC14	30	-	8	23	2	-	-	25	10	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	Gneis cuarzo ortósico clorítico albítico
PBC15	26	-	-	16	-	-	8	20	25	-	1	-	4	-	-	-	-	-	-	Gneis cuarzo albítico ortósico clorítico
PBC16	30	-	1	18	-	-	4	26	16	-	1	1	3	-	-	-	-	-	-	Gneis cuarzo ortósico clorítico albítico

Composición mineralógica modal de las muestras de la Zona Garganta Txomajoma.

Muestra	Qtz	Ms	Bt	Chl	Gr	Sill	Fks	Or	Pl	Crd	Mag	Hem	Ep	Tnt	St	Hbl	Rt	Ap	Zr	Clasificación
PBA1	35	-	-	8	-	-	6	25	15	-	-	1	10	-	-	-	-	-	-	Vena Aplítica
PBA2	18	-	-	14	-	-	-	13	18	-	2	1	2	2	-	30	-	<1	<1	Anfibolita hornbléndica

www.bdigital.ula.ve

Apéndice E

Patrón Textural.

Patrón Textural de las muestras de la Zona Baja Muralla Roja.

MUESTRAS	TEXTURAS						
	Granoblástica	Porfidoblástica	Granolepidoblástica	Granonematoblástica	Granoporfidoblástica	Poiquiloblástica	Reaccionales
PBB3			x				
PBD29	-	-	-	-	-	-	-
PBD30			X				
PBD31			x				
PBD32			x				
PBD33			x				
PBD35			x				
PBE45			x				
PBE46			x				
PBE47	x						

MUESTRAS	MICROESTRUCTURAS								
	Esquistosidad Grosera	Foliación Metamórfica	Bandeado Composicional	Esquistosidad Interna en Porfidoblastos	Sombras de Presión	Sombras de Deformación	Arcos Poligonales	Venas Minerales	Esquistosidad Milonítica
PBB3		x	X	x	x				
PBD29	-	-	-	-	-	-	-	-	
PBD30		x	x						
PBD31	x	x							
PBD32		x	x		x				
PBD33	x	x							
PBD35	x	x							
PBE45		x							
PBE46		x	x						
PBE47		x							

Patrón Textural de las muestras de la Zona Media Muralla Roja.

MUESTRAS	TEXTURAS						
	Granoblástica	Porfidoblástica	Granolepidoblástica	Granonematoblástica	Granoporfidoblástica	Poiquiloblástica	Reaccionales
PBB4			x				
PBB5			x				
PBB6	x						x
PBE38			x				x
PBE39			x				x
PBE40		x	x				
PBE42	x						x
PBE43			x		x		

MUESTRAS	MICROESTRUCTURAS								
	Esquistosidad Grosera	Foliación Metamórfica	Bandeado Composicional	Esquistosidad Interna en Porfidoblastos	Sombras de Presión	Sombras de Deformación	Arcos Poligonales	Venas Minerales	Esquistosidad Milonítica
PBB4		x			x				
PBB5	x	x			x	x	x		
PBB6		x		x				x	
PBE38		x							
PBE39		x							
PBE40		x	x	x	x			x	
PBE42		x							
PBE43		x	x		x				

Patrón Textural de las muestras de la Zona Alta Muralla Roja.

MUESTRAS	TEXTURAS						
	Granoblástica	Porfidoblástica	Granolepidoblástica	Granonematoblástica	Granoporfidoblástica	Poiquiloblástica	Reaccionales
PBB7	x					x	
PBB8	x					x	x
PBB9		x	x				
PBB10		x	x				
PBD17	x						
PBD18			x		x	x	
PBD19				x			
PBD20	x						
PBD22	x						
PBD23			x				
PBD24	x						
PBD25	x					x	
PBD27			x				
PBD28	x						

MUESTRAS	MICROESTRUCTURAS								
	Esquistosidad Grosera	Foliación Metamórfica	Bandeado Composicional	Esquistosidad Interna en Porfidoblastos	Sombras de Presión	Sombras de Deformación	Arcos Poligonales	Venas Minerales	Esquistosidad Milonítica
PBB7		x							
PBB8		x			x				x
PBB9	x	x		x	x	x			
PBB10	x	x	x						
PBD17		x	x						
PBD18	x	x			x				
PBD19		x							
PBD20		x	x						
PBD22		x	x						
PBD23		x							
PBD24		x							
PBD25		x							
PBD27		x	x						
PBD28		x						x	

Patrón Textural de las muestras de la Zona Pico Bonpland.

MUESTRAS	TEXTURAS						
	Granoblástica	Porfidoblástica	Granolepidoblástica	Granonematoblástica	Granoporfidoblástica	Poiquiloblástica	Reaccionales
PBC11	x						
PBC12			x				
PBC13	x						
PBC14	x						
PBC15	x						
PBC16	x						

MUESTRAS	MICROESTRUCTURAS								
	Esquistosidad Grosera	Foliación Metamórfica	Bandeado Composicional	Esquistosidad Interna en Porfidoblastos	Sombras de Presión	Sombras de Deformación	Arcos Poligonales	Venas Minerales	Esquistosidad Milonítica
PBC11		x						x	
PBC12		x						x	
PBC13		x	x						
PBC14		x	x						
PBC15		x						x	
PBC16		x	x					x	

Patrón Textural de las muestras de la Zona Garganta Txomajoma.

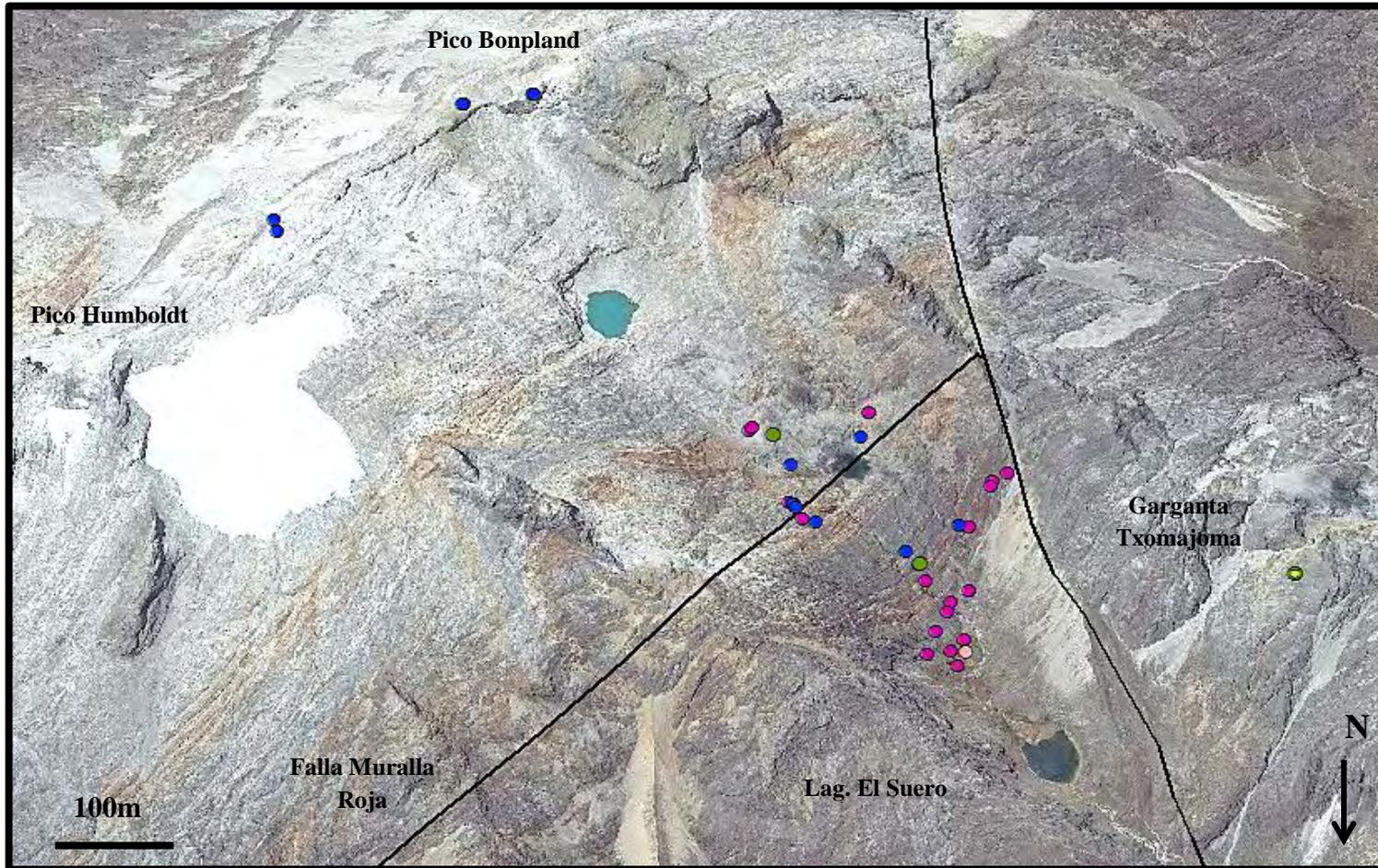
MUESTRAS	TEXTURAS						
	Granoblástica	Porfidoblástica	Granolepidoblástica	Granonematoblástica	Granoporfidoblástica	Poiquiloblástica	Reaccionales
PBA1	-	-	-	-	-	-	-
PBA2				x			

MUESTRAS	MICROESTRUCTURAS								
	Esquistosidad Grosera	Foliación Metamórfica	Bandeado Composicional	Esquistosidad Interna en Porfidoblastos	Sombras de Presión	Sombras de Deformación	Arcos Poligonales	Venas Minerales	Esquistosidad Milonítica
PBA1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PBA2		x	x		x			x	

www.bdigital.ula.ve

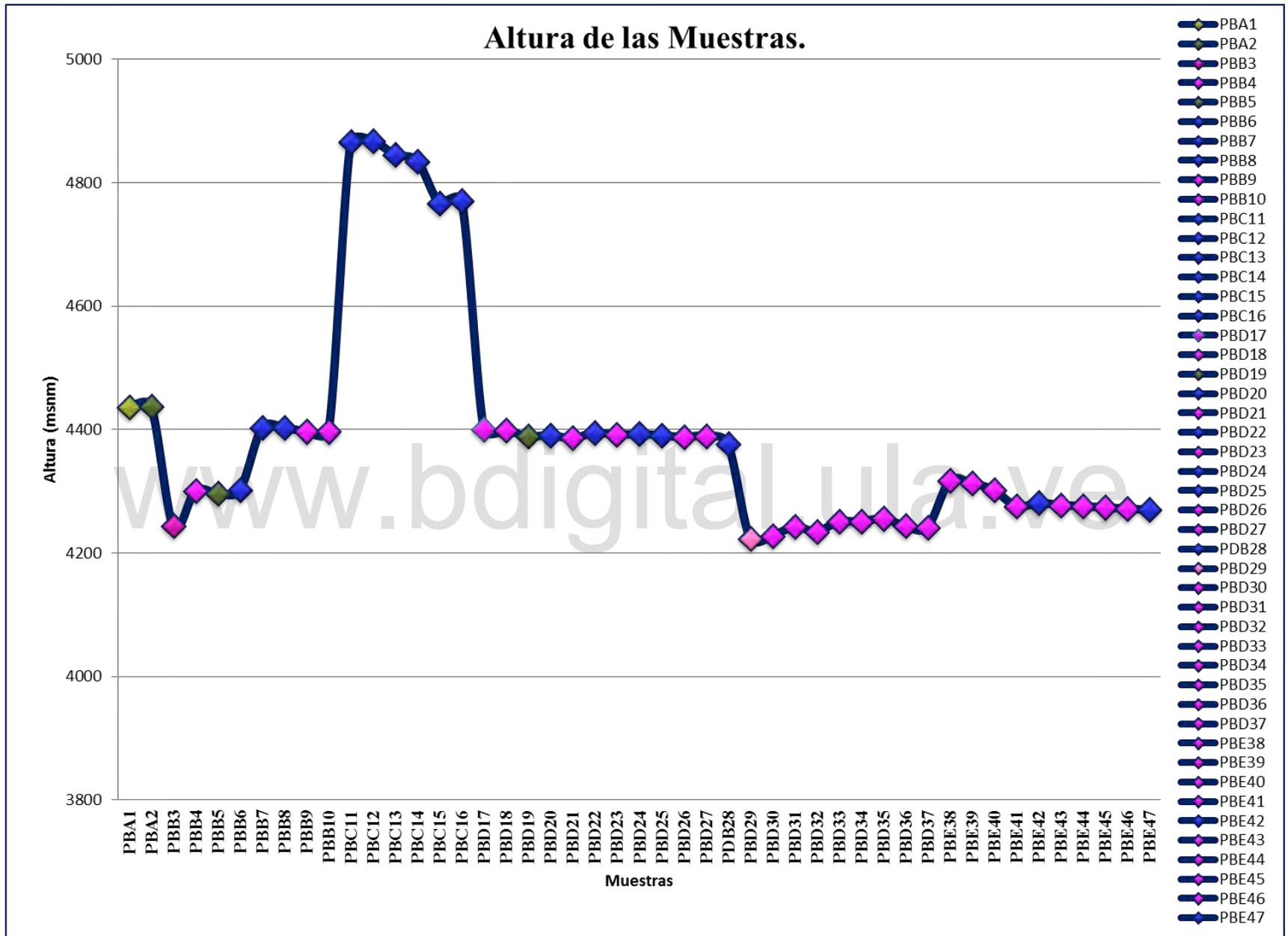
Apéndice F

Distribución de los Grupos Litológicos en el área de estudio.



Leyenda

- Esquistos
- Gneises
- Anfibolitas
- Pegmatita
- Aplita



www.bdigital.ula.ve

Apéndice G

Mapa Geológico del área de estudio.