

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LOS FRENTES 2 Y 4 DE
LA CANTERA TACAGUA Y ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN
DEL MACIZO ROCOSO, MUNICIPIO LIBERTADOR,
DISTRITO CAPITAL**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Mejías G.
Alexmar del V.
Para optar al Título de
Ingeniera Geólogo

Caracas, julio 2019

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LOS FRENTES 2 Y 4 DE LA CANTERA TACAGUA Y ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DEL MACIZO ROCOSO, MUNICIPIO LIBERTADOR, DISTRITO CAPITAL

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Ricardo Alezones

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Mejías G.
Alexmar del V.
Para optar al Título de
Ingeniera Geólogo

Caracas, julio 2019

Caracas, 8 de julio de 2019

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Mejías González Alexmar del Valle, titulado:

“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LOS FRENTES 2 Y 4 DE LA CANTERA TACAGUA Y ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DEL MACIZO ROCOSO, MUNICIPIO LIBERTADOR, DISTRITO CAPITAL”.

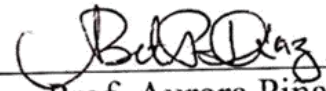
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniera Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran **APROBADO**



Prof. Lenin González
Jurado



Prof. Ricardo Alezones
Tutor-Coordinador



Prof. Aurora Piña
Jurado

DEDICATORIA

A Dios por el milagro de la Vida.

A mis padres Yosmar y Alexander (†) por mi existir.

A mis abuelos Carmen y Francisco (†) por criarme y guiarme a ser la mujer que soy hoy. Son mi vida, los Amo.

A mi esposo Carlos Hernández por su apoyo incondicional a lo largo de mi formación profesional. Gracias, te Amo.

A mi tío Francisco por su apoyo y a mis hermanos.

AGRADECIMIENTOS

Todo el Honor y la Gloria para ti mi Dios, mi virgen del Valle y todos mis santos, infinitas gracias por darme la fe, fortaleza, constancia y perseverancia para lograr alcanzar esta meta tan anhelada.

A la Ilustre Universidad Central de Venezuela por darme la oportunidad de formarme profesionalmente. Por tantas experiencias vividas, aprendizajes, personas y momentos únicos. Orgullosa de ser UC Vista, Uh Uh UCV!

A mi hermosa Escuela de Geología, Minas y Geofísica y al Departamento de Geología por todos los conocimientos impartidos a través de sus excelentes profesores.

A mi tutor, profesor e Ing. Ricardo Alezones por todo su apoyo y enseñanzas durante todo el tiempo de realización de este trabajo.

Al profesor e Ing. Lenin González por su apoyo y ayuda en las distintas etapas de realización de este trabajo.

A mis colegas y excelentes compañeros Ender Nieto y Ezequiel Romero por su apoyo invaluable durante la etapa de campo y post campo de este trabajo. A mis compañeros Daniel Melendres y Josmel Rincones por su compañía hasta tarde en la Universidad. A José Miguel y su mamá por brindarme su hogar para trabajar. Los quiero y siempre los llevaré en mi corazón. A mi esposo por tanta ayuda y paciencia, Te Amo bebé y mil gracias. A mis abuelos por tanto amor y cariño. A mi tío por apoyarme cuando más lo necesitaba. A mi hermosa Lic. Leudith y mis compañeros de la biblioteca de Ing. Química y Petróleo, los adoro y extraño inmenso.

MEJÍAS G. ALEXMAR DEL V.

**“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LOS FRENTE 2 Y 4 DE LA
CANTERA TACAGUA Y ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DEL MACIZO
ROCOSO, MUNICIPIO LIBERTADOR, DISTRITO CAPITAL”**

**Tutor académico: Ricardo Alezones
Tesis. Caracas, UCV. Facultad de Ingeniería
Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2019, 146p.**

**Palabras claves: Cantera Tacagua - Distrito Capital, Fotomosaicos Descriptivos,
Petrografía de Rocas Metamórficas, Mármoles.**

RESUMEN

Se realizó la caracterización geológica de los frentes 2 y 4 de la cantera Tacagua y estimación del volumen del macizo rocoso, municipio Libertador, Distrito Capital. Durante el levantamiento geológico se tomaron fotografías panorámicas y medición de orientación de planos de foliación; se tomaron 33 muestras de mano: a 20 muestras se le realizó análisis petrográfico y a 7 muestras difracción de Rayos X, en representación de las unidades litológicas informales definidas como: Rocas Verdes, Rocas Bandeadas, Rocas Grises Masivas y Rocas Blancas de los frentes 2 y 4. Los colores de dichos grupos de rocas se determinaron mediante la tabla de Munsell, a partir de material triturado de estas mismas muestras. Se elaboraron mapas geológicos a escala 1:1000 y 1:750 así como también fotomosaicos descriptivos de los afloramientos de las unidades litológicas informales definidas, al igual que un conjunto de tablas descriptivas las cuales muestran de forma sintetizada la información litológica presente en la cantera.

Se obtuvo como resultado la correspondencia litológica de las rocas cuarzo-feldespáticas con las unidades informales Rocas Bandeadas y Rocas Blancas, las rocas máficas con las unidades informales Rocas Verdes y Rocas Bandeadas; y las rocas carbonáticas con las unidades informales Rocas Bandeadas y Rocas Grises Masivas. Estas unidades informales, al ser descritas en los mapas geológicos (donde aflora en ambos frentes 2 y 4 el Terreno Nirgua, Complejo Nirgua), se encuentran

dispuestas en franjas, variando su orientación de pseudoparalelas a poseer contactos angulares, con presencia de cuerpos de geometría irregular y lenticulares con dirección aleatoria. En los fotomosaicos puede observarse la misma tendencia, es decir, las unidades informales se observan en franjas paralelas a pseudoparalelas, y algunos de los cuerpos mostrándose con geometrías irregulares y lenticulares. En este trabajo de investigación se calculó todo el volumen del macizo rocoso, estimado en *ArcMap* 10.3 del *software ArcGIS* 10.3 obteniendo como resultado 3.797.835,94 m³ para el frente 2 y 7.882.135,59 m³ para el frente 4.

ÍNDICE

	<i>Pág.</i>
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 GENERALIDADES	1
1.2 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	1
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.5 JUSTIFICACIÓN	4
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES	4
1.7 ANTECEDENTES	5
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO	10
2.1 GENERALIDADES	10
2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	10
2.2.1 DIFRACCION DE RAYOS X	10
2.2.2 FOTOMOSAICOS DESCRIPTIVOS	11
2.2.3 CANTERA	11
2.3 GEOLOGÍA REGIONAL	12
2.3.1 CORDILLERA DE LA COSTA	12
2.3.1.1 La Faja Costera	16
2.3.1.2 La Faja Ávila (Terreno Nirgua)	17
2.3.1.3 La Faja Caracas	17
2.3.2 TECTONO – ESTRATIGRAFÍA	18
2.3.2.1 Faja Costera (Terreno Carayaca)	18
2.3.2.2 Faja Ávila (Terreno Nirgua)	20
2.3.2.3 Faja Caracas	20
CAPÍTULO 3 MARCO METODOLÓGICO	21
3.1 GENERALIDADES	21

3.2 ETAPAS DE LA INVESTIGACION	21
3.2.1 ETAPA I: PRE CAMPO (COMPILATORIA)	21
3.2.2 ETAPA II: TRABAJO DE CAMPO	21
3.2.3 ETAPA III: POST CAMPO (LABORATORIO Y OFICINA)	24
3.2.3.1 Corte de muestra de mano	25
3.2.3.2 Toma de fotografías y determinación del color fresco de las muestras de mano	25
3.2.3.2 Clasificación de las Unidades Litológicas Informales	26
3.2.3.3 Análisis Petrográfico	26
3.2.3.4 Análisis por Difracción de Rayos X	29
3.2.3.5 Elaboración de tablas descriptivas de muestra de mano	31
3.2.3.6 Digitalización de Fotomosaicos de los frentes de explotación 2 y 4	32
3.2.3.7 Cartografía Geológica de los frentes de explotación 2 y 4	32
3.2.3.8. Estimación del volumen del macizo rocoso	33
CAPÍTULO 4 RESULTADOS	34
4.1 GENERALIDADES	34
4.2 UNIDAD LITOLÓGICA INFORMAL: ROCAS VERDES (GRUPO I)	36
4.2.1 MUESTRA: MCTF2 (1), (FRENTE N° 2 SUR)	36
4.2.2 MUESTRA: MCTF4 (4), (FRENTE N°4 OESTE)	40
4.2.3 MUESTRA: MCTF4 (5), (FRENTE N°4 OESTE)	44
4.2.4 MUESTRA: MCTF4 (8), (FRENTE N°4 OESTE)	47
4.2.5 MUESTRA: MCTF4 (13), (FRENTE N°4 ESTE)	47
4.2.6 MUESTRA: MCTF4 (14), (FRENTE N°4 ESTE)	50
4.2.7 MUESTRA: MCTF4 (15), (FRENTE N°4 ESTE)	50
4.3 UNIDAD LITOLÓGICA INFORMAL: ROCAS BANDEADAS (GRUPO II)	53
4.3.1 MUESTRA: MCTF2 (2), (FRENTE N° 2 SUR)	53
4.3.2 MUESTRA: MCTF2 (3), (FRENTE N° 2 SUR)	57
4.3.3 MUESTRA: MCTF2 (6), (FRENTE N° 2 SUR)	60
4.3.4 MUESTRA: MCTF2 (2,1), (FRENTE 2 NORTE)	62
4.3.6 MUESTRA: MCTF2 (2,3), (FRENTE 2 NORTE)	63
4.3.7 MUESTRA: MCTF2 (2,5), (FRENTE 2 NORTE)	66
4.3.8 MUESTRA: MCTF2 (2,8), (FRENTE N° 2 NORTE)	67
4.3.9 MUESTRA: MCTF4 (1), (FRENTE N°4 OESTE)	67
4.3.10 MUESTRA: MCTF4 (9), (FRENTE N°4 ESTE)	69
4.3.11 MUESTRA: MCTF4 (10), (FRENTE N°4 ESTE)	70
4.4 UNIDAD LITOLÓGICA INFORMAL : ROCAS GRISES MASIVAS (GRUPO III)	74

4.4.1 MUESTRA: MCTF2 (4), (FRENTE N° 2 SUR)	74
4.4.2 MUESTRA: MCTF2 (7), (FRENTE N° 2 SUR)	76
4.4.3 MUESTRA: MCTF2 (2,4), (FRENTE N° 2 NORTE)	78
4.4.4 MUESTRA: MCTF2 (2,6), (FRENTE N° 2 NORTE)	80
4.4.5 MUESTRA: MCTF2 (2,7), (FRENTE N° 2 NORTE)	81
4.4.6 MUESTRA: MCTF4 (2), (FRENTE N°4 OESTE)	83
4.4.7 MUESTRA: MCTF4 (3), (FRENTE N°4 OESTE)	85
4.4.8 MUESTRA: MCTF4 (6), (FRENTE N°4 OESTE)	86
4.4.9 MUESTRA: MCTF4 (7), (FRENTE N°4 OESTE)	87
4.4.10 MUESTRA: MCTF4 (11), (FRENTE N°4 ESTE)	89
4.4.11 MUESTRA: MCTF4 (12), (FRENTE N°4 ESTE)	90
4.4.12 MUESTRA: MCTF4 (16), (FRENTE N°4 ESTE)	91
4.4.13 MUESTRA: MCTF4 (17), (FRENTE N°4 ESTE)	95
4.5 UNIDAD LITOLÓGICA INFORMAL: ROCAS BLANCAS (GRUPO IV)	97
4.5.1 MUESTRA: MCTF2 (5), (FRENTE N° 2 SUR)	97
4.5.2 MUESTRA: MCTF2 (2,9), (FRENTE N° 2 NORTE)	101
4.6 FOTOMOSAICOS DESCRIPTIVOS	103
4.6.1 FOTOMOSAICO FRENTE 2	104
4.6.1.1 Fotomosaico descriptivo 1, ubicado al oeste del frente 2	104
4.6.1.2 Fotomosaico descriptivo 2, ubicado al oeste, seguido del fotomosaico 1	104
4.6.1.3 Fotomosaico descriptivo 3, ubicado al centro oeste, seguido del fotomosaico 2	107
4.6.1.4 Fotomosaico descriptivo 4, ubicado al centro norte, seguido del fotomosaico 3	107
4.6.1.5 Fotomosaico descriptivo 5, ubicado al este, seguido del fotomosaico 4, de forma lateral	109
4.6.1.6 Fotomosaico descriptivo 6, ubicado al oeste en la parte superior del frente 2	111
4.6.2 FOTOMOSAICO FRENTE 4	111
4.6.2.1 Fotomosaico descriptivo 1, ubicado en la parte central de dicho frente	111
4.6.2.2 Fotomosaico descriptivo 2, ubicado en la parte central este, seguido de fotomosaico 1	114
4.6.2.3 Fotomosaico descriptivo 3, ubicado en la parte central este (superior), seguido de fotomosaico 2	114
4.7 CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE LAS UNIDADES INFORMALES	117
4.7.1 CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA FRENTE 2	117
4.7.2 CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA 4	118

4.8 ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DEL MACIZO ROCOSO	121
4.8.1 ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DEL FRENTE 2:	121
4.8.2 ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DEL FRENTE 4:	122
CAPÍTULO 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS	123
5.1 INTERPRETACIONES PETROGRÁFICAS DE LOS FRENTE 2 Y 4	123
5.2 INTERPRETACIONES CARTOGRÁFICAS Y DE FOTOMOSAICOS DESCRIPTIVOS	127
5.3 INTERPRETACIÓN CON RESPECTO A LA ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DEL MACIZO ROCOSO	130
CONCLUSIONES	131
RECOMENDACIONES	133
BIBLIOGRAFÍA	134
APÉNDICE	139

INDICE DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
Figura 1.1 Ubicación geográfica de la Cantera Tacagua, perteneciente a la Empresa Varguense de Minas y Canteras (VARCAM C.A.)	2
Figura 2.1 Fotomosaico descriptivo del frente 4 de la Cantera Tacagua ubicado en la parte central de dicho frente. Elaboración propia	11
Figura 2.2 Distribución de las tres fajas metamórficas: Costera, Ávila y Caracas por URBANI & OSTOS (1989). Tomado de Guía de excursión URBANI (2002)	12
Figura 2.3 Subdivisión geográfica de Venezuela norcentral en relación al área de estudio cuyo N°5 corresponde a la Cordillera de la Costa. Tomado y modificado de URBANI (2018)	13
Figura 2.4 Posiciones secuenciales a través del tiempo para las unidades de la isla de Margarita, probablemente aplicable también para el Terreno Carayaca. Tomado de Mambie (2017)	19
Figura 3.1 Toma de fotografías panorámicas, con una cámara digital Olympus Imaging Corp .modelo N°.C-7070 Wide Zoom DC 6V con una resolución de 7.1 megapíxeles	24
Figura 3.2 Procedimiento para el corte de muestras. Elaboración propia	25
Figura 3.3 Toma de fotografías y determinación del color fresco de las	26

muestras de mano, para representación visual	
Figura 3.4 Procedimiento para el Análisis Petrográfico. Elaboración propia	27
Figura 3.5 Planilla petrográfica utilizada para rocas ígneas y metamórficas. (URBANI et al. 2010)	28
Figura 3.6 Clasificación de rocas metamórficas, según la subcomisión de La IUGS en La Sistemática De Rocas Metamórficas SCMR. Modificado de Schmid et al (2007)	29
Figura 3.7 Procedimiento para el Análisis por Difracción de Rayos X. Elaboración propia	30
Figura 3.8 Difractómetro de Rayos X	30
Figura 3.9 Ejemplo de tabla descriptiva de muestra de mano. Elaboración propia	31
Figura 3.10 Ejemplo de fotomosaico descriptivo. Elaboración propia	32
Figura 3.11 Ejemplo del mapa geológico de los frentes 2 y 4 de la cantera Tacagua. Elaboración propia	33
Figura 3.12 Ejemplo de cálculo de volumen del macizo rocoso frente 4. Elaboración propia	33
Figura 4.1 Vista general de la muestra de mano MCTF2 (1)	37
Figura 4.2 Muestra: MCTF2 (1). Anfibolita. A) aspecto general de la muestra, con textura granolepidoblástica, NC 2,5x. B) cristales de clorita con hábito fibroso y demás cristales con hábito granular, NC 10x	37
Figura 4.3 Difractograma de la muestra MCTF2 (1). Ab= Albite, Am= Anfíbol y Chi: Clorita	39
Figura 4.4 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (4)	40
Figura 4.5 Muestra: MCTF4 (4). Eclogita. A) aspecto general de la muestra, con textura granoblástica, NC 2,5x. B) cristal de actinolita con hábito prismático y demás cristales con hábito granular, NC 10x	41
Figura 4.5 Difractograma de la muestra MCTF4 (4). Omp= Omfacita, En= Enstatita, Qtz= Cuarzo y Crd= Cordierita	43
Figura 4.6 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (5)	44
Figura 4.7 Muestra: MCTF4 (5). Anfibolita Epidótica. A) Cristal de granate en el centro con inclusiones de cuarzo, muscovita, calcita y zoisita, NC 2,5x. B) cristales de muscovita, cuarzo y limonita, alrededor de un cristal de granate, NP 2,5x. C) Aspecto general de la muestra con textura granoblástica y fábrica hipidioblástica a xenoblástica, NC 2,5x	45
Figura 4.8 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (8)	47
Figura 4.9 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (13)	48
Figura 4.10 Muestra: MCTF4 (13). Anfibolita. A) aspecto general de la muestra, con textura granoblástica, en el centro cristales de granate con inclusiones de cuarzo, actinolita y enstatita., NC 2,5x. B) fábrica hipidioblástica, cristales de actinolita, granate, cuarzo, enstatita y calcita con hábito granular, muscovita con hábito laminar, NC 10x	48
Figura 4.11 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (14)	50
Figura 4.12 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (15)	51

Figura 4.13 Muestra: MCTF4 (15). Anfibolita Micácea. A) aspecto general de la muestra, con textura porfidoblástica y fábrica hipidioblástica, NC 2,5x. B) cristales de actinolita, muscovita y leucoxeno, NC 10x	51
Figura 4.14. Vista general de la muestra de mano MCTF2 (2)	54
Figura 4.15 Muestra: MCTF2 (2). Mármol bandeado. A) primer sector (S1) cristales de calcita de 0,4mm, muscovita, cuarzo y pirita de menor tamaño 0,1mm, NC 10x. B) segundo sector (S2) textura granoblástica, donde los cristales de calcita varían de tamaño en franjas paralelas y cristales de pirita con desarrollo de caras cristalinas subhedral, NC 2,5x. C) aspecto general de la muestra, se observan ambos sectores delimitado por cristales de clorita, NC 2,5x	55
Figura 4.16 Difractograma de la muestra MCTF2 (2). Cal= Calcita, Qtz= Cuarzo, Mag= Magnetita y Ce= Calcosina	57
Figura 4.17 Vista general de la muestra de mano MCTF2 (3)	58
Figura 4.18 Muestra: MCTF2 (3). Cuarcita. NC y NP 2,5x. A) aspecto general de la muestra, constituida por cristales de cuarzo y calcita de fábrica hipidioblástica. B) alineación marcada por cristales de clorita, presencia de cuarzo y limonita	58
Figura 4.19 Vista general de la muestra de mano MCTF2 (6)	60
Figura 4.20 Muestra: MCTF2 (6). Cuarcita. NC 2,5x y 10x. A) aspecto general de la muestra, tamaño promedio de los cristales va de 0,06 a 0,8mm. B) cristales con fábrica hipidioblástica	61
Figura 4.22 Vista general de la muestra MCTF2 (2.1)	62
Figura 4.23 Vista general de la muestra MCTF2 (2,2)	63
Figura 4.24 Vista general de la muestra MCTF2 (2,3)	64
Figura 4.25 Muestra: MCTF2 (2,3). Esquisto actinolítico cuarzo clorítico. NC 2,5x. A) bandas constituidas por micas (clorita, muscovita y biotita) de 4mm de espesor y bandas granoblásticas (cuarzo, calcita y ortosa) de 3mm de espesor. B) aspecto general de la muestra, con una textura lepidoblástica y fábrica hipidioblástica	64
Figura 4.26 Vista general de la muestra MCTF2 (2.5)	66
Figura 4.27 Vista general de la muestra MCTF2 (2.8)	67
Figura 4.28 Vista general de la muestra MCTF4 (1)	68
Figura 4.29 Muestra: MCTF4 (1). Mármol bandeado. A) aspecto general de la muestra, con una textura granoblástica y cierta alineación por cristales de muscovita, NC 2,5x. B) cristales de fábrica hipidioblástica, con grafito y pirita como minerales accesorios, NP 10x	68
Figura 4.30 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (9)	70
Figura 4.31 Vista general de la muestra MCTF4 (10)	71
Figura 4.32 Muestra: MCTF4 (10). Mármol bandeado. A) aspecto general de la muestra, con una textura granoblástica y cierta alineación por cristales de muscovita, el tamaño de los cristales varía de 0,03 a 0,8mm, NC 2,5x. B) cristales de fábrica hipidioblástica, con circón y pirita como minerales accesorios, NP 10x	71

Figura 4.33 Difractograma de la muestra MCTF4 (10). Cal= Calcita, Qtz= Cuarzo y Dkt= Dickita	73
Figura 4.34 Vista general de la muestra de mano MCTF2 (4)	74
Figura 4.35 Muestra: MCTF2 (4). Mármol. A) cristales de calcita de 0,4mm con maclado polisintético. B) cristales de muscovita, pirita y cuarzo (con inclusiones de pirita). C) aspecto general de la muestra con textura granoblástica y fábrica hipidioblástica	75
Figura 4.36 Vista general de la muestra de mano MCTF2 (7)	77
Figura 4.37 Muestra: MCTF2 (7). Mármol, NC 10x. A) inclusiones de pirita en cristales de calcita y cuarzo. B) inclusiones de circón en cristales de calcita y cuarzo	77
Figura 4.38 Vista general de la muestra de mano MCTF2 (2,4)	79
Figura 4.39 Difractograma de la muestra MCTF2 (2,4). Cal= Calcita, Qtz= Cuarzo y Mag= Magnetita	79
Figura 4.40 Vista general de la muestra de mano MCTF2 (2,6)	80
Figura 4.41 Vista general de la muestra de mano MCTF2 (2,7)	81
Figura 4.42 Muestra: MCTF2 (2,7). Mármol. A) Aspecto general de la muestra con textura granoblástica y fábrica hipidioblástica, NC 2,5x. B) cristales de muscovita, cuarzo y calcita con inclusiones de pirita, NC 10x	82
Figura 4.43 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (2)	83
Figura 4.44 Muestra: MCTF4 (2). Mármol. A) Aspecto general de la muestra con textura granoblástica y fábrica hipidioblástica, NC 2,5x. B) cristales de calcita, muscovita y pirita, NC 10x	84
Figura 4.45 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (3)	86
Figura 4.46 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (6)	86
Figura 4.47 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (7)	87
Figura 4.48 Muestra: MCTF4 (7). Mármol. NC 2,5x. A) Aspecto general de la muestra con 60% de cristales y 40% de matriz. B) cristales de calcita, cuarzo, pirita y ortosa (con alteración a sericita)	88
Figura 4.49 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (11)	90
Figura 4.50 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (12)	90
Figura 4.51 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (16)	91
Figura 4.52 Muestra: MCTF4 (16). Mármol. NC 2,5x. A) Aspecto general de la muestra, definida por dos sectores, ambos de textura granoblástica y con variedad en el tamaño de los cristales. B) primer sector en el cual abundan cristales de calcita, tamaño promedio de los cristales de 0,03 a 0,5mm. C) segundo sector constituido por cristales de calcita, muscovita, actinolita, pirita y ortosa de mayor tamaño de 0,6 a 1mm	92
Figura 4.53 Difractograma de la muestra MCTF4 (16). Cal= Calcita, Qtz= Cuarzo y Ms= Muscovita	94
Figura 4.54 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (17)	95
Figura 4.55 Muestra: MCTF4 (17). Mármol. NC 2,5x. A) Aspecto general de la muestra, variación en el tamaño de los cristales de forma alineada. B) textura granoblástica y fábrica hipidioblástica, con tamaño promedio de los cristales de 0,06 a 0,8mm	96

Figura 4.56 Vista general de la muestra de mano MCTF2 (5)	98
Figura 4.57 Muestra: MCTF2 (5). Cuarcita. NC 2,5X. A) primer (S1) y segundo (S2) sector con un cristal de pirita en el centro de la muestra con inclusiones de cuarzo y dolomita. B) primer sector con cristales de muscovita orientados, cuarzo y albita. C) segundo sector con cristales de pirita, dolomita y muscovita de 0,06 a 0,3mm de diámetro	99
Figura 4.58 Difractograma de la muestra MCTF2 (5). Ab= Albita, Dol= Dolomita y Qtz= Cuarzo	101
Figura 4.59 Vista general de la muestra de mano MCTF2 (2,9)	102
Figura 4.60 Muestra: MCTF2 (2,9). Cuarcita. NC 10x. A) cristales de cuarzo con textura granoblástica y un poco alineada por cristales de muscovita. B) textura granoblástica con cristal de muscovita en el centro, con textura ojo de pájaro	102
Figura 4.61 Fotomosaico descriptivo 1 del frente 2 de la Cantera Tacagua, ubicado al Oeste de dicho frente de explotación	105
Figura 4.62. Fotomosaico descriptivo 2 del frente 2 de la Cantera Tacagua, ubicado al oeste, seguido del fotomosaico 1	106
Figura 4.63. Fotomosaico descriptivo 3 del frente 2 de la Cantera Tacagua, ubicado al centro oeste, seguido del fotomosaico 2	108
Figura 4.64 Fotomosaico descriptivo 4 del frente 2 de la Cantera Tacagua, ubicado al centro norte, seguido del fotomosaico 3	109
Figura 4.65 Fotomosaico descriptivo 5 del frente 2 de la Cantera Tacagua, ubicado al este, seguido del fotomosaico 4, de forma lateral	110
Figura 4.66 Fotomosaico descriptivo 6 del frente 2 de la Cantera Tacagua, ubicado en la parte superior de dicho frente, al oeste	112
Figura 4.67. Fotomosaico descriptivo 1 del frente 4 de la Cantera Tacagua, ubicado en la parte central de dicho frente	113
Figura 4.68 Fotomosaico descriptivo 2 del frente 4 de la Cantera Tacagua, ubicado en la parte central este, seguido de fotomosaico 1	115
Figura 4.69 Fotomosaico descriptivo 3 del frente 4 de la Cantera Tacagua, ubicado en la parte central este (superior), seguido de fotomosaico 2	116
Figura 4.70. Mapa de unidades informales (Rocas Verdes, Rocas Bandeadas, Rocas Grises Masivas y Rocas Blancas), del frente 2 de la cantera Tacagua	119
Figura 4.71 Mapa de unidades informales (Rocas Verdes, Rocas Bandeadas y Rocas Grises Masivas), del frente 4 de la Cantera Tacagua	120
Figura 4.72 Estimación del volumen del frente 2, mediante un TIN generado a través del software ArcGis 10.3	121
Figura 4.73 Estimación del volumen del frente 4, mediante un TIN generado a través del software ArcGis 10.3	122
Figura 5.1 Esquema, nomenclatura y distribución en el espacio P-T de las facies metamórficas más comunes (Spear, 1993). La figura incluye igualmente la terminología recomendada por la SCRM (Subcomisión sobre la Sistemática de las Rocas Metamórficas), para clasificar el grado metamórfico (de muy bajo a muy alto, en función exclusiva de la	124

temperatura), así como la presión y relación P/T. Tomado y modificado de https://www.ugr.es/~petgquim/descargas/CPM.pdf	
Figura 5.2 Mapa Geológico actual de los frentes 2 y 4 de la cantera Tacagua	129
Figura 5.3 Mapa Geológico con límites inferidos de los frentes 2 y 4 de la cantera Tacagua	129

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Coordenadas de los linderos de los frentes 2 y 4	1
Tabla 2.1 Subdivisión de los grandes grupos de unidades de la Cordillera de la Costa (fajas, napas, terrenos). Tomado de URBANI (2018)	13
Tabla 2.2 Unidades geológicas mayores de la región centro-norte de Venezuela. Tomado y modificado de Urbani (2018)	15
Tabla 2.3 Características de los terrenos de la Serranía del Litoral y región suroccidental de la Cordillera de la Costa. Tomado de Urbani (2018)	16
Tabla 4.1 Nomenclatura utilizada en el análisis petrográfico, tomada de MACKENZIE et al., (1997)	35
Tabla 4.2 Nomenclatura utilizada en el análisis de difracción de Rayos X, tomada de MACKENZIE et al., (1997)	35
Tabla 4.3 Registro correspondiente a los picos más elevados. Muestra MCTF2 (1)	40
Tabla 4.4 Registro correspondiente a los picos más elevados. Muestra MCTF4 (4)	43
Tabla 4.5 Registro correspondiente a los picos más elevados. Muestra MCTF2 (2)	57
Tabla 4.6 Registro correspondiente a los picos más elevados. Muestra MCTF4 (10)	73
Tabla 4.7 Registro correspondiente a los picos más elevados. Muestra MCTF2 (2,4)	80
Tabla 4.8 Registro correspondiente a los picos más elevados. Muestra MCTF4 (16)	94
Tabla 4.9 Registro correspondiente a los picos más elevados. Muestra MCTF2 (5)	101
Tabla 5.1 Facies metamórficas: asociaciones y sub-asociaciones minerales diagnósticas en rocas máficas y cuarzo pelíticas. (AP:Alta Presión, BP:Baja Presión). Tomado de https://www.ugr.es/~petgquim/descargas/CPM.pdf	125

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

El presente trabajo de investigación tiene como área de estudio un sector localizado en la Cordillera de La Costa, ubicada en la parte norcentral de Venezuela, Distrito Capital. El objetivo principal es caracterizar geológicamente los frentes 2 y 4 de la cantera Tacagua y estimar el volumen del macizo rocoso, municipio Libertador, Distrito Capital. Los estudios previos realizados en dicha cantera deben ser actualizados, ya que a medida que se realizan los procesos de voladura para la explotación del macizo rocoso la distribución espacial de los cuerpos de rocas aflorantes van cambiando.

1.2 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación tiene como área de estudio una zona ubicada en la localidad de Tacagua (ver fig. 1.1), específicamente en la Hacienda Boca de Topo, municipio Libertador, Distrito Capital cuyo acceso se practica desde el km 11 de la autopista Caracas - La Guaira entre las Coordenadas UTM 1.163.500,86 (N) - 1.164.315,92 (N); y 719.170,65 (E) - 718.844,38 (E). Las coordenadas de los linderos de los frentes 2 y 4 se muestran a continuación (ver tabla 1.1):

Tabla 1.1 Coordenadas de los linderos de los frentes 2 y 4

LINDERO	NORTE	ESTE	LINDERO	NORTE	ESTE
1	1.164.048,13	718.697,02	1	1.163.850,86	719.170,65
2	1.164.048,06	718.387,29	2	1.163.850,86	719.454,04
3	1.164.315,92	718.375,66	3	1.163.500,86	719.454,04
4	1.164.305,60	718.582,58	4	1.163.500,86	719.170,65
5	1.164.231,86	718.731,40			
6	1.164.223,87	718.844,38			
Frente 02			Frente 04		

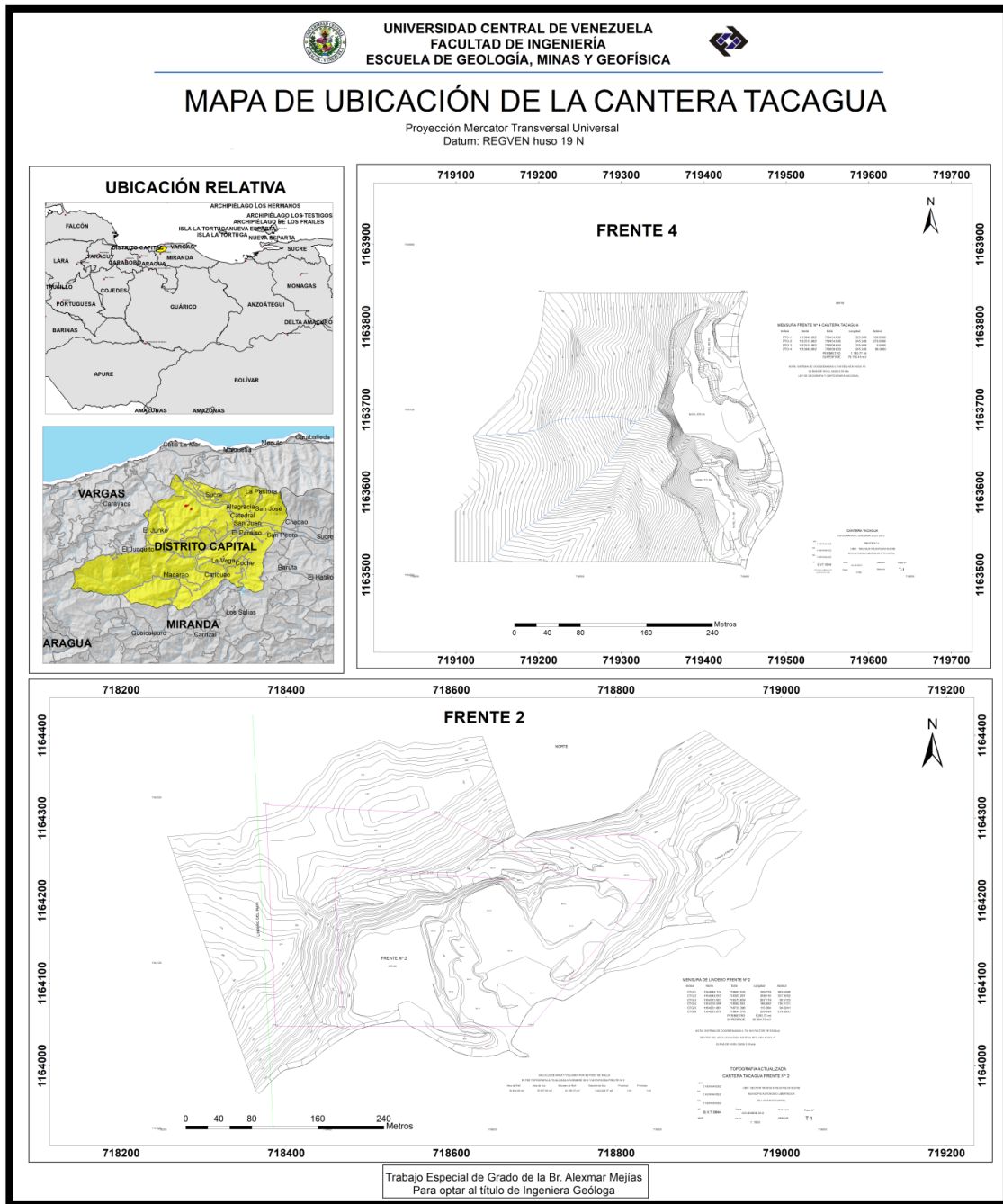


Figura 1.1 Ubicación geográfica de la cantera Tacagua, perteneciente a la Empresa Varguense de Minas y Canteras (VARCAM C.A.)

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar geológicamente los frentes 2 y 4 de la cantera Tacagua y estimar el volumen del macizo rocoso, en el municipio Libertador, Distrito Capital.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los minerales presentes en 20 muestras de rocas tomadas en los frentes de explotación 2 y 4, utilizando el microscopio petrográfico como herramienta de identificación y descripción
- Realizar la identificación semicuantitativa de la mineralogía presente en siete muestras, por medio de la difracción de Rayos X
- Realizar una clasificación de los tipos litológicos presentes en los frentes de explotación (2 y 4), y establecer unidades litológicas informales
- Cartografiar geológicamente las unidades informales presentes en los frentes de explotación 2 y 4
- Elaborar fotomosaicos descriptivos de cada uno de los frentes (2 y 4), con el fin de observar la geometría de los cuerpos de roca y ubicación espacial de las muestras de mano
- Estimar el volumen del macizo rocoso

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La problemática que presenta la cantera en estudio es que el material extraído de cada frente es tomado como un todo en uno para agregado de construcción y obras civiles. El material de cada frente de explotación requiere ser diferenciado según su uso.

La realización de un estudio geológico es necesario para conocer su composición mineralógica, los límites entre los diferentes cuerpos mineralizados, y de esta manera determinar los cuerpos de rocas aflorantes y su distribución espacial tanto vertical como horizontalmente.

1.5 JUSTIFICACIÓN

Es de interés de la nación, aumentar la construcción de complejos habitacionales para de alguna manera mitigar la gran demanda que existe en el mercado inmobiliario sin embargo, uno de los grandes inconvenientes para el desarrollo idóneo de esta idea está en poder contar con el material específico para los distintos usos en la construcción.

Por ésta razón todas las canteras que están asociadas con entes gubernamentales, han sido instruidas para que incrementen la producción de material sin dejar de lado la calidad del mismo.

Esto último motiva la presente investigación, ya que es necesario conocer a fondo todas las características geológicas del material y como están distribuidas espacialmente en el área de esta cantera.

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

La ejecución del presente trabajo especial de grado permitió analizar la composición mineralógica a través de la caracterización mediante análisis petrográficos y difracción de Rayos X, además incluyo la elaboración de mapas geológicos con las unidades litológicas informales presentes en cada frente de explotación, del mismo modo la realización de fotomosaicos descriptivos y cálculo de volumen de todo el macizo rocoso de cada frente de la cantera. Sin embargo existen otras técnicas de caracterización como fluorescencia de Rayos X, microscopia electrónica de barrido, análisis mayoritario y minoritario, pero éstas no pudieron aplicarse por los altos costos y la poca disponibilidad para contar con tales técnicas.

1.7 ANTECEDENTES

VELARDE (1954) realizó un estudio Topográfico- Geológico de las Canteras de Carapita al Noreste de Antímamo, se inició con el reconocimiento en la zona asignada al suscrito, después del trabajo conjunto de Topografía (fijación de un punto de intersección y levantamiento de dos poligonales por doble deflexión) con la guía del mapa topográfico de Caracas- Antímamo, levantado por cartografía. Por ser uno de los primeros trabajos realizados en detalle sobre esta zona de Canteras y por ser el área tan pequeña, no dejará de adolecer de ciertas lagunas sobre todo en aquellos problemas de importancia regional.

FUENMAYOR (2001) ejecutó una caracterización geomecánica de las rocas de la cantera perteneciente a la Corporación de Cemento Andino C.A. ubicada en el municipio Candelaria, estado Trujillo. Este autor caracterizó las unidades litológicas pertenecientes a las formaciones Luna y Maraca en el Cerro Los Cedros estado Trujillo, mediante ensayos de mecánica de roca, lo que le permitió realizar una clasificación geomecánica de la roca. Sus resultados sugieren que 3 unidades de las 5 unidades caracterizadas poseen comportamiento diferencial, reconociendo tres tipos de calidad de roca, finalmente el autor recomiendan utilizar un tipo de remoción que combine voladura con escarificación.

BARRETO (2010) realizó una caracterización geológica de la Cantera Mume ubicada en el municipio Cristobál Rojas de los Valles del Tuy estado Miranda, la metodología aplicada, la cual consistió en un reconocimiento geológico de campo le permitió discriminar unidades informales, elaboró estudios petrográficos y aplicó fluorescencia de rayos X, a diversas muestras tomadas durante tal levantamiento geológico. Posteriormente con el análisis a unas perforaciones existentes, dicho autor estimó el tipo de roca en el subsuelo de acuerdo a una relación química basada en las muestras de mano, así fue posible estimar el volumen del yacimiento la fecha en que fueron realizadas las perforaciones (1995), y posteriormente se hicieron los cálculos pertinentes para estimar su volumen actual, finalmente ese autor concluye que las

mayores concentraciones de carbonato de calcio se encuentran en el extremo noreste y suroeste de la cantera.

CORNIEL (2010) efectuó un estudio geológico de la Cantera El Melero, situado en el estado Miranda. Se encuentra en un área de 132 hectáreas pertenecientes a la Fábrica Nacional de Cemento, de las cuales 18 hectáreas aproximadamente fueron caracterizadas en éste estudio. La zona estudiada corresponde principalmente al frente de explotación, el cual se laboreo por el método de minería a cielo abierto. Esta área posee información de subsuelo, con lo cual se pudo realizar cortes geológicos, un modelo geológico y estimación de las reservas utilizadas para la elaboración del cemento, para mezclas y material de agregado, Litológicamente, se caracterizaron rocas pertenecientes a un contexto geológico metamórfico de la Formación Las Mercedes, constituido principalmente por mármol, esquisto calcáreo micáceo, esquisto calcáreo grafitoso y en menor cantidad filitas.

VILLEGAS (2010) ejecutó una caracterización geológica de la cantera San Bernardo ubicada en el municipio Tomas Lander de los Valles del Tuy, estado Miranda en esta caracterización el autor empleó como metodología un levantamiento geológico de superficie, estudios petrográficos y ensayos químicos de fluorescencia de rayos X, realizados a muestras colectadas en campo, para determinar la constitución mineralógica y tipo de roca, y sus concentraciones químicas mayoritarias pudo realizar cortes geológicos, modelados 3D del cuerpo del subsuelo y estimación de las reservas del material carbonático utilizado como materia prima para la elaboración del cemento. La estimación de las reservas localizadas en la zona de estudio fueron calculadas con cantidades mayores de 23.500.000 toneladas de material carbonático, con promedios de 95% de concentración de CaCO_3 , tanto en las rocas aflorantes como en los núcleos de las perforaciones.

CARRERO & RIVERO (2013) realizaron una caracterización geológica y cálculo de volumen de calizas en una zona ubicada al norte de San Sebastián de los Reyes, edo. Aragua, tal estudio se realizó a través de análisis soportados en diferentes

parámetros, tales como: 1- Clasificación de la roca caliza según Folk y Dunham (1962) para rocas carbonáticas, Pettijohn, Potter y Siever (1972) para areniscas, Mount (1985) para carbonatos de mezcla. 2- Clasificación de rocas ígneas volcánicas y plutónicas según Schmidt (1981) y el criterio de clasificación de Baamonde (modificado de BOGGS, 1992) para clasificar el conglomerado. Para la clasificación de brechas se utilizó un criterio basado en la descripción de los afloramientos en campo y petrográficamente su composición mineralógica, grado de angularidad y disposición de los granos en la muestra observada en microscopio. 3- Caracterización química mediante titulación de carbonatos, fluorescencia de rayos X y análisis de pérdida al fuego. 4- Caracterización petrográfica, la cual consiste en una descripción de los principales elementos (minerales y fósiles) presentes en la muestra. 5- Elaboración de un mapa geológico en escala 1:2500 como resultado de toda la investigación elaborada en ese trabajo. Los datos obtenidos mediante la caracterización geológica permitieron definir la geometría del yacimiento de roca caliza y por lo tanto la estimación del volumen de roca por medio del método geométrico de los perfiles.

RIVADENEYRA (2014) realizó una Descripción Geológica y cálculo de reservas de arcillas de la Cantera La Cabrera, ubicada en el municipio Tomás Lander, estado Miranda. La cual consistió en tres etapas, una a nivel geodésico, el cual abarca el levantamiento topográfico de la Cantera, la segunda etapa comprende una descripción geológica, en la cual se describe el ambiente sedimentario y proceso de depositación de las arcillas, generándose una columna estratigráfica en función de las características visuales de los cortes frescos hechos in situ por el proceso de corte, extracción y acarreo de las arcillas en la Cantera La Cabrera. La última etapa abarca el área minera, en la cual con ayuda de herramientas computacionales dirigidas al área de la minería, se procede a realizar cálculo de las reservas de arcillas y disposición de estas en función al porcentaje de sílice.

Todas este conjunto de etapas enmarcan el cálculo de reserva y proyección de explotación del mismo en función del tiempo, factores de suma importancia para la

Fábrica Nacional de Cementos, ya que de esto depende el tiempo de vida de la Cantera La Cabrera y por ende la eficiencia y costos en la producción de cemento tipo Portland.

MARCHAN (2014) efectuó la medición de los volúmenes de las pilas de material saliente de la planta de reducción de tamaño teniendo en cuenta que el procesamiento del mineral en la planta de trituración de la cantera Tacagua es del tipo físico, proceso seco de transporte y clasificación, todo esto con la finalidad de estimar la producción. También se tomaron algunos tiempos de carga y acarreo del mineral, para obtener información referente al ciclo de carga y acarreo.

Adicionalmente realizó algunos estudios según la producción de la planta y la venta del material, todo esto con el fin de realizar un registro de comercialización en lo que va de año 2013, y hacer una estimación de la producción para lo que queda de año esto en el caso de que la producción en la planta sea lo esperado.

MOYA (2015) realizó una verificación de la opción de producción más favorable a partir de diseños de explotación a largo plazo del Frente 02, en la Cantera Carayaca ubicada en Tacagua, Distrito Capital, considerando la cantidad de material aprovechable, concesión minera, geomorfología, parámetros de diseños técnicos y operativos para el desarrollo del método de explotación, bancos, vías y producción.

Los modelos se realizaron empleando el método de cantera con bancos descendentes desde el nivel 770 al nivel 655. Ambos diseños se han realizado para beneficiar la producción requerida por la cantera, cumpliendo además con los requerimientos de estabilidad, seguridad y operatividad en el frente de trabajo.

MÉNDEZ (2017) tiene por objeto proponer la planificación a largo plazo para la explotación de Frente 04, Cantera Carayaca, la cual se encuentra ubicada en Tacagua, Distrito Capital. Dentro de la planificación, se consideran criterios operativos, geométricos, geotécnicos y mediambientales, tales como las dimensiones del área de explotación, pendiente del terreno, condiciones actuales del área de explotación,

distancias de transporte, estabilidad de los taludes y medidas para prevenir, mitigar y corregir los impactos ambientales que conlleva la explotación de Frente 04.

Conforme a ello, el diseño geométrico de la explotación consta de bancos de 10 m de altura, ancho mínimo operativo de 14,8 m, ángulo de talud de banco de 72° y bermas de 6 m para el *pit* final. La explotación se desarrolla en bancos descendentes que van desde la cota 815 hasta la 675 para extraer un total de 2.269.339,52 m³ de material aprovechable a razón de 110.000 m³ al año, para una vida útil del yacimiento de 20 años y 34 semanas.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES

El presente capítulo consiste en abordar de manera general los fundamentos teóricos utilizados en la investigación sumado a la geología regional asociada al área de estudio

2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

No es más que un conjunto de conceptos y conocimientos que pueden aportar datos de interés al objeto de estudio con la finalidad de guiar, mostrar los principios o bases para la misma, lo cual garantizará la correcta aplicación de las técnicas experimentales.

2.2.1 DIFRACCION DE RAYOS X

Los Rayos X son radiaciones electromagnéticas de una corta longitud de onda y alta frecuencia, producida por la desaceleración de electrones de alta energía y/o por transiciones de electrones que se encuentran en los orbitales internos de los átomos SKOOG *et al* (1992). Este tipo de radiación ocupa sólo una parte del espectro electromagnético y sus longitudes de onda varían entre 10 nm y 0,01 nm (1nm o nanómetro equivale a 10^{-9} m) (GRANDE, 2000).

El fundamento de estas técnicas reside en los fenómenos que se producen cuando la radiación X incide sobre la materia. El primer fenómeno que se observa es que la radiación incidente es parcialmente atenuada por el material irradiado; es decir, sólo una cierta fracción de la intensidad de esta radiación lo atraviesa sin que se produzcan cambios en su energía o longitud de onda. La medida de esta intensidad transmitida es la base de las técnicas de absorción de Rayos-X.

2.2.2 FOTOMOSAICOS DESCRIPTIVOS

Según BEILINSON (2012) los fotomosaicos descriptivos consisten en una composición digital realizada con varias fotografías de una zona o afloramiento, que se hace con la finalidad de generar una fotografía panorámica, sin ángulos de distorsión, del área de estudio y así poder abarcar dimensiones imposibles de cubrir con una fotografía individual (ver fig. 2.1), además de mantener las dimensiones de cada uno de los elementos que contiene la fotografía, lo que es muy importante ya que nos permite resaltar de manera gráfica los elementos geológicos de importancia en el estudio que se esté haciendo, además que nos deja visualizar la relación en el espacio, tanto lateral como vertical, de dichos elementos.

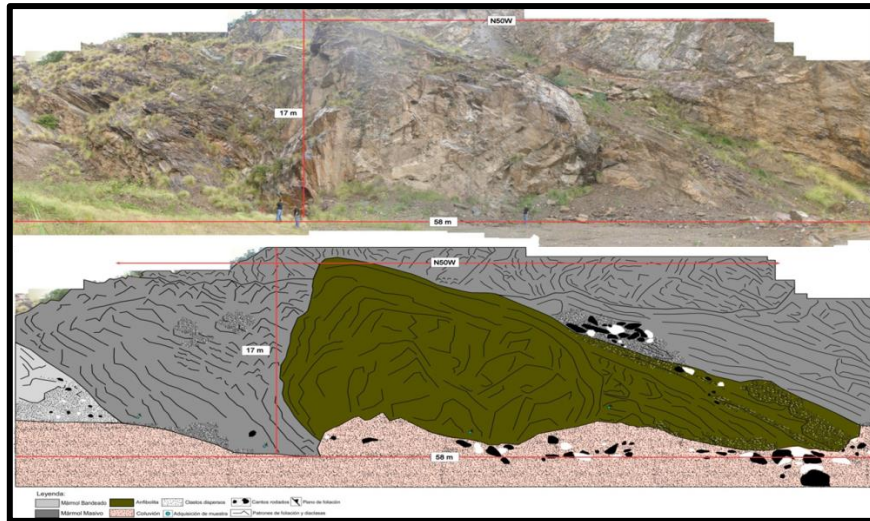


Figura 2.1 Fotomosaico descriptivo del frente 4 de la Cantera Tacagua ubicado en la parte central de dicho frente. Elaboración propia

2.2.3 CANTERA

Es el término genérico que se utiliza para referirse a las explotaciones de rocas industriales y ornamentales. Se trata por lo general de pequeñas explotaciones próximas a los centros de consumos, debido al valor relativamente bajo que poseen los materiales extraídos.

2.3 GEOLOGÍA REGIONAL

2.3.1 CORDILLERA DE LA COSTA

De acuerdo con URBANI (2018) la parte norcentral de Venezuela está dominada por la Cordillera de la Costa (CdIC), una cadena montañosa con orientación este-oeste, con unos 350 km de longitud y 80 km de ancho, correspondiente a una parte del denominado Sistema Montañoso del Caribe. Estas montañas fueron formadas como resultado de las interacciones entre las placas Caribe y Suramérica.

MENÉNDEZ (1966) subdividió las unidades de la CdIC en cuatro Fajas Tectónicas: Cordillera de la Costa, Caucagua-El Tinaco, Paracotos y Villa de Cura. La Faja Tectónica de la Cordillera de la Costa (FTCdIC) ocupa toda la Serranía del Litoral, mientras que sus otras fajas abarcan la Serranía del Interior. Para 1989, la FTDcIC fue subdividida en tres fajas distintivas. Estas fueron definidas como Costera, Ávila y Caracas por URBANI & OSTOS (1989) (ver fig. 2.2).

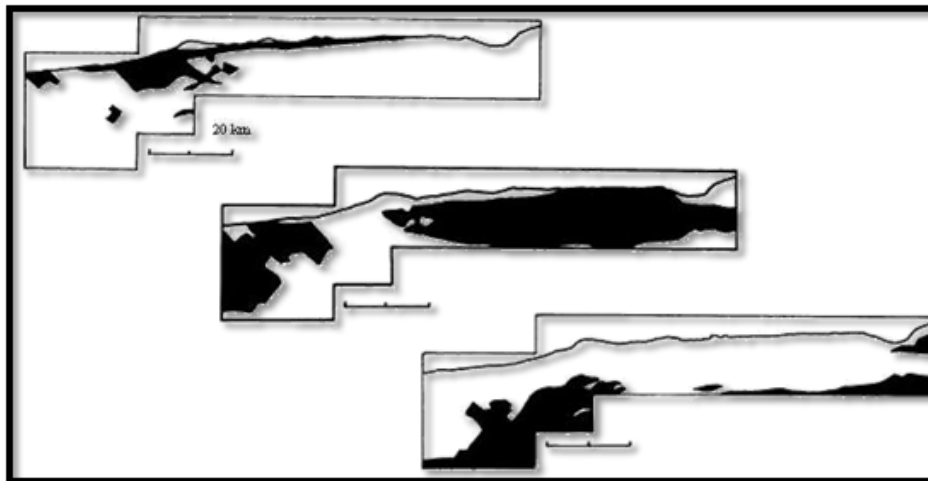


Figura 2.2 Distribución de las tres fajas metamórficas: Costera, Ávila y Caracas por URBANI & OSTOS (1989). Tomado de Guía de excursión URBANI (2002)

La cordillera está dividida en tres regiones: una occidental constituida al norte por la Cordillera de La Costa, al sur por la Serranía del Interior Central y otra oriental

conformada por la Serranía del Litoral Oriental o Cordillera de Araya-Paria en su parte norte y la Serranía del Interior Oriental en el sur. En cada uno de los bloques geográficos afloran distintos terrenos geológicos (ver fig. 2.3).

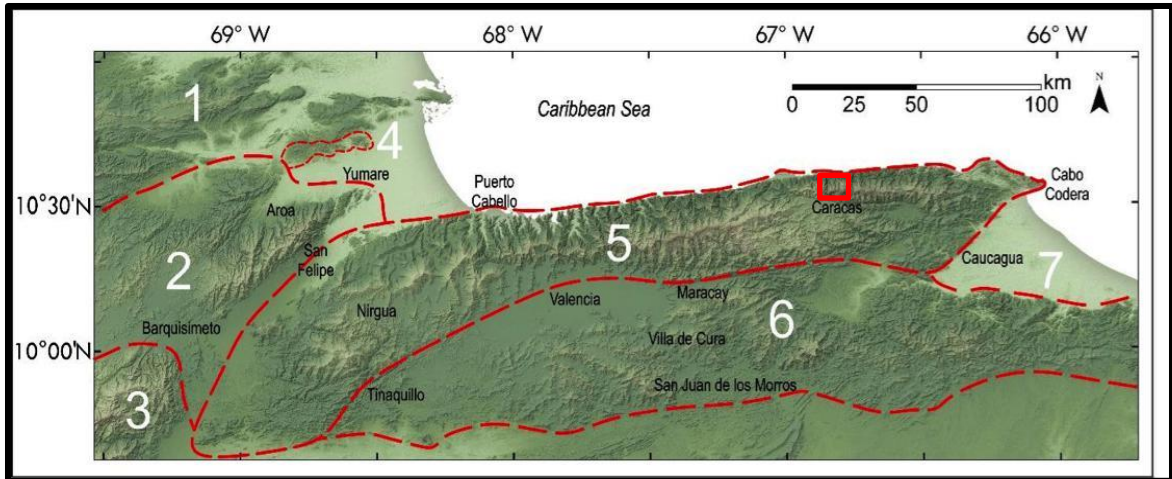


Figura 2.3 Subdivisión geográfica de Venezuela norcentral en relación al área de estudio cuyo N°5 corresponde a la Cordillera de la Costa. Tomado y modificado de URBANI (2018)

En la región occidental en la parte central de la Cordillera de la Costa según URBANI (2002), afloran rocas de tres fajas, que de norte a sur son las siguientes: Faja Costera (Mesozoico) unidad con muchos elementos ofiolíticos, la Faja Ávila (Paleozóico- Precámbrico) con rocas de un margen continental pasivo posteriormente exhumado formando el núcleo de la serranía y la Faja Caracas (Mesozoico), en las colinas del sur de Caracas, igualmente de una configuración de margen continental pasivo (ver tabla 2.1).

Tabla 2.1 Subdivisión de los grandes grupos de unidades de la Cordillera de la Costa (fajas, napas, terrenos). Tomado de URBANI (2018)

Menéndez (1966), fajas	Stephan (1982), fajas	Beck (1986), napas	Urbani y Ostos (1989), fajas	Urbani (2015) y este trabajo Fajas	Terrenos
Cordillera de la Costa	Margarita-Costera	Margarita-Costera	Costera	Costera (septentrional)	Tacagua (s.s.) Carayaca
	Cordillera de la Costa	Cordillera de la Costa	Ávila	Ávila (central)	Ávila Nirgua
			Caracas	Caracas (meridional)	Los Cristales Las Mercedes Las Brisas
					Tinaco Cachinche Tucutunemo Tácata Tacagua (Caucagua)
Caucagua-El Tinaco	Caucagua - El Tinaco	Caucagua - El Tinaco	Caucagua - El Tinaco	Caucagua - El Tinaco	Paracotos Loma de Hierro Villa de Cura San Sebastián
Paracotos	Paracotos	Loma de Hierro *	Loma de Hierro *	Loma de Hierro	
Villa de Cura	Villa de Cura	Villa de Cura	Villa de Cura	Villa de Cura	

* Incluye a Paracotos

Las unidades ígneas- metamórficas y sedimentarias de la Cordillera de la Costa también han sido clasificadas según su origen como autóctonas, parautóctonas y alóctonas. Según URBANI (2018) la naturaleza de los terrenos y unidades presentes en la zona de la CdIC es de tipo alóctono metamórfico con facies de esquistos verde (clorita) a granulita (ver tabla 2.2).

La zona de estudio está constituida por las fajas alóctonas de la Serranía del Litoral donde se tiene la **Faja Costera** (Terreno Carayaca) de edad Jurásico Tardío-Cretácico Temprano de Alta Presión y Baja Temperatura (AP-BT), la **Faja Ávila** (Terreno Nirgua) de edad Pérmico- Jurásico EVb-EVg y la **Faja Caracas** (Terreno Las Mercedes y Terreno Las Brisas) de edad Cretácico Tardío y Jurásico Tardío-Cretácico Temprano EVc (ver tabla 2.3).

A continuación se describen cada una de las fajas alóctonas de la Serranía del Litoral

Tabla 2.2 Unidades geológicas mayores de la región centro-norte de Venezuela. Tomado y modificado de Urbani (2018)

Código	Unidad	Edad	Meta-morf.
AUTÓCTONO			
1	Sedimentos cuaternarios	Cuaternario	
2	Formaciones neógenas	Neógeno	
3	Formaciones Aguardiente y Apón	Cretácico Tempr.	
PARA-AUTÓCTONO (piedemonte de la Serranía del Interior)			
4	Olistostromo de Platillón	Paleógeno	nM
4a	Klippes del Terreno San Sebastián	Cretácico Tempr.	sEV
5	Napa Piemontina	Cretácico Tard.-Eoceno	nM
ALÓCTONO			
Montañas occidentales			
6-7	Napas de Lara		
6a	Napa de Siquisique	Cretácico Tard.-Eoceno	sEV
6b	Formación Matatere	Paleoceno-Eoceno	sEV
7	Grupos Lara y Villanueva	Jurásico Tard.-Cretácico	sEV
8	Terreno Agua Blanca	Jurásico Tard.-Cret. Temp.	sEV-EVc
9	Terreno Los Cristales	Cretácico Temprano	EVc
13a	Terreno Tacagua (Aroa)	Cretácico Tardío	EVc
Cerros de Yumare y El Guayabo			
10	Terreno San Quintín	Cretácico	EVc
11	Terreno Yumare	Neoproterozoico	G
12	Terreno El Guayabo	Neoproterozoico	G
Serranía del litoral			
Faja costera			
13	Terreno Tacagua	Cretácico Tardío	EVc
14	Terreno Carayaca	Jurásico Tard.-Cret. Temp.	AP-BT
Faja			
Ávila			
15	Terreno Nirgua	Pérmico-Jurásico?	EVb,g
16	Terreno Ávila	Mesoproteroz.-Paleozoico.	AE-A
Faja Caracas			
17	Terreno Las Mercedes	Cretácico Tardío	EVc
18	Terreno Las Brisas	Jurásico Tard.-Cret. Temp.	EVc
Serranía del Interior			
Faja Caucaagua – El Tinaco			
19	Terreno Tinaco	Neoproteroz.-Cretac. Temp.	EVc-G
19a	Peridotita de Tinaquillo		G
19b	Formación Mamonal	Cretácico Temprano	nM
20	Terreno Cachinche	Neoproteroz.-Paleozoico	A-EVb
21	Terreno Tucutunemo	Pérmico	EVc
22	Terreno Tácata	Neoproteroz.-Cretac. Tardío	AE-EVc
13b	Terreno Tacagua (Caucaagua)	Cretácico Tardío	EVc
Faja Loma de Hierro			
23	Terreno Paracotos	Cretácico Tardío	sEV
24	Terreno Loma de Hierro	Cretácico Temp.-Paleoceno	sEV

Tabla 2.3 Características de los terrenos de la Serranía del Litoral y región suroccidental de la Cordillera de la Costa. Tomado de Urbani (2018)

Faja	Terreno	Características / protolito	Edad de elementos constituyentes	Fase metamórfica más antigua	Fase metamórfica joven	Observaciones y unidades formales
Costera	Tacagua	Sedimentos pelíticos ricos en materia orgánica (+ psamitas y carbonatos) interestratificados con elementos volcánicos	Jurásico - Cretácico ?	--		Sedimentos depositados en una cuenca de ambiente reductor probablemente en el flanco hacia el arco de una cuenca antearco. Unidad no subducida. U: Esquisto de Tacagua
	Carayaca	Complejo de subducción	Jurásico – Cretácico Temprano	AP-BT		Sedimentos pelíticos, psamíticos y carbonáticos envolviendo cuerpos máficos (eclogita – anfibolita). Unidad subducida a ca. 75 km. U: Complejo Carayaca y Mármol de Antímamo
Ávila	Ávila	Sedimentos siliciclásticos depositados sobre basamento granitoide + intrusiones granitoides y raros máficos	Neoproterozoico + intrusiones paleozoicas	A, AE - EVg		U: Complejo San Julián (mayoritaria), Augengneis de Peña de Mora , mas unidades metaplutónicas como Cabriales, Guaremal, Choroní, Colonia Tovar, Tócome, Naiguatá, Todasana, Caruao, Cabo Codera
	Nirgua	Siliciclásticos, carbonatos y yeso + raras volcánicas máficas a intermedias.	Pérmico – Jurásico ?	EVb - EVg		U: Complejos Nirgua y Nirgua II
Caracas	Agua Blanca	Sedimentos pelíticos, psamíticos y carbonáticos	Jurásico Tardío - Cretácico Temprano	--	sEV	Ambientes del margen pasivo del norte de la placa Suramericana. U: Formaciones Araure, Agua Blanca, Cojedes y Cojedes II
	Las Mercedes	Sedimentos pelíticos ricos en materia orgánica	Cretácico Tardío?	--		Cuenca oceánica de ambiente euxínico en el margen pasivo del norte de la placa Suramericana. U: Esquistos de Las Mercedes (Mármol de Los Colorados) y Chuspita
	Las Brisas	Sedimentos depositados inconformemente sobre un basamento granitoide	Jurásico Tardío – Cretácico Temprano?	--		Ambientes de aguas someras en el margen pasivo del norte de la placa Suramericana. U: Esquisto de Las Brisas (Mármol de Zenda, metaconglomerados de Baruta y La Mariposa) , Gneis de Sebastopol (basamento Silúrico?)

2.3.1.1 La Faja Costera se caracteriza por ser un delgado cinturón paralelo a la costa. Dicha faja está constituida por dos terrenos: Tacagua y Carayaca. Ambos terrenos tienen posibles edades de formación entre el Jurásico – Cretácico (URBANI *et al.*, 1989) y su depositación probablemente ocurrió en una cuenca antearco.

El Terreno Tacagua está compuesto mayoritariamente por el esquisto de Tacagua que litológicamente contiene niveles verdes volcánicos, pelíticos grafitosos y mármol. Por su parte, El Terreno Carayaca se compone mayoritariamente del Complejo Carayaca, siendo este un mélange de complejo de subducción (OSTOS, 1990), donde se mezclan elementos de corteza oceánica con elementos continentales.

El Complejo Carayaca, contiene metasedimentos (con protolito pelítico, psamítico y carbonático) y cuerpos máficos (eclogita, anfibolita, metagabro) MORGAN (1970) (ver tabla 2.3). Una unidad formal minoritaria del Terreno, es el mármol de Antímamo, caracterizado por mármol masivo con intercalaciones de rocas máficas (anfibolita granatífera, esquisto glaucofánico y eclogitas), usualmente en forma de cuerpos lenticulares y elongados (DENGO, 1950). Este terreno muestra asociaciones mineralógicas metamórficas de Alta Presión – Baja Temperatura (AP-BT). Las eclogitas han sido retrogradadas sucesivamente a facies de esquisto azul (glaucofano), anfibolita epidótica (anfíbol verde azul) y esquisto verde (clorita).

2.3.1.2 La Faja Ávila (Terreno Nirgua) representa a la antigua Formación Nirgua, redefinida como Complejo Nirgua, el cual se constituye de al menos tres grupos de rocas: metasedimentarias pelíticos- psamíticos (esquisto grafitoso, esquisto muscovítico- cuarcífero, esquisto carbonático, mármol, cuarcita, metaconglomerado, gneis cuarzo- muscovítico- plagioclásico), rocas carbonáticas azul-grisáceas (tanto esquisto como mármol) y volcánicas minoritarias (rocas verdes tanto esquistosas como masivas, conteniendo actinolita, epidoto y clorita), definidas por JAIMES (2012) y HERNÁNDEZ (2013) (ver tabla 2.3). Debido a la presencia de evaporitas (yeso) URBANI (2018) infieren que los sedimentos del Complejo Nirgua, probablemente fueron depositados ya sea en tiempo Pérmico durante el cierre de los océanos dando lugar a Pangea, o en una cuenca *rift* en tiempos del Jurásico durante la ruptura de Pangea (ver tabla 2.3).

2.3.1.3 La Faja Caracas está constituido por dos terrenos ampliamente conocidos: Las Mercedes y Las Brisas, del Jurásico Tardío- Cretácico Temprano, los cuales fueron depositados en el margen pasivo del norte de Suramérica (URBANI 2018). El Terreno Las Mercedes está compuesto en casi su totalidad por el Esquisto de las Mercedes (constituido por esquisto grafitoso cuarzo muscovítico carbonático, también esquisto carbonático que grada a mármol masivo), cuyo protolito se sedimentó en una cuenca con condiciones anóxicas (ver tabla 2.3). Esta unidad se ha considerado como el equivalente metamorfozado, durante la

interacción de las placas Caribe y Suramericana, de las formaciones La Luna y Querecual (AGUERREVERE & ZULOAGA, 1937).

Por su parte el Terreno Las Brisas, cuyo protolito fue depositado en un ambiente de aguas someras (ver tabla 2.3), tiene como unidad mayoritaria al Esquisto de Las Brisas constituido en su mayor parte por esquisto cuarzo muscovítico, metarenisca, metaconglomerado y mármol dolomítico (de dimensiones métricas a hectométricas), subunidad del Mármol de Zenda interpretada como "mega-budines" por LAUBSCHER (1955), que probablemente correspondieron a olistolitos o megaolistolitos (URBANI, 2018) (ver tabla 2.3).

2.3.2 TECTONO – ESTRATIGRAFÍA

Estructuralmente la Cordillera de la Costa es de gran complejidad y su interpretación tectónica regional ha sido complicada, en este sentido BELLIZZIA (1986) establece que las montañas del centro – norte del país están formadas por la superposición de varias napas, cuyos afloramientos son discontinuos en toda su extensión y representan un conjunto polifásico de unidades tectónicas. La evolución tectónica de la zona de estudio se encuentra denominada por el Sistema Montañoso del Caribe (SMC), es cual es interpretado en BELLIZZIA (1972) como un orógeno tipo alpino.

Las rocas que constituyen al área de estudio son alóctonas, lo que implica que cada una de ellas se formó en tiempos y ambientes totalmente diferentes. La configuración actual de las mismas es el resultado de la interacción que ocurrió a partir del Terciario Medio, permitiendo el adosamiento a la parte norte del continente suramericano.

Los terrenos aflorantes en la zona de estudio frente 2 y 4 de la Cantera Tacagua, se describen a continuación

2.3.2.1 Faja Costera (Terreno Carayaca) para el Jurásico – Cretácico Temprano, se generó un mélangé de complejo de subducción (Complejo

Carayaca), en donde se mezclaron rocas de corteza oceánica generadas en el Gran Arco (rocas máficas que indican una afinidad tholeítica) y en forma ambigua dan resultados de E-MORB, N-MORB o basalto de arco con rocas continentales suramericanas de AP-BP (OSTOS, 1992). Dicho complejo de subducción tuvo su origen en la colisión de arco-continente entre el arco costa afuera (Gran Arco) y el autóctono sudamericano, probablemente esta subducción ocurrió en el margen oeste de Suramérica, para luego migrar hasta la posición actual en forma equivalente a las unidades de la isla de Margarita (ver fig.2.4).

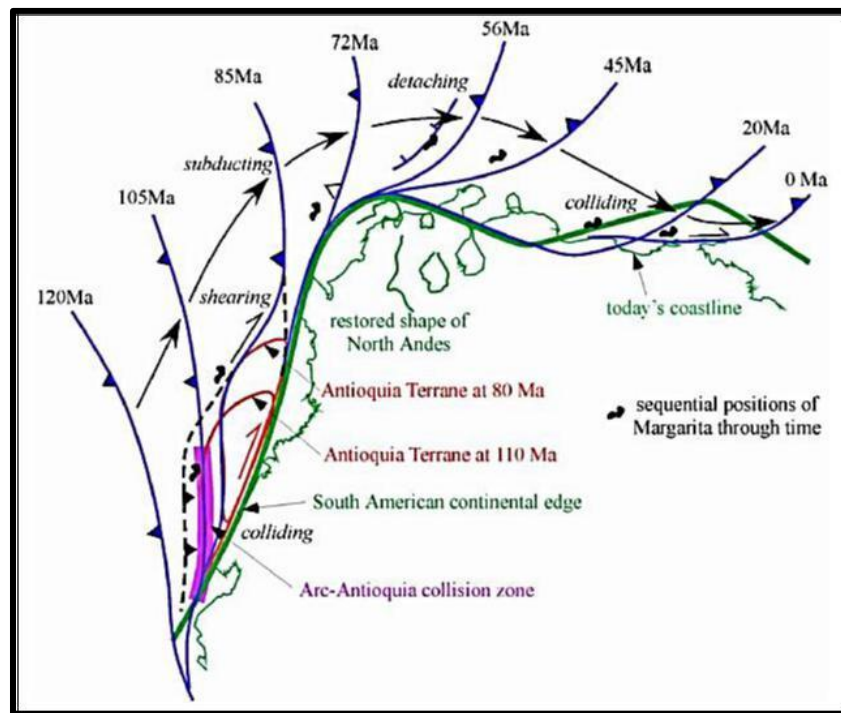


Figura 2.4 Posiciones secuenciales a través del tiempo para las unidades de la isla de Margarita, probablemente aplicable también para el Terrano Carayaca. Tomado de Mambie (2017)

Las rocas de este complejo, según MARESCH *et al.* (2012) y PINDELL *et al.* (2005), fueron posiblemente formadas en Suramérica, en la posición actual del Perú y Ecuador, corridas hacia el norte y dispersadas en Venezuela debido al fallamiento transcurrente-dextral Neógeno-Cuaternario del norte del país. Dentro del Terrano Carayaca también aflora la unidad del Mármol de Antímano, cuyas rocas anfibólicas

derivan de los basaltos del *rifting* Mesozoico entre norte y Suramérica (MARESCH, 1974; TALUKDAR, 1974 y LOUREIRO, 1982); OSTOS (1990) añade que estas son basaltos metamorfizados de un ambiente de cordillera centroceánica.

2.3.2.2 Faja Ávila (Terreno Nirgua) las rocas del terreno Nirgua como complejo, alcanzan la facies metamórfica de los esquistos verde entre las zonas de biotita y del granate, pero además presenta efectos de metamorfismo retrógrado, marcado por la clorita en la facies de los esquistos verdes (JAIMES, 2012 y HERNÁNDEZ, 2013). En cuanto a su origen, se cree que la presencia de niveles de yeso sugiere que los sedimentos se depositaron en el Pérmico, durante el cierre oceánico que produjo Pangea, o en una cuenca tipo *rift* durante la ruptura de Pangea a lo largo de Proto-Caribe en el Jurásico (URBANI *et al.* 2016).

2.3.2.3 Faja Caracas el Terreno Las Mercedes se considera como el equivalente metamorfizado de la Formación La Luna (AGUERREVERE & ZULOAGA, 1937), por tanto, se estima que la secuencia estratigráfica original de las unidades de este terreno sería Esquisto de Chuspita (Cretácico Temprano) gradando hacia arriba el Esquisto de Las Mercedes (Cretácico Tardío), esto último de acuerdo a URBANI (2012). Asimismo, los posibles protolitos del terreno tienen origen en el mar de Proto-Caribe, en ambientes pobres en oxígenos y/o anóxicos, donde Las Mercedes, La Luna y Querecual se depositaron en el margen pasivo del norte de la placa suramericana, sin influencia de volcanismo hasta el inicio de la interacción entre las placas Caribe y suramericana, proceso en el que solo Las Mercedes sufrió metamorfismo.

Por su parte el Terreno Las Brisas y su unidad representativa, el Esquisto de las Brisas indican autores como AGUERREVERE & ZULOAGA (1937) y DENGÓ (1951) que fue depositada inconformemente sobre el Gneis de Sebastopol (de edad Silúrico, según URBANI, 2000); al respecto BROUWER (1965) indica que existió una discordancia angular entre Gneis de Sebastopol y Las Brisas, que luego se convirtió en una concordancia estructural por efectos de cabalgamiento.

CAPÍTULO 3

MARCO METODOLÓGICO

3.1 GENERALIDADES

El presente estudio se llevó a cabo mediante tres etapas, para así cumplir con los objetivos planteados, las cuales consistieron en precampo (etapa I), campo (etapa II) y postcampo (etapa III). Las mismas se describen a continuación:

3.2 ETAPAS DE LA INVESTIGACION

3.2.1 ETAPA I: PRE CAMPO (COMPILATORIA)

Esta etapa consistió en reunir una serie de materiales bibliográficos y/o hemerográficos relacionados con el área de estudio a nivel regional y local, estudios previos de trabajos especiales de grado, material suministrado por la cantera, información obtenida en la Biblioteca Dr. Virgil Dil Winkler, fotografías aéreas (misión 0304193, vistas 612-615, escala 1:50.000) y mapas geológicos de las hojas 6747-I-SE y 6847-IV-SO a escala 1:25.000 buscados en la biblioteca Dr. Virgil Dil Winkler de la escuela de Geología, Minas y Geofísica de la UCV. También se localizaron los mapas topográficos de cada Frente: a escala 1:1.000 Frente 02 y 1:750 Frente 04, actualizados en el 2015 y 2013 respectivamente, los mismos fueron elaborados por Moya (2015) y Hernández (2013).

Se recopiló planilla descriptiva de petrografía y clasificación de rocas metamórficas tomado de URBANI *et al.* 2010 y la planificación de la metodología de recolección de muestras que se empleó durante el trabajo de campo según la subcomisión de La IUGS en La Sistemática De Rocas Metamórficas SCMR.

3.2.2 ETAPA II: TRABAJO DE CAMPO

Esta etapa consistió en varias fases las cuales se describen a continuación:

- Verificación de la información recopilada en la etapa Pre Campo (Compilatoria), por medio de un levantamiento geológico.
- Ubicación de puntos en cada Frente, mediante un GPS (Garmin GPSmap 62SC) previamente calibrado.
- Levantamiento Geológico: consistió en la descripción geológica de cada frente y características observables a simple vista, para la identificación de los diferentes tipos litológicos. La descripción incluye definición del color fresco y meteorizado, composición mineralógica, identificación de texturas, tamaño de grano, foliación, rasgos estructurales, grado de deformación, facies litológicas, orientación de discontinuidades (diaclasas y fallas) medidas con la brújula geológica. Todos estos datos vaciados en la libreta de campo.
- Materiales a utilizar para el levantamiento geológico:
 - Martillo geológico o piqueta
 - Libreta de campo
 - Solución de ácido clorhídrico (HCl) al 10 %
 - Brújula con clinómetro
 - Lápices, marcadores, tirro, escuadras y bolsas plásticas
 - Cámara fotográfica
 - Mapa topográfico de los Frentes en estudio
 - Equipo de Sistema de Posicionamiento Global o GPS.
- Muestreo: Se tomaron las muestras bajo un esquema lineal horizontalmente, distribuidas a lo largo del frente, tomando en cuenta cambios litológicos y competencia de la roca.
- Se colectaron 33 muestras en total, 16 del frente 2 y 17 del frente 4 para la elaboración de análisis químicos y petrográficos. La recolección de la misma se realizó tomando en cuenta un tamaño aproximado de un cubo de 15 x 10 cm², para realizar tanto los ensayos químicos como las petrografías.
- Las muestras se enumeraron de acuerdo a los siguientes criterios:

- Las primeras tres letras (en mayúscula) correspondiente a la zona en estudio “MCT”, M= Muestra, C= Cantera, T= Tacagua.
- Seguido de la letra F en mayúscula correspondiente al Frente y la variable α , por el número del Frente (2 ó 4).
- Dejando un espacio, se coloca el número # de la muestra dentro de un paréntesis, quedando la nomenclatura de la siguiente manera:

MCTF α (#)

- Toma de fotografías panorámicas: se procedió a obtener la ubicación espacial exacta en el centro de cada uno de los frentes con el uso del GPS (Garmin GPSmap 62SC), el cual proporciona las coordenadas exactas de longitud y latitud del lugar, posteriormente se lleva a cabo la toma de las fotografías panorámicas de cada uno de los frentes con el uso de una cámara digital Olympus Imaging Corp. modelo N°.C-7070 Wide Zoom DC 6V con una resolución de 7.1 megapíxeles.

El procedimiento de fotografías panorámicas (ver fig. 3.1) consistió en colocar una cinta métrica convencional paralela al frente y con la cámara digital sobre un trípode, se fueron tomando las fotos lo más perpendicular al frente de explotación a cada 2 m de distancia.

En el frente 2 a una distancia aproximada de 30 m debido a la magnitud de dicho frente, con el fin de abarcar de mejor manera tanto en la vertical como en la horizontal, sin perder detalle en cuanto a las estructuras presentes (planos de foliación y diaclasas), se procedió a realizar el mismo procedimiento descrito en el párrafo anterior, para la obtención de fotomosaicos y así poder observar los contactos entre los diferentes tipos litológicos definidos.

Dicho procedimiento es aplicado también en el frente 4 a una distancia aproximada de 15 m de manera ortogonal a dicho frente, formando una poligonal recta y paralela. Debido a la disposición espacial de la topografía no se pudo abarcar

el frente completamente, aunque de igual manera se tomaron las fotografías, lográndose obtener los fotomosaicos respectivos.



Figura 3.1 Toma de fotografías panorámicas, con una cámara digital Olympus Imaging Corp .modelo N°.C-7070 Wide Zoom DC 6V con una resolución de 7.1 megapíxeles

3.2.3 ETAPA III: POST CAMPO (LABORATORIO Y OFICINA)

Esta etapa consistió en la realización de varias actividades: corte de muestra de mano para la construcción de secciones finas, toma de fotografías y determinación del color fresco de las muestras de mano, realización de una clasificación de las unidades litológicas informales presente en la zona y establecer unidades litológicas informales, análisis petrográfico de las 20 muestras colectadas en campo, 10 de cada frente respectivamente, con el fin de caracterizar y cuantificar el porcentaje de minerales contenidos en la roca, para luego agruparlas de acuerdo a su contenido mineral y determinar la variabilidad horizontal y vertical. Así como también la pulverización de siete muestras específicas para el posterior análisis de difracción de rayos X, elaboración de tablas descriptivas de muestras de mano, digitalización de fotomosaicos de los frentes de explotación 2 y 4, cartografía geológica de las unidades informales presentes en los frentes de explotación y estimación del volumen del macizo rocoso.

A continuación se describen el procedimiento de las actividades mencionadas anteriormente:

3.2.3.1 Corte de muestra de mano posterior a la toma de muestras colectadas en la etapa de trabajo de campo, las mismas fueron llevadas al laboratorio 330 del Departamento de Geología de la Universidad Central de Venezuela, de las cuales se seleccionaron 20 muestras para ser cortadas en el Laboratorio de Sedimentología y obteniendo así los tacos de dimensión (4.2x2.5x1.2cm), para la realización de secciones finas. La primera foto de izquierda a derecha son las muestras seleccionadas, seguido de la máquina donde fueron cortadas y por último los tacos de las muestras cortadas (ver fig. 3.2).

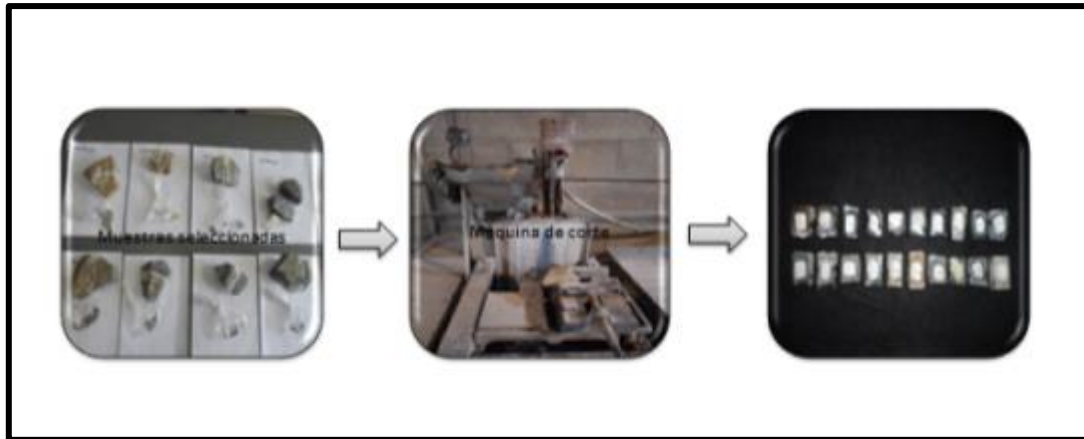


Figura 3.2 Procedimiento para el corte de muestras. Elaboración propia

3.2.3.2 Toma de fotografías y determinación del color fresco de las muestras de mano se tomaron 33 fotos a las 33 muestras de mano en el Laboratorio 330 del Departamento de Geología de la Universidad Central de Venezuela, con la cámara digital *Olympus Imaging Corp.* modelo N°.C-7070 *Wide Zoom DC 6V* con una resolución de 7.1 megapíxeles, así como también la determinación del color fresco de cada muestra, a través de la pulverización de una porción de la muestra, para su representación visual en tablas descriptivas (ver fig. 3.3). El nombre del color fue determinado mediante la tabla de colores *Standard Soil Color Charts de Munsell*.

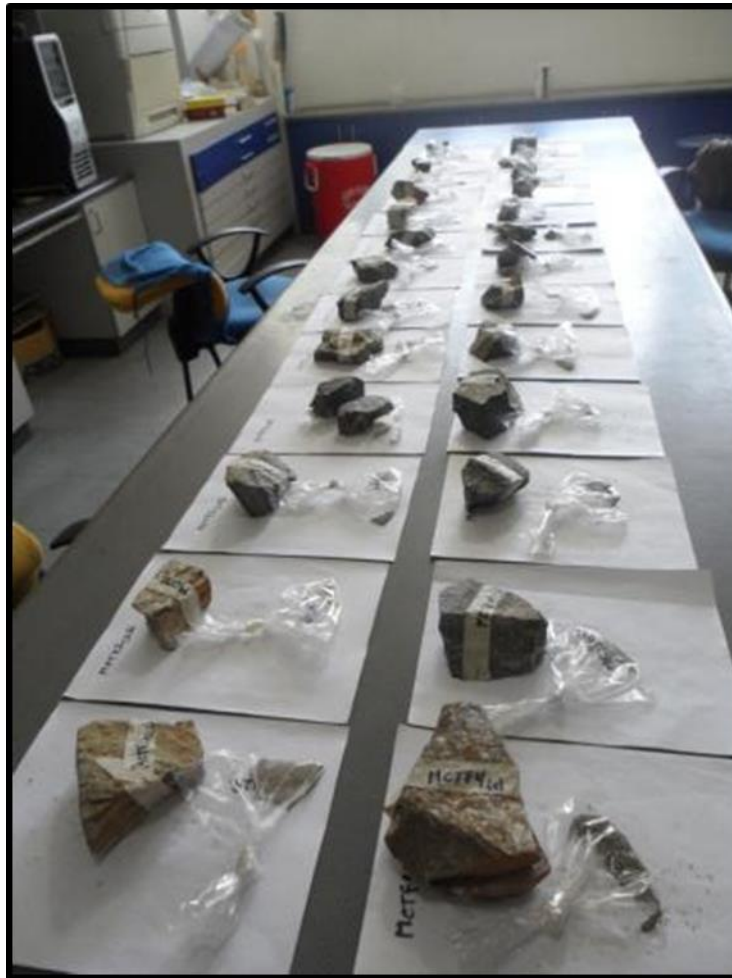


Figura 3.3 Toma de fotografías y determinación del color fresco de las muestras de mano, para representación visual. Elaboración propia

3.2.3.2 Clasificación de las Unidades Litológicas Informales se dividieron las muestras tomadas en cuatro grupos de rocas fundamentalmente, teniendo en cuenta los parámetros tales como: aspecto físico (color fresco y meteorizado) y textura. La clasificación fue la siguiente: Rocas Verdes, Rocas Bandeadas, Rocas Grises Masivas y Rocas Blancas.

3.2.3.3 Análisis Petrográfico una vez obtenidos los 20 tacos de rocas, fueron llevados al laboratorio 312 del Departamento de Geología de la Universidad

Central de Venezuela, para su posterior corte y realización de secciones finas por el Técnico Arturo Espinoza.

El análisis petrográfico fue realizado a través de un microscopio de luz polarizada de marca *Leica* modelo DM EP, en el cual se tomaron también fotomicrografías con el programa *ToupView 3.7 For Digital Camara*, para resaltar los aspectos importantes de cada muestra tales como: la mineralogía presente, textura, dirección preferencial de los cristales, tamaño de granos, contactos y forma de los bordes de los cristales. La primera foto de izquierda a derecha son los tacos de muestra cortados, seguido del laboratorio 312 donde se elaboran las secciones finas, la imagen siguiente son las secciones finas obtenidas, posterior la descripción petrográfica de cada muestra y por último las fotomicrografías donde se resaltan los aspectos ópticos de las muestras (ver fig. 3.4).

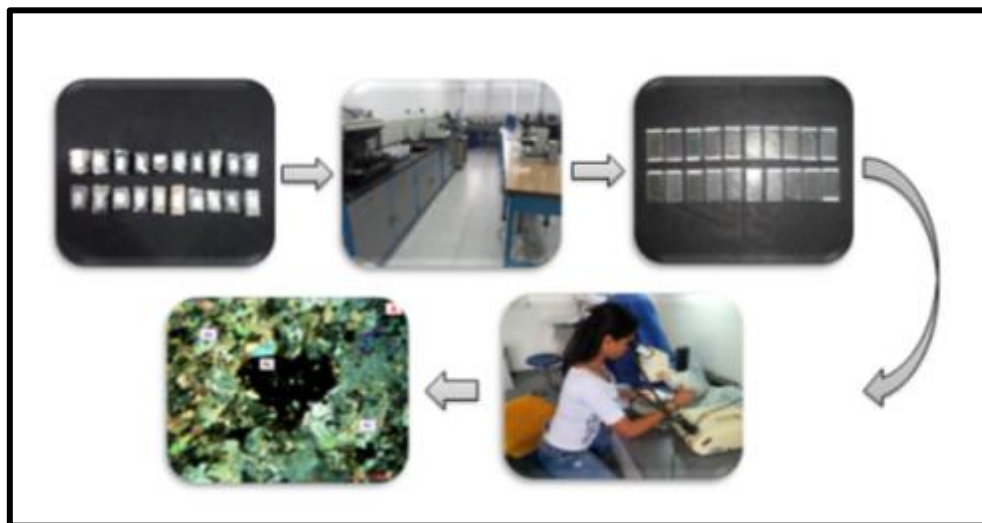


Figura 3.4 Procedimiento para el Análisis Petrográfico. Elaboración propia

Para describir las secciones finas se utilizó la planilla para petrografía de rocas ígneas y metamórficas (tomado de URBANI *et al.*, 2010) (ver fig.3.5) y para darle nombre a cada roca el sistema de clasificación SCHMID (2002) (ver fig.3.6).

Planilla para petrografía de rocas IGNEAS Y METAMÓRFICAS (LAF. 330)

Nº Muestra _____		Fecha: _____		Petrografía por: _____	
ROCA METAMÓRFICA X			ROCA ÍGNEA ____		
FÁBRICA		FOLIADA		CRISTALINIDAD	
<input type="checkbox"/> Idioblástica (euhedral) <input type="checkbox"/> Hipidioblástica (subhedral) <input type="checkbox"/> Xenoblástica (anhedral) <input type="checkbox"/> Porfidioblástica <input type="checkbox"/> Porfidioclástica		<input type="checkbox"/> Pizarra <input type="checkbox"/> Filita <input type="checkbox"/> Esquisto <input type="checkbox"/> Gneis NO FOLIADA <input type="checkbox"/> Granofel <input type="checkbox"/> Cuarcita <input type="checkbox"/> Marmol		<input type="checkbox"/> Holocristalina <input type="checkbox"/> Hipocristalina <input type="checkbox"/> Holohialina GRANULARIDAD <input type="checkbox"/> Fenérica <input type="checkbox"/> Afanítica <input type="checkbox"/> Criptocristalina	
				FÁBR. EQUIGRANULAR	
				<input type="checkbox"/> Idiomórfica (euh.) <input type="checkbox"/> Hipidiomórfica (subh.) <input type="checkbox"/> Alotriomórfica (anh.)	
				FÁBR. INEQUIGRANULAR	
				<input type="checkbox"/> Seriate <input type="checkbox"/> Porfidítica	

TAMAÑOS	Promedio (de mm a mm)	MINERALOGÍA (+ o - en orden de abundancia)	
Porfidioclastos	(-)	Nombre	%
Porfidoblastos	(-)	1-	
		2-	
Megacristales	(-)	3-	
Fenocristales	(-)	4-	
Matriz	(-)	5-	
		6-	

CLASIFICACIÓN GENERAL

Plutónica: ____ Hipoabisal: ____ Volcánica: ____

Metaplutónica: ____ Metahipoabisal: ____ Metaleva: ____ Metatoba: ____

Metasedimentaria: ____ (Metapelita: ____ Meta-carbonática: ____)

NOMBRE DE CAMPO: _____

NOMBRE PETROGRÁFICO: _____

NOMBRE PROTOLÍTICO: _____

Facies (subfacie) metamórfica: _____

Observaciones:

Figura 3.5 Planilla petrográfica utilizada para rocas ígneas y metamórficas. (URBANI *et al.*, 2010)

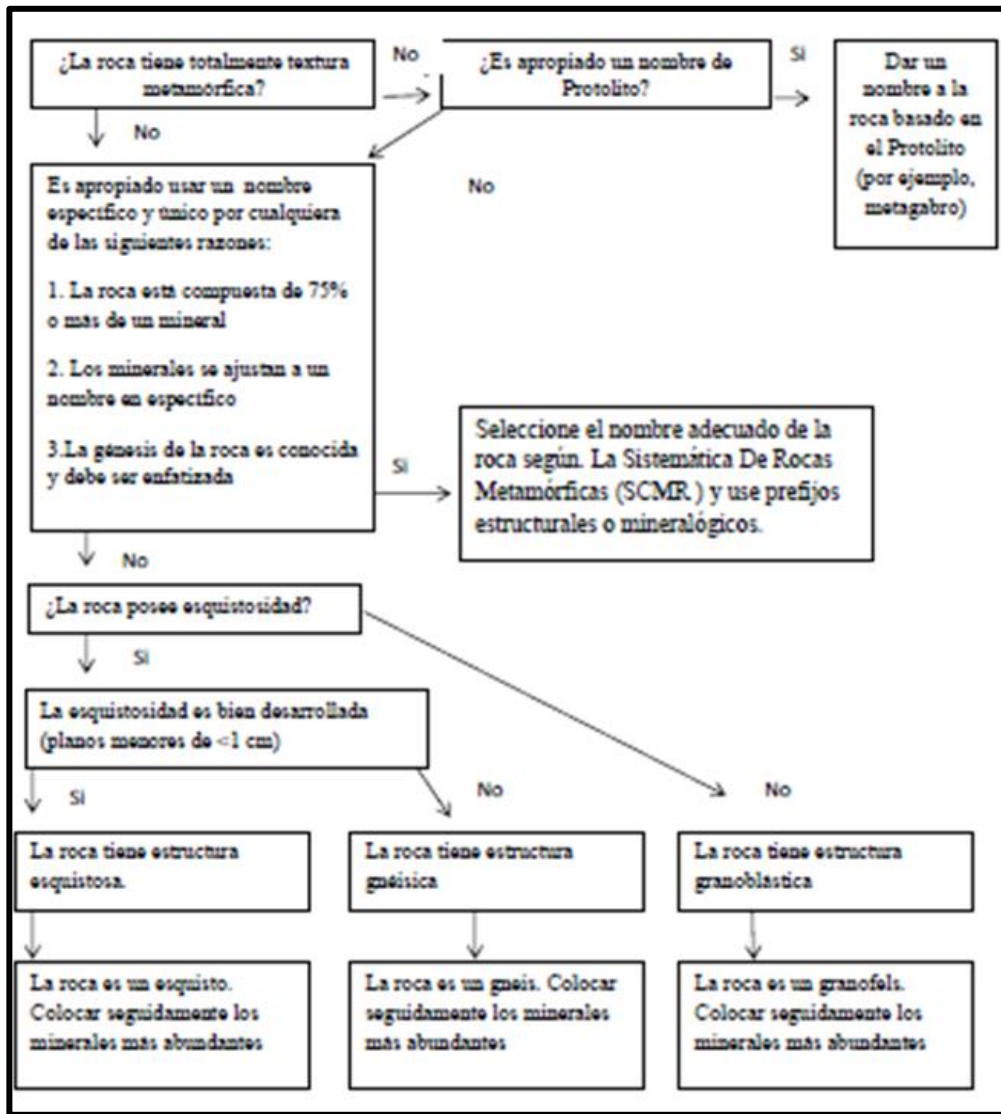


Figura 3.6 Clasificación de rocas metamórficas, según la subcomisión de La IUGS en La Sistemática De Rocas Metamórficas SCMR. Modificado de SCHMID (2002)

3.2.3.4 Análisis por Difracción de Rayos X se realizó la técnica de difracción de Rayos X, para obtener la mineralogía específica de siete muestras, representando cada una de ellas las cuatro unidades litológicas informales definidas, una por cada frente de explotación, equivaliendo así a dos muestras del grupo de Rocas Verdes, dos muestras del grupo de Rocas Bandeadas, dos muestras del grupo de rocas Grises Masivas y una muestra del grupo de Rocas Blancas (perteneciente al frente 2), ya que el frente 4 no tiene representación en este grupo.

La técnica se ejecutó en el Laboratorio 330 del Departamento de Geología de la Universidad Central de Venezuela, donde primeramente se procedió a la preparación de las muestras, consistiendo ésta en triturar una pequeña porción de muestra en el triturador *Shatterbox*, el material obtenido debe ser menor al tamaño de limo (pasar el tamiz 200) (ver fig. 3.7). Esta fracción se coloca en el portamuestras tratando en lo posible de tener una superficie de irradiación totalmente lisa. La muestra es llevada al difractómetro de Rayos X con fuente para la adquisición del espectro (Hernández, 2013) (ver fig. 3.8).

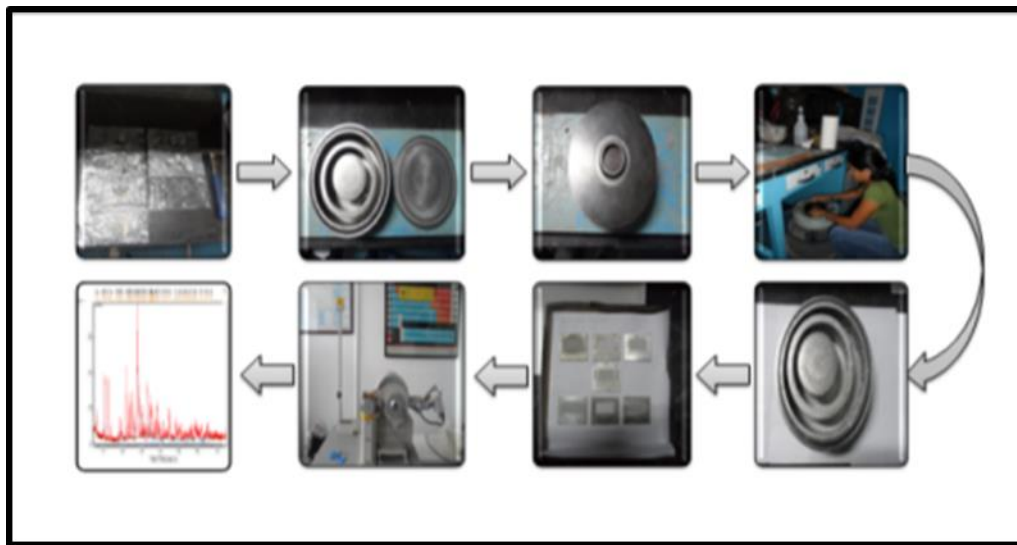


Figura 3.7 Procedimiento para el Análisis por Difracción de Rayos X. Elaboración propia

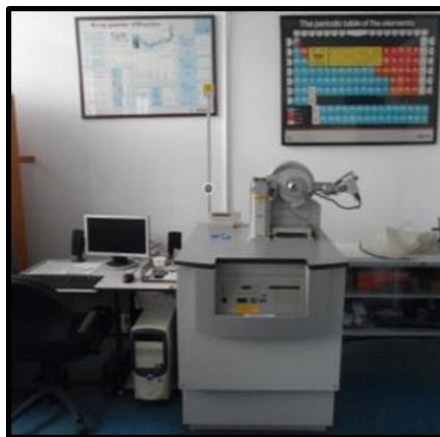


Figura 3.8 Difractómetro de Rayos X

3.2.3.6 Digitalización de Fotomosaicos de los frentes de explotación 2 y 4

esta actividad consistió en reunir toda la información tomada en la etapa II (trabajo de campo) y de manera esquemática sobre la fotografía panorámica, en el dibujador *Canvas 14*, fue vaciada toda la información adquirida. Se delimitó mediante polígonos irregulares los diferentes cuerpos, pertenecientes a las diferentes unidades litológicas informales definidas, tomando en cuenta parámetros descriptivos (color y textura) y parámetros estructurales (patrones de diaclasas y foliación), así como también la ubicación *in situ* de las muestras tomadas (ver fig. 3.9).

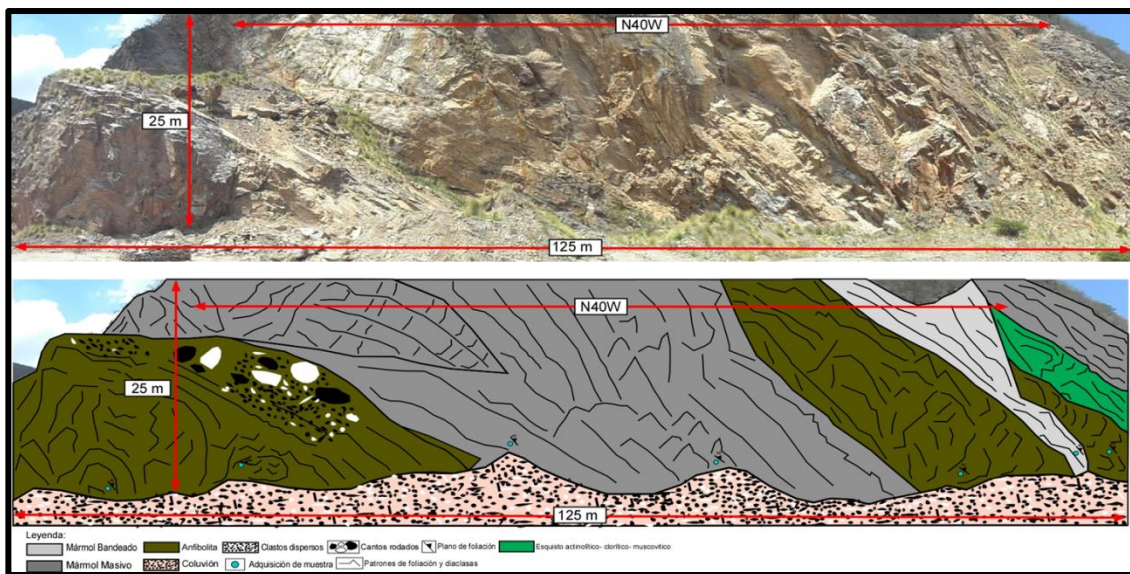


Figura 3.10 Ejemplo de fotomosaico descriptivo. Elaboración propia

3.2.3.7 Cartografía Geológica de los frentes de explotación 2 y 4

para la realización del mapa geológico se ubicaron las hojas de FUNVISIS (2003), concerniente a la zona de estudio, específicamente las hojas 6747-I-SE (Carayaca) y 6847-IV-SO (Caracas), ambas en formato ráster (JPG). Mediante *ArcMap 10.3* del software *ArcGIS 10.3* se procedió a georeferenciar las hojas en el sistema de proyección *Universal Transversa Mercator (UTM)*, Datum REGVEN huso 19N. Posteriormente con la barra de herramientas del editor se vectorizaron los datos geológicos: drenaje, fallas, contactos, foliación y tipos litológicos; además se añadieron los vectoriales del perímetro de cada frente de explotación.

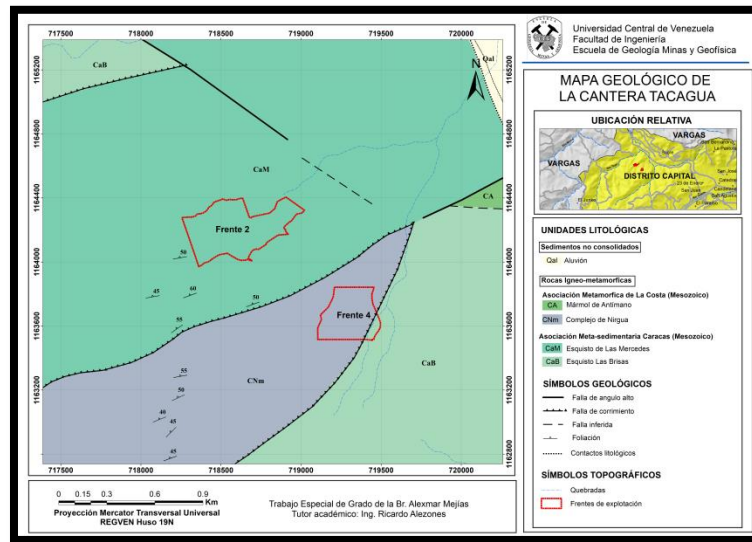


Figura 3.11 Ejemplo del mapa geológico de los frentes 2 y 4 de la cantera Tacagua. Elaboración propia

3.3.9 Estimación del volumen del macizo rocoso se empleó en el *software ArcMap 10.3*, se añadió el *feature class* de las curvas de nivel que se encontraban dentro de los linderos de cada uno de los frentes de explotación 2 y 4, puesto que estos poseen datos de altimetría en la tabla de atributos se logró crear un TIN, para posteriormente estimar el volumen con la herramienta “*Polygon volumen*”. Para su visualización en 3D, se insertó en *ArcScene 10.3* el TIN generado previamente en *ArcMap 10.3*.

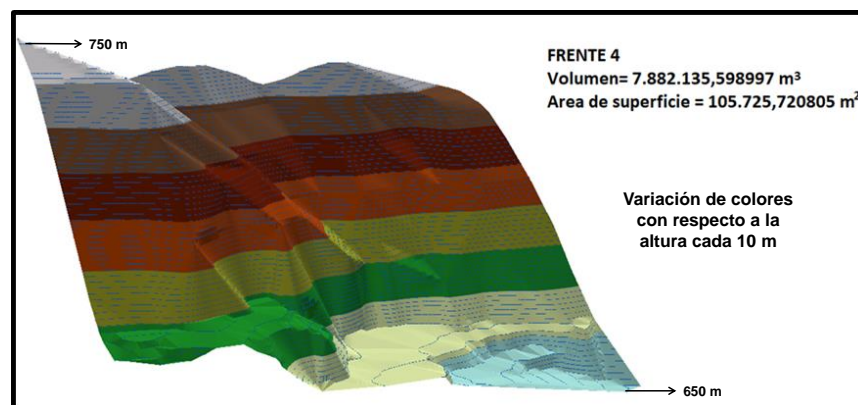


Figura 3.12 Ejemplo de cálculo de volumen del macizo rocoso frente 4. Elaboración propia

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1 GENERALIDADES

Este capítulo tiene como base la etapa de estudio realizada en campo en los frentes 2 y 4 de la cantera Tacagua, ubicada en la localidad de la Hacienda Boca de Topo, Distrito Capital cuyo acceso se desde el km 11 de la autopista Caracas- La Guaira. A la cantera se accede cruzando a la derecha en el Sector el Limón, después de la pasarela, pasando por el túnel debajo de la autopista y atravesando la quebrada de Tacagua, donde se hace un recorrido de 2 km hasta llegar al portón de las instalaciones de la empresa VARCAM. Este capítulo también abarca la etapa de laboratorio y oficina realizada en el Laboratorio 330 del Departamento de Geología de la Universidad Central de Venezuela.

El levantamiento geológico se realizó en los frentes 2 y 4 de la cantera Tacagua, el cual consistió en la descripción geológica de cada frente y las características observables a simple vista, para la identificación de las diferentes unidades litológicas informales definidas, toma de muestras bajo un esquema lineal horizontalmente, distribuidas a lo largo de cada frente, tomando en cuenta cambios litológicos y competencia de la roca, toma de fotografías panorámicas para posterior digitalización de fotomosaicos descriptivos, todo descrito a detalle en el capítulo 3.

El análisis petrográfico fue realizado a 20 muestras, 10 de cada frente de explotación 2 y 4, representativas de las unidades litológicas informales definidas. A través de un microscopio de luz polarizada, en el cual se tomaron también fotomicrografías, para resaltar los aspectos más importantes de cada roca. La nomenclatura utilizada para identificar los minerales se tomó de MACKENZIE *et al.*, (1997) (ver tabla 4.1).

Tabla 4.1 Nomenclatura utilizada en el análisis petrográfico, tomada de MACKENZIE *et al.*, (1997).

Albita (Ab)	Actinolita (Act)	Biotita (Bt)	Calcita (Cal)	Calcita matriz (ma)
Circón (Zr)	Clinozoisita (Czo)	Clorita (Chl)	Cuarzo (Qz)	Cuarzo Monocristalino (Qm)
Dolomita (Dol)	Enstatita (En)	Epídota (Ep)	Glaucofano (Gin)	Grafito (G)
Granate (Grt)	Leucoxeno (Lcx)	Limonita (Li)	Muscovita (Ms)	Omfacita (Omp)
Ortosa (Or)	Pirita (Py)	Sericita (Sec)	Talco (Tlc)	Zoisita (Zo)

El análisis de difracción de Rayos X fue realizado a 7 muestras, las cuales son representativas de Las unidades litológicas informales definidas, específicamente: 2 del tipo litológico Rocas Verdes, 2 de Rocas Bandeadas, 2 de rocas Grises Masivas y 1 de Rocas Blancas (perteneciente al frente 2), ya que en el frente 4 no aflora este tipo litológico (ver tabla 4.2)

Tabla 4.2 Nomenclatura utilizada en el análisis de difracción de Rayos X, tomada de MACKENZIE *et al.*, (1997).

Albita (Ab)	Anfíbol (Am)	Calcita (Cal)	Calcosina (Ce)	Clorita (Chi)
Cordierita (Crd)	Cuarzo (Qtz)	Dickita (Dkt)	Dolomita (Dol)	Enstatita (En)
Magnetita (Mag)	Muscovita (Ms)	Omfacita (Omp)		

De acuerdo a la litología encontrada durante el levantamiento geológico, se dividieron las muestras en cuatro grupos litológicos, teniendo en cuenta los parámetros tales como: aspecto físico (color fresco y meteorizado) y textura. También se realizó su respectivo análisis petrográfico y análisis por difracción de Rayos X.

A continuación se presentan las unidades litológicas informales definidas:

4.2. UNIDAD LITOLÓGICA INFORMAL: ROCAS VERDES (GRUPO I)

Esta unidad informal se encuentra presente en ambos frentes de explotación 2 y 4 de la cantera Tacagua, donde en el frente 2 se ubica al extremo oeste del frente con una orientación N20°E; se haya cubierto por una capa de vegetación baja y ocupa un espacio aproximado de 13 % del espacio total. En el frente 4 se localiza en la parte central de dicho frente y al extremo este con una orientación N50°O y ocupa un espacio aproximado de 30 % del espacio total. Las rocas que componen a esta unidad informal son bastante competentes y frágiles, lo que hace que se fracturen y generen diaclasas; se constituye de varios tipos de rocas, las cuales serán descritas a continuación:

4.2.1 MUESTRA: MCTF2 (1), (FRENTE N° 2 SUR)

Descripción general: Presenta un color fresco oliva oscuro y color meteorizado verde claro, la mineralogía está constituida principalmente por anfíboles verdes 70 %, cuarzo 25 % y limonita 5 % en forma de costras, el tamaño de los cristales es de 1 a 2mm, debido a la baja presencia de contenido de calcita, la reacción al HCl (efervescencia) es poca, los cristales tienen un hábito granular, posee textura granoblástica y fábrica xenoblástica, no tiene bandeamiento, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como una Anfibolita (ver fig. 4.1).

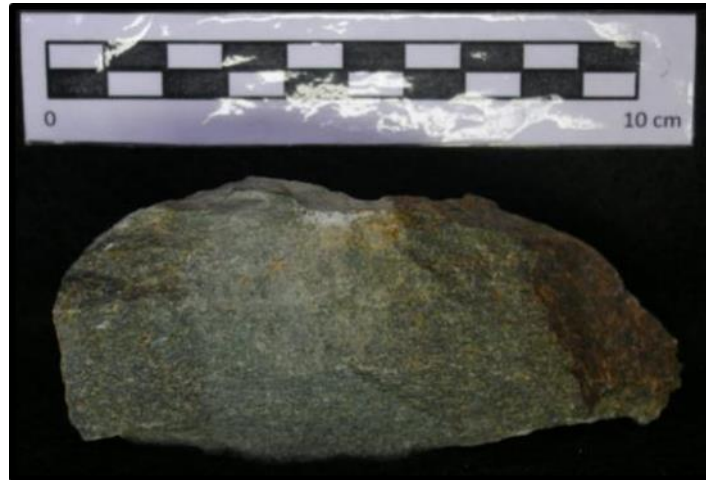


Figura 4.1 Vista general de la muestra de mano MCTF2 (1).

Descripción petrográfica

Nombre de la roca: Anfibolita. Se encuentra constituida por actinolita 50 %, clorita 18 %, clinzoisita 12 %, zoisita 7 %, albita 6 %, granate 3 %, calcita 2 %, pirita 1 % y limonita 1 %; roca no foliada, la cual exhibe una textura granolepidoblástica, presenta alineación y alargamiento, por el hábito de los cristales de actinolita en sección longitudinal, clorita y granular por la clinzoisita, zoisita, albita, granate y calcita, posee fábrica hipidioblástica. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,9 mm (ver fig. 4.2).

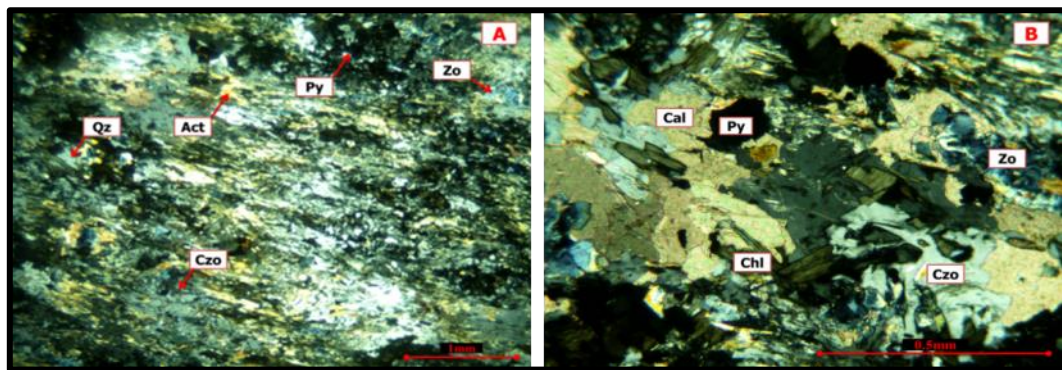


Figura 4.2 Muestra: MCTF2 (1). Anfibolita. A) aspecto general de la muestra, con textura granolepidoblástica, NC 2,5x. B) cristales de clorita con hábito fibroso y demás cristales con hábito granular, NC 10x.

Asociación mineral:

- **Actinolita:** verde, con pleocroísmo verde claro a verde, relieve medio, extinción recta, birrefringencia media y color de interferencia amarillo de segundo orden, figura de interferencia biaxial, se encuentra de manera alargada. Tamaño de los cristales mayor a 0,1 mm.
- **Clorita:** incoloro, con pleocroísmo de incoloro a verde muy claro, relieve bajo, extinción recta, birrefringencia baja y color de interferencia verde de segundo orden, figura de interferencia biaxial, presente con un hábito fibroso, en cúmulos y como alteración del granate. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,5 mm.
- **Clinozoisita:** incoloro y anhedral, con pleocroísmo de incoloro a amarillo muy claro, relieve medio, extinción asimétrica, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia biaxial, presente de forma granular y con inclusiones de actinolita. Tamaño de los cristales mayor a 0,5 mm.
- **Zoisita:** crema, desarrollo de sus caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve alto, extinción paralela, birrefringencia baja y color de interferencia azul de segundo orden, figura de interferencia biaxial, se encuentra de forma granular y en inclusiones en la albita. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,3 mm.
- **Albita:** incolora y anhedral, relieve bajo, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, los cristales se encuentran en forma granular y con inclusiones de actinolita y zoisita. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,9 mm.
- **Granate:** crema e isótropo, relieve alto y anhedral, con inclusiones de zoisita y actinolita, alterando casi en su totalidad a clorita. Tamaño de los cristales 0,4 a 0,9 mm.
- **Calcita:** se presenta en cristales anhedrales, colores de interferencia característicos y en ocasiones maclado. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,4 mm.

- **Pirita:** mineral opaco y anedral, amarillo latón bajo la luz reflejada, se encuentran de manera dispersa y en inclusiones en la calcita. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,5 mm.
- **Limonita:** mineral opaco de color pardo amarillo, se presenta de forma masiva, bordeando y en grietas en la pirita.

Análisis por difracción de Rayos X: Las fases mineralógicas presentes (ver fig. 4.3 y tabla 4.3) son la albita siendo el pico de mayor intensidad, seguido del anfíbol y la clorita, estas series basales de picos se correlacionan en su totalidad con la mineralogía descrita en la sección fina, donde el de mayor porcentaje es la actinolita 50 %, posterior la clorita 18 % y la albita 6 % en menor porcentaje.

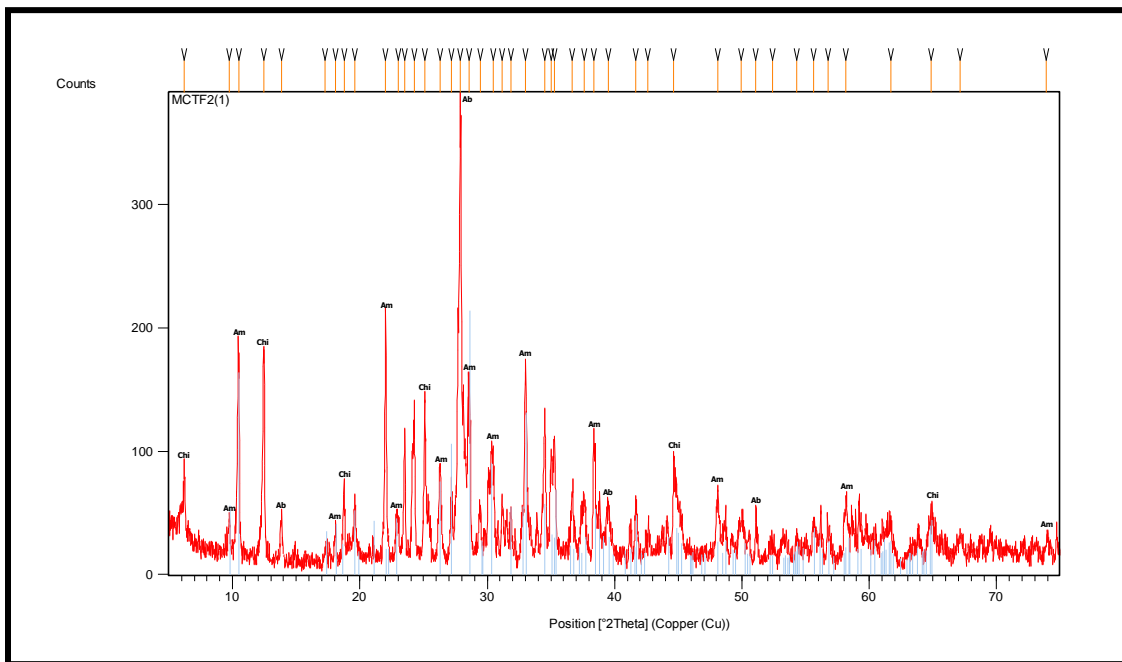


Figura 4.3 Difractograma de la muestra MCTF2 (1). Ab= Albita, Am= Anfíbol y Chi: Clorita.

Tabla 4.3 Registro correspondiente a los picos más elevados. Muestra MCTF2 (1).

d-spacing (Å)	% Intensidad	(°2Theta)	Mineral
3,19	100	27,89	Albita
4,03	54,37	22,03	Anfíbol
7,11	43,22	12,45	Clorita

4.2.2 MUESTRA: MCTF4 (4), (FRENTE N°4 OESTE)

Descripción general: Presenta un color fresco oliva oscuro y color meteorizado verde claro, el tamaño de los cristales es de 0,3 a 2 mm, la mineralogía está constituida principalmente por anfíboles verdes 90 % y el 10 % de los minerales restantes por cuarzo 5 % y calcita 5 % en forma de costras, la efervescencia al HCl es poca, los cristales tienen un hábito granular, tiene una textura granoblástica y fábrica xenoblástica, no presenta bandeamiento, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como una Eclogita (ver fig. 4.4).

**Figura 4.4** Vista general de la muestra de mano MCTF4 (4).

Descripción Petrográfica:

Nombre de la roca: Eclogita. Se encuentra constituida por omfacita 58 %, calcita 15 %, enstatita 8 %, granate 8 %, actinolita 7 %, glaucofano 3 %, pirita 0,5 %, circón 0,3 % y cuarzo 0,2 %; roca no foliada, muestra una textura granoblástica y

fábrica hipidioblástica. El tamaño de los cristales varía de 0,06 a 0,7mm (ver fig.4.5a).

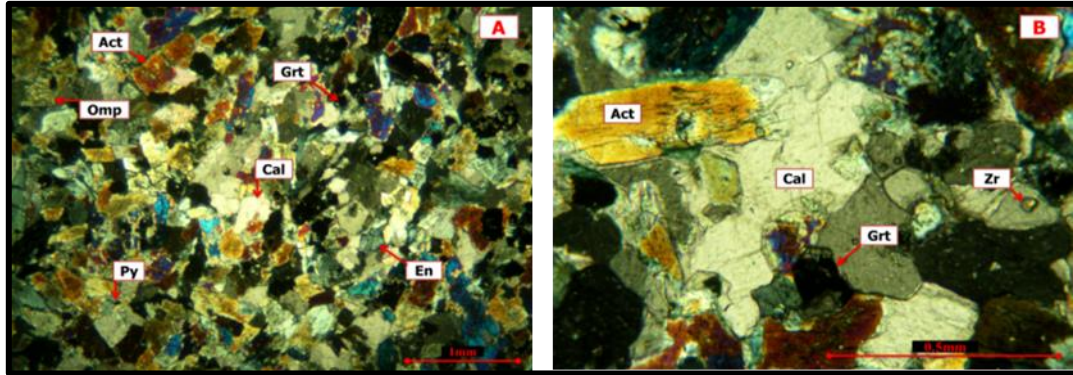


Figura 4.5 Muestra: MCTF4 (4). Eclogita. A) aspecto general de la muestra, con textura granoblástica, NC 2,5x. B) cristal de actinolita con hábito prismático y demás cristales con hábito granular, NC 10x.

Asociación mineral:

- **Ompacita:** incolora, con desarrollo de sus caras cristalinas de subhedral a anhedral, presenta pleocroísmo de incoloro a verde claro, relieve medio, extinción asimétrica, birrefringencia media, color de interferencia amarillo de primer orden y figura de interferencia biaxial, se encuentra de forma granular. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,4 mm.
- **Calcita:** incolora, con desarrollo de sus caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve medio, se presentan en forma granular, algunos cristales presentan el maclado característico, color de interferencia rosado de quinto orden. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,3 mm.
- **Enstatita:** incolora, con desarrollo de sus caras cristalinas de subhedral a anhedral, presenta pleocroísmo de incoloro a verde claro, relieve medio, extinción paralela, birrefringencia baja, color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia biaxial, se encuentra de forma granular. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,4 mm.

- **Granate:** rosado pálido, con desarrollo de sus caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve alto, isótropo, presente de forma granular, algunos cristales redondeados y otros con su hábito característico dodecaedro. Tamaño de los cristales 0,03 a 0,1 mm.
- **Actinolita:** verde y pleocroísmo verde claro a verde, con desarrollo de sus caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve medio, extinción recta, birrefringencia media y color de interferencia amarillo de segundo orden, figura de interferencia biaxial, se encuentra de manera alargada. Tamaño de los cristales 0,2 a 0,7 mm.
- **Glaucofano:** violeta con pleocroísmo violeta a verde y desarrollo de sus caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve medio, extinción oblicua, birrefringencia media y color de interferencia verde de segundo orden, figura de interferencia biaxial, se encuentra de manera dispersa y prismas cortos. Tamaño de los cristales 0,2 a 0,9 mm.
- **Pirita:** mineral opaco, desarrollo de sus caras cristalinas de subhedral a anhedral, amarillo latón bajo la luz reflejada, se encuentran de manera dispersa. Tamaño de los cristales 0,06 a 0,2 mm.
- **Circón:** mineral traza incoloro y de alto relieve, presente en forma de inclusiones en los cristales de calcita, de manera dispersa.
- **Cuarzo:** incoloro y anhedral, relieve bajo, extinción ondulatoria, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, se encuentra en forma de agregado y de manera dispersa, bordeando cristales de calcita, actinolita y granate.

Análisis por difracción de Rayos X: Las fases mineralógicas más abundantes son la omfacita y la enstatita (ver fig. 4.5b y tabla 4.4), las cuales se correlacionan con la mineralogía identificada en la sección delgada de la muestra, con 58 % de omfacita, 8 % de enstatita y trazas de cuarzo. A diferencia de la serie basal del pico de cordierita, la cual no se correlaciona con la sección fina ya que no fue identificada,

pero si se encuentra presente en la muestra, por la representación del pico en el difractograma.

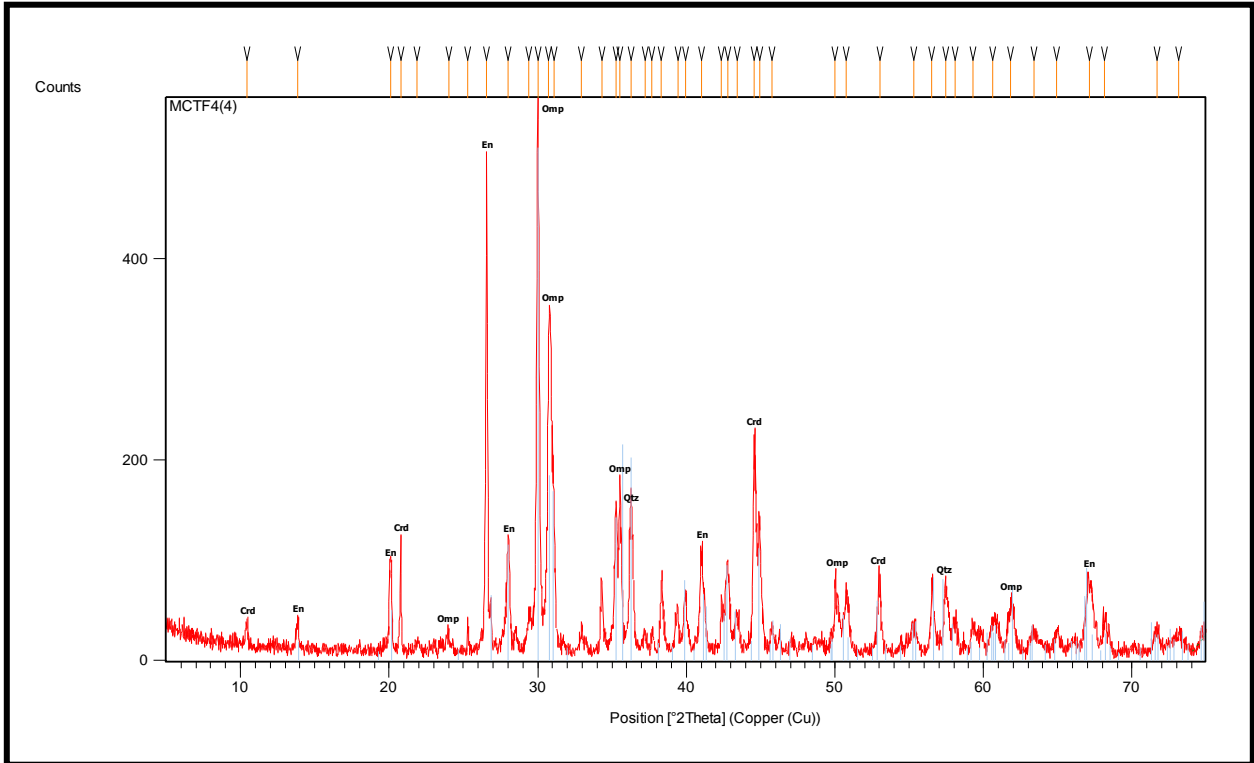


Figura 4.5 Difractograma de la muestra MCTF4 (4). Omp= Omfacita, En= Enstatita, Qtz= Cuarzo y Crd= Cordierita.

Tabla 4.4 Registro correspondiente a los picos más elevados. Muestra MCTF4 (4).

d-spacing (Å)	% Intensidad	(°2Theta)	Mineral
2,98	100	30	Omfacita
3,36	91,99	26,55	Enstatita
2,47	29,49	36,29	Cuarzo
1,98	3,65	45,78	Cordierita

4.2.3 MUESTRA: MCTF4 (5), (FRENTE N°4 OESTE)

Descripción general: Presenta un color fresco gris oliva oscuro y color meteorizado gris pardo, la mineralogía se encuentra conformada por anfíboles verdes 80 % y demás constituyentes muscovita 10 %, cuarzo 5 %, limonita 3 % formando costras de óxido y calcita 2 %, el tamaño de los cristales es de 0,5 a 2 mm, los cristales tienen un hábito granular, la muestra de mano reacciona poco al HCl y tiene una textura granoblástica de fábrica xenoblástica, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como una Anfibolita Epidótica (ver fig. 4.6).



Figura 4.6 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (5).

Descripción Petrográfica:

Nombre de la roca: Anfibolita Epidótica: se encuentra constituida por actinolita 50 %, zoisita 12 %, calcita 10 %, clinozoisita 8 %, cuarzo 5 %, ortosa 5 %, muscovita 4 %, granate 3 %, epidota 2,5 % y limonita 0,5 %, exhibe una textura granoblástica de fábrica hipidioblástica a xenoblástica, el tamaño de los cristales es de 0,03 a 1,5 mm (ver fig. 4.7).

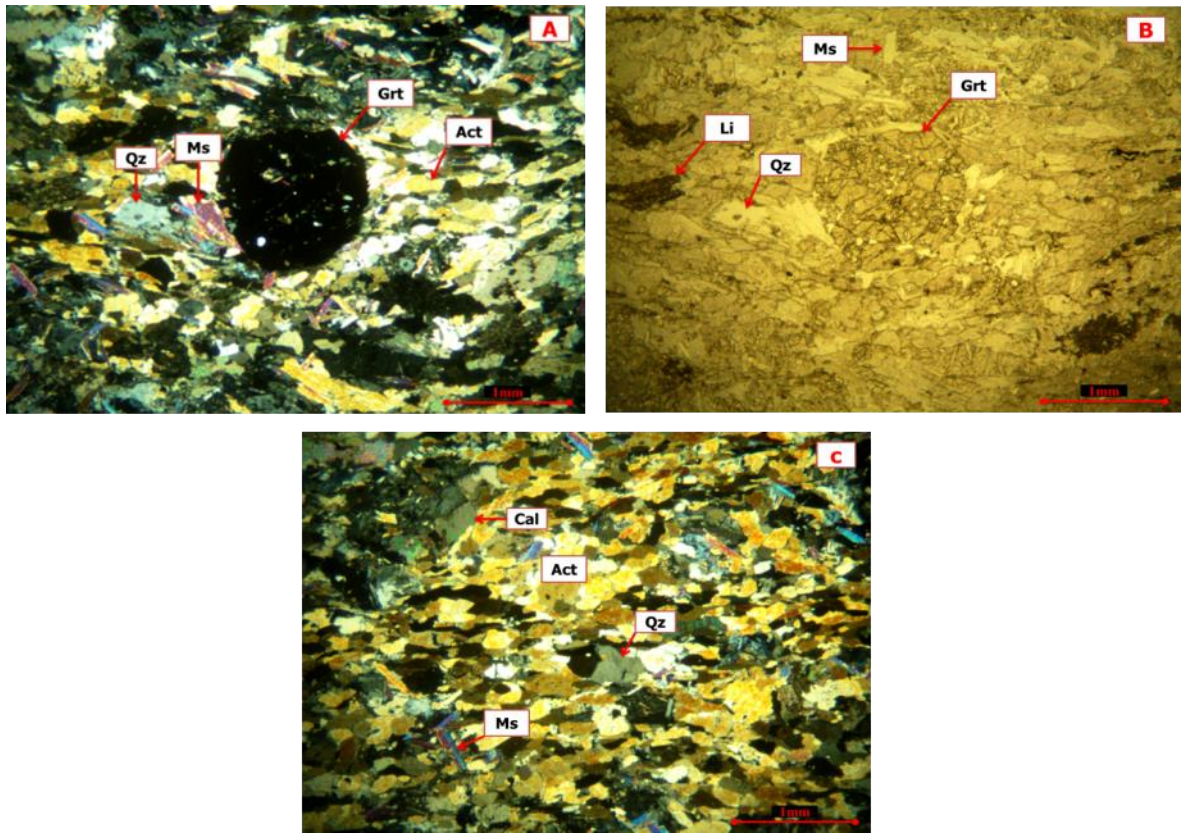


Figura 4.7 Muestra: MCTF4 (5). Anfibolita Epidiótica. A) Cristal de granate en el centro con inclusiones de cuarzo, muscovita, calcita y zoisita, NC 2,5x. B) cristales de muscovita, cuarzo y limonita, alrededor de un cristal de granate, NP 2,5x. C) Aspecto general de la muestra con textura granoblástica y fábrica hipidioblástica a xenoblástica, NC 2,5x.

Asociación mineral:

- **Actinolita:** verde, con pleocroísmo verde claro a verde, relieve medio, extinción simétrica, birrefringencia media y color de interferencia amarillo de segundo orden, figura de interferencia biaxial, se encuentra de manera granular, alargada y como inclusiones en el granate. Tamaño de los cristales 0,1 a 1,5 mm.
- **Zoisita:** incolora, con desarrollo de sus caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve alto, extinción recta, birrefringencia baja, color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia biaxial, se encuentra de forma granular y alargada. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,7 mm.

- **Calcita** incolora y anhedral, relieve medio, se presentan en forma granular, algunos cristales presentan el maclado característico y otros fracturados, el color de interferencia rosado de quinto orden. Tamaño de los cristales 0,1 a 1,2 mm.
- **Clinozoisita:** pardo claro y con desarrollo de sus caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve alto, extinción simétrica, birrefringencia baja y color de interferencia azul de segundo orden, figura de interferencia biaxial, se encuentra de forma granular, disperso y como inclusiones en el granate. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,3 mm.
- **Cuarzo:** incoloro y anhedral, relieve medio, color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia uniaxial, se encuentra de manera dispersa y en mosaicos, extinción ondulatoria. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,3mm.
- **Ortosa:** incolora y anhedral, relieve bajo, figura de interferencia biaxial, color de interferencia gris de primer orden, algunos cristales con el maclado característico tipo Carlsbad, presente en forma granular. Tamaño de los cristales 0,06 a 0,3 mm.
- **Muscovita:** incolora, con desarrollo de caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve medio, extinción paralela, figura de interferencia biaxial, birrefringencia alta y color de interferencia azul de tercer orden. Dispuesta de forma aleatoria y con hábito laminar. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,5 mm.
- **Granate:** crema e isótropo, con desarrollo de sus caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve alto, presente de forma granular, cristales redondeados y con inclusiones de varios minerales (cuarzo, muscovita, calcita, zoisita, clinozoisita y epidota. El tamaño de los cristales va de 0,3 a 1,5 mm.
- **Epidota:** crema y anhedral, relieve alto, extinción recta, birrefringencia alta y color de interferencia rosado y verde de segundo orden, presente como agregados granulares, dispersos y en inclusiones en el granate y calcita. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,3 mm.

- **Limonita:** mineral opaco de color pardo oscuro y anhedral, se presenta de forma granular y disperso. El tamaño de los cristales va de 0,06 a 0,3 mm.

4.2.4 MUESTRA: MCTF4 (8), (FRENTE N°4 OESTE)

Descripción general: Presenta un color fresco gris oliva y color meteorizado gris pardo oscuro, el tamaño de los cristales es de 1 a 2 mm, la mineralogía está constituida principalmente por anfíboles verdes 85 % y el 15 % de los minerales restantes por calcita 10 % y cuarzo 5 %, presencia de costras de óxido y vetas de calcita, la muestra de mano reacciona al HCl, los cristales tienen un hábito granular, tiene una textura granoblástica y fábrica xenoblástica, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como una Anfibolita (ver fig. 4.8).



Figura 4.8 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (8).

4.2.5 MUESTRA: MCTF4 (13), (FRENTE N°4 ESTE)

Descripción general: Presenta un color fresco gris oliva y color meteorizado gris verdoso, la mineralogía se encuentra constituida por anfíboles verdes 75 % y el resto de los constituyentes calcita 10 % en forma de costras, cuarzo 7 %, muscovita 5 % y granate 3 %, el tamaño de los cristales es de 0,5 a 2mm, la muestra de mano reacciona al HCl, los cristales tienen un hábito granular, posee una textura granoblástica y fábrica xenoblástica, no tiene bandeamiento, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002) como una Anfibolita (ver fig. 4.9).



Figura 4.9 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (13).

Descripción Petrográfica:

Nombre de la roca: Anfibolita. Se encuentra constituida por actinolita 48 %, enstatita 18 %, granate 10 %, zoisita 8 %, calcita 6 %, muscovita 5 %, albita 2 %, cuarzo 2 % y pirita 1 %, roca no foliada, muestra una textura granoblástica y fábrica hipidioblástica. Tamaño de los cristales 0,06 a 1 mm (ver fig. 4.10).

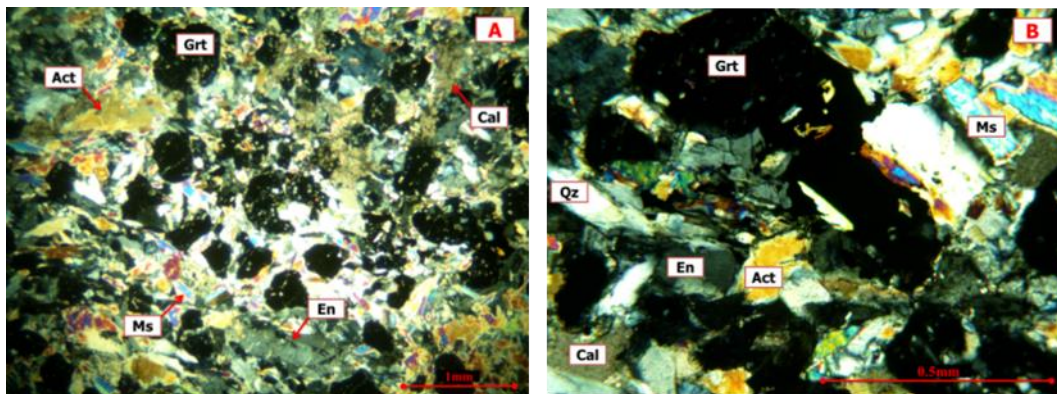


Figura 4.10 Muestra: MCTF4 (13). Anfibolita. A) aspecto general de la muestra, con textura granoblástica, en el centro cristales de granate con inclusiones de cuarzo, actinolita y enstatita., NC 2,5x. B) fábrica hipidioblástica, cristales de actinolita, granate, cuarzo, enstatita y calcita con hábito granular, muscovita con hábito laminar, NC 10x.

Asociación mineral:

- **Actinolita:** verde, con pleocroísmo verde claro a verde, relieve medio, extinción recta, birrefringencia media y color de interferencia amarillo de segundo orden, figura de interferencia biaxial, se encuentra de manera fibrosa. Tamaño de los cristales 0,1 a 1 mm.
- **Enstatita:** incolora y anhedral, presenta pleocroísmo de incoloro a verde claro, relieve medio, extinción paralela, birrefringencia baja, color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia biaxial, se encuentra de forma granular. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,7 mm.
- **Granate:** crema y anhedral, relieve alto, isótropo, presente de forma granular y redondeados, algunos cristales con inclusiones de cuarzo, actinolita y enstatita. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,5 mm.
- **Zoisita:** pardo claro y anhedral, relieve alto, extinción paralela, birrefringencia baja y color de interferencia azul de segundo orden, figura de interferencia biaxial, se encuentra de forma granular y disperso. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,3 mm.
- **Calcita:** incolora, con desarrollo de sus caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve medio, se presentan en forma granular, color de interferencia rosado de quinto orden. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,3 mm.
- **Muscovita:** incolora, relieve medio, hábito laminar, extinción paralela, color de interferencia azul de segundo orden, se presenta en forma aleatoria. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,4 mm.
- **Albita:** incolora y anhedral, relieve bajo, birrefringencia baja, color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia biaxial. Tamaño de los cristales 0,06 a 0,3 mm.
- **Cuarzo:** incoloro y anhedral, relieve bajo, extinción ondulatoria, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, los cristales se encuentra en forma granular y de manera dispersa. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,4 mm.

- **Pirita:** opaco y anhedral, amarillo latón bajo la luz reflejada, se encuentran de manera dispersa. Tamaño de los cristales 0,06 a 0,2 mm.

4.2.6 MUESTRA: MCTF4 (14), (FRENTE N°4 ESTE)

Descripción general: Presenta un color fresco gris oliva oscuro y color meteorizado ocre oscuro, el tamaño de los cristales es de 0.3 a 2 mm, la mineralogía está constituida principalmente por anfíboles verdes 85 % y el 15 % de los minerales restantes por cuarzo 7 %, limonita 5 % y calcita 3 %, la efervescencia al HCl es poca, los cristales tienen un hábito granular, tiene una textura granoblástica y fábrica xenoblástica, no presenta bandeamiento, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como una Anfibolita (ver fig. 4.11).



Figura 4.11 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (14).

4.2.7 MUESTRA: MCTF4 (15), (FRENTE N°4 ESTE)

Descripción general: Presenta un color fresco gris oliva claro y color meteorizado ocre, el tamaño de los cristales es de 0,3 a 2 mm, la mineralogía está constituida principalmente por anfíboles verdes 65 % y el 35 % de los minerales restantes por muscovita 15 %, clorita 10 %, limonita 4 %, cuarzo 3 % y calcita 3 %, la muestra de mano reacciona al HCl, los cristales presentan un hábito laminar, formando una textura no foliada granoblástica bandeada, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Anfibolita Micácea (ver fig. 4.12).



Figura 4.12 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (15).

Descripción Petrográfica:

Nombre de la roca: Anfibolita Micácea. Se encuentra constituida por actinolita 50 %, clorita 22 %, muscovita 10 %, enstatita 7 %, calcita 3 %, zoisita 2 %, cuarzo 2 %, leucoxeno 2 %, pirita 1 % y limonita 1 %, roca no foliada, presenta una textura porfidoblástica bandeada y fábrica hipidioblástica. Muestra deformación en las micas, bordeando a los cristales subhedrales y anhedrales de la actinolita. Tamaño de los cristales 0,06 a 0,6mm (ver fig. 4.13).

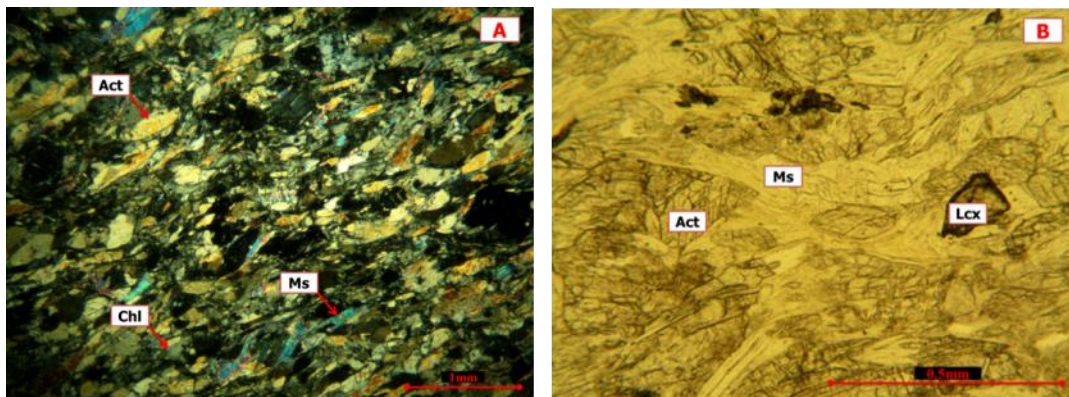


Figura 4.13 Muestra: MCTF4 (15). Anfibolita Micácea. A) aspecto general de la muestra, con textura porfidoblástica y fábrica hipidioblástica, NC 2,5x. B) cristales de actinolita, muscovita y leucoxeno, NC 10x.

Asociación mineral:

- **Actinolita:** verde, con pleocroísmo verde claro a verde, relieve medio, extinción recta, birrefringencia media y color de interferencia amarillo de segundo orden, figura de interferencia biaxial, se encuentra de manera fibrosa y alargada. Tamaño de los cristales mayor a 0,1 a 0,6 mm.
- **Clorita:** incoloro, con pleocroísmo de incoloro a verde muy claro, relieve bajo, extinción ondulatoria, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia biaxial, presente con un hábito fibroso y bordeando los cristales de actinolita. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,6 mm.
- **Muscovita:** incolora, con desarrollo de sus caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve medio, hábito laminar, extinción paralela, color de interferencia azul de segundo orden, se presenta en forma fibrosa y bordeando los cristales de actinolita. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,5 mm.
- **Enstatita:** incolora y con desarrollo de sus caras cristalinas de subhedral a anhedral, presenta pleocroísmo de incoloro a verde claro, relieve medio, extinción paralela, birrefringencia baja, color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia biaxial, se encuentra de forma granular. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,4 mm.
- **Calcita:** presente en forma de matriz de grano fino y granular, de manera dispersa.
- **Cuarzo:** incoloro y anhedral, relieve bajo, extinción ondulatoria, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, los cristales se encuentra en forma granular y de manera dispersa. Tamaño de los cristales 0,06 a 0,2 mm.
- **Zoisita:** pardo claro, con desarrollo de sus caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve alto, extinción paralela, birrefringencia baja y color de interferencia azul de segundo orden, figura de interferencia biaxial, se encuentra de forma granular y disperso. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,3 mm.

- **Leucoxeno:** opaco y anhedral, bajo luz reflejada es de color blanco, presente en forma aleatoria. Tamaño de los cristales 0,03 a 0,2 mm.
- **Pirita:** opaco y anhedral, amarillo latón bajo la luz reflejada, se encuentran de manera dispersa y alterada. Tamaño de los cristales 0,06 a 0,2 mm.
- **Limonita:** opaco y anhedral, bajo luz reflejada amarillo latón, se presenta como alteración de la pirita.

4.3 UNIDAD LITOLÓGICA INFORMAL: ROCAS BANDEADAS (GRUPO II)

Esta unidad informal se encuentra presente en ambos frentes de explotación 2 y 4 de la cantera Tacagua, donde en el frente 2 se haya de manera alargada y en forma tabular paralela, abarcando un espacio aproximado de 20 % del espacio total. En el frente 4 se localiza al extremo este u oeste con una orientación N40°O, dispuesta en franjas diagonales, abarcando un espacio aproximado de 10 % del espacio total. Las rocas que constituyen a esta unidad informal, serán descritas a continuación:

4.3.1 MUESTRA: MCTF2 (2), (FRENTE N° 2 SUR)

Descripción general: Presenta un color fresco gris claro azulado y color meteorizado gris claro con tonalidades verdes, el tamaño de los cristales es de 1 a 3mm, la mineralogía está constituida principalmente por calcita 80 %, y el resto lo conforman cristales de muscovita 10 %, cuarzo 5 %, clorita 3 %, pirita 1 %, limonita 1 %, este último mineral también se encuentra presente en forma de costras. Dichos minerales se encuentran dispuestos de manera sectorizada en la muestra de mano. Los cristales de calcita y cuarzo tienen un hábito granular, mientras que los cristales de muscovita y clorita poseen un hábito hojoso. La muestra de mano reacciona al HCl y tiene una textura bandeada y fábrica xenoblástica, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Mármol bandeado. Roca protolito caliza (ver fig.4.14).



Figura 4.14. Vista general de la muestra de mano MCTF2 (2).

Descripción Petrográfica:

Nombre de la roca: Mármol bandeado. Se encuentra constituido por calcita 87,5 %, muscovita 5,3 %, cuarzo 4 %, pirita 1,5 %, clorita 1,2 % y limonita 0,5 %, exhibe una textura granoblástica de fábrica hipidioblástica, donde los cristales varían de tamaño en franjas paralelas, los de menor tamaño van de 0,2 a 0,5 mm y los de mayor tamaño van de 0,5 a 0,8 mm. Presencia de una veta de calcita, delimitada por cristales de clorita y muscovita (ver fig.4.15).

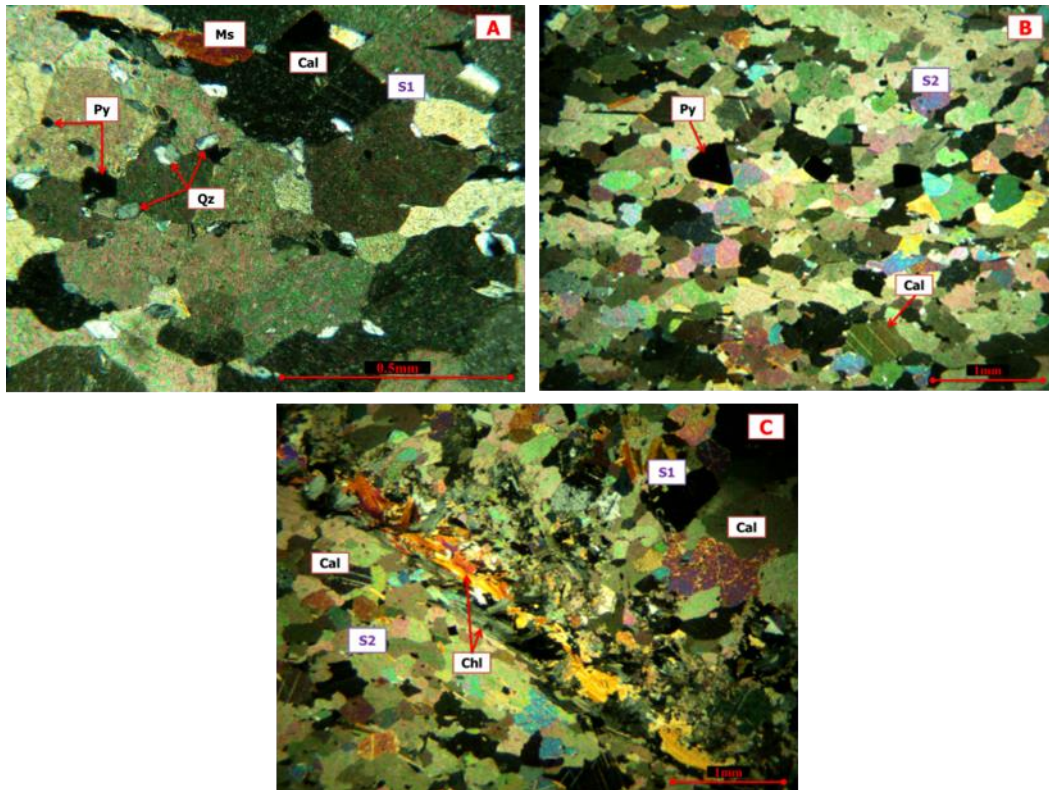


Figura 4.15 Muestra: MCTF2 (2). Mármol bandeado. A) primer sector (S1) cristales de calcita de 0,4 mm, muscovita, cuarzo y pirita de menor tamaño 0,1 mm, NC 10x. B) segundo sector (S2) textura granoblástica, donde los cristales de calcita varían de tamaño en franjas paralelas y cristales de pirita con desarrollo de caras cristalinas subhedral, NC 2,5x. C) aspecto general de la muestra, se observan ambos sectores delimitado por cristales de clorita, NC 2,5x.

Asociación mineral:

- **Calcita:** incolora, con desarrollo de las caras cristalinas de subhedral a anhedral y hábito granular, relieve medio, extinción paralela al maclado. La figura de interferencia es uniaxial y posee maclado polisintético. Tamaño de los cristales de 0,2 a 1,3 mm.
- **Muscovita:** incolora con desarrollo de caras cristalinas subhedral y hábito laminar, relieve medio, extinción paralela. Dispuesta de forma aleatoria y en el límite de la veta, en algunos casos como inclusiones en la calcita. Tamaño de los cristales de 0,3 a 0,8 mm.

- **Cuarzo:** incoloro y anhedral, relieve medio, color de interferencia gris de primer orden, se encuentra de manera dispersa y con textura poiquiloblástica, extinción ondulatoria, cristales monocristalinos. Tamaño de los cristales 0,2 mm.
- **Pirita:** amarillo latón bajo luz reflejada, con desarrollo de caras cristalinas subhedral a anhedral, se encuentran de manera dispersa. Tamaño de los cristales 0,03 a 1 mm.
- **Clorita:** incolora y de hábito plumoso, relieve medio, pleocroísmo incoloro a verde muy claro, figura de interferencia biaxial, se encuentra en la sección fina alrededor de la veta de calcita. Tamaño de los cristales de 0,2 a 0,8 mm.
- **Limonita:** mineral opaco de color pardo amarillo e isótropo, se presenta de forma masiva, bordeando y en grietas en la pirita.

Análisis por difracción de Rayos X: Las fases mineralógicas más abundantes son la calcita y el cuarzo (ver fig. 4.16 y tabla 4.5), las cuales se correlacionan con la mineralogía identificada en la sección delgada de la muestra, con 87,5 % de calcita y 4 % de cuarzo. A diferencia de las series basales de picos de los óxidos como la magnetita y calcosina no se correlacionan con la sección delgada ya que los óxidos identificados fueron pirita y limonita.

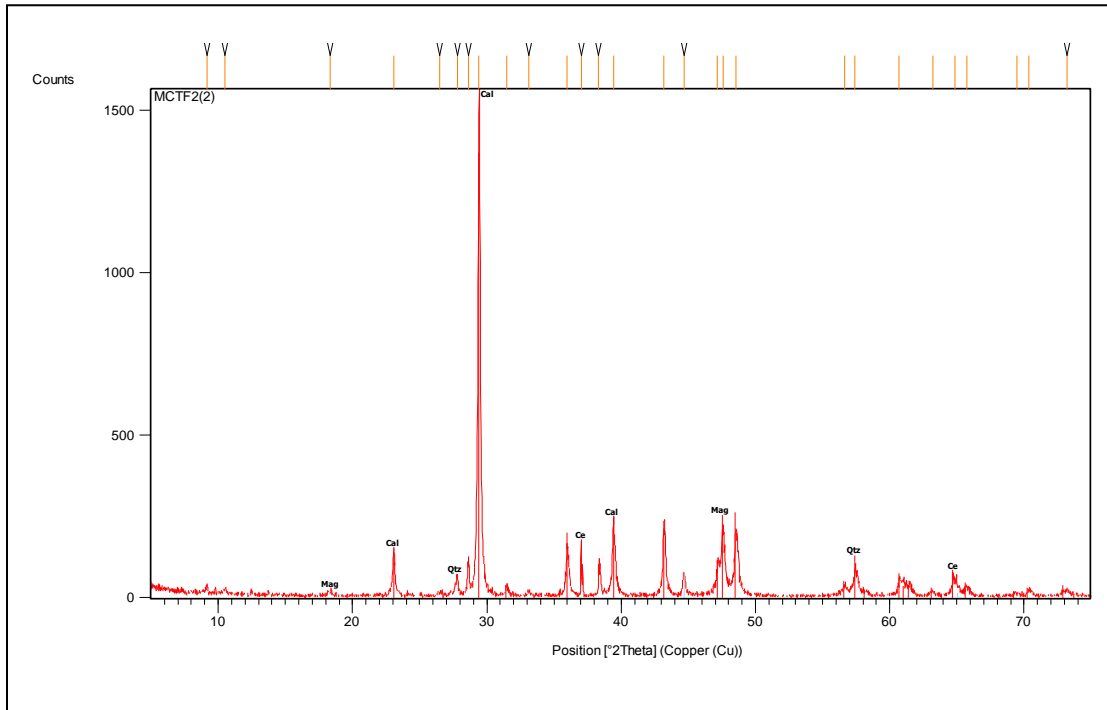


Figura 4.16 Difractograma de la muestra MCTF2 (2). Cal= Calcita, Qtz= Cuarzo, Mag= Magnetita y Ce= Calcosina.

Tabla 4.5 Registro correspondiente a los picos más elevados. Muestra MCTF2 (2).

d-spacing (Å)	% Intensidad	(°2Theta)	Mineral
3,04	100	29,42	Calcita
1,91	12,62	47,57	Magnetita
2,42	6,53	37,06	Calcosina
1,60	5,37	57,42	Cuarzo

4.3.2 MUESTRA: MCTF2 (3), (FRENTE N° 2 SUR)

Descripción general: Presenta un color fresco oliva grisáceo y color meteorizado gris claro, el tamaño de los cristales es de 1 a 2 mm, la muestra está constituida por cuarzo 70 %, muscovita 10 %, calcita 10 % y goethita 10 % en forma de costras. La muestra de mano tiene poca reacción con el HCl y presenta una textura bandeada constituida por franjas de óxido menor a 1mm y franjas de cuarzo y

muscovita mayor a 5 mm, fábrica xenoblástica, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como una Cuarcita (ver fig. 4.17).



Figura 4.17 Vista general de la muestra de mano MCTF2 (3).

Descripción Petrográfica:

Nombre de la roca: Cuarcita. Se encuentra constituida por cuarzo 70 %, clorita 15 %, albita 4 %, glaucofano 4 %, muscovita 3 %, calcita 3 %, talco 0,7 % y limonita 0,3 %, la textura muestra una alineación marcada por la clorita, muscovita y glaucofano, presenta una fábrica hipidioblástica. El tamaño de los cristales va de 0,3 a 0,8 mm (ver fig.4.18).

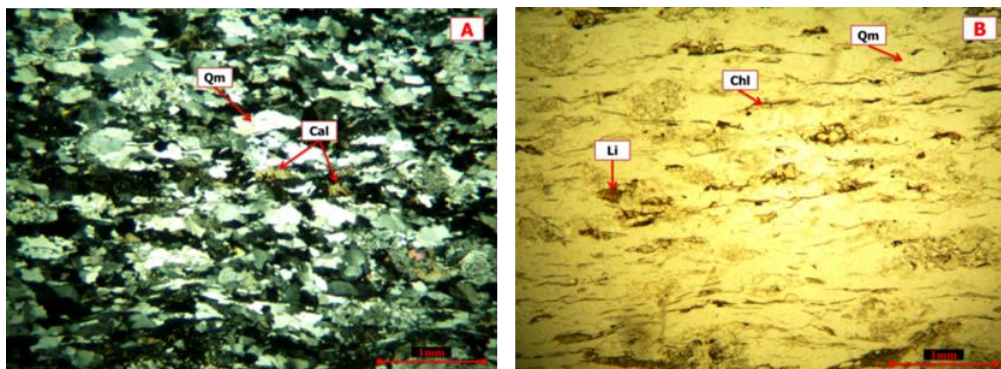


Figura 4.18 Muestra: MCTF2 (3). Cuarcita. NC y NP 2,5x. A) aspecto general de la muestra, constituida por cristales de cuarzo y calcita de fábrica hipidioblástica. B) alineación marcada por cristales de clorita, presencia de cuarzo y limonita.

Asociación mineral:

- **Cuarzo:** incoloro, relieve bajo, caras cristalinas de subhedral a anhedral de forma alargada, extinción ondulatoria, figura de interferencia uniaxial, birrefringencia débil y color de interferencia gris de primer orden, cristales monocristalinos y policristalinos. Tamaño de los cristales de 0,06 a 0,8 mm.
- **Clorita:** verde claro, relieve medio, presenta pleocroísmo de verde muy claro a verde, hábito plumoso y en franjas paralelas, extinción paralela, figura de interferencia biaxial, color de interferencia verde de segundo orden. Tamaño de los cristales de 0,3 a 2 mm.
- **Albita:** incolora, relieve bajo, caras cristalinas de subhedral a anhedral, figura de interferencia biaxial, color de interferencia gris de primer orden, los cristales en forma de mosaicos alargados y algunos con su maclado característico tipo Carlsbad. Tamaño de los cristales 0,3 a 0,6 mm.
- **Glaucofano:** azul con pleocroísmo azul claro a azul y desarrollo de sus caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve medio, extinción recta, birrefringencia media y color de interferencia amarillo de segundo orden, figura de interferencia biaxial, presente en forma de prismas alargados. Tamaño de los cristales 0,2 a 0,8 mm.
- **Muscovita:** incolora, relieve medio, hábito laminar, formando bandas lepidoblásticas junto con la clorita y glaucofano, extinción paralela, color de interferencia verde de segundo orden. Tamaño de los cristales 0,3 a 1,4 mm.
- **Calcita:** incolora y anhedral, relieve medio, se presentan en forma de mosaicos, color de interferencia rosado de quinto orden. Tamaño de los cristales de 0,06 a 0,7 mm.
- **Talco:** incoloro y relieve medio, presente en forma de agregado fibroso y acicular como alteración del glaucofano.
- **Limonita:** mineral opaco de color ocre y anhedral, se presenta de forma granular disperso. Tamaño de los cristales de 0,03 a 0,2 mm.

4.3.3 MUESTRA: MCTF2 (6), (FRENTE N° 2 SUR)

Descripción general: Presenta un color fresco amarillo claro y color meteorizado ocre oscuro, el tamaño de los cristales es de 0,5 a 1 mm, está constituida por cuarzo 70 %, y el 30 % restante lo conforman minerales como limonita 12 % formando franjas de 2 mm, feldespato potásico 10 %, calcita 5 % y muscovita 3 %. Reacciona poco al HCl y tiene una textura bandeada y fábrica xenoblástica, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como una Cuarcita (ver fig. 4.19).



Figura 4.19 Vista general de la muestra de mano MCTF2 (6).

Descripción Petrográfica:

Nombre de la roca: Cuarcita. Se encuentra constituida por cuarzo 65 %, ortosa 19,5 %, calcita 5 %, limonita 5 %, muscovita 2,5 %, clorita 2 %, y sericita 1 %, la textura muestra una alineación marcada por la muscovita y limonita, presenta un fábrica hipidioblástica. El tamaño de los cristales va de 0,06 a 0,8 mm (ver fig. 4.20).

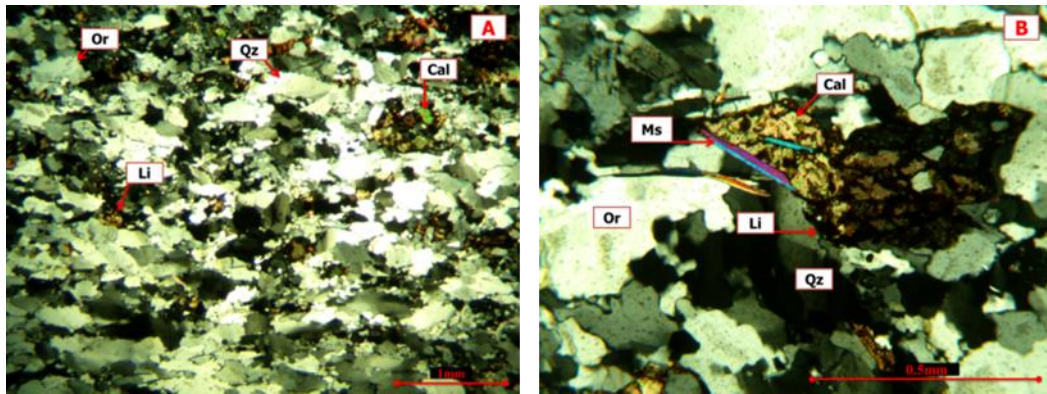


Figura 4.20 Muestra: MCTF2 (6). Cuarzita. NC 2,5x y 10x. A) aspecto general de la muestra, tamaño promedio de los cristales va de 0,06 a 0,8 mm. B) cristales con fábrica hipidioblástica.

Asociación mineral:

- **Cuarzo:** incoloro, relieve bajo, caras cristalinas de subhedral a anhedral de forma alargada, tiene extinción ondulatoria, figura de interferencia uniaxial, birrefringencia débil y color de interferencia gris de primer orden, cristales monocristalinos y policristalinos. Tamaño de los cristales de 0,06 a 0,8 mm.
- **Ortosa:** incolora, relieve bajo, caras cristalinas de subhedral a anhedral y alargados, figura de interferencia biaxial, color de interferencia gris de primer orden, algunos cristales con su maclado tipo Carlsbad y otros alterados a sericita. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,7 mm.
- **Calcita:** incolora y anhedral, relieve medio, se presentan en forma de mosaicos, color de interferencia rosado de quinto orden. Tamaño de los cristales de 0,06 a 0,7 mm.
- **Limonita:** opaco de color pardo oscuro bajo luz reflejada y anhedral, se presenta de forma masiva, bordeando y en grietas en la calcita.
- **Muscovita:** incolora, relieve medio, hábito laminar, extinción paralela, color de interferencia azul de segundo orden, se presenta en forma laminar y paralela. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,7 mm.

- **Clorita:** verde claro, con pleocroísmo verde muy claro a verde, relieve medio, birrefringencia baja y color de interferencia azul de segundo orden, presente con un hábito acicular y como alteración en su totalidad de algún anfíbol.
- **Sericita:** incolora, relieve medio, extinción paralela, hábito acicular, se presenta como alteración de la ortosa. Tamaño de los cristales de 0,01 a 0,03 mm.

4.3.4 MUESTRA: MCTF2 (2,1), (FRENTE 2 NORTE)

Descripción general: Presenta un color fresco gris claro y color meteorizado ocre oscuro, el tamaño de los cristales es de 1 a 2 mm, está constituida por cuarzo 70 %, y el resto de los constituyentes está conformado por micas 15 %, grafito 10 %, y limonita 5 %, alto grado de meteorización, la muestra de mano no reacciona con el HCl, los minerales presentan un hábito laminar, teniendo la roca una textura bandeada donde los cristales oscuros se encuentran orientados en franjas de 2 a 3 mm y los minerales claros de 10 mm, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Esquisto cuarzo micáceo grafitoso (ver fig. 4.22).



Figura 4.22 Vista general de la muestra MCTF2 (2.1).

4.3.5 MUESTRA: MCTF2 (2,2), (FRENTE 2 NORTE)

Descripción general: Presenta un color fresco amarillo y color meteorizado marrón oscuro, el tamaño de los cristales es de 1 a 2 mm, la mineralogía se encuentra

constituida por cuarzo 67 %, micas 15 %, calcita 10 %, que le dan un brillo satinado y limonita 7 %, formando bandas de óxido de 2 mm y los minerales claro de 3 a 5 mm, teniendo la roca una textura bandeada, alto grado de meteorización, reacciona al HCl, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Esquisto cuarzo micáceo calcítico (ver fig. 4.23).



Figura 4.23 Vista general de la muestra MCTF2 (2,2).

4.3.6 MUESTRA: MCTF2 (2,3), (FRENTE 2 NORTE)

Descripción general: Presenta un color fresco gris oliva color meteorizado gris claro, el tamaño de los cristales es de 0,3 a 1,5 mm, la mineralogía en orden de abundancia se encuentra constituida por actinolita 55 %, cuarzo 15 %, calcita 10 %, clorita 7 %, muscovita 7 % y grafito 6 %, la roca tiene un brillo satinado, el hábito de los minerales que la conforma es laminar, lo cual le da una textura bandeada, tiene micropliegues y presencia de óxido de hierro, reacciona al HCl, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Esquisto actinolítico cuarzo calcítico (ver fig. 4.24).



Figura 4.24 Vista general de la muestra MCTF2 (2,3).

Descripción Petrográfica:

Nombre de la roca: Esquisto actinolítico cuarzo clorítico. Se encuentra constituida por actinolita 42,4 %, cuarzo 32,2 %, clorita 8,5 %, calcita 5,6 %, ortosa 5,1 %, muscovita 3,9 %, biotita 1,13 % y grafito 1,17 %, roca bandeada la cual exhibe una textura lepidoblástica y fábrica hipidioblástica, diferenciada por una alternancia de bandas constituidas por micas (clorita, muscovita y biotita) de 4mm de espesor y bandas granoblásticas (cuarzo, calcita y ortosa) de 3mm de espesor (ver fig. 4.25).

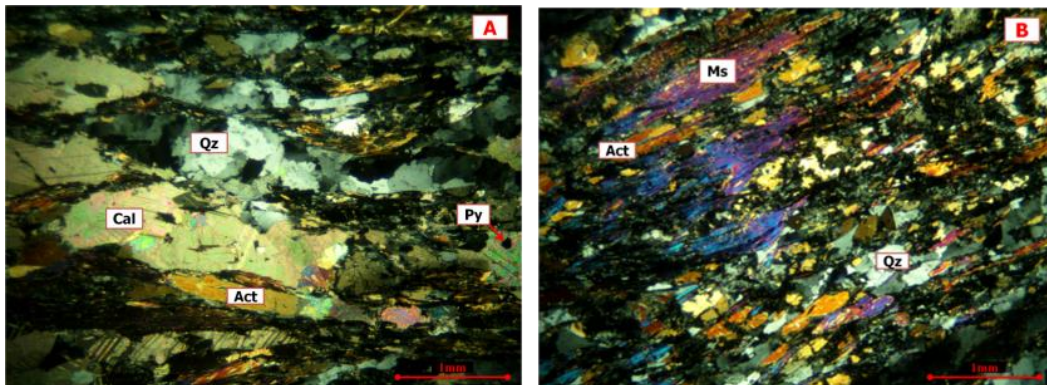


Figura 4.25 Muestra: MCTF2 (2,3). Esquisto actinolítico cuarzo clorítico. NC 2,5x. A) bandas constituidas por micas (clorita, muscovita y biotita) de 4 mm de espesor y bandas granoblásticas (cuarzo, calcita y ortosa) de 3 mm de espesor. B) aspecto general de la muestra, con una textura lepidoblástica y fábrica hipidioblástica.

Asociación mineral:

- **Actinolita:** verde, con pleocroísmo verde claro a verde, desarrollo de caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve medio, extinción paralela, birrefringencia media y color de interferencia amarillo de segundo orden, figura de interferencia biaxial negativa, se encuentra en las bandas de micas de manera alargada. Tamaño de los cristales 0,06 a 0,5 mm.
- **Cuarzo:** incoloro con desarrollo de caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve bajo, extinción ondulatoria, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia uniaxial, se encuentra en las bandas granoblásticas en forma de mosaicos y bordes de los cristales suturados. Tamaño de los cristales 0,03 a 0,7 mm.
- **Clorita:** incolora, con pleocroísmo incoloro a verde muy claro, relieve bajo, birrefringencia baja y color de interferencia amarillo de primer orden, figura de interferencia biaxial, se encuentra en las bandas de micas con un hábito fibroso y laminar. Tamaño de los cristales de 0,06 a 0,4 mm.
- **Calcita:** incolora con desarrollo de las caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve medio, extinción paralela al maclado. La figura de interferencia es uniaxial y posee maclado polisintético. Se presenta en las bandas granoblásticas en forma de mosaicos y alargados. Tamaño de los cristales de 0,1 a 1,5 mm.
- **Ortosa:** incoloro con desarrollo de caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve bajo, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia biaxial, se encuentra en las bandas granoblásticas con hábito granular y bordes de los cristales suturados. Tamaño de los cristales de 0,06 a 0,5 mm.
- **Muscovita:** incolora, relieve medio, extinción paralela, birrefringencia alta y color de interferencia azul de segundo orden, se encuentra en las bandas de micas con un hábito fibroso y alargadas con una dirección preferencial. Tamaño de los cristales de 0,03 a 0,7 mm.

- **Biotita:** marrón claro con pleocroísmo de marrón muy claro a marrón, relieve bajo, extinción paralela, birrefringencia alta y color de interferencia amarillo de tercer orden, se encuentra en las bandas de micas con un hábito fibroso. Tamaño de los cristales de 0,03 a 0,3 mm.
- **Grafito:** opaco de color negro bajo luz reflejada, se encuentra en las bandas de micas con un hábito fibroso y alargado.
- **Pirita:** opaco y anhedral, se encuentran de manera dispersa y en inclusiones en la calcita. Tamaño de los cristales 0,06 a 0,2 mm.

4.3.7 MUESTRA: MCTF2 (2,5), (FRENTE 2 NORTE)

Descripción general: Presenta un color fresco gris claro oliva y color meteorizado ocre claro, la mineralogía se encuentra constituida por cuarzo 70 % y demás constituyentes micas 13 %, grafito 10 %, que le da a la muestra de mano un brillo satinado y limonita 7 %, los cristales presentan un hábito laminar, el tamaño de los cristales es de 0,5 a 1 mm, tiene una textura bandeada, no reacciona al HCl, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Esquisto cuarzo micáceo grafitoso (ver fig. 4.26).



Figura 4.26 Vista general de la muestra MCTF2 (2.5).

4.3.8 MUESTRA: MCTF2 (2,8), (FRENTE N° 2 NORTE)

Descripción general: Presenta un color fresco gris oliva claro y color meteorizado gris verdoso claro, la mineralogía está constituida por calcita 80 % y el 20 % restante está conformado por cuarzo 8 %, muscovita 7 % y goethita 5 %, el tamaño de los cristales es de 0,5 a 2 mm, los cristales tienen un hábito granular. La muestra de mano reacciona al HCl y tiene una textura bandeada y fábrica xenoblástica, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Mármol bandeado. Roca protolito caliza (ver fig. 4.27).

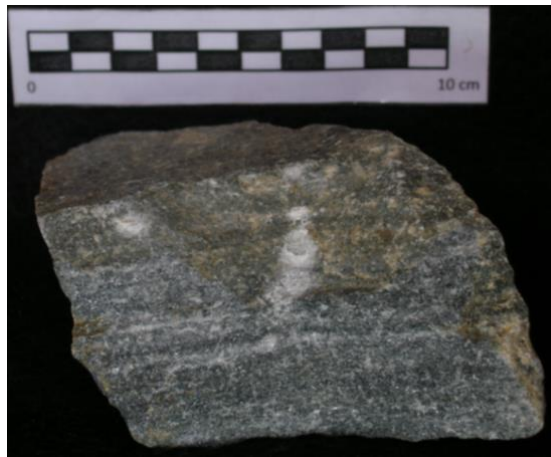


Figura 4.27 Vista general de la muestra MCTF2 (2.8)

4.3.9 MUESTRA: MCTF4 (1), (FRENTE N°4 OESTE)

Descripción general: Presenta un color fresco gris oliva y color meteorizado verde aceituna, el tamaño de los cristales es de 0,5 a 2 mm, la mineralogía se encuentra conformada por calcita 80 %, cuarzo 7 %, muscovita 5 %, pirita 5 % y limonita 3 %, los cristales tienen un hábito granular, alta efervescencia al HCl, posee una textura bandeada lenticular (lente de calcita de grano moderado) y fábrica xenoblástica, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un mármol bandeado. Roca protolito caliza (ver fig. 4.28).



Figura 4.28 Vista general de la muestra MCTF4 (1).

Descripción Petrográfica:

Nombre de la roca: Mármol bandeado. Se encuentra constituido por calcita 83,2 %, cuarzo 6,6 %, muscovita 4 %, pirita 2,2 %, limonita 1,9 %, zoisita 1,1 % y grafito 1 %, exhibe una textura granoblástica de fábrica hipidioblástica, con cierta alineación por cristales de muscovita con una orientación paralela. En general el tamaño de los cristales varía de 0,1 a 0,6 mm (ver fig. 4.29).

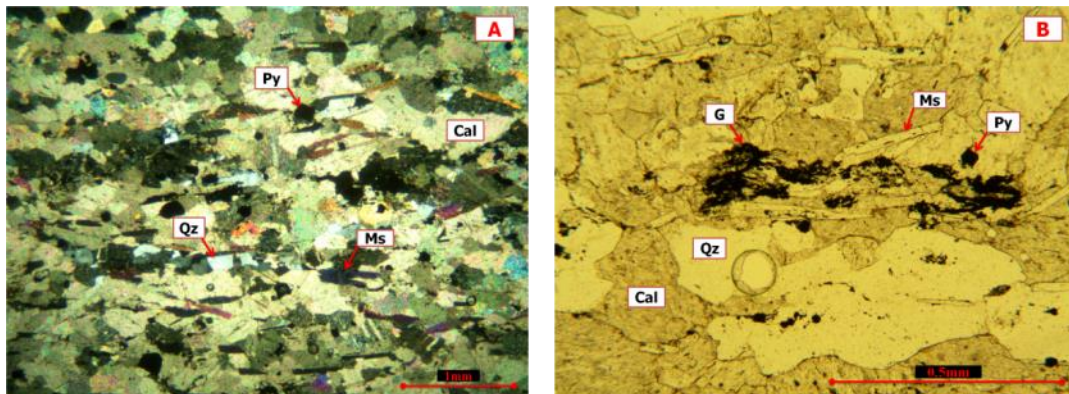


Figura 4.29 Muestra: MCTF4 (1). Mármol bandeado. A) aspecto general de la muestra, con una textura granoblástica y cierta alineación por cristales de muscovita, NC 2,5x. B) cristales de fábrica hipidioblástica, con grafito y pirita como minerales accesorios, NP 10x.

Asociación mineral:

- **Calcita:** incolora, con desarrollo de las caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve medio, extinción paralela al maclado en algunos cristales, birrefringencia alta y color de interferencia rosado de cuarto orden. La figura de interferencia es uniaxial y posee maclado polisintético, se encuentra de forma granular. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,5 mm.
- **Cuarzo:** incoloro, con desarrollo de las caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve bajo, extinción ondulatoria, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, los cristales se encuentra en forma de mosaico y con bordes suturados. Tamaño de los cristales 0,03 a 0,4 mm.
- **Muscovita:** incolora, con desarrollo de caras cristalinas subhedral, relieve medio, extinción paralela, birrefringencia alta y color de interferencia azul de segundo orden. Presenta un hábito laminar y se encuentran dispuestas de una manera alineada. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,5 mm.
- **Pirita:** opaco con desarrollo de caras cristalinas subhedral a anhedral, se encuentran de manera dispersa. Tamaño de los cristales 0,06 a 0,3 mm.
- **Limonita:** mineral accesorio opaco de color pardo amarillo e isotrópico, se presenta de forma masiva, bordeando y en grietas en la pirita.
- **Zoisita:** incoloro con desarrollo de caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve medio, extinción recta, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia biaxial, se presenta con hábito granular y de manera dispersa. Tamaño de los cristales de 0,06 a 0,4 mm.
- **Grafito:** negro bajo luz reflejada e isotrópico, en forma de escamas de manera dispersa y poco abundante.

4.3.10 MUESTRA: MCTF4 (9), (FRENTE N°4 ESTE)

Descripción general: Presenta color fresco gris oliva y color meteorizado gris pardo con moteados marrón oscuro, el tamaño de los cristales es de 0,3 a 2 mm, la mineralogía en orden de abundancia se encuentra constituida por calcita 90 % y el 10

% de minerales restantes muscovita 7 % y cuarzo 3 %, tienen un hábito granular, lo cual le da a la roca una textura granoblástica de fábrica xenoblástica, alta efervescencia al HCl, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Mármol bandeado. Roca protolito caliza (ver fig. 4.30).



Figura 4.30 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (9).

4.3.11 MUESTRA: MCTF4 (10), (FRENTE N°4 ESTE)

Descripción general: Presenta un color fresco gris claro azulado y color meteorizado gris pardo, el tamaño de los cristales es de 0,5 a 1 mm, la mineralogía está constituida principalmente por calcita 90 %, y el resto lo conforman cristales de muscovita 5 %, cuarzo 3 % y pirita 2 %, los cristales presentan un hábito granular. La muestra de mano reacciona al HCl y tiene una textura bandeada y fábrica xenoblástica, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Mármol bandeado. Roca protolito caliza. Presenta vetas de Calcita de 0,3 a 3,8 cm (ver fig. 4.31).



Figura 4.31 Vista general de la muestra MCTF4 (10).

Descripción Petrográfica:

Nombre de la roca: Mármol bandeado. Se encuentra constituido por calcita 92,7 %, muscovita 3,5 %, cuarzo 2 %, pirita 1,2 %, trazas de clorita 0,3 % y circón 0,3 %, exhibe una textura granoblástica de fábrica hipidioblástica, con cierta alineación por cristales de muscovita. En general, el tamaño de los cristales varía de 0,03 a 0,8 mm (ver fig. 4.32).

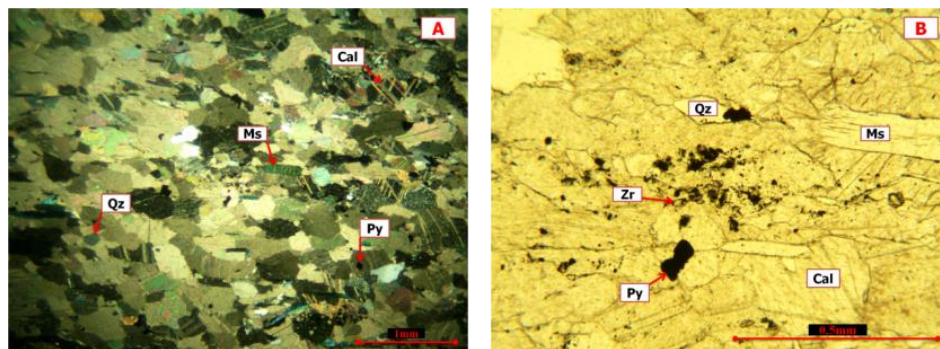


Figura 4.32 Muestra: MCTF4 (10). Mármol bandeado. A) aspecto general de la muestra, con una textura granoblástica y cierta alineación por cristales de muscovita, el tamaño de los cristales varía de 0,03 a 0,8 mm, NC 2,5x. B) cristales de fábrica hipidioblástica, con circón y pirita como minerales accesorios, NP 10x.

Asociación mineral:

- **Calcita:** incolora, con desarrollo de las caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve medio, extinción paralela al maclado en algunos cristales, birrefringencia alta y color de interferencia crema de quinto orden. La figura de interferencia es uniaxial y posee maclado polisintético, se encuentra de forma granular y algunos cristales un poco alargados. Tamaño de los cristales de 0,06 a 0,7 mm.
- **Muscovita:** incolora, con desarrollo de caras cristalinas subhedral, relieve medio, extinción paralela, birrefringencia alta y color de interferencia azul de segundo orden. Presenta un hábito laminar y con una orientación preferencial. Tamaño de los cristales de 0,6 a 0,8 mm.
- **Cuarzo:** incoloro, con desarrollo de las caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve bajo, extinción ondulatoria, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, los cristales se encuentra en forma de mosaicos y con textura poiquiloblástica. Tamaño de los cristales 0,03 a 0,4 mm.
- **Pirita:** opaco y bajo luz reflejada amarillo latón, con desarrollo de caras cristalinas subhedral a anhedral, se encuentran de manera constante y en inclusiones en la calcita. Tamaño de los cristales 0,03 a 0,5 mm.
- **Clorita:** incolora, con pleocroísmo incoloro a verde muy claro, relieve bajo, se encuentra presente en trazas y diseminados.
- **Circón:** incoloro y redondeados, relieve alto, presente en forma de inclusiones en los cristales de calcita y muscovita de manera dispersa.

Análisis por difracción de rayos X: Las fases mineralógicas más abundantes son la calcita y el cuarzo, (ver fig.4.33 y tabla 4.6), las cuales se correlacionan con la mineralogía identificada en la sección delgada de la muestra, con 92,7 % de calcita y 2 % de cuarzo. A diferencia de la serie basal de pico del filosilicato dickita no se correlaciona con la sección delgada ya que no fue identificado, pero si se encuentra presente en la muestra, por la representación del pico en el difractograma.

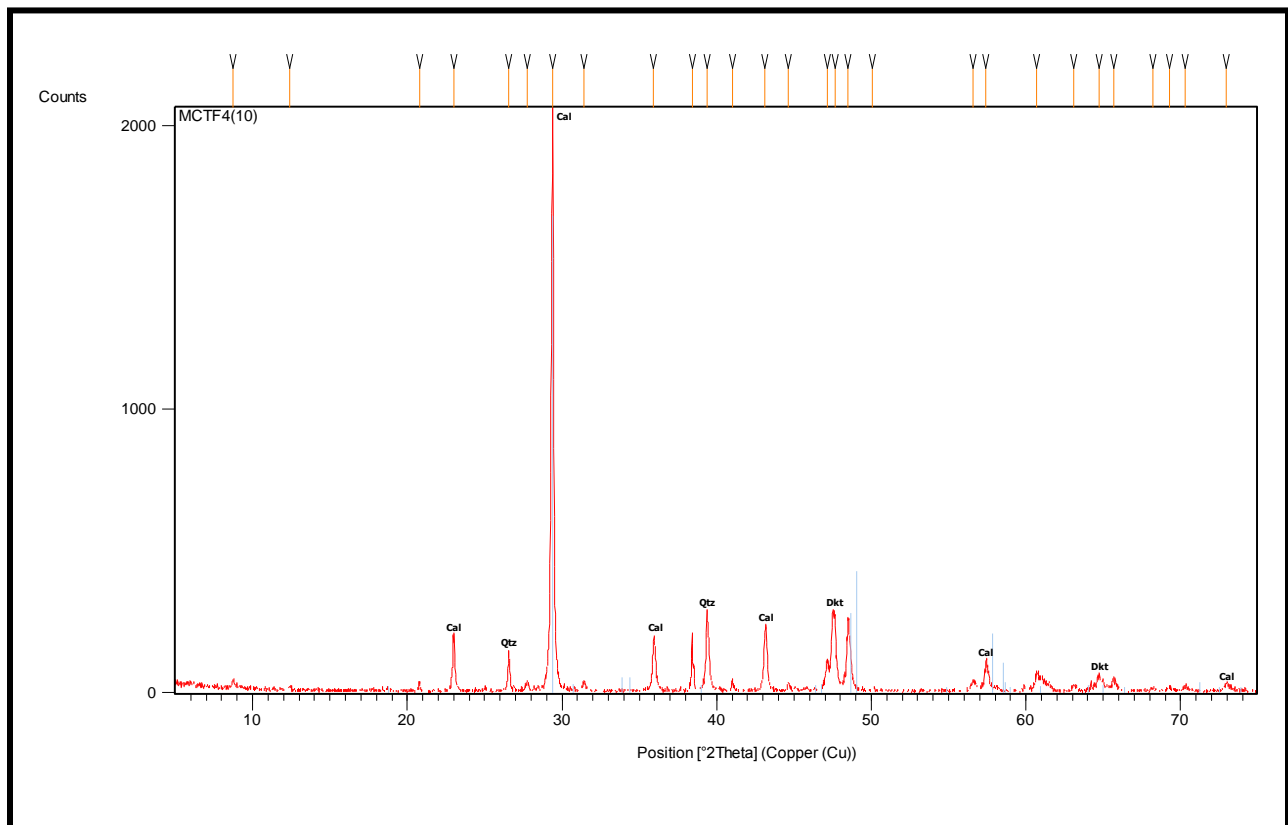


Figura 4.33 Difractograma de la muestra MCTF4 (10). Cal= Calcita, Qtz= Cuarzo y Dkt= Dickita.

Tabla 4.6 Registro correspondiente a los picos más elevados. Muestra MCTF4 (10).

d-spacing (Å)	% Intensidad	(°2Theta)	Mineral
3,04	100	29,39	Calcita
2,29	13,71	39,39	Cuarzo
1,91	12,27	47,67	Dickita

4.4 UNIDAD LITOLÓGICA INFORMAL: ROCAS GRISES MASIVAS (GRUPO III)

Esta unidad informal se encuentra presente en ambos frentes de explotación 2 y 4 de la cantera Tacagua, donde en el frente 2 se haya constituido por el mármol masivo y el mármol masivo meteorizado, abarcando un espacio aproximado de 60 % del espacio total. En el frente 4 se localiza en la parte central de dicho frente y al extremo este con una orientación N40°O, dispuesta en franjas diagonales intercalado con la anfibolita, abarcando un espacio aproximado de 60 % del espacio total. Las rocas que constituyen a esta unidad informal, serán descritas a continuación:

4.4.1 MUESTRA: MCTF2 (4), (FRENTE N° 2 SUR)

Descripción general: Presenta un color fresco gris claro azulado y color meteorizado gris opaco, el tamaño de los cristales es de 1 a 2 mm, constituida principalmente por calcita 80 % y el resto lo conforman cristales de cuarzo 8 %, pirita 7 % y muscovita 5 %, presencia de óxido de hierro, los cristales tienen un hábito granular. La muestra de mano reacciona al HCl y tiene una textura granoblástica de fábrica xenoblástica, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Mármol. Roca protolito caliza (ver fig. 4.34).



Figura 4.34 Vista general de la muestra de mano MCTF2 (4).

Descripción Petrográfica:

Nombre de la roca: Mármol: se encuentra constituido por calcita 85,5 %, cuarzo 7 %, muscovita 4 %, pirita 1,5 %, clorita 1 % y epidota 1 %, exhibe una textura granoblástica de fábrica hipidioblástica, el tamaño de los cristales equidimensionales es de 0,06 a 0,8 mm (ver fig. 4.35).

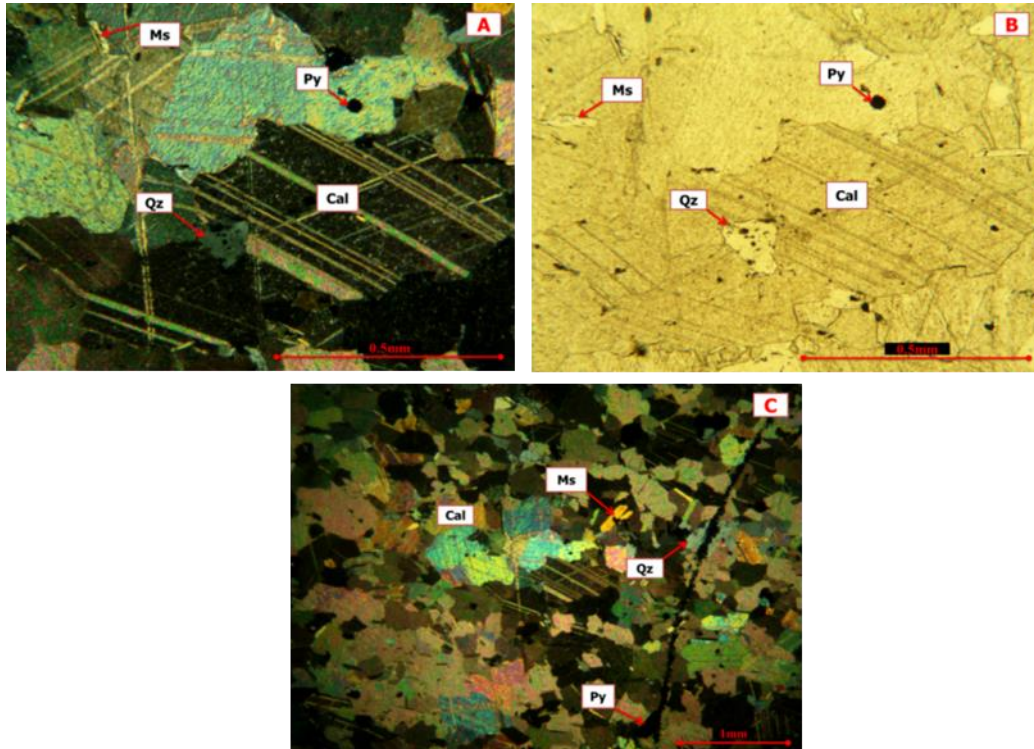


Figura 4.35 Muestra: MCTF2 (4). Mármol. A) cristales de calcita de 0,4mm con maclado polisintético. B) cristales de muscovita, pirita y cuarzo (con inclusiones de pirita). C) aspecto general de la muestra con textura granoblástica y fábrica hipidioblástica.

Asociación mineral:

- **Calcita:** incolora con desarrollo de las caras cristalinas de subhedral a anhedral y hábito granular, relieve medio, extinción paralela al maclado. La figura de interferencia es uniaxial y posee maclado polisintético. Color de interferencia crema de quinto orden. Presente en forma de mosaico. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,8 mm.

- **Cuarzo:** incoloro y con desarrollo de las caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve bajo, extinción ondulatoria y paralela (en algunos cristales), color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia uniaxial, se encuentra de manera dispersa y en mosaicos, con inclusiones de calcita, muscovita y epidota en algunos cristales. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,9 mm.
- **Muscovita:** incolora con desarrollo de caras cristalinas subhedral y hábito laminar, relieve medio, extinción paralela, birrefringencia alta y color de interferencia azul de tercer orden. Dispuesta de forma aleatoria y algunos cristales como inclusiones dentro de la calcita y el cuarzo. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,7 mm.
- **Pirita:** mineral opaco e isotrópico, amarillo latón bajo la luz reflejada con desarrollo de caras cristalinas subhedral a anhedral, se encuentran de manera dispersa. Tamaño de los cristales 0,03 a 1 mm.
- **Clorita:** incolora con pleocroísmo de incoloro a verde muy claro, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, se encuentra de manera dispersa. Tamaño de los cristales de 0,2 a 0,5 mm.
- **Epidota:** amarillo muy claro y anhedral, relieve alto, extinción recta, birrefringencia alta y color de interferencia rosado y verde de segundo orden, presente como agregados granulares y en inclusiones en el cuarzo y calcita. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,3 mm.

4.4.2 MUESTRA: MCTF2 (7), (FRENTE N° 2 SUR)

Descripción general: Presenta un color fresco gris oliva azulado y color meteorizado ocre claro, la mineralogía consiste principalmente de calcita 80 % y el resto lo conforman cristales de cuarzo 10 %, muscovita 7 % y pirita 3 %, el tamaño de los cristales es de 1 a 2 mm, los cristales tienen un hábito granular, la muestra de mano reacciona al HCl y tiene una textura granoblástica de fábrica xenoblástica, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Mármol. Roca protolito caliza (ver fig. 4.36).



Figura 4.36 Vista general de la muestra de mano MCTF2 (7).

Descripción Petrográfica:

Nombre de la roca: Mármol. Se encuentra constituido por calcita 84 %, muscovita 3,5 %, cuarzo 2,3 %, pirita 1,5 %, epidota 0,7 % y grafito 0,5 %, exhibe una textura granoblástica de fábrica hipidioblástica, el tamaño de los cristales equidimensionales es de 0,06 a 0,8 mm (ver fig. 4.37).

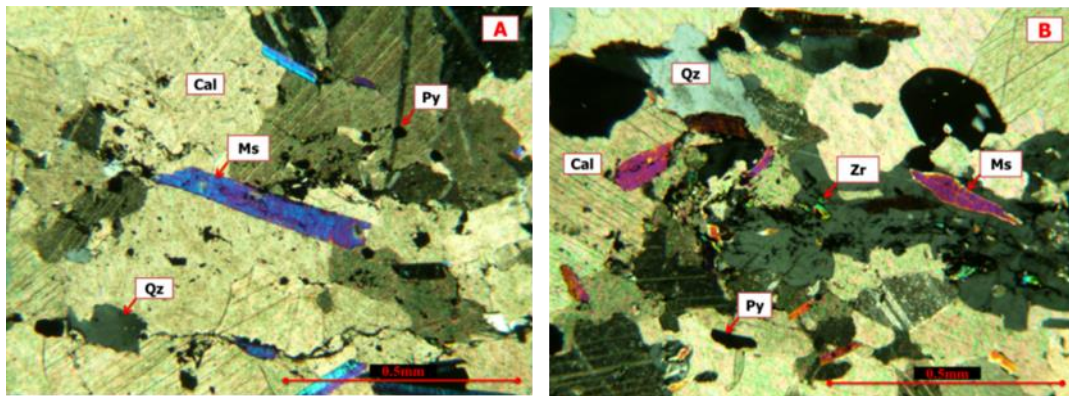


Figura 4.37 Muestra: MCTF2 (7). Mármol, NC 10x. A) inclusiones de pirita en cristales de calcita y cuarzo. B) inclusiones de circon en cristales de calcita y cuarzo.

Asociación mineral:

- **Calcita:** incolora con desarrollo de las caras cristalinas de subhedral a anhedral y hábito granular, relieve medio, extinción paralela al maclado. La

figura de interferencia es uniaxial y posee maclado polisintético. Color de interferencia crema y rosado de quinto orden, presente en forma de mosaico. Tamaño de los cristales de 0,06 a 0,8 mm.

- **Muscovita:** incolora con desarrollo de caras cristalinas subhedral y hábito laminar, relieve medio, extinción paralela, birrefringencia media y color de interferencia amarillo de tercer orden. Dispuesta de forma aleatoria y en algunos casos como inclusiones dentro de la calcita. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,7 mm.
- **Cuarzo:** incoloro y anhedral, relieve medio, extinción ondulatoria birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia uniaxial, se encuentra de manera dispersa y en mosaicos. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,8 mm.
- **Pirita:** mineral opaco y accesorio, amarillo latón bajo la luz reflejada con desarrollo de caras cristalinas subhedral a anhedral, se encuentran de manera dispersa y en inclusiones en la calcita. Tamaño de los cristales 0,06 a 0,6 mm.
- **Epidota:** incoloro y anhedral, relieve alto, extinción recta, birrefringencia alta y color de interferencia rosado y verde de segundo orden, presente como agregados granulares y dispersos. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,4 mm.
- **Grafito:** negro y opaco, presente en forma de escamas delgadas y disperso.

4.4.3 MUESTRA: MCTF2 (2,4), (FRENTE N° 2 NORTE)

Descripción general: Presenta un color fresco gris claro y color meteorizado ocre oscuro, el tamaño de los cristales es de 0,5 a 2 mm, la mineralogía en orden de abundancia se encuentra constituida por calcita 80 %, cuarzo 7 %, muscovita 5 %, pirita 5 % y limonita 3 % formando costras de óxido, tienen un hábito granular, lo cual le da a la roca una textura granoblástica de fábrica xenoblástica, alta efervescencia al HCl, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Mármol. Roca protolito caliza (ver fig. 4.38).



Figura 4.38 Vista general de la muestra de mano MCTF2 (2.4).

Análisis por difracción de Rayos X: Las fases mineralógicas identificadas (ver fig. 4.39 y tabla 4.7) como se puede observar en la fig. 4.39, son la calcita siendo el pico de mayor intensidad, seguido del cuarzo y posterior el óxido de magnetita. Cabe destacar que no se realizó análisis mediante el microscopio petrográfico.

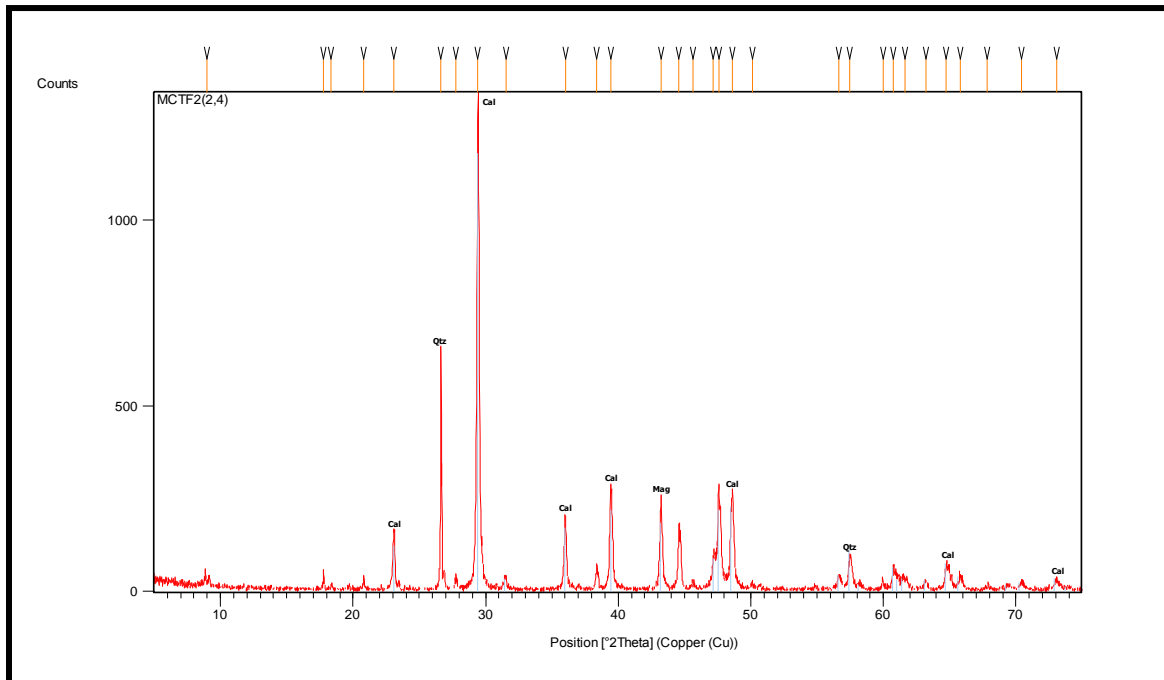


Figura 4.39 Difractograma de la muestra MCTF2 (2.4). Cal= Calcita, Qtz= Cuarzo y Mag= Magnetita.

Tabla 4.7 Registro correspondiente a los picos más elevados. Muestra MCTF2 (2,4).

d-spacing (Å)	% Intensidad	(°2Theta)	Mineral
3,04	100	29,42	Calcita
3,35	50,84	26,63	Cuarzo
2,09	19,26	43,23	Magnetita

4.4.4 MUESTRA: MCTF2 (2,6), (FRENTE N° 2 NORTE)

Descripción general: Presenta un color fresco gris oliva oscuro y color meteorizado marrón claro, la mineralogía se encuentra constituida por calcita 80 %, cuarzo 8 %, muscovita 5 %, pirita 5 % y limonita 2 %, los cristales tienen un hábito granular, lo cual le da a la roca una textura granoblástica de fábrica xenoblástica, el tamaño de los cristales es de 1 a 2 mm, reacciona al HCl, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Mármol. Roca protolito caliza (ver fig. 4.40).

**Figura 4.40** Vista general de la muestra de mano MCTF2 (2.6).

4.4.5 MUESTRA: MCTF2 (2,7), (FRENTE N° 2 NORTE)

Descripción general: Presenta un color fresco gris oliva oscuro y un color meteorizado ocre oscuro, el tamaño de los cristales es de 0,3 a 1 mm, constituida por calcita 80 %, cuarzo 7 %, muscovita 5 %, pirita 5 % y limonita 3 % en forma de costras de óxido, los cristales tienen un hábito granular, reacciona al HCl y tiene una textura granoblástica de fábrica xenoblástica, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Mármol. Roca protolito caliza (ver fig. 4.41).



Figura 4.41 Vista general de la muestra de mano MCTF2 (2,7).

Descripción Petrográfica:

Nombre de la roca: Mármol: se encuentra constituido por calcita 89,5 %, muscovita 4,5 %, cuarzo 3,5 %, pirita 1,5 % y epidota 1 %, exhibe una textura granoblástica y fábrica hipidioblástica, el tamaño de los cristales equidimensionales es de 0,06 a 0,9 mm (ver fig. 4.42).

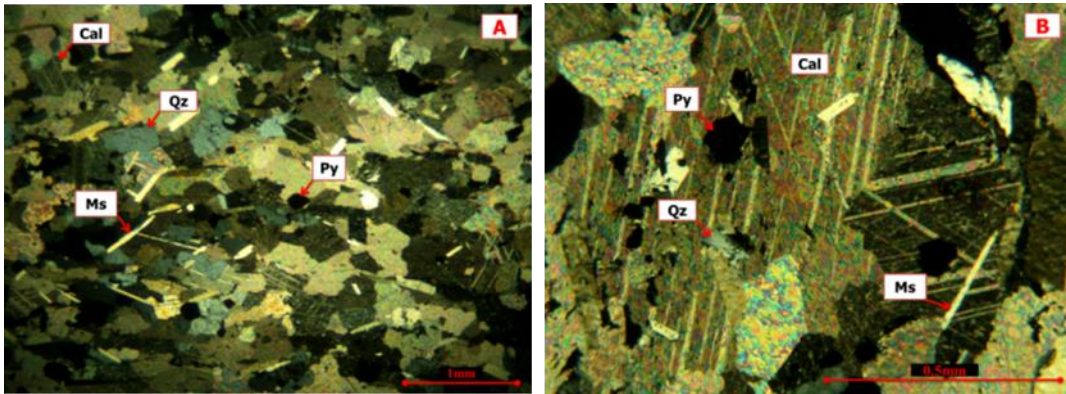


Figura 4.42 Muestra: MCTF2 (2,7). Mármol. A) Aspecto general de la muestra con textura granoblástica y fábrica hipidioblástica, NC 2,5x. B) cristales de muscovita, cuarzo y calcita con inclusiones de pirita, NC 10x.

Asociación mineral:

- **Calcita:** incolora con desarrollo de las caras cristalinas de subhedral a anhedral y hábito granular, relieve medio, extinción paralela al maclado. La figura de interferencia es uniaxial y posee maclado polisintético, color de interferencia crema de quinto orden. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,8 mm.
- **Muscovita:** incolora con desarrollo de caras cristalinas subhedral a anhedral y hábito laminar, relieve medio, extinción paralela, birrefringencia baja y color de interferencia amarillo de cuarto orden. Dispuesta de forma aleatoria y en inclusiones en la calcita. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,7 mm.
- **Cuarzo:** incoloro y con desarrollo de las caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve medio, extinción ondulatoria, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia uniaxial, se encuentra de manera dispersa y granular. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,6 mm.
- **Pirita:** mineral opaco y accesorio, amarillo latón bajo la luz reflejada con desarrollo de caras cristalinas subhedral a anhedral, se encuentran de manera dispersa y en inclusiones en la calcita. Tamaño de los cristales 0,03 a 0,7 mm.

- **Epidota:** incoloro y anhedral, relieve alto, extinción recta, birrefringencia alta y color de interferencia rosado y verde de segundo orden, presente como agregados granulares, dispersos y en inclusiones en la calcita. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,3 mm.

4.4.6 MUESTRA: MCTF4 (2), (FRENTE N°4 OESTE)

Descripción general: Presenta un color fresco gris oliva azulado y color meteorizado gris pardo, la mineralogía se encuentra constituida por calcita 90 % y el 10 % restante por cuarzo 3 %, muscovita 3 %, pirita 2 %, y limonita 2 %, los cristales tienen un hábito granular, lo cual le da a la roca una textura granoblástica de fábrica xenoblástica, el tamaño de los cristales es de 0,5 a 2 mm, alta efervescencia al HCl se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Mármol. Roca protolito caliza (ver fig. 4.43).



Figura 4.43 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (2).

Descripción Petrográfica:

Nombre de la roca: Mármol: se encuentra constituido por calcita 87 %, zoisita 5 %, cuarzo 3 %, muscovita 2,4 %, pirita 1,5 %, limonita 0,5 %, trazas de grafito 0,3 % y clinozoisita 0,3 %, exhibe una textura granoblástica de fábrica

hipidioblástica a xenoblástica, donde los cristales tienen una orientación paralela y forma granular. El tamaño va de 0,1 a 1,5 mm (ver fig. 4.44).

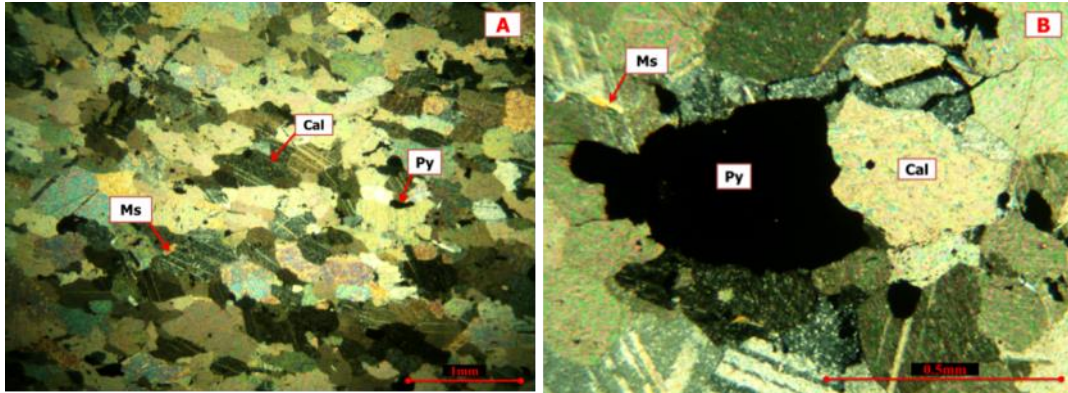


Figura 4.44 Muestra: MCTF4 (2). Mármol. A) Aspecto general de la muestra con textura granoblástica y fábrica hipidioblástica, NC 2,5x. B) cristales de calcita, muscovita y pirita, NC 10x.

Asociación mineral:

- **Calcita:** incolora, con desarrollo de las caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve medio, extinción paralela al maclado en algunos cristales, birrefringencia alta y color de interferencia crema y rosado de quinto orden. La figura de interferencia es uniaxial y posee maclado polisintético, se encuentra de forma granular y con inclusiones de cuarzo y pirita. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,7 mm.
- **Zoisita:** incolora, desarrollo de sus caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve alto, extinción recta, birrefringencia media y color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia biaxial, se encuentra de forma granular y con inclusiones de clinozoisita. Tamaño de los cristales 0,3 a 1,5 mm.
- **Cuarzo:** incoloro y anhedral, relieve bajo, extinción ondulatoria, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, los cristales se encuentra en forma granular, en inclusiones dentro de la calcita y de manera dispersa. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,3 mm.

- **Muscovita:** incolora, con desarrollo de caras cristalinas subhedral, relieve bajo, extinción paralela, birrefringencia media y color de interferencia amarillo de segundo orden. Presenta un hábito laminar y disperso. Tamaño de los cristales de 0,06 a 0,4 mm.
- **Pirita:** mineral opaco y anhedral, amarillo latón bajo la luz reflejada, se encuentran de manera dispersa y en inclusiones en la calcita. Tamaño de los cristales 0,03 a 0,5 mm.
- **Limonita:** opaco y bajo luz reflejada pardo amarillo, se presenta de forma masiva y alargada.
- **Grafito:** opaco y de color negro bajo luz reflejada, presente en forma de escamas delgadas y disperso.
- **Clinozoisita:** crema y con desarrollo de sus caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve alto, extinción asimétrica, birrefringencia media y color de interferencia azul de segundo orden, presente de forma granular y como inclusiones en la zoisita. Tamaño de los cristales de 0,2 a 0,5 mm.

4.4.7 MUESTRA: MCTF4 (3), (FRENTE N°4 OESTE)

Descripción general: Presenta un color fresco gris claro azulado y color meteorizado gris pardo, el tamaño de los cristales es de 0,5 a 2 mm, constituida principalmente por calcita 90 % y el resto lo conforman cristales de cuarzo 5 %, pirita 2 %, muscovita 2 % y limonita 1 % presencia de costras de óxido, los cristales tienen un hábito granular. La muestra de mano reacciona al HCl y tiene una textura granoblástica de fábrica xenoblástica, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Mármol. Roca protolito caliza (ver fig. 4.45).



Figura 4.45 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (3).

4.4.8 MUESTRA: MCTF4 (6), (FRENTE N°4 OESTE)

Descripción general: Presenta un color fresco gris oliva azulado y color meteorizado gris pardo, la mineralogía se encuentra constituida por calcita 95 % y el 5 % faltante limonita 3 % formando costras de óxido y cuarzo 2 %, los cristales tienen un hábito granular, donde la roca tiene una textura granoblástica de fábrica xenoblástica, el tamaño de los cristales es de 0,5 a 2 mm, alta efervescencia al HCl, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Mármol, cuya roca protolito es caliza (ver fig. 4.46).



Figura 4.46 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (6).

4.4.9 MUESTRA: MCTF4 (7), (FRENTE N°4 OESTE)

Descripción general: Presenta un color fresco blanco grisáceo azulado y color meteorizado ocre claro, el tamaño de los cristales es de 0,3 a 1 mm, constituida por calcita 90 %, cuarzo 5 % y limonita 5 % en forma de costras de óxido, los cristales tienen un hábito granular, alta efervescencia al HCl y tiene una textura granoblástica de fábrica xenoblástica, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Mármol. Roca protolito caliza (ver fig. 4.47).



Figura 4.47 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (7).

Descripción Petrográfica:

Nombre de la roca: Mármol: se encuentra constituido por 60 % de cristales de calcita 31 %, cuarzo 19 %, ortosa 5 %, epidota 1,5 % piritita 1 %, clinozoisita 0,7 %, sericita 0,6 %, limonita 0,6 %, grafito 0,6 % y 40 % de matriz de calcita. El tamaño de los cristales de la muestra en general es de 0,06 a 1,5 mm (ver fig. 4.48).

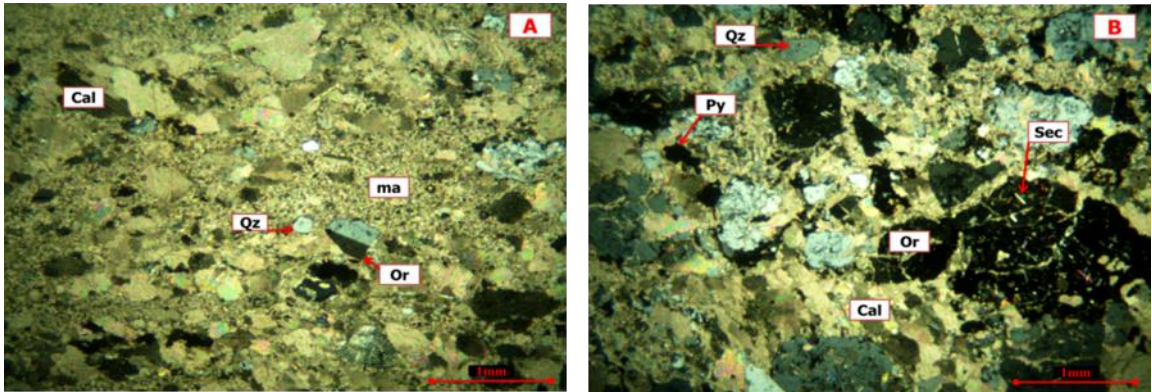


Figura 4.48 Muestra: MCTF4 (7). Mármol. NC 2,5x. A) Aspecto general de la muestra con 60 % de cristales y 40 % de matriz. B) cristales de calcita, cuarzo, pirita y ortosa (con alteración a sericita).

Asociación mineral:

- **Calcita:** incolora, con desarrollo de las caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve medio, extinción asimétrica, birrefringencia alta y color de interferencia crema de quinto orden. La figura de interferencia es uniaxial y posee maclado polisintético, se encuentra de forma granular y en mosaicos en algunas zona. Tamaño de los cristales 0,03 a 0,7 mm.
- **Cuarzo:** incoloro y anhedral, relieve bajo, extinción ondulatoria, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, los cristales monocristalinos y policristalinos, se encuentra en forma granular. Tamaño de los cristales 0,06 a 0,5 mm.
- **Ortosa:** incoloro, con desarrollo de caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve bajo, extinción simétrica, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia biaxial, presente con su maclado tipo Carlsbad, de forma granular y fracturada. Tamaño de los cristales de 0,06 a 1,5 mm.
- **Epidota:** crema y anhedral, presente como agregados granulares y en inclusiones en los cristales de calcita y ortosa de manera dispersa. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,3 mm.

- **Pirita:** mineral opaco y anhedral, amarillo latón bajo la luz reflejada, se encuentran en grietas y de manera irregular, bordeando los cristales de cuarzo y ortosa. Tamaño de los cristales 0,03 a 0,3 mm.
- **Clinozoisita:** incoloro, con relieve alto, extinción simétrica, birrefringencia baja y color de interferencia azul de segundo orden, se encuentra de forma granular y disperso. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,3 mm.
- **Sericita:** incolora, relieve medio, extinción paralela, hábito acicular, se presenta como alteración de la ortosa. Tamaño de los cristales de 0,01 a 0,3 mm.
- **Limonita:** opaco y bajo luz reflejada pardo amarillo, se presenta como alteración de la pirita, bordeando cristales de cuarzo y ortosa.
- **Grafito:** opaco y de color negro bajo luz reflejada, presente en forma de escamas delgadas y en inclusiones en la ortosa y cuarzo.
- **Matriz:** calcita de grano fino, presente en forma granular.

4.4.10 MUESTRA: MCTF4 (11), (FRENTE N°4 ESTE)

Descripción general: Presenta un color fresco gris oliva azulado y color meteorizado marrón claro, la mineralogía consiste principalmente de calcita 90 % y el resto lo conforman cristales de cuarzo 5 % y muscovita 5 %, los cristales tienen un hábito granular, el tamaño de los cristales es de 0,3 a 2 mm, la muestra de mano reacciona al HCl y tiene una textura granoblástica de fábrica xenoblástica, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Mármol. Roca protolito caliza (ver fig. 4.49).



Figura 4.49 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (11).

4.4.11 MUESTRA: MCTF4 (12), (FRENTE N°4 ESTE)

Descripción general: Presenta un color fresco gris oliva y color meteorizado marrón claro, el tamaño de los cristales es de 0,3 a 2 mm, los minerales que la constituyen son calcita 90 %, pirita 7 % y limonita 3 %, los cristales tienen un hábito granular, alta efervescencia al HCl y tiene una textura granoblástica de fábrica xenoblástica, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Mármol. Roca protolito caliza (ver fig. 4.50).



Figura 4.50 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (12).

4.4.12 MUESTRA: MCTF4 (16), (FRENTE N°4 ESTE)

Descripción general: Presenta un color fresco gris oliva azulado y color meteorizado marrón claro con tonalidades más oscuras, el tamaño de los cristales es de 0,5 a 2 mm, los minerales que la constituyen son calcita 75 % y el 25 % restante son muscovita 13 %, cuarzo 7 % y pirita 5 %, los cristales tienen un hábito granular, alta efervescencia al HCl y tiene una textura granoblástica de fábrica xenoblástica, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Mármol. Roca protolito caliza (ver fig. 4.51).



Figura 4.51 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (16).

Descripción Petrográfica:

Nombre de la roca: Mármol: se encuentra constituido por calcita 76 %, muscovita 8 %, cuarzo 8 %, actinolita 4 %, ortosa 1,3 %, pirita 1 %, grafito 1 %, y epidota 0,7 %, presenta dos sectores ambos de textura granoblástica y fábrica hipidioblástica, donde en el primer sector abunda la calcita, el tamaño de los cristales es de 0,03 a 0,5 mm, en el segundo sector la muscovita, cuarzo y actinolita, los cristales de pirita son de mayor tamaño, el tamaño de los cristales es de 0,6 a 1 mm (ver fig. 4.52).

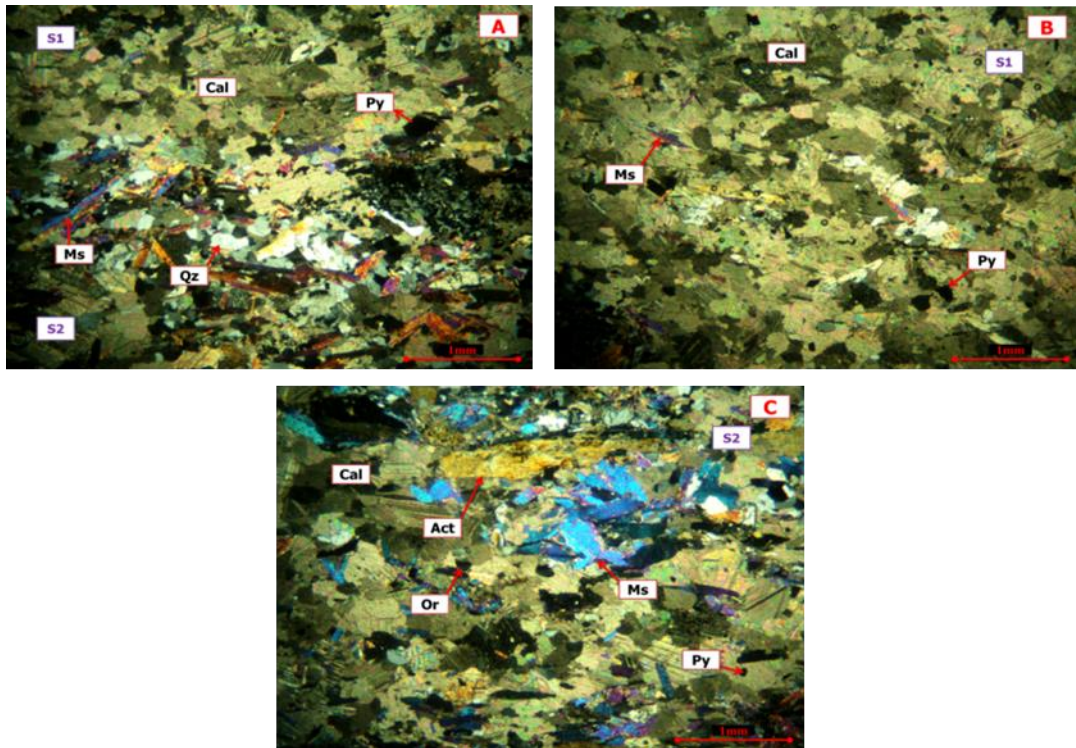


Figura 4.52 Muestra: MCTF4 (16). Mármol. NC 2,5x. A) Aspecto general de la muestra, definida por dos sectores, ambos de textura granoblástica y con variedad en el tamaño de los cristales. B) primer sector en el cual abundan cristales de calcita, tamaño promedio de los cristales de 0,03 a 0,5 mm. C) segundo sector constituido por cristales de calcita, muscovita, actinolita, pirita y ortosa de mayor tamaño de 0,6 a 1 mm.

Asociación mineral:

- **Calcita:** incolora, con desarrollo de las caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve medio, extinción paralela al maclado en algunos cristales, birrefringencia alta y color de interferencia crema de quinto orden. La figura de interferencia es uniaxial y posee maclado polisintético, se encuentra de forma granular en ambos sectores y con inclusiones de cuarzo y pirita. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,8 mm.
- **Muscovita:** incolora, con desarrollo de caras cristalinas subhedral a anhedral, relieve bajo, extinción paralela, birrefringencia alta y color de interferencia azul de segundo orden. Presente en ambos sectores con un hábito laminar,

más abundante en el segundo sector y de forma aleatoria. Tamaño de los cristales de 0,06 a 0,7 mm.

- **Cuarzo:** incoloro, con desarrollo de caras cristalinas subhedral a anhedral, relieve bajo, extinción ondulatoria, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, presente en ambos sectores, con textura poiquiloblástica en el primer sector y de manera más abundante en mosaicos en el segundo sector. Tamaño de los cristales 0,06 a 0,3 mm.
- **Actinolita:** verde muy claro, con pleocroísmo verde muy claro a verde, desarrollo de caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve medio, extinción simétrica, birrefringencia media y color de interferencia amarillo de segundo orden, figura de interferencia biaxial, presente en ambos sectores poco abundante y romboédrica en el primer sector y de manera más abundante y alargada en el segundo sector. Tamaño de los cristales 0,06 a 0,7 mm.
- **Ortosa:** incoloro con desarrollo de caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve bajo, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia biaxial, se encuentra en el primer sector poco abundante y granular, en el segundo sector más abundante y en forma de mosaicos. Tamaño de los cristales de 0,06 a 0,4 mm.
- **Pirita:** mineral opaco con desarrollo de caras cristalinas subhedral a anhedral, amarillo latón bajo la luz reflejada, se encuentra de manera dispersa y poco abundante en el primer sector, en el segundo sector son más abundantes y de mayor tamaño, con sus caras cristalinas mejor desarrolladas. Tamaño de los cristales 0,03 a 0,6 mm.
- **Grafito:** opaco de color negro bajo luz reflejada, presente en ambos sectores en forma de escamas y alargado, más abundante en el segundo sector.
- **Epidota:** crema y redondeados, presente como agregados granulares y en inclusiones en los cristales de calcita, ortosa, cuarzo y actinolita de manera dispersa. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,3 mm.

Análisis por difracción de Rayos X: Las fases mineralógicas presentes (ver fig. 4.53 y tabla 4.8) son la calcita siendo el pico de mayor intensidad, seguido del cuarzo y posterior la muscovita, estas series basales de picos se correlacionan en su totalidad con la mineralogía descrita en la sección fina, donde el más abundante es la calcita 76 %, seguido del cuarzo y la muscovita con igual porcentaje de 8 %.

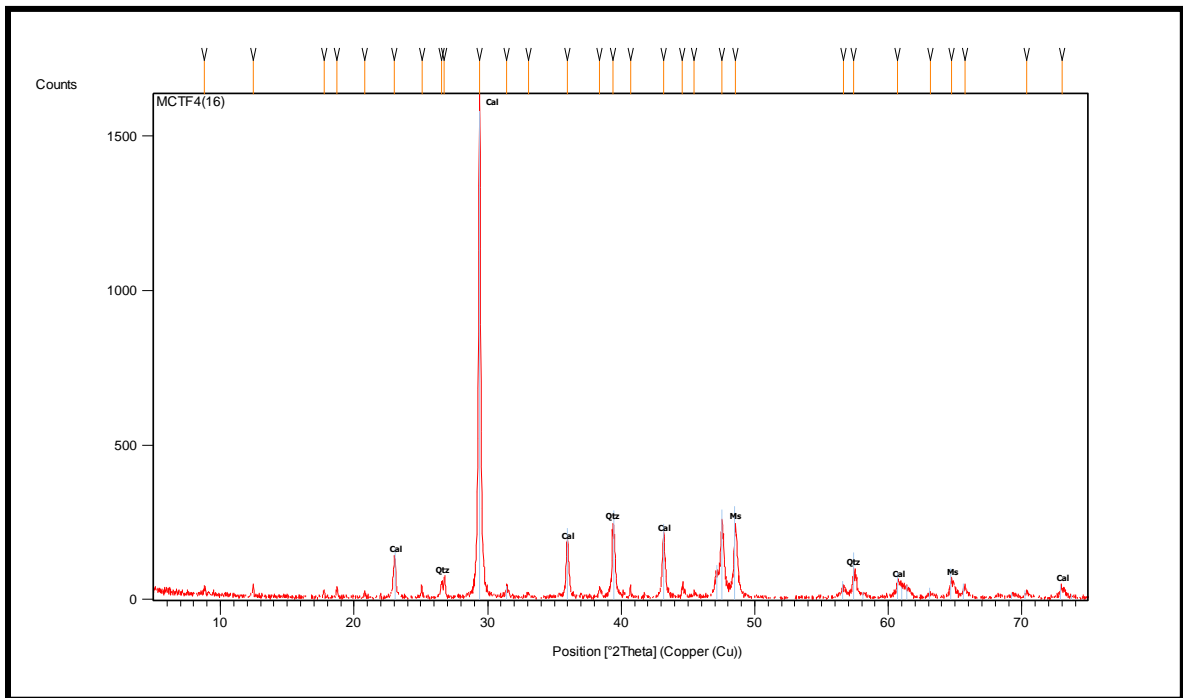


Figura 4.53 Difractograma de la muestra MCTF4 (16). Cal= Calcita, Qtz= Cuarzo y Ms= Muscovita.

Tabla 4.8 Registro correspondiente a los picos más elevados. Muestra MCTF4 (16).

d-spacing (Å)	% Intensidad	(°2Theta)	Mineral
3,04	100	29,39	Calcita
2,29	13,57	39,39	Cuarzo
1,87	13,38	48,56	Muscovita

4.4.13 MUESTRA: MCTF4 (17), (FRENTE N°4 ESTE)

Descripción general: Presenta un color fresco gris claro y color meteorizado marrón claro con tonalidades más oscuras, el tamaño de los cristales es de 0,5 a 2 mm, la mineralogía está constituida principalmente por calcita 80 % y el 20 % de los minerales restantes por muscovita 10 %, cuarzo 5 % y pirita 5 %, alta efervescencia al HCl, los cristales tienen un hábito granular, tiene una textura granoblástica y fábrica xenoblástica, no presenta bandeamiento, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como un Mármol Micáceo. Roca protolito caliza (ver fig. 4.54).



Figura 4.54 Vista general de la muestra de mano MCTF4 (17).

Descripción Petrográfica:

Nombre de la roca: Mármol micáceo. Se encuentra constituido por calcita 85 %, muscovita 5 %, clorita 4 %, cuarzo 3 %, pirita 1,7 %, grafito 1 % y trazas de circón 0,3 %, presenta una textura granoblástica y fábrica hipidioblástica. A pesar de no ser una roca foliada, las micas le dan un leve alineamiento, generándose bandas granoblásticas de 2 mm de grosor (tamaño de los cristales 0,06 a 0,4 mm) y 4 mm de grosor (tamaño de los cristales 0,1 a 0,8 mm) (ver fig. 4.55).

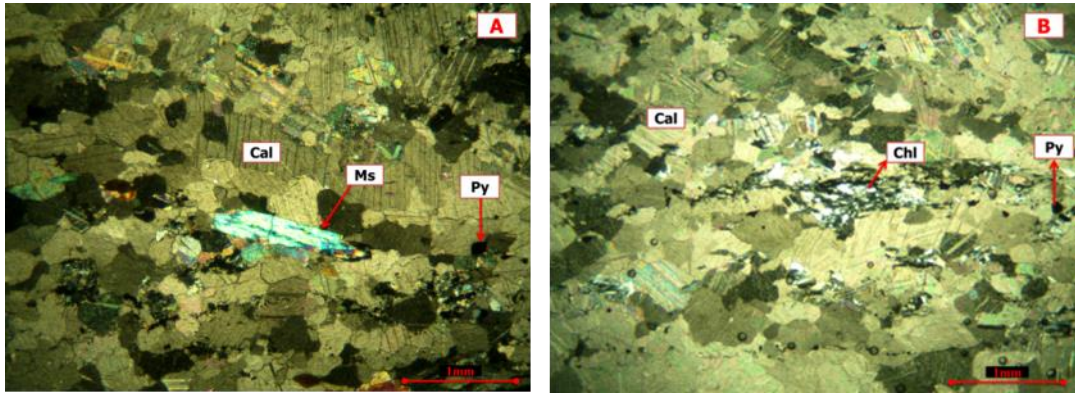


Figura 4.55 Muestra: MCTF4 (17). Mármol. NC 2,5x. A) Aspecto general de la muestra, variación en el tamaño de los cristales de forma alineada. B) textura granoblástica y fábrica hipidioblástica, con tamaño promedio de los cristales de 0,06 a 0,8 mm.

Asociación mineral:

- **Calcita:** incolora, con desarrollo de las caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve medio, extinción paralela al maclado en algunos cristales, birrefringencia alta y color de interferencia beige de quinto orden. La figura de interferencia es uniaxial y posee maclado polisintético, se encuentra de forma granular y en bandas granoblásticas de 2 mm de grosor (tamaño de los cristales 0,06 a 0,4 mm) y 4 mm de grosor (tamaño de los cristales 0,1 a 0,8 mm).
- **Muscovita:** incolora, con desarrollo de caras cristalinas subhedral, relieve bajo, extinción paralela, birrefringencia alta y color de interferencia azul de segundo orden. Presenta un hábito laminar y orientación preferencial. Tamaño de los cristales de 0,06 a 0,8 mm.
- **Clorita:** incolora y de hábito fibroso, relieve bajo, pleocroísmo incoloro a verde muy claro, extinción ondulatoria, birrefringencia baja y color de interferencia amarillo de primer orden, figura de interferencia pseudouniaxial, se encuentra asociada con la muscovita, generando la alienación de los cristales de calcita. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,5 mm.
- **Cuarzo:** incoloro y anhedral, relieve bajo, extinción ondulatoria, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, los cristales

se encuentra en forma granular y de manera dispersa. Tamaño de los cristales 0,1 a 0,3 mm.

- **Pirita:** mineral opaco y anhedral, amarillo latón bajo la luz reflejada, se encuentran de manera dispersa y en inclusiones en la calcita. Tamaño de los cristales 0,03 a 0,5 mm.
- **Grafito:** opaco y de color negro bajo luz reflejada, presente en forma de escamas delgadas y en franjas paralelas.
- **Circón:** mineral traza incoloro y de alto relieve, presente en forma de inclusiones en los cristales de calcita, de manera dispersa.

4.5 UNIDAD LITOLÓGICA INFORMAL: ROCAS BLANCAS (GRUPO IV)

Esta unidad informal sólo se encuentra presente en el frente de explotación 2 de la cantera Tacagua, donde se haya intercalado entre las unidades informales rocas bandeadas y rocas grises masivas, abarcando un espacio aproximado de 7 % del espacio total, dispuesto en franjas alargadas. Las rocas que constituyen a esta unidad litológica, serán descritas a continuación:

4.5.1 MUESTRA: MCTF2 (5), (FRENTE N° 2 SUR)

Descripción general: Presenta un color fresco blanco grisáceo y color meteorizado ocre claro, el tamaño de los cristales es de 0,5 a 2 mm, la mineralogía consiste principalmente de cuarzo 65 %, feldespato potásico 10 %, plagioclasas 8 % y demás constituyentes pirita 7 %, calcita 5 % y clorita 5 %. Los cristales de cuarzo, feldespato potásico, calcita, plagioclasas y pirita tienen un hábito granular, mientras que la clorita posee un hábito hojoso, orientada en franjas paralelas. La muestra de mano reacciona poco al HCl y tiene una textura granoblástica y fábrica xenoblástica, se clasifica según SCHMID *et al.* (2002), como una Cuarcita (ver fig. 4.56).



Figura 4.56 Vista general de la muestra de mano MCTF2 (5).

Descripción Petrográfica:

Nombre de la roca: Cuarzita. Se encuentra constituida por cuarzo 67,5 %, albita 15 %, dolomita 7 %, muscovita 5 %, ortosa 3 %, pirita 1,2 %, limonita 1 % y trazas de clorita 0,3 %, exhibe dos sectores notablemente diferenciados con respecto a su textura y mineralogía. El primer sector consiste en una zona constituida por cristales de varios tamaños de manera bandeada, que van de 0,03 a 0,4 mm con una textura granoblástica de fábrica hipidioblástica, la mineralogía presente es cuarzo, ortosa, albita, dolomita, muscovita, limonita y clorita. El segundo sector se encuentra delimitado por una banda de cristales de dolomita, muscovita, pirita, cuarzo y ortosa de 0,4 mm, la limonita se presenta de forma laminar y los demás cristales en mosaico de 0,03 a 0,5 mm, se encuentran en forma triturada (ver fig. 4.57).

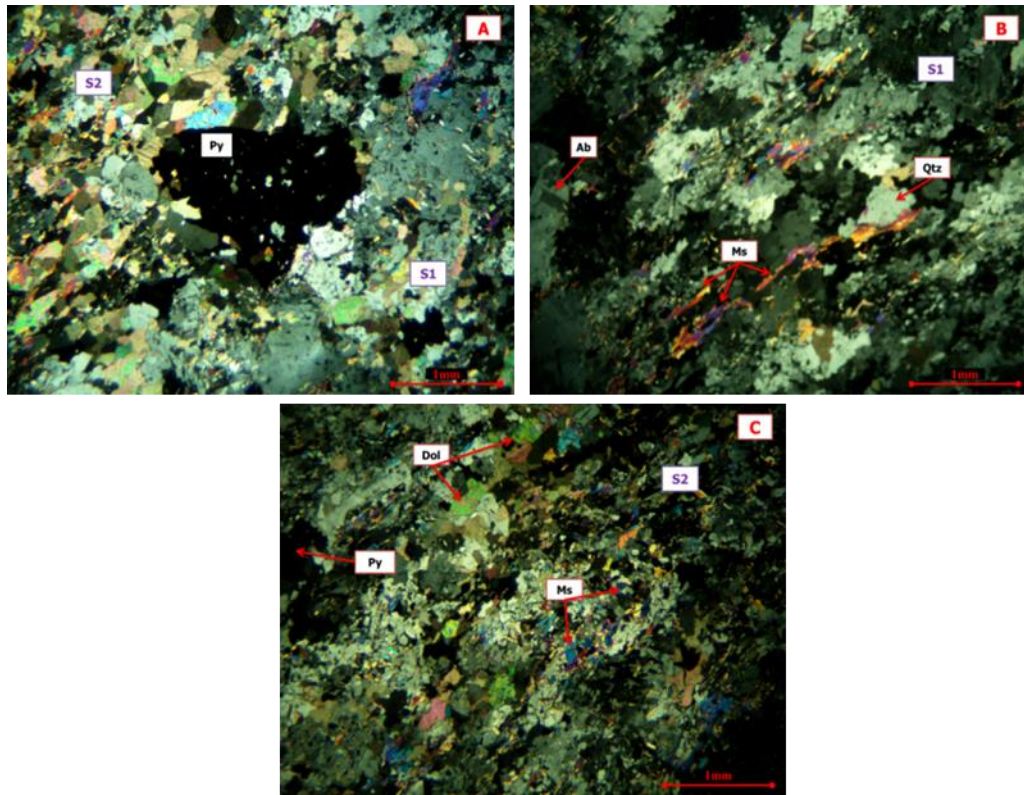


Figura 4.57 Muestra: MCTF2 (5). Cuarzita. NC 2,5X. A) primer (S1) y segundo (S2) sector con un cristal de pirita en el centro de la muestra con inclusiones de cuarzo y dolomita. B) primer sector con cristales de muscovita orientados, cuarzo y albita. C) segundo sector con cristales de pirita, dolomita y muscovita de 0,06 a 0,3 mm de diámetro.

Asociación mineral:

- **Cuarzo:** incoloro con desarrollo de caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve bajo, extinción ondulatoria, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia uniaxial, Tamaño de los cristales 0,03 a 0,7 mm y hábito granular con cristales monocristalino y policristalinos en ambos sectores.
- **Albita:** Incolora con desarrollo de caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve bajo, birrefringencia baja, color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia biaxial. Tamaño de los cristales 0,06 a 0,5 mm. Presente en el primer sector de la muestra en forma de mosaico.

- **Dolomita:** incolora con desarrollo de las caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve medio, extinción paralela al maclado. La figura de interferencia es uniaxial y posee maclado polisintético. Se presenta en el primer sector de manera dispersa y en el segundo sector es más abundante y en forma de mosaico. Tamaño de los cristales de 0,06 a 0,5 mm.
- **Muscovita:** incolora con desarrollo de caras cristalinas subhedral, relieve medio, extinción paralela. Dispuesta de forma aleatoria y laminar en el primer sector y laminar y abundante en el segundo sector. Tamaño de los cristales de 0,03 a 0,8 mm.
- **Ortosa:** incoloro con desarrollo de caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve bajo, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia biaxial. Tamaño de los cristales de 0,06 a 0,7 mm, en forma de mosaico, en ambos sectores.
- **Pirita:** opaco y bajo luz reflejada amarillo latón, con desarrollo de caras cristalinas subhedral a anhedral, presente en el segundo sector de la muestra y delimitando el primer sector del segundo en una franja bandeada. Tamaño de los cristales 0,06 a 0,8 mm.
- **Limonita:** mineral accesorio opaco de color pardo amarillo e isotrópico, se presenta en forma de agregados y bordeando los cristales de pirita. Tamaño de los cristales 0,06 a 0,3 mm.
- **Clorita:** incolora y de hábito fibroso, relieve medio, pleocroísmo incoloro a verde muy claro, figura de interferencia biaxial, se encuentra en la sección fina en la franja que delimita el primer sector del segundo sector de manera dispersa. Tamaño de los cristales de 0,06 a 0,5 mm.

Análisis por difracción de Rayos X: Las fases mineralógicas presentes (ver fig. 4.58 y tabla 4.9) son la albita siendo el pico de mayor intensidad, seguido de la dolomita y por último el cuarzo, estas series basales de picos se correlacionan en su totalidad con la mineralogía descrita en la sección fina, donde el de mayor porcentaje es el cuarzo 67,5 %, posterior la albita 15 % y la dolomita en menor porcentaje 7 %.

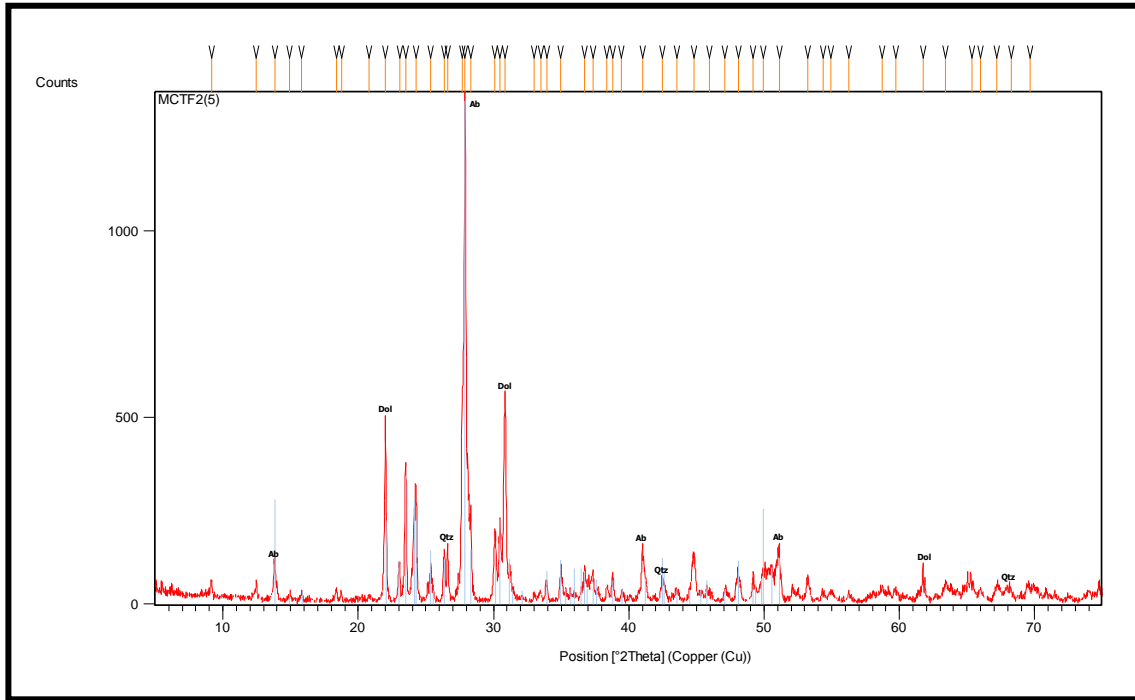


Figura 4.58 Difractograma de la muestra MCTF2 (5). Ab= Albita, Dol= Dolomita y Qtz= Cuarzo.

Tabla 4.9 Registro correspondiente a los picos más elevados. Muestra MCTF2 (5).

d-spacing (Å)	% Intensidad	(°2Theta)	Mineral
3,20	100	27,89	Albita
2,89	40,05	30,86	Dolomita
3,35	10,72	26,59	Cuarzo

4.5.2 MUESTRA: MCTF2 (2,9), (FRENTE N° 2 NORTE)

Descripción general: Presenta un color fresco blanco grisáceo y un color meteorizado blanco marfil, el tamaño de los cristales es de 0,3 a 1 mm, está constituida por cuarzo 75 %, feldespato potásico 13 %, limonita 7 % y muscovita 5 %. Los cristales de cuarzo y feldespato potásico poseen hábito granular, la muscovita y limonita un hábito laminar formando bandas de 1 mm de espesor. La muestra de mano reacciona poco con el HCl y tiene una textura granoblástica y fábrica

xenoblástica, se clasifica según SCHMID *et al.*, (2002), como una Cuarcita (ver fig. 4.59).



Figura 4.59 Vista general de la muestra de mano MCTF2 (2,9).

Descripción Petrográfica:

Nombre de la roca: Cuarcita. Se encuentra constituida por cuarzo 70 %, ortosa 20 %, muscovita 5 %, sericita 2 %, limonita 2 % y calcita 1 %, exhibe una textura granoblástica de fábrica hipidioblástica. Los cristales de cuarzo, ortosa y calcita se presentan en forma de mosaicos y la muscovita en laminaciones. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,8 mm (ver fig. 4.60).

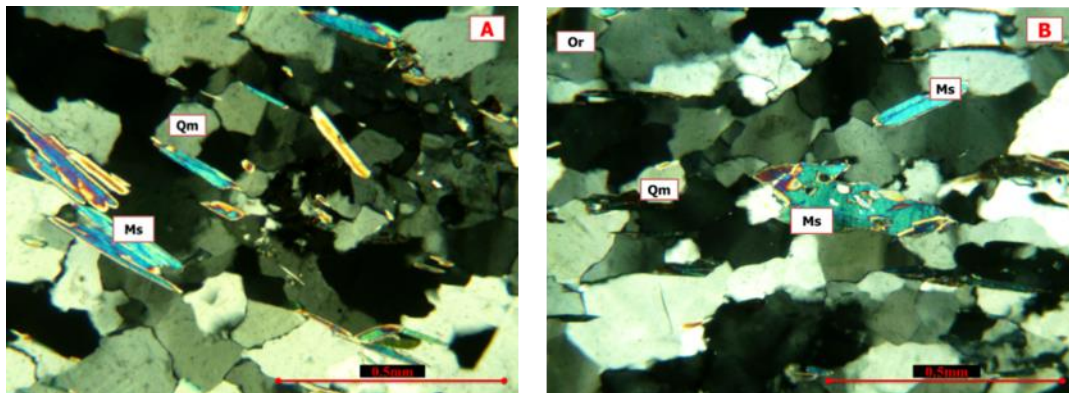


Figura 4.60 Muestra: MCTF2 (2,9). Cuarcita. NC 10x. A) cristales de cuarzo con textura granoblástica y un poco alineada por cristales de muscovita. B) textura granoblástica con cristal de muscovita en el centro, con textura ojo de pájaro.

Asociación mineral:

- **Cuarzo:** incoloro con desarrollo de caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve bajo, extinción ondulatoria, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia uniaxial, se presenta en la muestra con un hábito granular con cristales monocristalino y policristalinos. Tamaño de los cristales 0,06 a 0,8 mm.
- **Ortosa:** incoloro con desarrollo de caras cristalinas de subhedral a anhedral, relieve bajo, con maclado tipo Carlsbad, birrefringencia baja y color de interferencia gris de primer orden, figura de interferencia biaxial, algunos cristales poseen alteración sericítica. Tamaño de los cristales de 0,4 a 0,8 mm.
- **Muscovita:** incolora con desarrollo de caras cristalinas subhedral y hábito laminar, relieve medio, extinción paralela, birrefringencia alta y color de interferencia azul de segundo orden, figura de interferencia biaxial. Dispuesta de manera dispersas y laminadas. Algunos cristales presentan textura tipo ojo de pájaro. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,5 mm.
- **Sericita:** incolora, relieve bajo, extinción paralela, hábito acicular, se presenta como alteración de la ortosa. Tamaño de los cristales de 0,01 a 0,4 mm.
- **Limonita:** mineral accesorio opaco de color pardo amarillo, se presenta de manera dispersa en cristales anhedrales e isotrópicos. Tamaño de los cristales de 0,1 a 0,3 mm.
- **Calcita:** se encuentra en forma de precipitado, bordeando algunos cristales de cuarzo y ortosa de manera aleatoria.

4.6 FOTOMOSAICOS DESCRIPTIVOS

A continuación se presentan una serie de fotomosaicos descriptivos, realizados en cada uno de los frentes de explotación (2 y 4) de la cantera Tacagua. En ellos se podrán observar los parámetros utilizados para describir cada uno de los mismos: correspondencia litológica, porcentaje areal, dimensión y geometría de cada uno de las tipos litológicas informales definidas.

4.6.1 FOTOMOSAICO FRENTE 2

4.6.1.1 Fotomosaico descriptivo 1, ubicado al oeste del frente 2: Este fotomosaico tiene una orientación N20°E; se identificaron tres unidades informales, definidas de oeste a este como: Rocas Verdes, constituido por anfibolita de color oliva oscuro, este material se encuentra cubierto por una capa de vegetación baja, abarcando un área aproximada de 324 m², de forma lateral. Rocas Bandeadas, conformado por mármol bandeado y cuarcita de color gris claro y con plano de foliación con una orientación en general de N75E51N, abarcando un área aproximada de 400 m². Rocas Grises Masivas, definido por el mármol masivo de color gris en forma de franja paralela y triangular (parte superior), de color gris con cantos rodados, abarcando un área aproximada 280 m². La base de dicho frente y al pie de la montaña en la parte superior se constituye de coluvión y cantos rodados (ver fig. 4.61).

4.6.1.2 Fotomosaico descriptivo 2, ubicado al oeste, seguido del fotomosaico 1: Este fotomosaico tiene una orientación N60°E, se identificaron tres unidades informales, definidas por Rocas Grises Masivas, Rocas Bandeadas y Rocas Blancas. Las Rocas Grises Masivas, constituidas por mármol masivo (color gris), se encuentran al norte, sur, este y oeste en forma alargada y tabular; y mármol masivo meteorizado (color pardo oscuro) ubicado al oeste en forma de derrumbe y con roca dura en la parte central, también con cantos rodados al pie de la montaña y distribuidos aleatoriamente, abarcando una gran extensión areal de aproximadamente 1 700 m². La unidad informal Rocas Bandeadas, se conforma por mármol bandeado de color gris claro, el cual se haya de forma alargada en bloques masivos y diaclasados, en la parte central del frente de explotación, abarcando un área aproximada de 600 m². Por último se encuentra la unidad informal Rocas Blancas, constituido por cuarcita de color blanco por el alto contenido de cuarzo, albita y ortosa, abarcando un área aproximada de 30 m², encontrándose intercalada entre el mármol masivo y el mármol bandeado, en contacto abrupto. La base de dicho frente se constituye de coluvión (ver fig. 4.62).

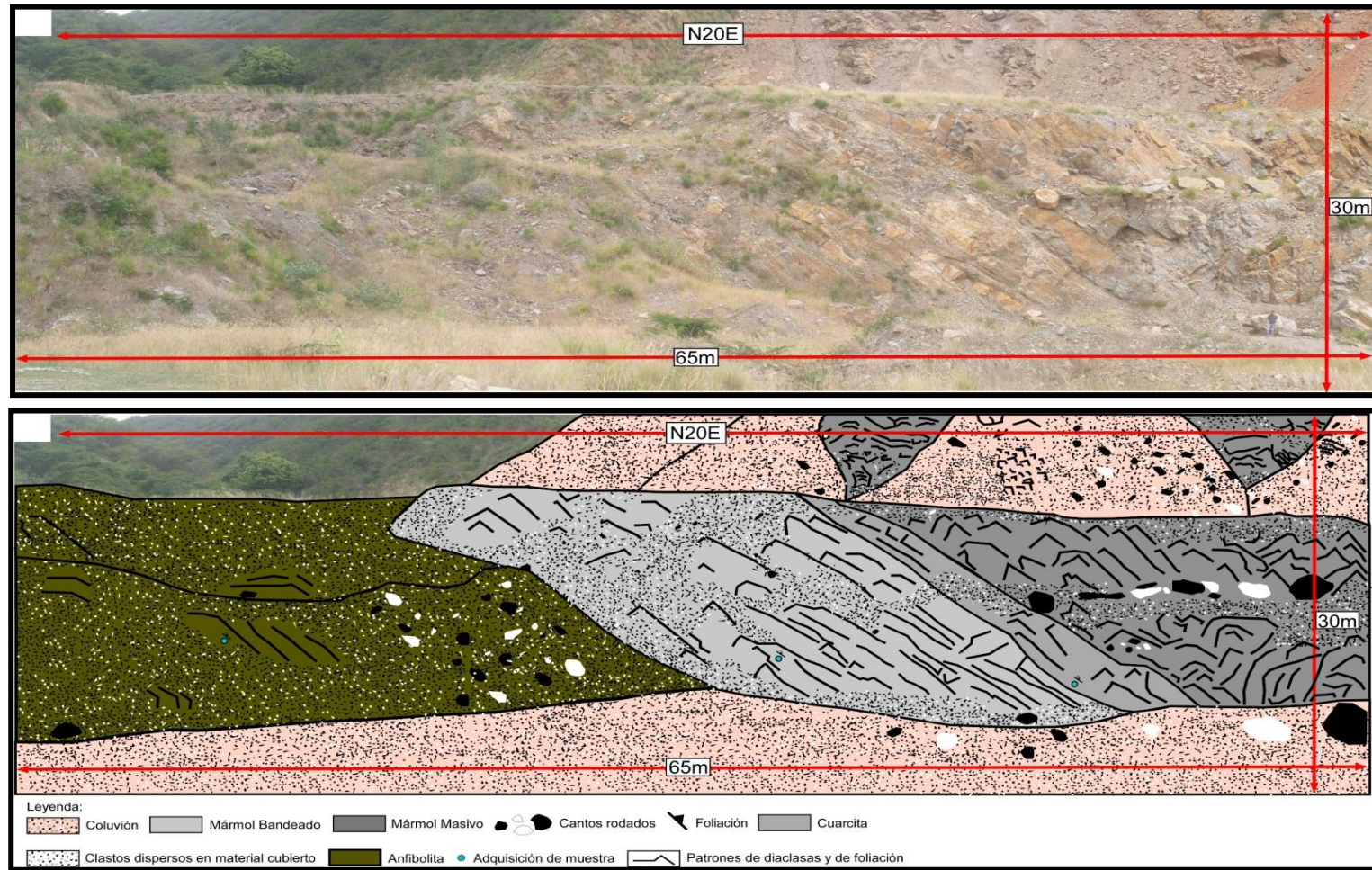


Figura 4.61 Fotomosaico descriptivo 1 del frente 2 de la Cantera Tacagua, ubicado al oeste de dicho frente de explotación.

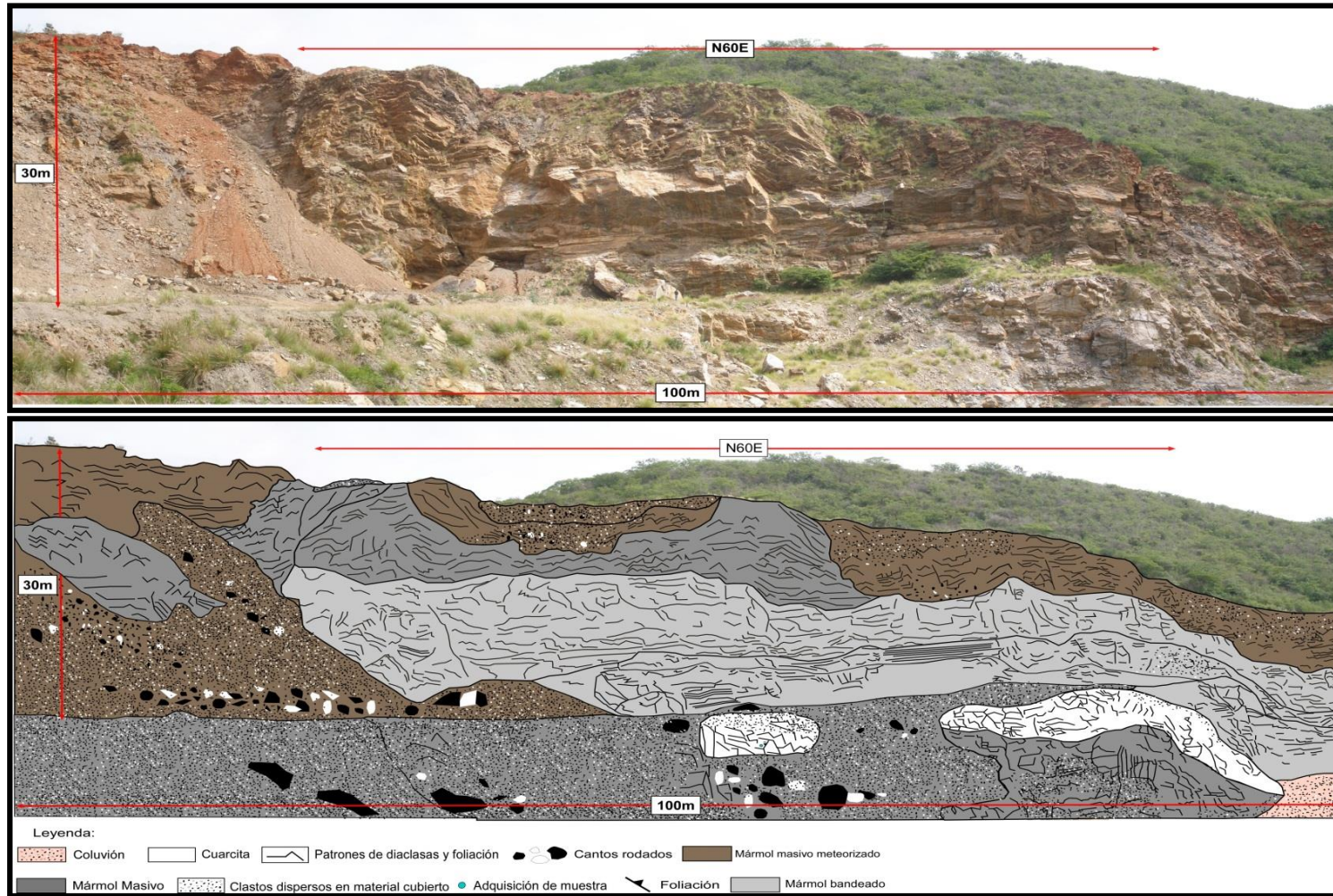


Figura 4.62. Fotomosaico descriptivo 2 del frente 2 de la Cantera Tacagua, ubicado al oeste, seguido del fotomosaico 1.

4.6.1.3 Fotomosaico descriptivo 3, ubicado al centro oeste, seguido del fotomosaico 2: Este fotomosaico tiene una orientación N74°E, se encuentra constituido de base a tope por una base de coluvión al pie de la montaña, seguido de la unidad informal Rocas Grises Masivas conformado por mármol masivo de color gris, también se encuentra en la parte superior de dicho frente, representado por el mármol masivo meteorizado de color pardo oscuro, por la presencia de óxido de hierro, en forma de franja paralela horizontal, ocupando un área aproximada de 380 m², suprayacente se encuentra la unidad informal Rocas Blancas definido por cuarcita de color blanco, en forma alargada, ocupando un área aproximada de 130 m², por encima y en forma de franja paralela y tabular, se encuentra la unidad litológica Rocas Bandeadas conformado por mármol bandeado de color gris claro, abarcando un área aproximada de 500 m² (ver fig. 4.63).

4.6.1.4 Fotomosaico descriptivo 4, ubicado al centro norte, seguido del fotomosaico 3: Este fotomosaico tiene una orientación N74°E, se identificaron tres unidades informales definidas por Rocas Grises Masivas, Rocas Blancas y Rocas Bandeadas; las Rocas Grises Masivas (constituidas por mármol masivo y mármol masivo meteorizado), se encuentran al este, oeste y al norte en forma alargada y tabular, abarcando un área aproximada de 470 m², la unidad litológica Rocas Blancas, se conforma por cuarcita de color blanco por el alto contenido de cuarzo, albita y ortosa, abarcando un área aproximada de 30 m², encontrándose en contacto abrupto con la unidad informal Rocas Bandeadas, constituido por el mármol bandeado de color gris claro, el cual se haya de forma alargada y estructuralmente como un sinforme, abarcando un área aproximada de 500 m². La base de dicho frente se constituye de coluvión y cantos rodados (ver fig 4.64).

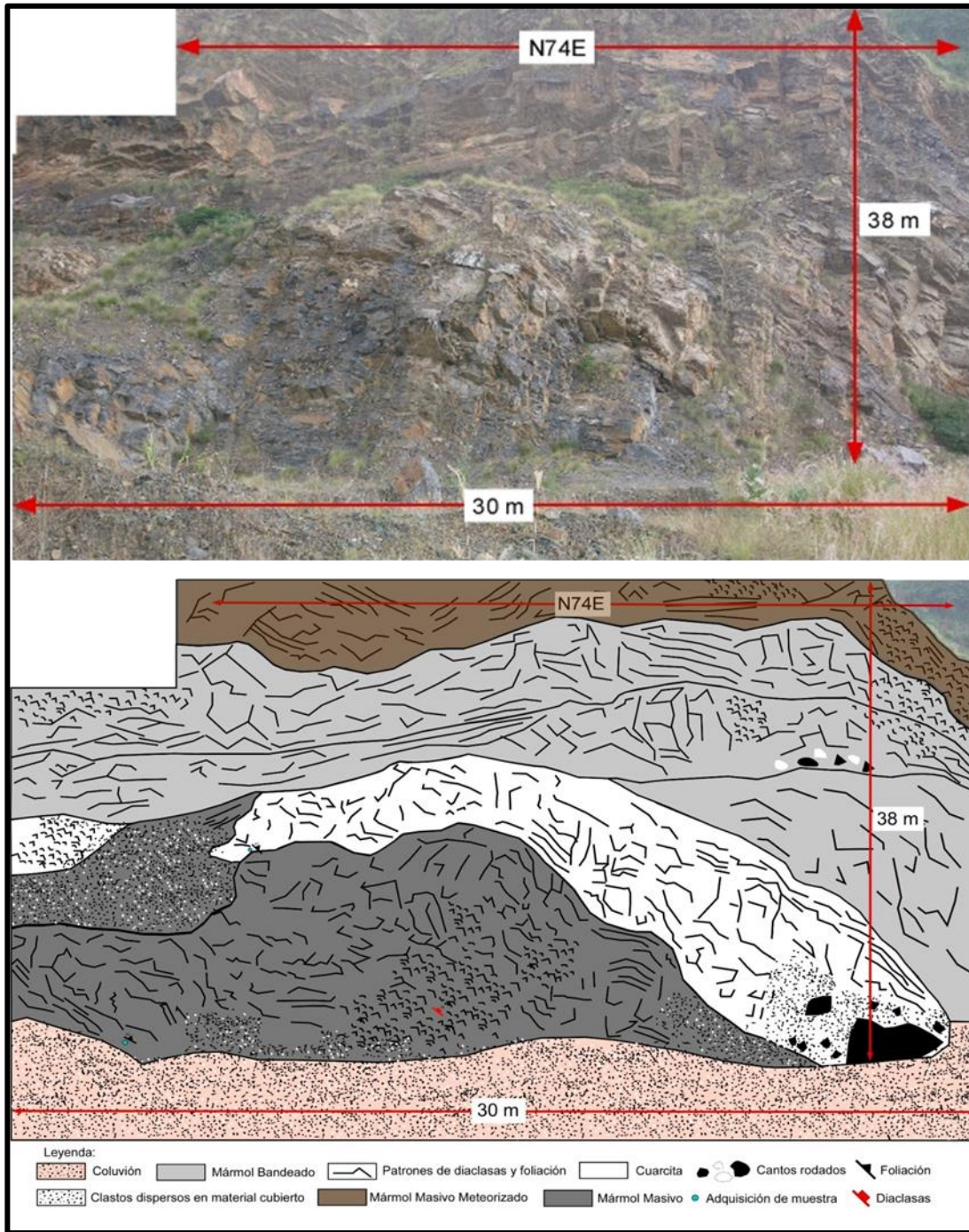


Figura 4.63. Fotomosaico descriptivo 3 del frente 2 de la Cantera Tacagua, ubicado al centro oeste, seguido del fotomosaico 2.

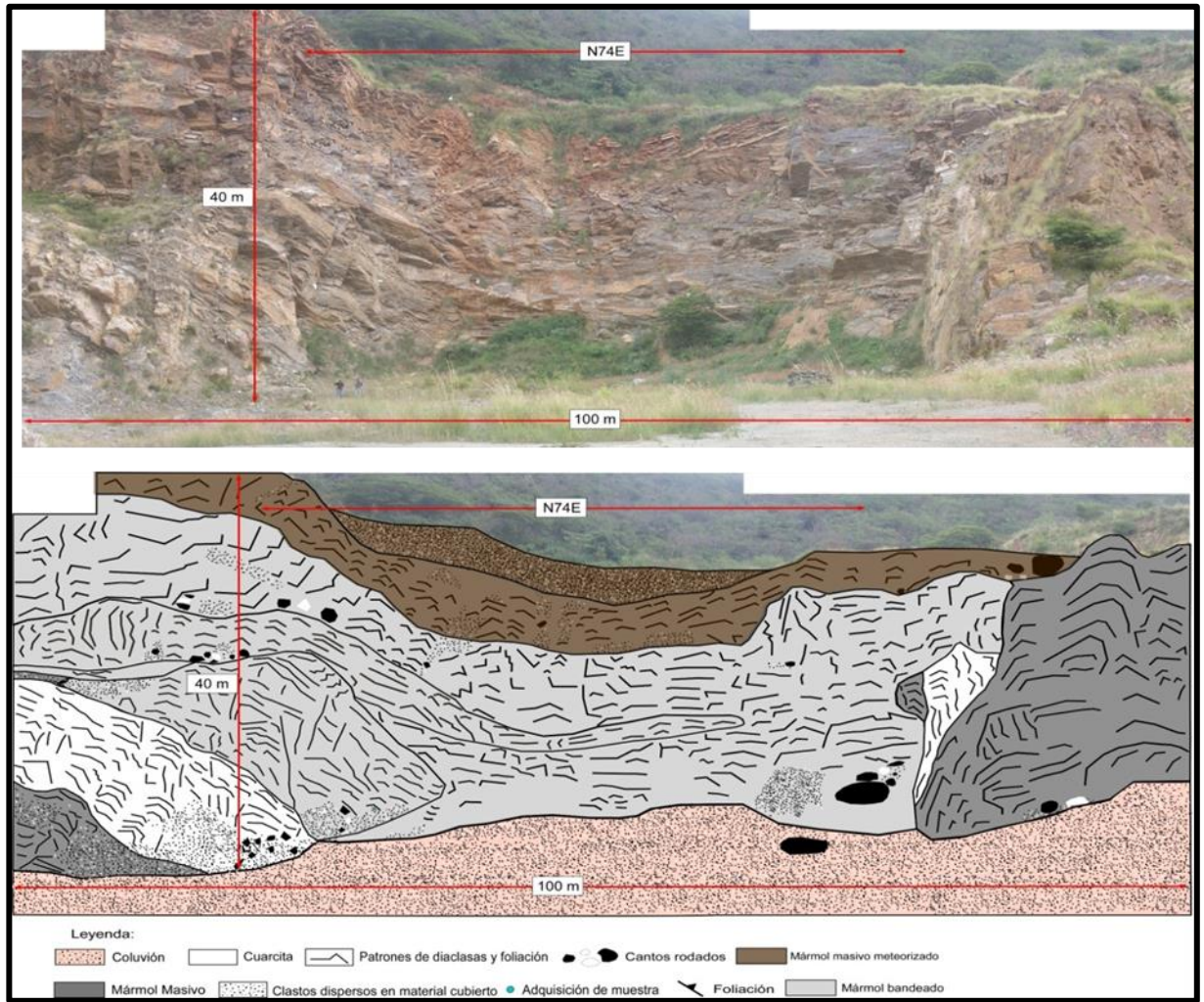


Figura 4.64 Fotomosaico descriptivo 4 del frente 2 de la Cantera Tacagua, ubicado al centro norte, seguido del fotomosaico 3.

4.6.1.5 Fotomosaico descriptivo 5, ubicado al este, seguido del fotomosaico 4, de forma lateral.: Este fotomosaico tiene una orientación N30°O, se identificaron dos unidades litológicas definidas por Rocas Grises Masivas y Rocas Blancas, encontrándose de forma intercalada y en contacto abrupto. De izquierda a derecha se encuentra la unidad informal Rocas Grises Masivas, constituido por el mármol masivo de color fresco gris y meteorizado pardo claro, bastante competente con presencia de diaclasas con una orientación en general de N70O40N, abarcando un área aproximada de 65 m². En contacto abrupto se encuentra la unidad informal Rocas Blancas, conformado por cuarcita de color fresco blanco con una orientación

N51O37N, abarcando un área aproximada de 6 m². La base de dicho frente se constituye de coluvión y cantos rodados (ver fig. 4.65).

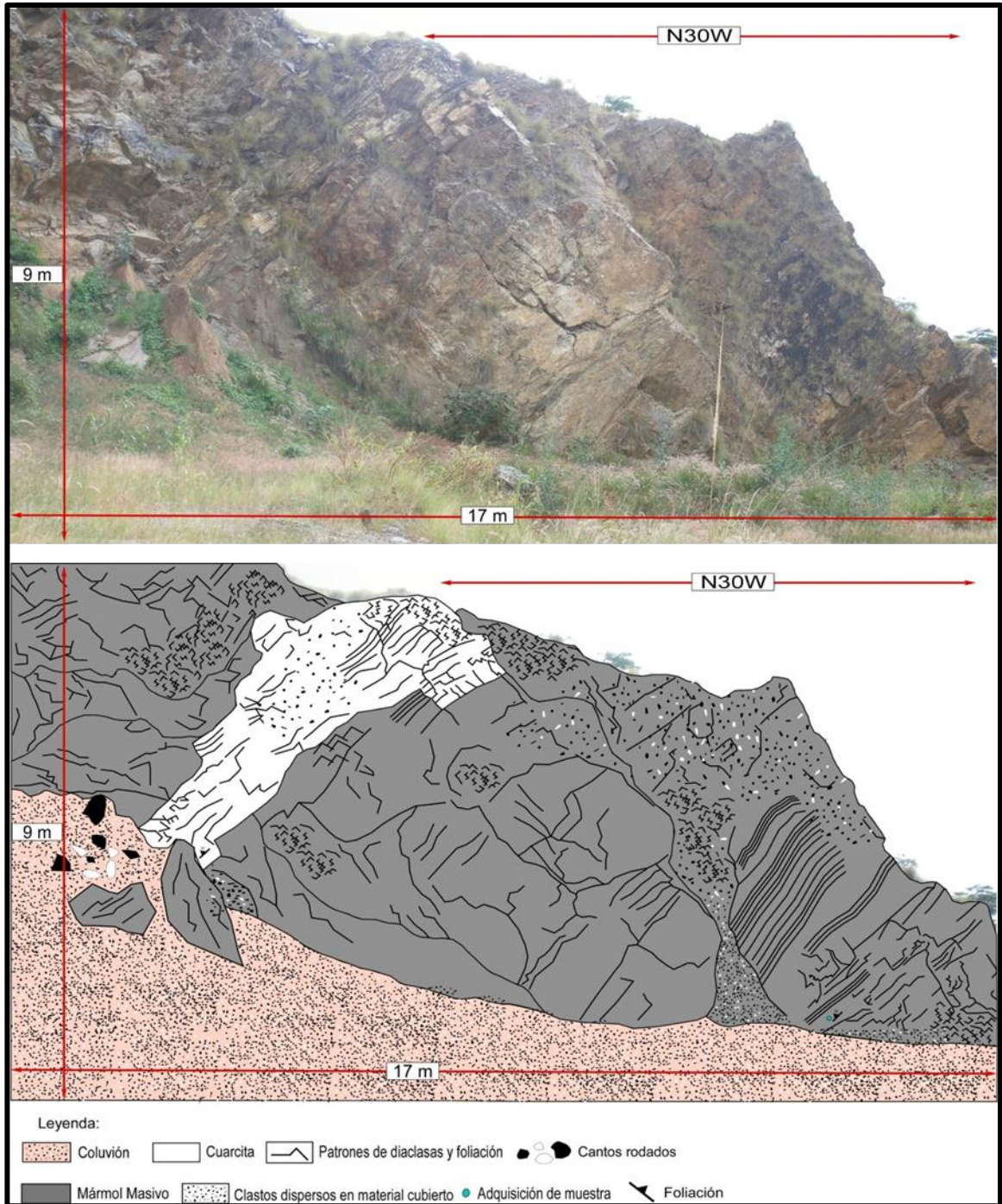


Figura 4.65 Fotomosaico descriptivo 5 del frente 2 de la Cantera Tacagua, ubicado al este, seguido del fotomosaico 4, de forma lateral.

4.6.1.6 Fotomosaico descriptivo 6, ubicado al oeste en la parte superior del frente 2: Este fotomosaico se ubica en la parte superior al oeste del frente de explotación 2 con una orientación N70°E, se identificaron dos unidades litológicas definidas por Rocas Grises Masivas y Rocas Bandeadas, las Rocas Grises Masivas, constituidas por mármol masivo (color gris) y mármol masivo meteorizado (color pardo oscuro), se encuentran de oeste a este y al norte, al oeste se haya en forma de derrumbe y con roca dura en la parte central, con cantos rodados al pie de la montaña, al norte y este, se haya en forma alargada y tabular, abarcando un área aproximada de 1 800 m², la segunda unidad informal Rocas Bandeadas, se encuentra constituido por mármol bandeado de color gris claro, en forma tabular masiva y alargada, infrayacente al mármol masivo y meteorizado, abarcando un área aproximada de 500 m². La base de dicho frente se constituye de coluvión y cantos rodados (ver fig. 4.66).

4.6.2 FOTOMOSAICO FRENTE 4

4.6.2.1 Fotomosaico descriptivo 1, ubicado en la parte central de dicho frente: Este fotomosaico tiene una orientación N50°O, se identificaron tres unidades informales definidas de izquierda a derecha como: Rocas Bandeadas, constituido por mármol bandeado de color gris claro y abarcando un área aproximada de 20 m², de forma lateral y hacia la derecha se encuentra la unidad informal Rocas Grises Masivas constituido por mármol masivo de color gris y foliado con una orientación en general de N80O40N, abarcando un área aproximada de 610 m². En la parte central de dicho fotomosaico, se ubica la última unidad informal definida como Rocas Verdes, constituida por eclogita y anfibolita epidótica, abarcando un área aproximada de 230 m². La base de dicho frente se constituye de coluvión y cantos rodados (ver fig. 4.67).

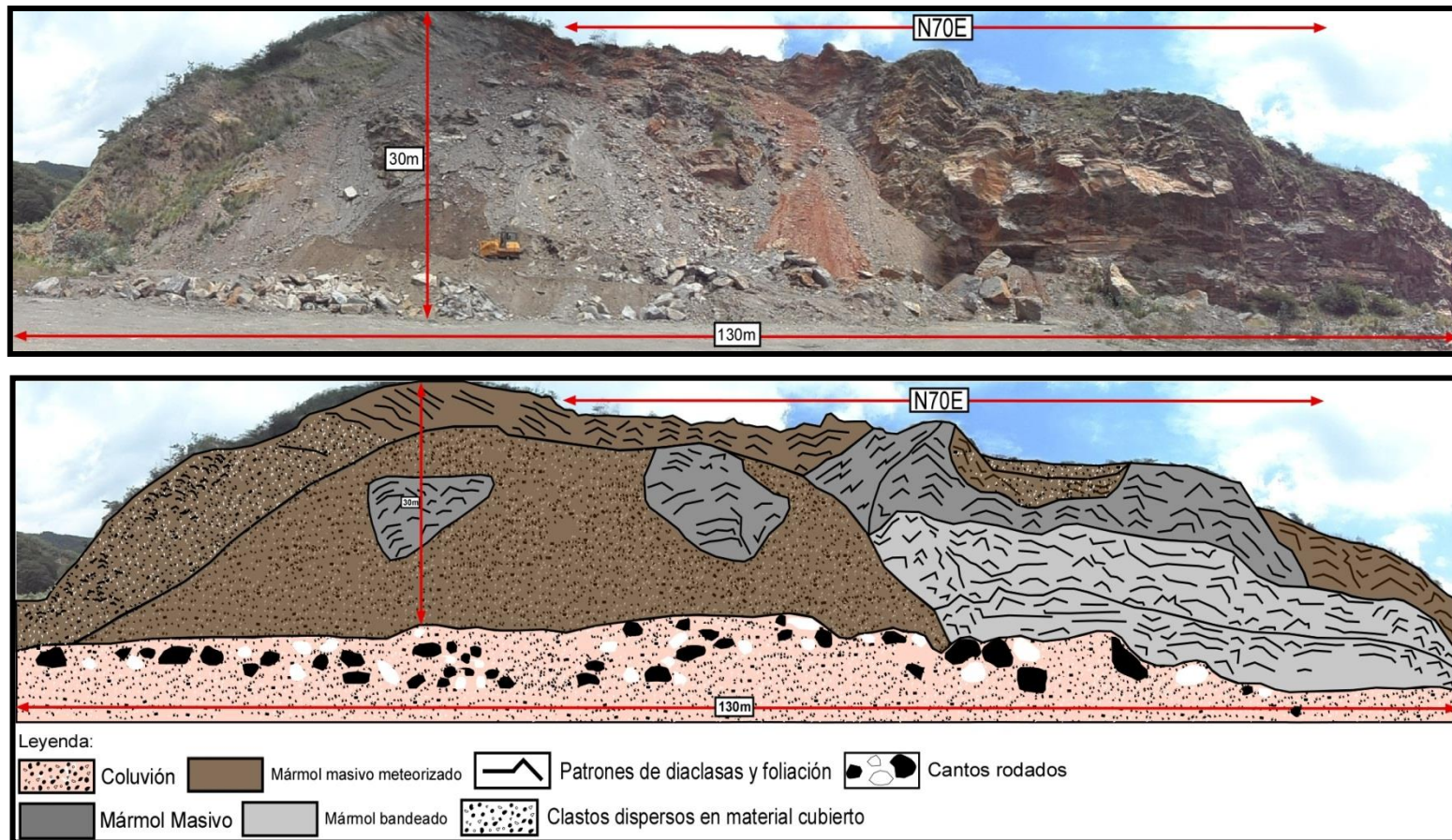


Figura 4.66 Fotomosaico descriptivo 6 del frente 2 de la Cantera Tacagua, ubicado en la parte superior de dicho frente, al oeste.

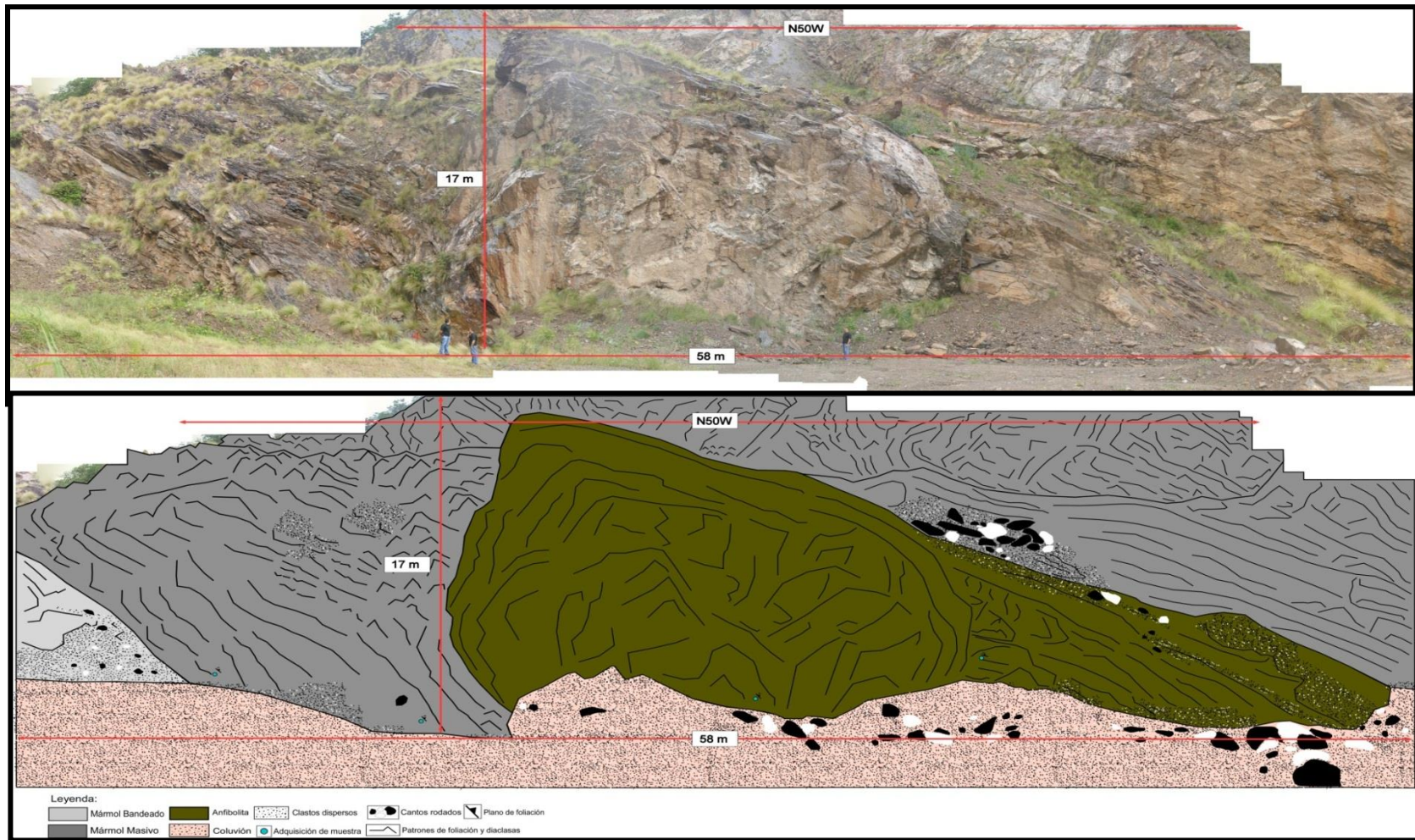


Figura 4.67. Fotomosaico descriptivo 1 del frente 4 de la Cantera Tacagua, ubicado en la parte central de dicho frente.

4.6.2.2 Fotomosaico descriptivo 2, ubicado en la parte central este, seguido de fotomosaico 1: Este fotomosaico tiene una orientación N40°O, se identificaron tres unidades litológicas definidas de oeste a este como: Rocas Verdes de color gris oliva, constituido por eclogita y anfibolitas (epidótica y micácea), en forma de franjas paralelas e intercaladas con los mármoles, la cual ocupa un área total aproximada de 550 m². De forma lateral y hacia la derecha, seguido de las Rocas Verdes y al este del frente 4, se encuentra la unidad informal Rocas Grises Masivas de color gris, abarcando un área aproximada de 1 200 m². Intercalado y en franja paralela se encuentra la unidad informal Rocas Bandeadas, definido por el mármol bandeado, abarcando un área aproximada de 45m². La base de dicho frente se constituye de coluvión (ver fig. 4.68).

4.6.2.3 Fotomosaico descriptivo 3, ubicado en la parte central este (superior), seguido de fotomosaico 2: Este fotomosaico tiene una orientación N40°O, se identificaron tres unidades informales definidas de oeste a este como: Rocas Bandeadas, conformado por el mármol bandeado de color gris claro, encontrándose al oeste y en franja paralela al este, ocupando un área aproximada de 65 m². De forma lateral y hacia la derecha, intercalado con los mármoles se encuentra la unidad informal Rocas Verdes, constituido por eclogita, anfibolitas epidótica y micácea, abarcando un área aproximada de 780 m². Seguido de las Rocas Verdes y al este de dicho frente se encuentra la unidad informal Rocas Grises Masivas, definido por el mármol masivo de color gris y foliado con una orientación en general de N80O40N, abarcando un área aproximada de 1 810 m². Este fotomosaico representa las áreas totales de las unidades litológicas definidas que constituyen al frente 4 (ver fig. 4.69).

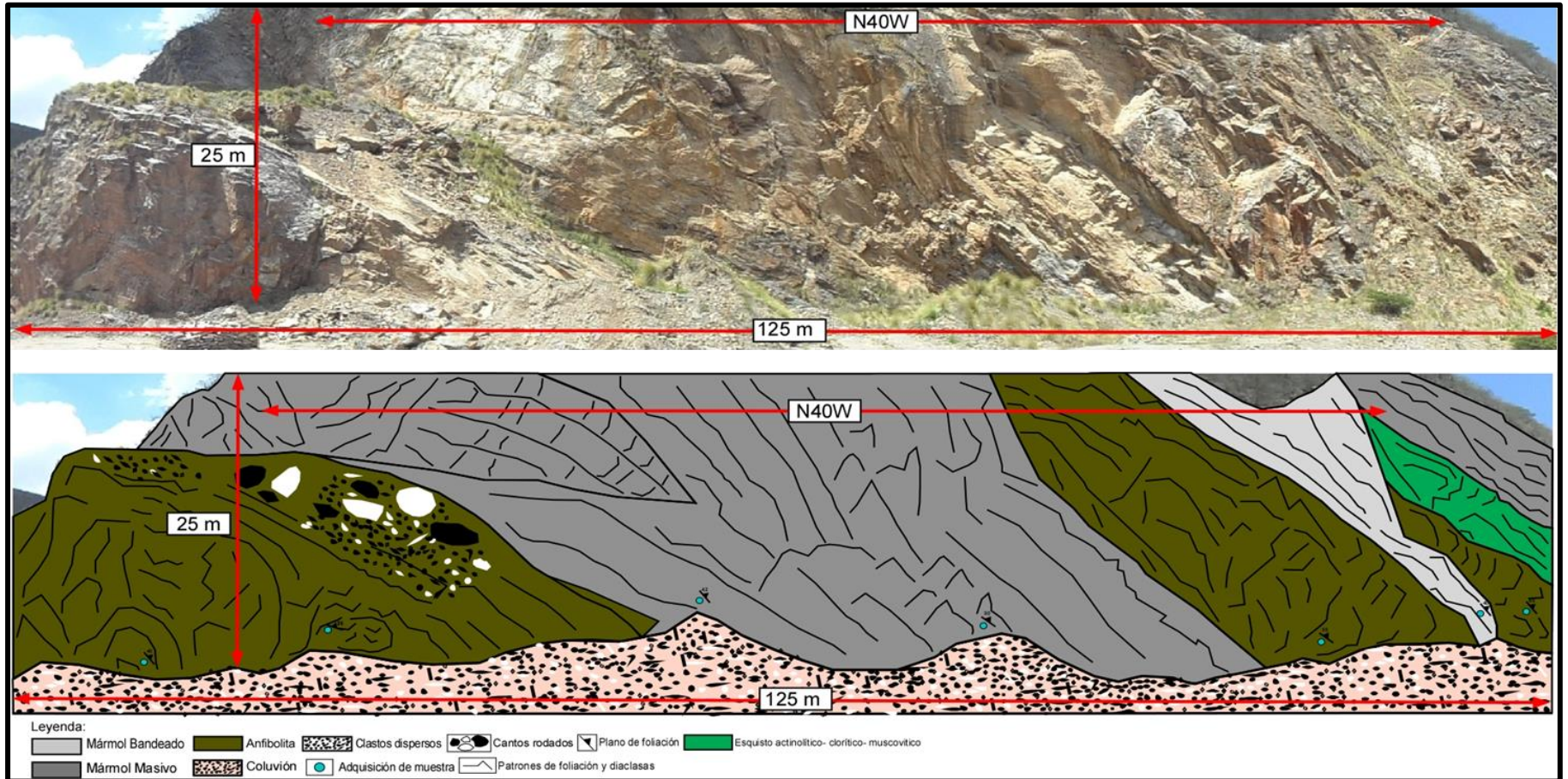


Figura 4.68 Fotomosaico descriptivo 2 del frente 4 de la Cantera Tacagua, ubicado en la parte central este, seguido de fotomosaico 1.

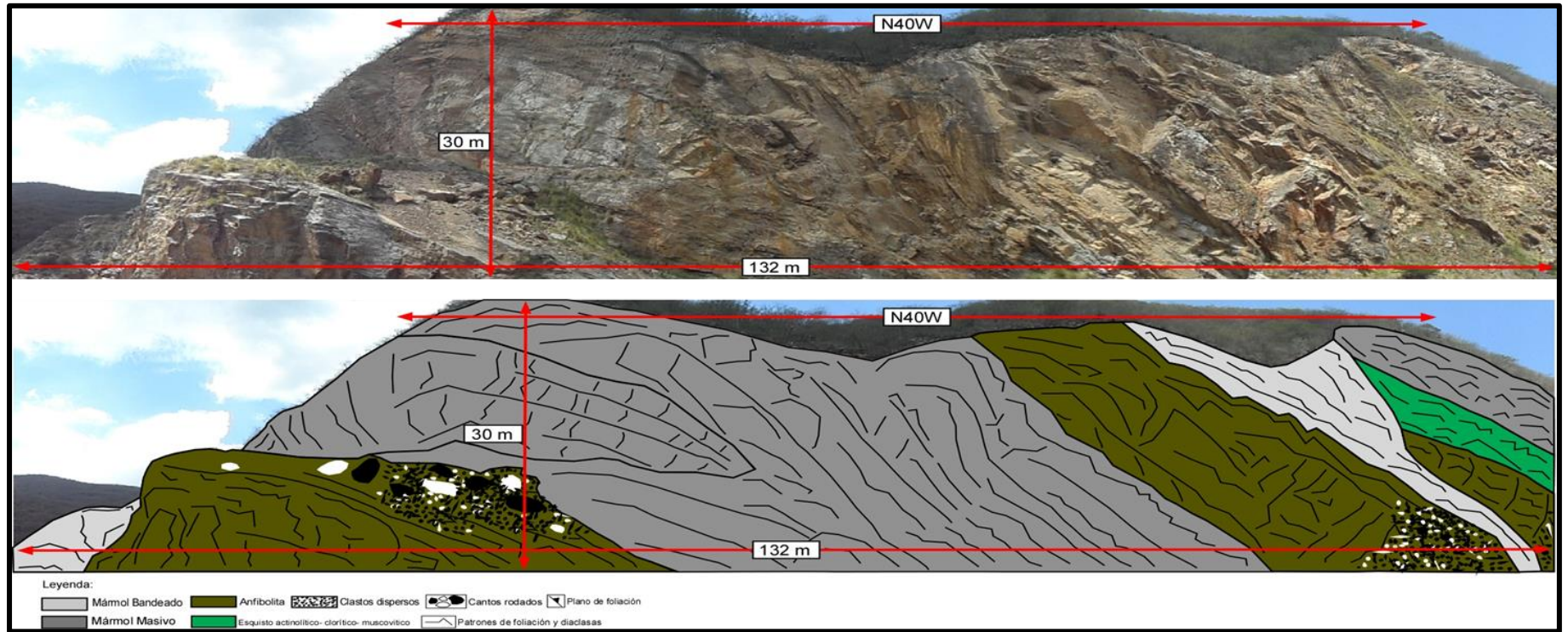


Figura 4.69 Fotomosaico descriptivo 3 del frente 4 de la Cantera Tacagua, ubicado en la parte central este (superior), seguido de fotomosaico 2.

4.7. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE LAS UNIDADES INFORMALES

A continuación se presenta uno de los productos obtenidos en la etapa de post campo, los cuales son los dos mapas de cada uno de los frentes de explotación (2 y 4) de la Cantera Tacagua; el mapa del frente 2 se elaboró a escala 1:1000 bajo el dibujador CANVAS 14. En este mapa se observan las unidades informales Rocas Verdes, Rocas Bandeadas, Rocas Grises Masivas y Rocas Blancas en franjas alargadas y pseudoparalelas y el mapa del frente 4 a escala 1:750, en el cual los cuerpos de roca de la unidad informal Rocas Verdes se distribuye en forma de lentes y las unidades informales Rocas Bandeadas y Rocas Grises Masivas en forma de cuerpos masivos. La unidad litológica Rocas Blancas, no se encuentra aflorando en este frente de explotación.

4.7.1 CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA FRENTE 2

El frente 2 de la Cantera Tacagua (ver fig.4.70) se encuentra constituido por las cuatro unidades litológicas definidas: Rocas Verdes, Rocas Bandeadas, Rocas Grises Masivas y Rocas Blancas cuya disposición espacial se detalla a continuación: de sur a norte se ubican las Rocas Verdes conformadas por anfibolita de color oliva oscuro y orientación de plano de foliación de la muestra MCTF2 (1) N70E60N, ocupan un 15% aproximadamente del área total comprendida entre los linderos, se haya en contacto concordante con las rocas bandeadas al norte y en contacto discordante con las rocas grises masivas al este y al oeste con el coluvión.

Las rocas grises masivas, bandeadas y blancas ocupan 60% aproximadamente del área total comprendida entre los linderos, se encuentran intercaladas y en franjas paralelas con una orientación aproximada hacia el oeste con dirección noroeste-sureste y al este una dirección noreste-suroeste en contacto concordante entre ellas y con respecto al coluvión y el mármol masivo meteorizado se encuentran espacialmente en contacto discordante abarcando un espacio aproximado de 25% del área total comprendida entre los linderos de dicho frente.

Su topografía es principalmente montañosa se ubica en una fila cuya línea de cresta es aguda y de laderas asimétricas con pendiente abrupta.

4.7.2 CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA FRENTE 4

El frente 4 de la Cantera Tacagua (ver fig. 4.71) se encuentra constituido por tres unidades informales: Rocas Verdes, Rocas Bandeadas y Rocas Grises Masivas, cuya disposición espacial se detalla a continuación: de sur a norte se ubican las Rocas Bandeadas constituida por mármol bandeado de color gris claro y orientación de plano de foliación de la muestra MCTF4 (1) N75E30N, presente también en la parte oeste con una geometría masiva, ocupando un espacio aproximado de 10 % del área total comprendida entre los linderos.

Al sur del mapa se encuentra una falla de corrimiento con orientación norte-suroeste, la misma corresponde a la hoja 6847-IV-SO cartografiada por FUNVISIS (2003).

Las Rocas Grises Masivas constituidas por mármol masivo de color gris oscuro, se hayan en contacto concordante espacialmente con las Rocas Bandeadas y las Rocas Verdes con dirección aleatoria, ocupando un área aproximada de 12 % del área total comprendida entre los linderos con una geometría masiva. Las Rocas Verdes constituidas por anfíbolitas y eclogita, se encuentran en contacto concordante espacialmente con las Rocas Bandeadas y Grises Masivas, ocupando un área aproximada de 8 % del área total comprendida entre los linderos. Con respecto al coluvión se haya en contacto discordante con las unidades litológicas aflorantes, abarcando un área aproximada de 5 %.El 65 % del área remanente equivale a un cuerpo rocoso heterogéneo constituido por mármol bandeado y mármol masivo.

Su topografía es principalmente montañosa se ubica en una fila con dirección noreste- suroeste, cuya línea de cresta es aguda y de laderas asimétricas con pendiente abrupta.

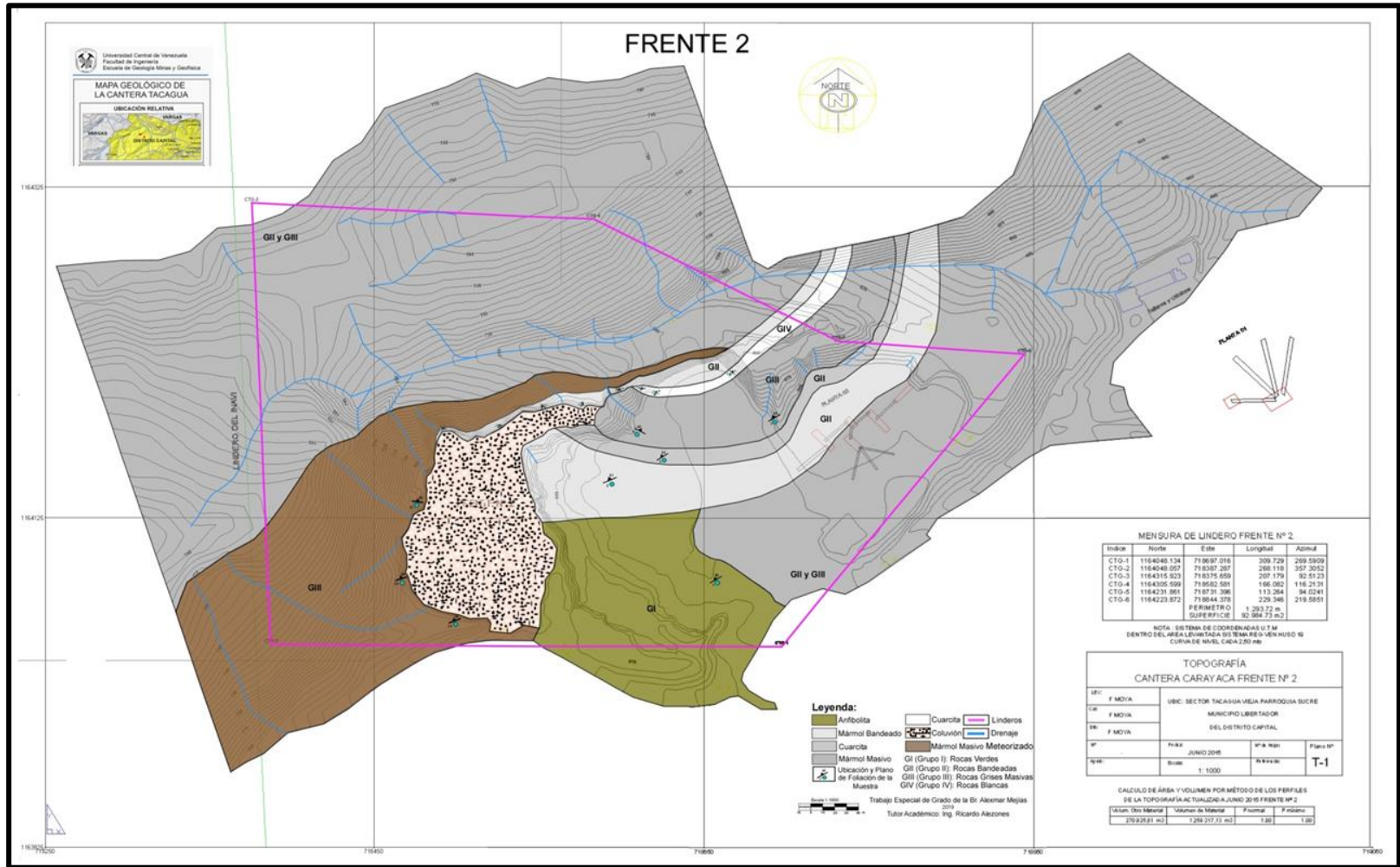


Figura 4.70. Mapa de unidades informales (Rocas Verdes, Rocas Bandeadas, Rocas Grises Masivas y Rocas Blancas), del frente 2 de la Cantera Tacagua.

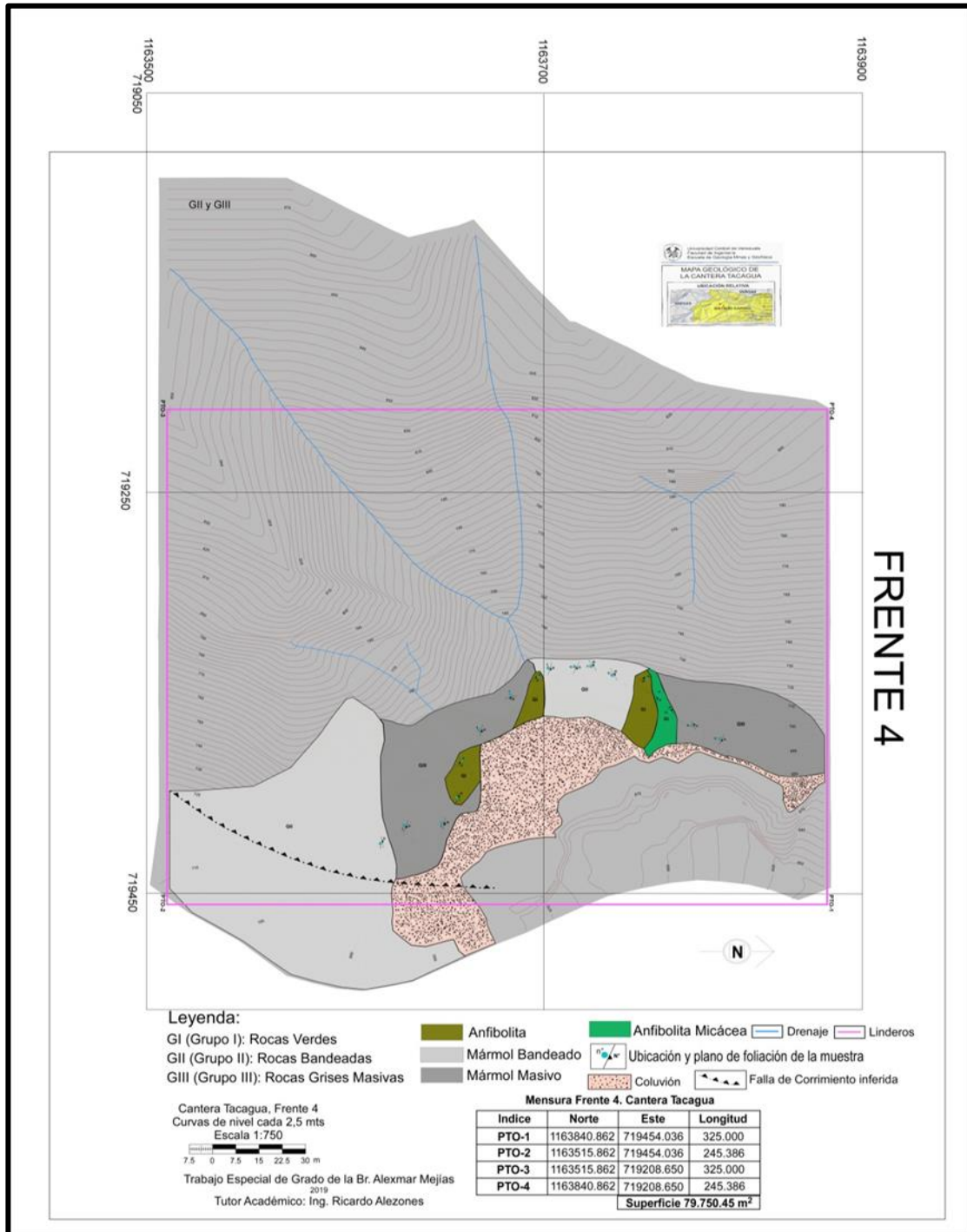


Figura 4.71 Mapa de unidades informales (Rocas Verdes, Rocas Bandeadas y Rocas Grises Masivas), del frente 4 de la Cantera Tacagua.

4.8 ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DEL MACIZO ROCOSO

Con la metodología descrita en el capítulo 3 para la estimación del volumen, se obtuvo un Modelo de Elevación del Terreno (TIN) para cada frente (2 y 4) de cantera Tacagua (ver fig. 4.72 y 4.73).

El volumen obtenido es con respecto al área total abarcada dentro de los linderos de cada frente de explotación (2 y 4). Siendo el valor $3.797.835,94 \text{ m}^3$ para el frente 2 y $7.882.135,59 \text{ m}^3$ para el frente 4.

4.8.1 ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DEL FRENTE 2

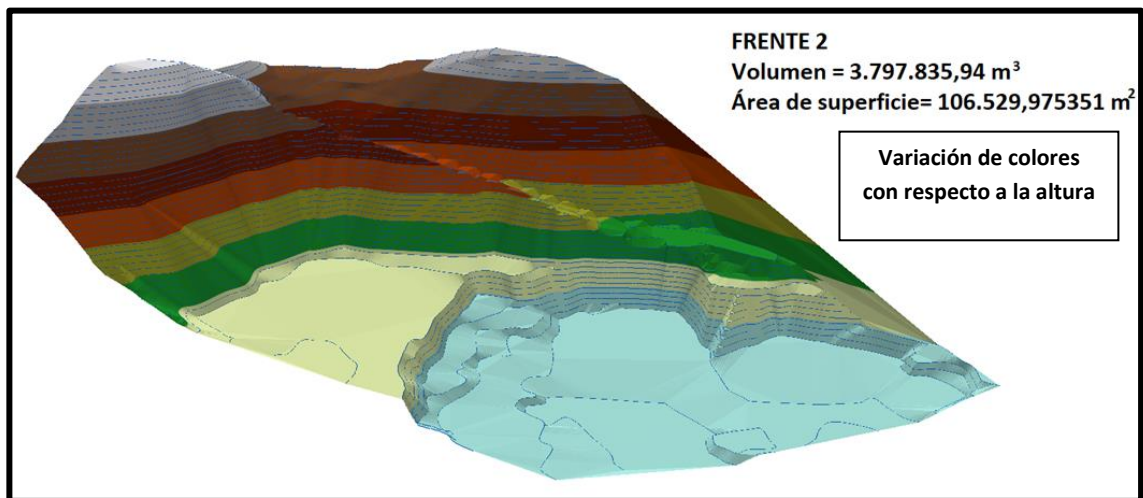


Figura 4.72 Estimación del volumen del frente 2, mediante un TIN generado a través del software *ArcGis 10.3*.

4.8.2 ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DEL FRENTE 4

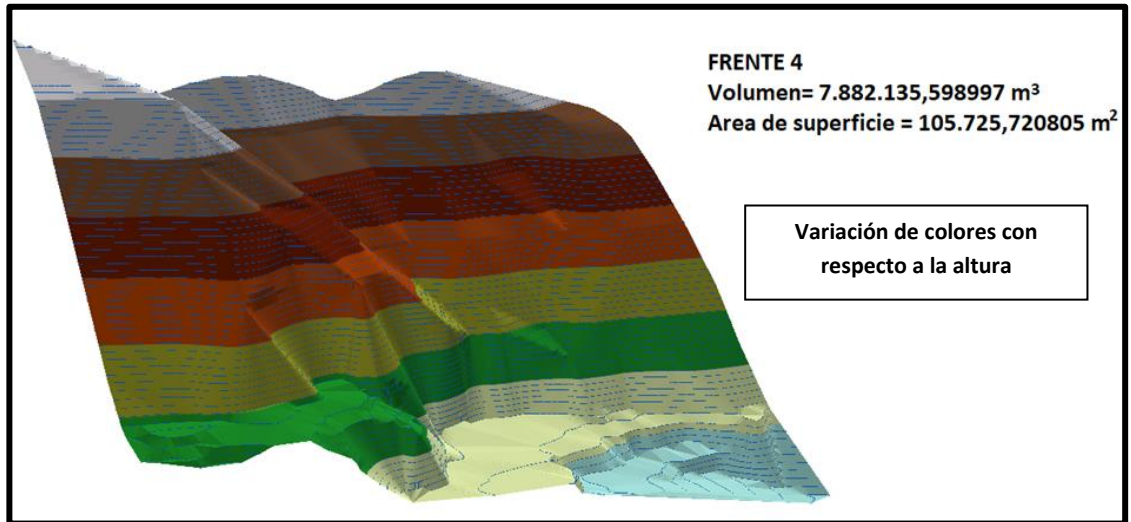


Figura 4.73 Estimación del volumen del frente 4, mediante un TIN generado a través del software *ArcGis* 10.3.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 INTERPRETACIONES PETROGRÁFICAS DE LOS FRENTE 2 Y 4

Los criterios utilizados para determinar e interpretar los procesos metamórficos que afectaron la zona de estudio, se presentan a continuación:

Según OSTOS (1981), los grupos litológicos para dilucidar el protolito de una roca metamórfica, se dividen en:

- **Rocas pelíticas:** aquellas que poseen más del 30% en volumen de filosilicatos.
- **Rocas cuarzo feldespáticas:** aquellas que poseen más del 25% en volumen de cuarzo y feldespato.
- **Rocas carbonáticas:** aquellas que tienen más del 25% en volumen de calcita.
- **Rocas máficas:** aquellas que poseen más del 25% en volumen de anfíboles (eclogita y anfibolita)
- **Rocas ultramáficas:** serpentinita.

Para determinar las facies metamórficas se utilizó el modelo de Turner (1981), el cual relaciona presión, temperatura y profundidad a la que fue sometida la roca (ver fig. 5.1). Los límites entre las distintas facies son bandas transicionales, determinadas fundamentalmente por cambios mineralógicos en composiciones máficas.

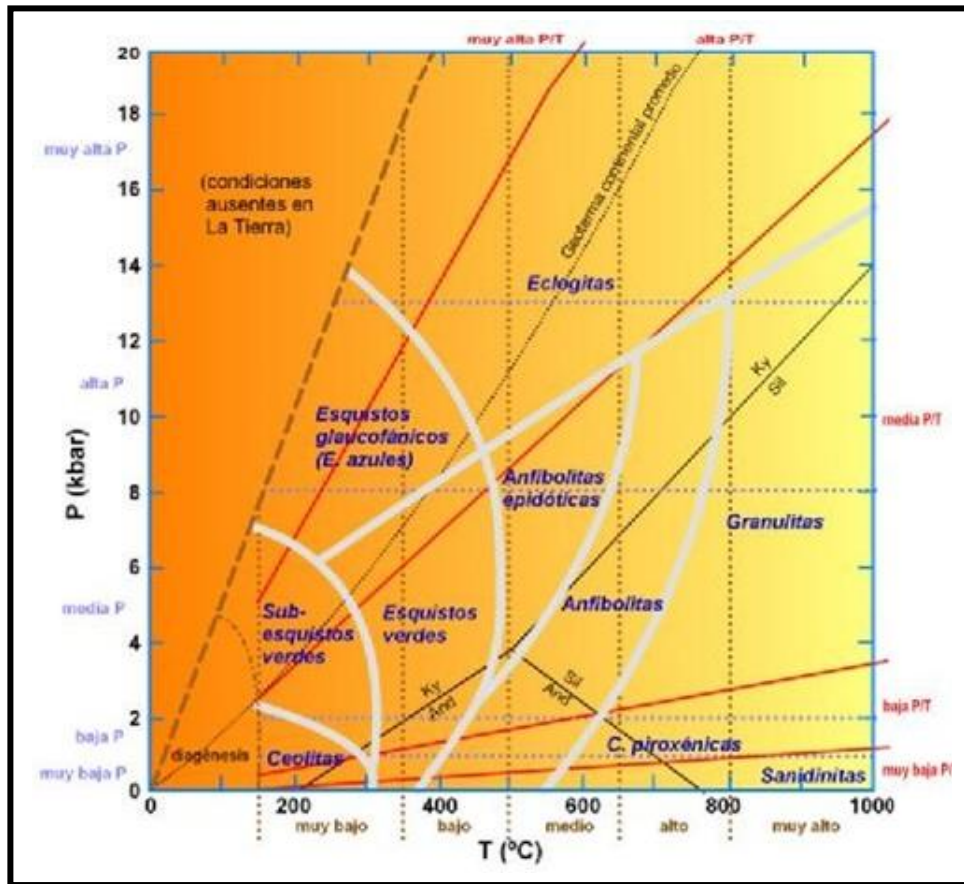


Figura 5.1 Esquema, nomenclatura y distribución en el espacio P-T de las facies metamórficas más comunes (Spear, 1993). La figura incluye igualmente la terminología recomendada por la SCRM (Subcomisión sobre la Sistemática de las Rocas Metamórficas), para clasificar el grado metamórfico (de muy bajo a muy alto, en función exclusiva de la temperatura), así como la presión y relación P/T. Tomado y modificado de <https://www.ugr.es/~petgquim/descargas/CPM.pdf>.

Tabla 5.1 Facies metamórficas: asociaciones y sub-asociaciones minerales diagnósticas en rocas máficas y cuarzo pelíticas. (AP:Alta Presión, BP:Baja Presión). Tomado de <https://www.ugr.es/~petgquim/descargas/CPM.pdf>.

Facies		Rocas máficas	Metapelitas
Zeolitas		← <i>Laumontita</i> (más común), analcita, heulandita, wairakita. (abundantes relictos).	← Interestratificados arcillosos.
Sub-esquistos verdes (prehnita-pumpellyita)	(AP)	← <i>Lawsonita</i> + albita.	<i>Illita/muscovita</i> + clorita + albita + cuarzo. Estilpnomelana, <i>pirofilita</i> .
	(BP)	<i>Prehnita</i> + <i>pumpellyita</i> ± clorita ± albita ± epidota (zona de más baja temperatura). <i>Pumpellyita</i> + <i>actinolita</i> (zona de más alta temperatura).	
Esquistos verdes	(AP)	<i>Actinolita</i> + epidota ± albita ± clorita ± stilpnomelana (zona de más baja temperatura). Hornblenda ± <i>actinolita</i> + albita + <i>clorita</i> + epidota ± granate (zona de más alta temperatura).	Clorita + <i>muscovita</i> + albita (zona de baja temperatura). Clorita + <i>muscovita</i> + <i>biotita</i> + albita. <i>Cloritoide</i> , paragonita + muscovita + albita. <i>Granate</i> + <i>clorita</i> + muscovita + biotita + albita (zona de más alta temperatura).
	(BP)	Albita + epidota + <i>actinolita</i> + clorita. <i>Actinolita</i> + oligoclasa.	← <i>Muscovita</i> + biotita + clorita.
Anfibolitas	(AP)	← <i>Hornblenda</i> + <i>plagioclasa</i> ± epidota ± granate.	<i>Estaurolita</i> , <i>distena</i> ó sillimanita + muscovita (zona de más baja temperatura). <i>Sillimanita</i> + <i>feldespato-K</i> ± muscovita + cordierita ó granate. Sillimanita + granate + cordierita (feldespato-K ausente).
	(BP)	← <i>Hornblenda</i> + <i>plagioclasa</i> ± cumingtonita	<i>Cordierita</i> + clorita + biotita + muscovita. <i>Andalucita</i> + biotita + muscovita. Cordierita + andalucita + muscovita (zona de más alta temperatura).
Granulitas	(AP)	Granate + <i>clinopiroxeno</i> + cuarzo + plagioclasa ± hornblenda. Granate + <i>clinopiroxeno</i> + ortopiroxeno + plagioclasa ± hornblenda.	Distena + feldespato-K. <i>Cordierita</i> + <i>granate</i> + feldespato-K ± sillimanita ± <i>hiperstena</i> <i>Hiperstena</i> , safirina + cuarzo (alta temperatura).
	(BP)	← <i>Clinopiroxeno</i> + ortopiroxeno + plagioclasa ± olivino ± hornblenda.	Cordierita + andalucita + feldespato-K + <i>hiperstena</i> . Corindón + magnetita + anortita, vidrio (cuarzo ausente; alta temperatura).
Esquistos azules	(AP)	← <i>Glaucofana</i> + lawsonita.	<i>Fengita</i> + clorita ó talco + <i>granate</i> (biotita ausente). <i>Cloritoide</i> magnésico, carfolita.
Eclogitas	(AP)	← <i>Onfacita</i> + <i>granate</i> (plagioclasa y lawsonita ausentes).	← <i>Talco</i> + distena ± granate ± fengita.
Corneanas piroxénicas	(BP)	← <i>Clinopiroxeno</i> + <i>ortopiroxeno</i> + <i>plagioclasa</i> (olivino estable con plagioclasa)	← (ver granulitas BP)
Sanidimitas	(BP)	<i>Pigeonita</i> <i>Labradorita</i> rica en K	← (ver granulitas BP)

➤ **Rocas cuarzo feldespáticas (>25% en volumen de cuarzo y feldespato)**

Las rocas pertenecientes a este grupo litológico corresponden a las unidades informales Rocas Bandeadas y Rocas Blancas (encontrándose aflorando sólo en el frente 2) de la Cantera Tacagua. La asociación mineralógica que constituye a estos grupos es: cuarzo + muscovita + limonita ± calcita ± albita ± clorita ± dolomita ± sericita ± glaucofano ± talco ± grafito ± ortosa. Se puede ubicar en la facies de los Esquistos Azules, por la presencia del anfíbol azul glaucofano, mineral índice de esta facies (ver tabla 5.1).

El ambiente de formación de estas rocas, es característico de zonas de subducción de baja temperatura y alta presión, siendo un metamorfismo de grado medio, (ver fig. tabla 5.1). El protolito de estas rocas probablemente corresponde a sedimentos pelágicos.

Las rocas de esta unidad probablemente estuvieron sometidas a un metamorfismo retrogrado por la evidencia de la alteración del glaucofano a talco.

Rocas máficas (>25% en volumen de eclogita, esquistos actinolíticos cuarzo calcítico y anfibolitas)

Las rocas pertenecientes a este grupo litológico corresponden a las unidades informales Rocas Verdes y Rocas Bandeadas, encontrándose aflorando en ambos frentes de explotación (2 y 4) de la Cantera Tacagua. La asociación mineralógica que constituye a estos grupos es: actinolita + calcita + enstatita + cuarzo + granate ± clinozoisita ± zoisita ± albita ± limonita ± pirita ± leucóxeno ± grafito ± clorita ± muscovita ± biotita ± ortosa ± circón ± glaucofano ± omfacita ± epidota. Se puede ubicar en la facies de las Eclogitas, por la presencia de los minerales índice omfacita y granate (ver tabla 5.1).

El ambiente de formación de estas rocas, es característico de zonas de subducción de mayor profundidad donde aumenta la presión y temperatura

originando así un metamorfismo de grado alto, (ver fig. 5.1). El protolito de estas rocas corresponde a rocas máficas a ultramáficas.

Las rocas de esta unidad estuvieron sometidas a un metamorfismo retrogrado por la presencia del mineral glaucofano, el cual es característico de la facies de los Esquistos Azules de alta presión y baja temperatura.

➤ **Rocas carbonáticas (>25% en volumen de calcita)**

Las rocas pertenecientes a este grupo litológico corresponden a las unidades informales Rocas Bandeadas y Rocas Grises Masivas, encontrándose aflorando en ambos frentes de explotación (2 y 4) de la Cantera Tacagua. La asociación mineralógica que constituye a estos grupos es: calcita + cuarzo + muscovita + clorita ± epidota ± pirita ± zoisita ± clinozoisita ± ortosa ± limonita ± grafito ± actinolita ± circón ± sericita ± goethita. Se puede ubicar en la facies de los Esquistos Verdes, zona de la Clorita definida por el mineral índice clorita (ver tabla 5.1).

El protolito de estas rocas probablemente corresponde a lodos carbonáticos y sedimentos silíceos.

El grado de metamorfismo de estas rocas va de grado bajo para los mármoles bandeados por la evidencia de minerales tales como clorita, epidota y actinolita, pasando a un metamorfismo de grado medio para los mármoles masivos por la presencia de minerales tales como muscovita, albita, ortosa, zoisita y clinozoisita (ver fig. 5.1).

5.2 INTERPRETACIONES CARTOGRÁFICAS Y DE FOTOMOSAICOS DESCRIPTIVOS

Los frentes 2 y 4 de la cantera Tacagua se encuentran dentro de la Cordillera de la Costa, Serranía del Litoral en un terreno de naturaleza alóctona correspondiente al Complejo Nirgua (Terreno Nirgua) de la Faja Ávila, en el cual afloran las unidades litológicas informales definidas Rocas Verdes, Rocas Bandeadas, Rocas Grises

Masivas y Rocas Blancas con sus respectivas rocas constituyentes mármol bandeado y masivo, cuarcita, esquisto cuarzo micáceo grafitoso, esquisto cuarzo micáceo calcítico, esquisto actinolítico cuarzo calcítico, anfibolitas y eclogitas. Estos litotipos son producto del paso de la placa Caribe frente a la placa suramericana donde se originaron varios impulsos tectónicos generándose emplazamientos de corteza oceánica sobre corteza continental (ofiolitas) en todo el borde norte de Venezuela.

Tomando en cuenta la geología actualizada de los mapas recopilados por FUNVISIS (2003) el Terreno Las Mercedes compuesto por el Esquisto Las Mercedes aflora en todo el frente 2, lo cual difiere con la geología local determinada y descrita en el capítulo 4. En el frente 4 aflora el Complejo Nirgua el cual cabalga sobre el Terreno Las Brisas (Esquisto Las Brisas), la geología local determinada coincide casi en su totalidad con estas Formaciones aflorantes (ver fig. 5.2). En este trabajo de investigación con respecto a la geología local obtenida se propone mover los límites del frente de corrimiento hacia la parte norte por encima del frente 2 y hacia la parte sur por debajo del frente 4, abarcando el Complejo Nirgua perteneciente a la Faja Ávila ambos frentes de explotación (2 y 4) ya que la geología local corresponde en su totalidad con las rocas que constituyen a esta unidad litológica las cuales son: metasedimentarias pelíticos- psamíticos, rocas carbonáticas azul-grisáceas y volcánicas minoritarias (descritas a detalle en el capítulo 2). Ver fig. 5.3.

La disposición espacial de los cuerpos de rocas tanto en el frente 2 como en el frente 4 observados en los fotomosaicos descritos en el capítulo 4, se encuentran en franjas que varían su inclinación de pseudoparalelas a inclinadas, masivas y lenticulares con dirección aleatoria. Cabe destacar que el color que se observa en cada uno de los cuerpos de rocas que fueron delimitados en los fotomosaicos corresponde al color fresco de cada muestra, el cual fue determinado a través de la pulverización de una porción de la muestra para su representación visual en tablas descriptivas y fotomosaicos.

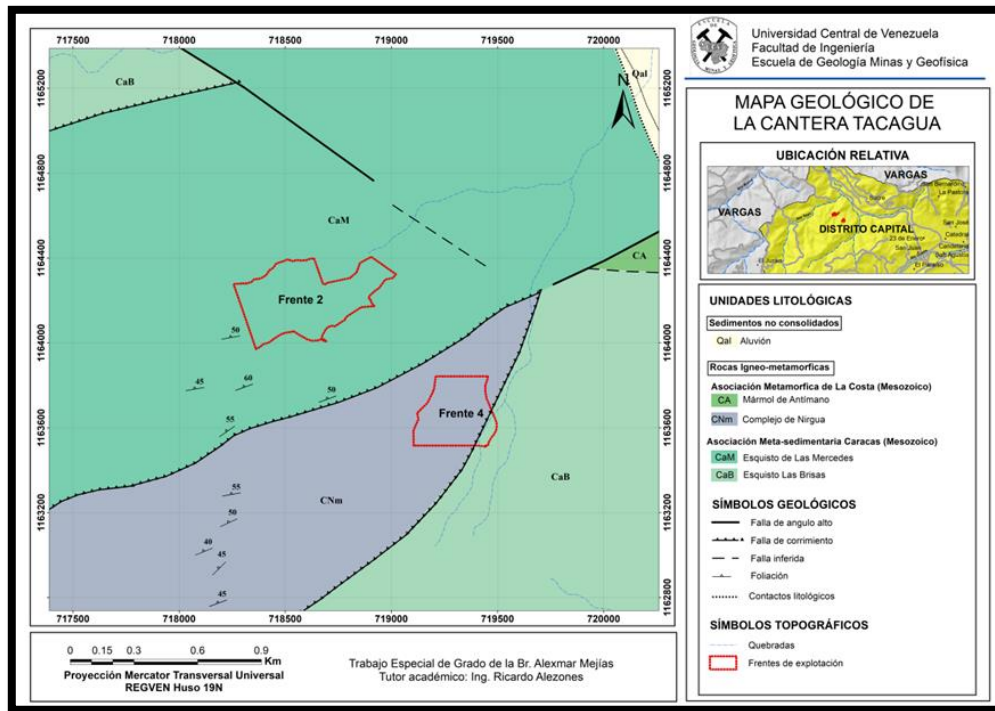


Figura 5.2 Mapa Geológico actual de los frentes 2 y 4 de la cantera Tacagua

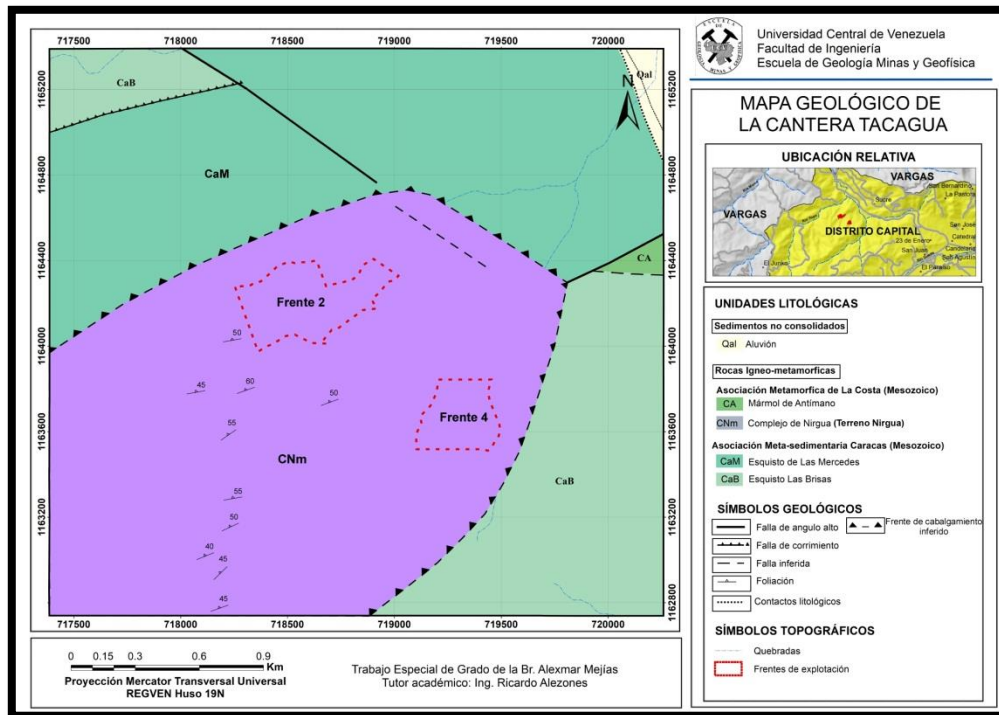


Figura 5.3 Mapa Geológico con límites inferidos de los frentes 2 y 4 de la cantera Tacagua

5.3 INTERPRETACIÓN CON RESPECTO A LA ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DEL MACIZO ROCOSO

El volumen obtenido en este trabajo de investigación para el frente 2 y 4 arroja los siguientes valores: 3.797.835,94 m³ para el frente 2 y 7.882.135,59 m³ para el frente 4, los cuales difieren con los resultado obtenidos en estudios previos realizados por MOYA (2015) en el frente 2 y por MENDEZ (2017) en el frente 4, donde obtuvieron volúmenes muchos menores que el calculado en este trabajo, ya que ellos solo toman en cuenta el material aprovechable y en este trabajo de investigación se toma todo el volumen del macizo rocoso.

La diferencia del cálculo del volumen entre los estudios previos y el estimado en este trabajo es que MOYA (2015) en el frente 2 y MÉNDEZ (2017) en el frente 4, calcularon reservas - volumen mineros, mientras que en el presente estudio se estimó reservas – volumen geológico.

CONCLUSIONES

- Después de haber identificado los minerales de las 20 muestras de rocas en los frentes 2 y 4 de la cantera Tacagua, se llegó que de acuerdo a la clasificación de OSTOS (1981) las unidades litológicas informales definidas tienen una correspondencia litológica de: las rocas cuarzo- feldespáticas con las unidades informales Rocas Bandeadas y Rocas Blancas, las rocas máficas con las unidades informales Rocas Verdes y Rocas Bandeadas; y las rocas carbonáticas con las unidades informales Rocas Bandeadas y Rocas Grises Masivas.
- Luego de identificar semicuantitativamente mediante el análisis de difracción rayos X la mineralogía presente en las 7 muestras representativas de las unidades litológicas informales definidas (Rocas Verdes, Rocas Bandeadas, Rocas Grises Masivas y Rocas Blancas) pertenecientes a los frentes 2 y 4, de la cantera Tacagua y comparándolos con los minerales obtenidos bajo el microscopio petrográfico se pudo corroborar la existencia de minerales tales como omfacita, enstatita, clorita, dolomita y demás minerales mayoritarios tales como cuarzo, calcita, albita y muscovita.
- Mediante los parámetros tales como aspecto físico (color fresco y meteorizado) y textura, se clasificaron los cuerpos de roca aflorantes en cada frente de explotación (2 y 4) en cuatro unidades litológicas informales definidas como: Rocas Verdes, Rocas Bandeadas, Rocas Grises Masivas y Rocas Blancas.
- Las unidades informales aflorantes cartografiadas en los mapas geológicos de cada frente de explotación 2 y 4 se encuentran dispuestas en franjas variando su orientación de pseudoparalelas a poseer contactos angulares, con presencia de cuerpos de geometría irregular y lenticulares con dirección aleatoria.
- De acuerdo con OSTOS (1981) se puede concluir que las rocas del área estudiada sufrieron al menos dos eventos metamórficos, caracterizándose el primero por una alta relación presión- temperatura correspondiente a la facies

de Esquistos Azules y facies de las Eclogitas siendo un metamorfismo de grado medio a alto, posteriormente ocurre un segundo evento por una menor relación presión- temperatura correspondiente a la facies de los Esquistos Verdes de grado metamórfico de bajo a medio.

- Simultáneamente al ocurrir cada evento metamórfico se originan deformaciones en los cuerpos rocosos, generándose para el primer evento un sistema de fallas con orientación noroeste-sureste, paralelas a la falla Tacagua como se puede observar en el mapa geológico de los frentes (2 y 4) y un segundo evento generando un sistema de fallas inversas o de corrimiento cuya dirección es noreste- suroeste observable en el mapa geológico.
- En los fotomosaicos descriptivos se puede observar la misma tendencia de las unidades informales definidas, donde su disposición espacial tanto en el frente 2 como en el frente 4, se encuentran dispuestas en franjas paralelas a pseudoparalelas y algunos cuerpos de roca mostrándose con geometría irregular y lenticulares con dirección aleatoria.
- El volumen total del macizo rocoso para el frente 2 es de 3.797.835,94 m³ y para el frente 4 es de 7.882.135,59 m³, tomando en cuenta el volumen geológico.
- El uso industrial de las Rocas Verdes es de revestimiento de edificios y base para la construcción de carreteras (roca triturada). Las Rocas Bandeadas, Grises Masivas y Blancas pueden ser pulidas y utilizadas para revestimiento de edificios y agregados para concreto.

RECOMENDACIONES

- Tomar en cuenta realizar ensayos geotécnicos para obtener mejores resultados, como por ejemplo evaluar la calidad del macizo rocoso.
- Para poder delimitar de mejor manera la geometría de los cuerpos de las rocas aflorantes en los frentes de explotación, se recomienda realizar el muestreo bajo un esquema de mallado. Indispensable para la realización del mismo, contar con los equipos necesarios para poder llevar a cabo dicha actividad.
- Realizar trabajos a detalle a partir de fotografías aéreas, en la búsqueda de material aprovechable para la cantera.
- Generar a futuro una revaluación de la cartografía geológica de las hojas 6747-I-SE y 6847-IV-SO.

BIBLIOGRAFÍA

UCV-G = Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniera Geólogo, inédito.

RVCdIT-Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra

AGUERREVERE S. E. & ZULOAGA G. 1937. *Observaciones geológicas de la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela.* Bol. Geol., Caracas, 1-24, 8-24.

BARRETO J. 2010. *Caracterización geológica de la Cantera Mume ubicada en el Municipio Cristóbal Rojas de Los Valles del Tuy, estado Miranda.* **UCV-G**, 127 p.

BEILINSON E. 2012. *Evolución de la arquitectura fluvial en sucesiones del Plioceno-Pleistoceno del centro-este de Argentina* (Aloformación Punta San Andrés). Buenos Aires, Argentina.

BELLIZZIA A. 1972. *Sistema Montañoso del Caribe, borde sur de la Placa Caribe. ¿Es una cordillera alóctona?* Memorias 1972 de la VI Conferencia Geológica del Caribe. Pág. 247. Editor: Cecily Petzall, Caracas.

BELLIZZIA A. 1986, *Sistema montañoso del Caribe - una cordillera alóctona en la parte norte de América del Sur.* Mem. VI Congr. Geol. Venezolano, Caracas, 10: 6657-6835.

BROUWER H. A. 1965. *Übergneise in der central en Cordillera de la Costa von Venezuela.* GeologischeRundschau, 54(2): 925-932. (Traducción al inglés por M.

Furrer: "Ongneisses in the central Cordillera de la Costa of Venezuela". Bol. Inf. Asoc. Venezolana Geol. Min. Petrol., 9(4): 91-98. 1966).

CARRERO R. & RIVERO R. 2013. *Caracterización geológica y cálculo de volumen de calizas en una zona ubicada al norte de San Sebastián de Los Reyes, Edo. Aragua.* UCV-G, 151 p.

CORNIEL Y. 2010. *Estudio geológico de la Cantera El Melero, ubicada en el Distrito Cristóbal Rojas, Municipio Charallave, estado Miranda.* UCV-G, 122 p.

DENGO G. 1950. *Geología de la región de Caracas.* Bol. Geol., Caracas, 1(1): 39-115.

FUENMAYOR O. 2001. *Caracterización geomecánica de las rocas de la Cantera perteneciente a la Corporación de Cemento Andino, C.A. ubicada en el Municipio Candelaria, Estado Trujillo.* UCV-M, 179 p.

FUNDACIÓN VENEZOLANA DE INVESTIGACIONES SISMOLÓGICA FUNVISIS (2003) *Mapa geológico de la región de Carayaca.* Cartas 6747-I-SE. Escala 1:25.000. Proyecto cartografía geológica del estado Vargas

FUNDACIÓN VENEZOLANA DE INVESTIGACIONES SISMOLÓGICA FUNVISIS (2003) *Mapa geológico de la región de Caracas.* Cartas 684747-IV-SW. Escala 1:25.000. Proyecto cartografía geológica del estado Vargas

GRANDE S. 2000. *Mineralogía para geólogos.* Universidad Central de Venezuela. 420p.

HERNÁNDEZ A. C. 2013. *Integración geológica de la región Bobare - San Felipe, estados Lara y Yaracuy.* UCV-G, 182 p.+ anexos

INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA DE VENEZUELA INGEOMIN (1968) *Fotografía aéreas.* Misión 0304193. Vistas 612-615. Escala 1:50.000.

JAIMES M. 2012. *Estudio geológico-petrográfico de la zona de Crucito-Albarico-Carabobo, edo. Yaracuy.* Universidad Central de Venezuela. (Reproducido en Geos, UCV, Caracas, 42: 126-127 + 108 p. en carpeta 5 de DVD, 2012).

LAUBSCHER H. P. 1955. *Structural and petrogenetic aspects of the Baruta area in the Venezuelan Coast Range.* *Eclog. Geol. Helv.*, 48 (2): 329 - 344.

MACKENZIE W., YARDLEY B. & GUILFORD C. 1997. *Atlas de Rocas Metamórficas y sus Texturas.* MASSON, S.A. Barcelona- Madrid. 120 p.

MARCHAN D. 2014. *Metodología de planificación minera en el período Agosto y Septiembre del año 2013 de la Cantera Tacagua, perteneciente a la empresa Desarrollo Estructurales y Mineros del Estado Vargas.* Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Tablas, PAS M332 2014 M, inédito, 43 p.

MARESCH W., F. URBANI, H. SCHERTL & K. STANEK. 2012. *Field guidebook IGCP 546. subduction zones of the Caribbean. subduction/accretion-related high-pressure rocks of Margarita island, Venezuela.* November 11-15, 2010. Geos 42: 146-147 + 50 p. en carpeta 20 de DVD.

MÉNDEZ Y. 2017. *Planificación a largo plazo de la Explotación del Frente 4, Cantera Carayaca, Ubicada en Tacagua, Distrito Capital.* UCV-M, 122 p.+ anexos. 140 p.

MENÉNDEZ A. 1966. *Tectónica de la parte central de la montañas occidentales del Caribe, Venezuela.* *Bol. Geol.*, Caracas, 8(15): 116-139.

MORGAN B.A. 1970. *Petrology and mineralogy of eclogite and garnet amphibolite from Puerto Cabello, Venezuela.* *Journal of Petrology*, 11(1): 101-145.

MOYA F. 2015. *Verificación de la opción de producción más favorable a partir de diseños de explotación a largo plazo del frente 02, cantera Carayaca ubicada en Tacagua, Distrito Capital.* UCV-M, 122 p.+ anexos.

OSTOS M. (1981) *Geología de una zona ubicada entre la autopista Caracas-La Guaira y el estribo Galindo, Parque Nacional El Ávila, D.F.* UCV. Escuela de Geología, Trabajo de ascenso, inédito. 279 pp.

OSTOS M. 1990. *Evolución tectónica del margen sur-central del Caribe basado en datos geoquímicos.* Geos, Caracas, (30): 1-294.

OSTOS M. 1992. *Tectonic evolution of the south-central Caribbean based on geochemical and structural data.* Geos, UCV, Caracas, 30: 1-194

PINDELL J. L., KENNAN L., MARESCH W. V., STANECK K. P., DRAPER G., HIGGS R. (2005). *Plate-kinematics and crustal dynamics of circum-Caribbean arc-continent interactions: Tectonic controls on basin development in Proto-Caribbean margins.* En: H. G. AVÉ-LALLEMANT & V. B. SISSON (eds.), 2005. Caribbean-South American plate interactions, Venezuela. Geological Society of America Special Paper, 394: 7-52.

RIVADENEYRA E. 2014. *Descripción geológica y cálculo de reservas de arcillas de la Cantera " La Cabrera", municipio Tomás Lander, estado Miranda.* UCV-G, 165 p.

SKOOG D. A. & WEST D. M. 1992. *Fundamentos de Química Analítica.* Ediciones Reverté, Barcelona.

SCHMID, R., FETTES, D., HARTE, B., DAVIS, E., DESMONS, J Y SIIVOLA, J., 2002. *How to name a metamorphic rock.* (véase <http://www.bgs.ac.uk/SCMR/>).

TURNER F. (1981) *Metamorphic Petrology. Mineralogical Field and Tectonic Aspects.* New York: McGraw-Hill Book Company. 524 pp.

URBANI F., F. YORIS, E. SZCZERBAN, O. RENZ & P. JUNG. 1989. *Una localidad fosilífera en la fase Tacagua, Cordillera de la Costa.* Geos, UCV, Caracas, (29): 274-275.

URBANI F. & OSTOS M. (1989). *El Complejo Ávila, Cordillera de La Costa, Venezuela.* Geos, UCV, Caracas, 29: 205-217.

URBANI, F. 2000. *Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela.* Geos, UCV, Caracas, 33: 1-170.

URBANI F. 2002. Estudio químico y petrográfico de algunas rocas del esquistos de Tacagua, Quebrada Seca, estado Vargas. Geos, UCV, Caracas.

URBANI, F. (2010) *Fajas, Terrenos Y Napas De La Cordillera De La Costa, Venezuela Norcentral.* Geos, UCV, Caracas.

URBANI F. 2012 *Conversaciones sobre la geología de la Cordillera de la Costa- ¿Donde y cuando se formaron las distintas unidades que conforman la Cordillera?* Geos, UCV, Caracas, 42: 148-150 + 87 láminas en carpeta 21 en DVD.

URBANI F., MENDI D., GÓMEZ A., VALLETTA G., MARTÍNEZ G. & REÁTEGUI W. 2016. *Nuevos estudios sobre la Formación Matatere, Estados Lara y Yaracuy.* Bol. 31 Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. Octubre 2016.

URBANI F. 2018. *Una revisión de los terrenos geológicos del sistema montañoso del caribe, norte de Venezuela.* Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, 140 -155 p.

VALENCIA G. 2015. *Descripción de la arquitectura fluvial de secciones ubicadas entre las poblaciones Tacarigua de Mamporal y Yaguapa, centro-este del estado Miranda.* UCV-G, 110 p.

VELARDE H. 1954. *Estudio geológico de las Canteras de Carapita al noreste de Antímano Distrito Federal.* UCV-G, 99 p.

VILLEGAS G. 2010. *Caracterización geológica de la Cantera San Bernardo en el Municipio Tomás Lander de los Valles del Tuy, estado Miranda.* . UCV-G, 174 p.

APÉNDICE

A continuación se presenta las tablas síntesis de las unidades litológicas informales definidas, con respecto a su descripción tanto de muestra de mano como de fotomicrografías.

Tabla 1. Frente 2 sur, tabla descriptiva de muestras de mano.








N° de Muestra	Frente	Grupo	Color	Tamaño de Grano Aprox (mm)	Mineralogía	Textura y Roca Protolito	Descripción Macroscópica	Foto
1	2	I	7.5Y 4/3 R:94 G:97 B:30 Oliva Oscuro	1 - 2	Anfiboles verdes, cuarzo y limonita	Roca granoblástica xenoblástica. Roca Protolito Máfica	Color fresco: Oliva oscuro. Color meteorizado: Verde claro con costras de óxido, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio a alto, perteneciente a la facies de los esquistos verdes, siendo una Anfibolita	
2	2	II	5GY 8/1 R:G:200 B:160 Gris Claro	1 - 3	Calcita, muscovita, cuarzo, clorita, pirita, limonita	Roca bandeada. Roca Protolito Carbonática	Color fresco: Gris claro azulado. Color meteorizado: Gris claro con tonalidades verdes y costras de óxido, los cristales son grueso, metamorfismo de P/T intermedio, siendo un Mármol bandeado	
3	2	II	5Y 6/2 R:G:150 B:100 Oliva Grisáceo	1 - 2	Cuarzo, muscovita, calcita y goethita	Roca bandeada. Roca Protolito Cuarzo feldespática	Color fresco: Oliva grisáceo. Color meteorizado: Gris claro opaco con costras de óxido, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T bajo a intermedio, perteneciente a la facies de los esquistos verdes, siendo una Cuarcita	
4	2	III	5GY 8/1 R:G:200 B:150 Gris Claro	1 - 2	Calcita, muscovita, cuarzo, y pirita	Roca granoblástica xenoblástica. Roca Protolito Carbonática	Color fresco: Gris claro azulado. Color meteorizado: Gris opaco con presencia de óxido, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio, siendo un Mármol	
5	2	IV	N8 R:G:230 B:200 Blanco Grisáceo	0.5 - 2	Cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, pirita, calcita y clorita	Roca granoblástica xenoblástica. Roca Protolito Cuarzo feldespática	Color fresco: Blanco grisáceo. Color meteorizado: Ocre claro con presencia de óxido, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T bajo a intermedio, perteneciente a la facies de los esquistos verdes, siendo una Cuarcita	
6	2	II	2.5YR 8/6 R:255 G:210 B:113 Amarillo	0.5 - 1	Cuarzo, limonita, feldespato potásico, calcita y muscovita	Roca bandeada. Roca Protolito Cuarzo feldespática	Color fresco: Amarillo claro. Color meteorizado: Ocre oscuro, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T bajo a intermedio, perteneciente a la facies de los esquistos verdes, siendo una Cuarcita	
7	2	III	2.5GY 5/1 R:G:120 B:100 Gris Oliva	1 - 2	Calcita, muscovita, cuarzo y pirita	Roca granoblástica xenoblástica. Roca Protolito Carbonática	Color fresco: Gris oliva azulado. Color meteorizado: Ocre claro, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio, siendo un Mármol	

Tabla 2. Frente 2 norte, tabla descriptiva de muestras de mano.







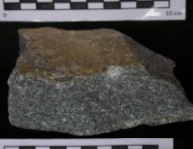

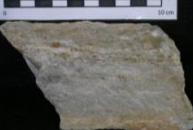
N° de Muestra	Frente	Grupo	Color	Tamaño de Grano Aprox (mm)	Mineralogía	Textura y Roca Protolito	Descripción Macroscópica	Foto
2.1	2	II	5Y6/1 R:152 G:147 B:120 Gris	1 - 2	Cuarzo, micas, grafito y limonita	Roca bandeada. Roca Protolito Cuarzo feldespática	Color fresco: Gris claro. Color meteorizado: Ocre oscuro, los cristales son moderado, alto grado de meteorización metamorfismo de P/T bajo a intermedio, siendo un Esquisto cuarzo micáceo grafitoso	
2.2	2	II	2.5YR 8/6 R:255 G:210 B:113 Amarillo	1 - 2	Cuarzo, micas, calcita y limonita	Roca bandeada. Roca Protolito Cuarzo feldespática	Color fresco: Amarillo. Color meteorizado: Marrón oscuro, los cristales son moderado, alto grado de meteorización metamorfismo de P/T bajo a intermedio, perteneciente a la facies de los esquistos verdes, siendo una Esquisto cuarzo micáceo calcítico	
2.3	2	II	2.5GY 5/1 R-G:120 B:100 Gris Oliva	0.3 - 1.5	Actinolita, cuarzo, calcita, clorita, muscovita y grafito	Roca bandeada. Roca Protolito Máfica	Color fresco: Gris oliva. Color meteorizado: Gris claro con presencia de óxido, los cristales son moderado, alto grado de meteorización metamorfismo de P/T intermedio, perteneciente a la facies de los esquistos verdes, siendo un Esquisto actinolítico cuarzo calcítico	
2.4	2	III	7.5Y7/1 R-G:174 B:153 Gris Claro	0.5 - 2	Calcita, muscovita, cuarzo, pirita y limonita	Roca granoblástica xenoblástica. Roca Protolito Carbonática	Color fresco: Gris claro. Color meteorizado: Ocre oscuro, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio, siendo un Mármol . Roca protolito caliza	
2.5	2	II	5GY 8/1 R-G:200 B:150 Gris Claro	0.5 - 1	cuarzo, micas, grafito y limonita	Roca bandeada. Roca Protolito Cuarzo feldespática	Color fresco: Gris claro oliva. Color meteorizado: Ocre claro con presencia de óxido, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio, siendo un Esquisto cuarzo micáceo grafitoso	
2.6	2	III	2.5GY 5/1 R-G:120 B:100 Gris Oliva	1 - 2	Calcita, cuarzo, muscovita, pirita y limonita	Roca granoblástica xenoblástica. Roca Protolito Carbonática	Color fresco: Gris oliva oscuro. Color meteorizado: Marrón claro, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio, siendo un Mármol	
2.7	2	III	2.5GY 6/1 R:152 G:147 B:120 Gris Oliva	0.3 - 1	Calcita, muscovita, cuarzo, pirita y limonita	Roca granoblástica xenoblástica. Roca Protolito Carbonática	Color fresco: Gris oliva oscuro. Color meteorizado: Ocre oscuro, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio, siendo un Mármol	
2.8	2	II	2.5GY 7/1 R-G:200 B:160 Gris Oliva Claro	0.5 - 2	Calcita, cuarzo, muscovita y goethita	Roca bandeada. Roca Protolito Carbonática	Color fresco: Gris oliva claro. Color meteorizado: Gris verdoso claro con presencia de óxido, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio, siendo un Mármol bandeado	
2.9	2	IV	N8 R-G:241 B:207 Blanco Grisáceo	0.3 - 1	Cuarzo, feldespato potásico, limonita y muscovita	Roca granoblástica xenoblástica. Roca Protolito Cuarzo feldespática	Color fresco: Blanco grisáceo. Color meteorizado: Blanco marfil con presencia de óxido, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio, perteneciente a la facies de los esquistos verdes, siendo una Cuarcita	

Tabla 3. Frente 4 oeste, tabla descriptiva de muestras de mano.









N° De Muestra	Frente	Grupo	Color	Tamaño de Grano Aprox (mm)	Mineralogía	Textura y Roca Protolito	Descripción Macroscópica	Foto
1	4	II	7.5YR 5/1 R:122 G:107 B:90 Gris Pardo	0.5 - 2	Calcita, cuarzo, muscovita, pirita y limonita	Roca bandeada. Roca Protolito Carbonática	Color fresco: Gris oliva. Color meteorizado: Verde aceituna, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio, siendo un Mármol bandeado	
2	4	III	2.5GY 6/1 R:152 G:147 B:120 Gris Oliva	0.5 - 2	Calcita, cuarzo, muscovita, limonita y pirita	Roca granoblástica xenoblástica. Roca Protolito Carbonática	Color fresco: Gris oliva azulado. Color meteorizado: Gris pardo, Presenta alteraciones de Pirita, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio, siendo un Mármol	
3	4	III	2.5GY R=G:200 B:160 Gris Claro	0.5 - 2	Calcita, cuarzo, muscovita, limonita y pirita	Roca granoblástica xenoblástica. Roca Protolito Carbonática	Color fresco: Gris claro azulado. Color meteorizado: Gris pardo con costras de óxido, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio, siendo un Mármol	
4	4	I	10Y 4/2 R:68 G:81 B:45 Gris Oliva	0.3 - 2	Anfiboles verdes, cuarzo y calcita	Roca granoblástica xenoblástica Roca Protolito Máfica	Color fresco: Oliva oscuro. Color meteorizado: Verde claro, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio a alto, perteneciente a la facies de los esquistos verdes, siendo una Eclogita	
5	4	I	2.5GY 5/1 R=G:120 B:100 Gris Oliva	0.5 - 2	Anfiboles verdes, muscovita, cuarzo, limonita y calcita	Roca granoblástica xenoblástica. Roca Protolito Máfica	Color fresco: Gris oliva oscuro. Color meteorizado: Gris pardo con costras de óxido, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio a alto, perteneciente a la facies de los esquistos verdes, siendo una Anfibolita Epidotica	
6	4	III	2.5GY 6/1 R:152 G:147 B:120 Gris Oliva	0.5 - 2	Calcita, cuarzo y limonita	Roca granoblástica xenoblástica. Roca Protolito Carbonática	Color fresco: Gris oliva azulado. Color meteorizado: Gris pardo con costras de óxido, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio, siendo un Mármol	
7	4	III	N7 R=G:174 B:153 Blanco Grisáceo	0.3 - 1	Calcita, cuarzo y limonita	Roca granoblástica xenoblástica. Roca Protolito Carbonática	Color fresco: Blanco grisáceo azulado. Color meteorizado: Ocre claro con presencia de óxido, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio, siendo un Mármol	
8	4	I	10Y 4/2 R=G:98 B:66 Gris Oliva	1-2	Anfiboles verdes, calcita y cuarzo	Roca masiva. Roca Protolito Máfica	Color fresco: Gris oliva. Color meteorizado: Gris pardo oscuro con presencia de óxido, los cristales van de fino a grueso, metamorfismo de P/T intermedio a alto, perteneciente a la facies de los esquistos verdes, siendo una Anfibolita	

Tabla 4. Frente 4 este, tabla descriptiva de muestras de mano.


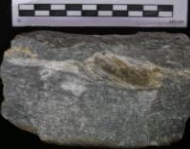







N° De Muestra	Frente	Grupo	Color	Tamaño de Grano Aprox (mm)	Mineralogía	Textura y Roca Protolito	Descripción Macroscópica	Foto
9	4	II	2.5GY 6/1 R=G-B:147 Gris Oliva	0.3 - 2	Calcita, muscovita y cuarzo	Roca bandeada. Roca Protolito Carbonática	Color fresco: Gris oliva. Color meteorizado: gris pardo con moteados marrón oscuro, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio, siendo un Mármol bandeado	
10	4	II	10Y 8/1 R=G:200 B:160 Gris Claro	0.5 - 1	Calcita, muscovita, cuarzo y pirita	Roca bandeada Roca Protolito Carbonática	Color fresco: Gris claro azulado. Color meteorizado: gris pardo, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio, siendo un Mármol bandeado . Presenta vetas de Calcita de 0.3 - 3.8 cm	
11	4	III	2.5GY 6/1 R=G:147 B:117 Gris Oliva	0.3 - 2	Calcita, cuarzo y muscovita	Roca granoblástica xenoblástica. Roca Protolito Carbonática	Color fresco: Gris oliva azulado. Color meteorizado: marrón claro, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio, siendo un Mármol	
12	4	III	2.5GY 5/1 R:103 G:98 B:75 Gris Oliva	0.3 - 2	Calcita, pirita y limonita	Roca granoblástica xenoblástica. Roca Protolito Carbonática	Color fresco: Gris oliva. Color meteorizado: marrón claro, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio, siendo un Mármol	
13	4	I	2.5GY 6/1 R=G:147 B:117 Gris Oliva	0.5 - 2	Anfiboles verdes, calcita, cuarzo, muscovita y granate	Roca granoblástica xenoblástica. Roca Protolito Máfica	Color fresco: Gris oliva. Color meteorizado: Gris verdoso, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio a alto, perteneciente a la facies de los esquistos verdes, siendo una Anfibolita - Subfacie del Granate	
14	4	I	2.5GY 4/1 R:103 G:98 B:75 Gris Oliva Oscuro	0.3 - 2	Anfiboles verdes, cuarzo, calcita y limonita	Roca granoblástica xenoblástica. Roca Protolito Máfica	Color fresco: Gris oliva oscuro. Color meteorizado: Ocre oscuro, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio a alto, perteneciente a la facies de los esquistos verdes, siendo una Anfibolita	
15	4	I	10Y 6/2 R:146 G:182 B:124 Gris Oliva	0.3 - 2	Anfiboles verdes, muscovita, clorita, limonita, cuarzo y calcita	Roca granoblástica bandeada. Roca Protolito Máfica	Color fresco: Gris oliva claro. Color meteorizado: Ocre, los cristales son moderado, alto grado de meteorización metamorfismo de P/T intermedio, perteneciente a la facies de los esquistos verdes, siendo una Anfibolita Micácea	
16	4	III	2.5GY 5/1 R:103 G:98 B:75 Gris Oliva	0.5 - 2	Calcita, muscovita, cuarzo y pirita,	Roca granoblástica xenoblástica. Roca Protolito Carbonática	Color fresco: Gris oliva azulado. Color meteorizado: marrón claro con tonalidades mas oscuras, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio, siendo un Mármol	
17	4	III	2.5GY 8/1 R=G:200 B:150 Gris Claro	0.5 - 2	Calcita, cuarzo, muscovita y pirita	Roca granoblástica xenoblástica. Roca Protolito Carbonática	Color fresco: Gris claro. Color meteorizado: marrón claro con tonalidades mas oscuras, los cristales son moderado, metamorfismo de P/T intermedio, siendo un Mármol Micáceo	

Tabla 5. Frente 2 sur, tabla descriptiva de fotomicrografías.

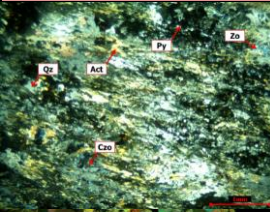
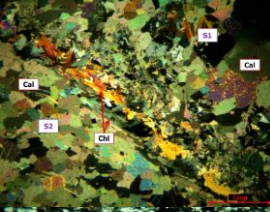
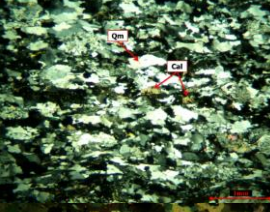
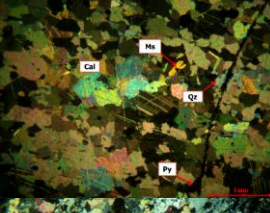
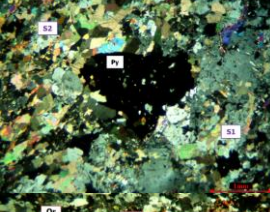
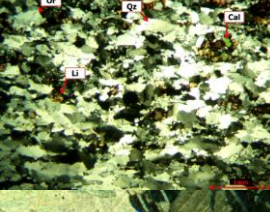
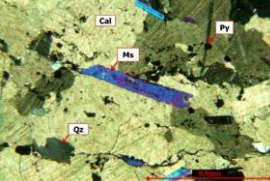
N° de Muestra	Frente	Grupo	Tamaño de Cristales Aprox (mm)	Mineralogía	Textura	Descripción	Fotomicrografía
1	2	I	0,1 - 0,9	Actinolita 50%, Clorita 18%, Clinozoisita 12%, Zoisita 7%, Albita 6%, granate 3%, Calcita 2%, Limonita 1%, Pirita 1%	Roca granolepidoblástica	Anfibolita. Presenta alineación y alargamiento por cristales de actinolita y clorita; y granular por los demás cristales que la constituyen	
2	2	II	0,2 - 0,8	Calcita 87,5%, Muscovita 5,3%, Cuarzo 4%, Pirita 1,5%, Clorita 1,2%, Limonita 0,5%	Roca bandeada	Mármol bandeado. Presenta fábrica hipidioblástica y dos sectores, uno de franjas paralelas de calcita y el otro en mosaico	
3	2	II	0,3 - 0,8	Cuarzo 70%, Clorita 15%, Albita 4%, Glaucofano 4%, Muscovita 3%, Calcita 3%, Talco 0,7% y Limonita 0,3%	Roca bandeada	Cuarcita. Presenta alineación marcada por la clorita, muscovita y glaucofano y fábrica hipidioblástica	
4	2	III	0,06 - 0,8	Calcita 85,5%, Cuarzo 7%, Muscovita 4%, Pirita 1,5%, Clorita 1% y epidota 1%	Roca granoblástica	Mármol. Exhibe fábrica hipidioblástica, desarrollo de las caras cristalinas de los cristales de subhedral a anhedral y equidimensionales	
5	2	IV	0,03 - 0,5	Cuarzo 67,5%, Albita 15%, Dolomita 7%, Muscovita 5%, Ortosa 3%, Pirita 1,2%, Limonita 1%, Clorita 0,3%	Roca granoblástica	Cuarcita. Presenta 2 sectores, el primero por cristales de varios tamaños y alineados, el segundo en forma de mosaico y fracturados	
6	2	II	0,06 - 0,8	Cuarzo 65%, Ortosa 19,5%, Limonita 5%, Calcita 5%, Muscovita 2,5%, Clorita 2% y Sericita 1%	Roca bandeada	Cuarcita. Exhibe una alineación marcada por la muscovita y una fábrica hipidioblástica	
7	2	III	0,06 - 0,8	Calcita 84%, Muscovita 3,5%, Cuarzo 2,3%, Pirita 1,5%, Epidota 0,7%, grafito 0,5%	Roca granoblástica	Mármol. Exhibe fábrica hipidioblástica, desarrollo de las caras cristalinas de los cristales de subhedral a anhedral y equidimensionales	

Tabla 6. Frente 2 norte, tabla descriptiva de fotomicrografías.

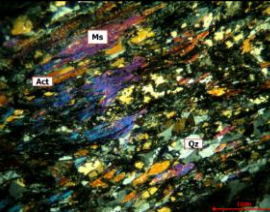
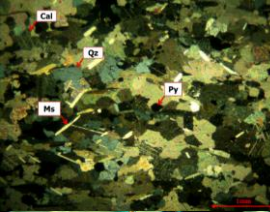
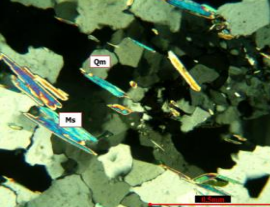
N° de Muestra	Frente	Grupo	Tamaño de Cristales Aprox (mm)	Mineralogía	Textura	Descripción	Fotomicrografía
2.3	2	II	0,06 - 1,5	Actinolita 42,4%, Cuarzo 32,2%, Clorita 8,5%, Calcita 5,6%, Ortosa 5,1%, Muscovita 3,9%, Biotita 1,13% y grafito 1,17%	Roca bandeada (lepidoblástica)	Esquisto actinolítico cuarzo clorítico. Presenta fábrica hipidioblástica, con alternancia de bandas de micas y bandas granoblásticas	
2.7	2	III	0,06 - 0,9	Calcita 89,5%, Muscovita 4,5%, Cuarzo 3,5%, Pirita 1,5% y Epidota 1%	Roca granoblástica	Mármol. Exhibe fábrica hipidioblástica, desarrollo de las caras cristalinas de los cristales de subhedral a anhedral y equidimensionales	
2.9	2	IV	0,1 - 0,8	Cuarzo 70%, Ortosa 20%, Muscovita 5%, Sericita 2%, Limonita 2% y Calcita 1%	Roca granoblástica	Cuarcita. Presenta fábrica hipidioblástica, en forma de mosaico cuarzo, ortosa y calcita, de forma laminar la muscovita	

Tabla 7. Frente 4 oeste, tabla descriptiva de fotomicrografías.

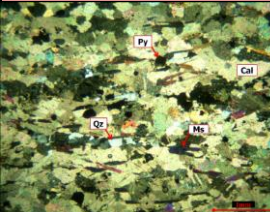


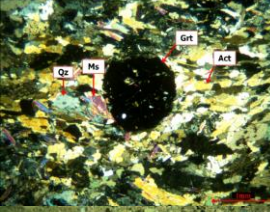
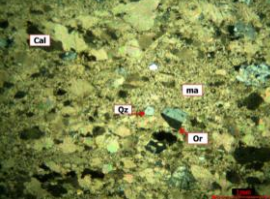
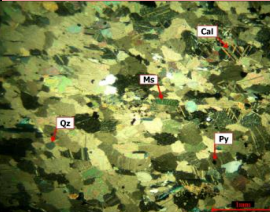
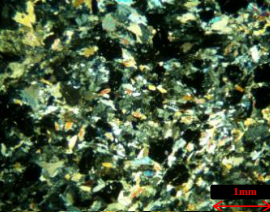
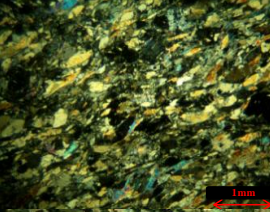
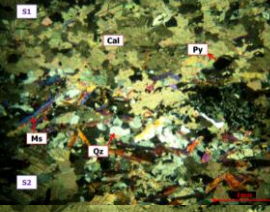
N° de Muestra	Frente	Grupo	Tamaño de Cristales Aprox (mm)	Mineralogía	Textura	Descripción	Fotomicrografía
1	4	II	0,1 - 0,6	Calcita 83,2%, Cuarzo 6,6%, Muscovita 4%, Pirita 2,2%, Limonita 1,9%, Zoisita 1,1% y Grafito 1%	Roca granoblástica con alineación	Mármol bandeado. Presenta fábrica hipidioblástica, con cierta alineación por cristales de muscovita con una orientación paralela	
2	4	III	0,1 - 1,5	Calcita 87%, Zoisita 5%, Cuarzo 3%, Muscovita 2,4%, Pirita 1,5%, Limonita 0,5%, Grafito 0,3% y Clinozoisita 0,3%	Roca granoblástica	Mármol. Exhibe fábrica hipidioblástica a xenoblástica, donde los cristales tienen una orientación paralela y forma granular	
4	4	I	0,06 - 0,7	Onfacita 58%, Calcita 15%, Enstatita 8%, Granate 8%, Actinolita 7%, Glaucofano 3%, Pirita 0,5%, circón 0,3% y Cuarzo 0,2%	Roca granoblástica	Eclogita. Exhibe fábrica hipidioblástica, desarrollo de las caras cristalinas de los cristales de subhedral a anhedral y equidimensionales	
5	4	I	0,03 - 1,5	Actinolita 50%, Zoisita 12%, Calcita 10% Clinozoisita 8%, Cuarzo 5%, Ortosa 5%, Muscovita 4%, Granate 3%, Epidota 2,5% y Limonita 0,5%,	Roca granoblástica	Anfibolita Epidotica. Presenta fábrica hipidioblástica a xenoblástica, granates con inclusiones de cuarzo, muscovita, calcita y zoisita	
7	4	III	0,06 - 1,5	Calcita 31%, Cuarzo 19%, Ortosa 5%, Epidota 1,5%, Pirita 1%, Clinozoisita 0,7%, Sericita 0,6%, Limonita 0,6%, Grafito 0,6% y 40% de matriz de calcita	Roca granoblástica	Mármol. Presenta 2 sectores, el primero por cristales de calcita, cuarzo, entre otros (60%) y el segundo por matriz de calcita (40%)	

Tabla 8. Frente 4 este, tabla descriptiva de fotomicrografías.

N° de Muestra	Frente	Grupo	Tamaño de Cristales Aprox (mm)	Mineralogía	Textura	Descripción	Fotomicrografía
10	4	II	0,03 - 0,8	Calcita 92,7%, Muscovita 3,5%, Cuarzo 2%, Pirita 1,2%, Clorita 0,3% y Círcón 0,3%	Roca granoblástica	Mármol bandeado. Presenta fábrica hipidioblástica, con cierta alineación por cristales de muscovita en general	
13	4	I	0,06 - 1	Actinolita 48%, Enstatita 18%, Granate 10%, Zoisita 8%, Calcita 6%, Muscovita 5%, Albita 2%, Cuarzo 2% y Pirita 1%	Roca granoblástica	Anfibolita. Exhibe fábrica hipidioblástica, desarrollo de las caras cristalinas de los cristales de subhedral a anhedral y granulares	
15	4	I	0,06 - 0,6	Actinolita 50%, Clorita 22%, Muscovita 10%, Enstatita 7%, Calcita 3%, Zoisita 2%, Cuarzo 2%, Leucoxeno 2%, Pirita 1% y Limonita 1%	Roca porfidoblástica bandeada	Anfibolita Micácea. Presenta fábrica hipidioblástica y deformación en las micas, bordeando a los cristales de actinolita	
16	4	III	0,03 - 1	Calcita 76%, Muscovita 8%, Cuarzo 8%, Actinolita 4%, Ortosa 1,3%, Pirita 1%, Grafito 1% y Epidita 0,7%	Roca granoblástica	Mármol. Presenta dos sectores ambos de textura granoblástica y fábrica hipidioblástica, diferenciados por el tamaño de los cristales	
17	4	III	0,06 - 0,8	Calcita 85%, Muscovita 5%, Clorita 4%, Cuarzo 3%, Pirita 1,7%, Grafito 1% y Círcón 0,3%	Roca granoblástica	Mármol Micáceo. Exhibe fábrica hipidioblástica, las micas le dan un leve alineamiento, generándose bandas granoblásticas de 2 y 4mm de grosor	