

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA CANTERA MUME
UBICADA EN EL MUNICIPIO CRISTÓBAL ROJAS DE LOS VALLES
DEL TUY ESTADO MIRANDA**

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Barreto O. Javier A.
Para optar al título
de Ingeniero Geólogo**

Caracas, Mayo de 2010

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA CANTERA MUME
UBICADA EN EL MUNICIPIO CRISTÓBAL ROJAS DE LOS VALLES
DEL TUY ESTADO MIRANDA**

Tutor Académico: Prof. Carolina Machillanda

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Barreto O. Javier A.**

**Para optar al título
de Ingeniero Geólogo**

Caracas, Mayo de 2010

Caracas, Mayo de 2010

CONSTANCIA APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller, titulado:

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA CANTERA MUME UBICADA EN EL MUNICIPIO CRISTÓBAL ROJAS DE LOS VALLES DEL TUY ESTADO MIRANDA

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

Ing. Rafael Falcón

Jurado

Ing. Sebastián Grande

Jurado

Ing. Carolina Machillanda

Tutor Académico

DEDICATORIA

*A mis padres: por ser y hacer siempre, una gran familia
¡gracias por todo!
...espero que disfruten el ¡aula magna!*

AGREDECIMIENTOS

A la empresa La Farge por darme la oportunidad de realizar este estudio con ustedes, así como a todos los empleados, hoy en día de FNC, que se encuentran en cada una de las canteras, por su constantes atenciones, ayudas y buenos ratos. En especial a Oscar Scola, Eliezer Quintero, Vicente Rodríguez, Ronald Delgado y Carlos Reyes. También quiero agradecer a Ana Acebedo, del laboratorio de la Planta Ocumare del Tuy, por su ayuda y disposición.

A mi amigo y profesor, Ricardo Alezones, por realizar su trabajo, por ser el maestro por definición, por ser además incondicional, atento y amigo. Por los semestres de preparadurías, por su compromiso incondicional con este trabajo de grado, ya que sin su ayuda las dificultades hubiesen sido inmensas. Y por todo el fútbol que jugamos con el equipo de la escuela, y el que falta por jugar.

A mis amigos Gustavo y Yoxela, mis compañeros de infinitas clases, campo largo y finalmente de la Tesis. Para cualquiera está claro que fuimos un gran grupo, mis más sinceros agradecimientos para ustedes y mucho éxito.

A mi tutora Carolina Machillanda, gracias por tu compromiso con este trabajo y por tus atenciones y buenas intenciones.

A Patricia González (Paty) por su ayuda desinteresada e incondicional, por estar aquí, apoyándome en este importantísimo proceso académico, por hacerme más llevadero y gustoso el camino en estos pasos finales, por siempre hacerme sonreír, de todo corazón paty ¡muchas gracias, te quiero mucho!

A los profesores de la escuela, muchas gracias por sus consejos y enseñanzas cuando mendigaba por la escuela buscando información. Profesores: Rafael Falcón, Enzo Caraballo, Lenin Gonzalez, Humberto Dugarte, y en especial a Sebastián Grande, David Mendi y Ruthman Hurtado, por aportar piezas importantes a este trabajo, por sus ayudas incondicionales, muchas gracias a todos

Finalmente a todas las grandes amistades que de manera directa o indirecta aportaron algo a este trabajo, los amigos de las preparadurías, los amigos del lab 330, todo campo 2009, equipo deportivo geología. En especial a William Rivero, Daniela Castro, Bernardo Lopes, Zaditza Reyes, Los Scremins, Luis Palma; todos ustedes que coincidimos en este proceso de finalización de carrera, haciendo cada quien su tesis, pero apoyándonos mutuamente. Éxito para todos se les quiere!

Barreto O. Javier A.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA CANTERA MUME
UBICADA EN EL MUNICIPIO CRISTÓBAL ROJAS DE LOS VALLES
DEL TUY ESTADO MIRANDA**

Tutor Académico: Carolina Machillanda

Tesis. Caracas, UCV. Facultad de Ingeniería

Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2010, 127p.

Palabras claves: geología de yacimientos, Mume, FNC, Mármoles negros, cantera, estimación de volumen, fluorescencia de rayos x, Formación Tucutunemo

RESUMEN

Se realizó la caracterización geológica de la cantera Mume donde se discriminaron unidades informales, también se hacen estudios petrográficos y de fluorescencia de rayos X, a diversas muestras tomadas durante el levantamiento geológico. Se analizaron los datos obtenidos en la campaña de perforación de 1995 realizada por la empresa GEOCONSULTA C.A., de donde se generaron perfiles de concentración de óxidos de sílicio, magnesio, aluminio, hierro y de carbonato de calcio. Posteriormente con el análisis de las perforaciones, se estimó el tipo de roca en el subsuelo de acuerdo a una relación química basada en las muestras de mano, que fueron estudiadas bajo el análisis de fluorescencia de rayos X, así como de un parámetro químico establecido por el laboratorio de la Planta Ocumare del Tuy de la empresa Fábrica Nacional de Cemento (FNC).

Basado en la mencionada campaña de perforación, se estimó el volumen del yacimiento para dicha fecha, y posteriormente se hicieron los cálculos pertinentes para estimar su volumen actual, donde se concluye que las mayores concentraciones de carbonato de calcio se encuentran en el extremo noreste y suroeste de la cantera.

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
I.1 GENERALIDADES	1
I.2 OBJETIVOS	1
I.2.1 Objetivo General	1
I.2.2 Objetivos Específicos	2
I.3 UBICACIÓN	3
I.4 JUSTIFICACIÓN	5
I.5 TRABAJOS PREVIOS.....	5
I.6 METODOLOGÍA	7
I.6.1 Etapa compilatoria:.....	8
I.6.2 Etapa de Campo.....	9
I.6.3 Etapa de laboratorio y oficina.....	14
CAPITULO II	17
GEOLOGÍA REGIONAL.....	17
II.1 GENERALIDADES	17
II.2 GEOLOGÍA REGIONAL	17
II.2.1 Faja de la Cordillera de la Costa	18
II.2.2 Faja Caucagua-El Tinaco	19
II.2.3 Faja de Paracotos.....	19
II.2.4 Faja de Villa de Cura.....	20
II.3 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	20
II.3.1 Filita de Tucutunemo	20
II.3.2 Filita de Paracotos	22
II.3.3 Esquisto Las Mercedes.....	22
II.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	23
II.4.1 Falla de la Victoria	24
II.4.2 Falla de Tácata	25
II.4.3 Fallas menores.....	25

CAPÍTULO III.....	26
GEOGRAFÍA FÍSICA.....	26
III.1 GENERALIDADES.....	26
III.2 FISIOGRAFÍA.....	27
III.3 CLIMA.....	27
III.4 RELIEVE.....	28
III.5 DRENAJE.....	29
III.6 VEGETACIÓN.....	29
CAPÍTULO IV.....	31
MARCO TEÓRICO.....	31
IV.1 CARACTERIZACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS CON INTERÉS ECONÓMICO.....	31
IV.2 TIPOS DE MACIZOS ROCOSOS BLANDOS.....	31
IV.3 FUNDAMENTOS DE RAYOS X.....	32
IV.3.1 Fluorescencia de rayos X por dispersión de energía.....	33
IV.4 GEOLOGÍA MINERA.....	34
IV.4.1 Yacimiento Geológico.....	34
IV.4.2 Yacimiento Minero.....	35
IV.4.3 Minería de Superficie.....	35
IV.4.4 Minas a Cielo Abierto.....	35
IV.4.5 Método de Canteras.....	36
IV.4.6 Recursos y Reservas.....	38
IV.4.7 Mena.....	39
IV.4.8 Clasificación de recursos y reservas.....	40
IV.4.9 Reservas probadas.....	40
IV.4.10 Reservas probables.....	40
IV.4.11 Reservas posibles o inferidas.....	41
IV.5 Desviación estándar.....	42
CAPÍTULO V.....	43
GEOLOGÍA LOCAL.....	43
V.1 GENERALIDADES.....	43
V.2 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA.....	43

V.2.1 Unidad de Mármoles grisáceos	44
V.2.1.1 Descripción de muestras de la unidad de Mármoles Grisáceos	46
V.2.2 Unidad de Esquistos Calcáreos	62
V.2.2.1 Descripción de muestras Esquistos Calcáreos	64
V.2.3 Unidad de Mármoles Negros	74
V.2.3.1 Descripción muestras unidad Mármoles Negros	75
V.2.4 Estudio Petrográfico.....	77
V.2.4.1 Estudio petrográfico Mármoles Grisáceos.....	77
V.2.4.2 Estudio petrográfico Esquistos Calcáreos.....	79
V.2.4.3 Estudio petrográfico Mármoles Negro.....	81
V.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	83
V.3.1 Deformaciones de régimen Dúctil	83
V.3.1.1 Familia de Pliegues 1	83
V.3.1.2 Familia de Pliegues 2	84
V.3.1.3 Familia de Pliegues 3	85
V.3.1.4 Familia de Pliegues 4.....	87
V.3.1.5 Densidad de polos de deformaciones dúctiles	89
V.3.2 Deformaciones de régimen frágil.....	90
V.3.2.1 Falla 1.....	90
V.3.2.2 Falla 2.....	90
V.3.3 Eventos de Deformación.....	91
V.3.4 Diaclasas	92
V.4 ANÁLISIS QUÍMICO	94
CAPITULO VI.....	114
Geología de Yacimientos	114
VI.1 GENERALIDADES	114
VI.4 ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DEL YACIMIENTO	116
VI.4.1 Aplicación del método por perfiles paralelos	117
CAPÍTULO VII	119
SUMARIO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
VII.1 SUMARIO	119
VII.2 CONCLUSIONES	121

VII.3 RECOMENDACIONES.....	122
CAPITULO VIII.....	124
BIBLIOGRAFÍA	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Diaclasas	92
Tabla 2 Planos de diaclasas preferenciales.....	94
Tabla 3 Estudio de Fluorescencia de rayos X	95
Tabla 4 Concentraciones de MgO	96
Tabla 5 PM1	100
Tabla 6 PM3	101
Tabla 7 PM6	103
Tabla 8 PM8	104
Tabla 9 PM9	106
Tabla 10 PM 12	107
Tabla 11 PM14	109
Tabla 12 PM15	110
Tabla 13 PM16	112
Tabla 14 Relación unidad litológica con tipo químico	116
Tabla 15 Volumen de los bloques	118
Tabla 16 Volumen cantera Mume	118

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio	4
Figura 2 Foto Niveles del frente de explotación norte de la cantera Mume, vista hacia NE.....	9
Figura 4 Foto moledora de discos bico pulverizer	11
Figura 3 Foto moledora de garganta G SIST.....	11
Figura 5 Foto cámara de discos moledora herzog.....	12
Figura 6 Foto moledora de anillos marca herzog.....	12
Figura 8 Foto pastillas obtenidas de la prensadora	13
Figura 7 Foto Prensadora herzog	13
Figura 9 Foto Unidad de estudios de fluorescencia de rayos x marca OXFORD.....	14
Figura 11 Mapa de fallas activas.....	24
Figura 12 Ubicación nacional y línea ecuatorial.....	26
Figura 13 Efecto de los rayos x.....	34
Figura 14 Foto Tractor canteras FNC	36
Figura 15 Foto Trituradora Mume	37
Figura 16 Foto Afloramiento Mármoles Grisáceo	45
Figura 18 Ubicación muestra MMU1	46
Figura 19 Ubicación Muestra MMU3.....	47
Figura 20 Ubicación Muestra MMU10.....	48
Figura 21 Ubicación Muestra MMU13.....	49
Figura 24 Foto Vestigios fósiles de MMU18 en sección fina con nicoles cruzados	51
Figura 25 Ubicación Muestra MMU19.....	51
Figura 27 Ubicación Muestra MMU20.....	53
Figura 28 Ubicación Muestra MMU21	53
Figura 30 Ubicación Muestra MMU25.....	55
Figura 31 Ubicación Muestra MMU26.....	56
Figura 32 Ubicación Muestra MMU27.....	57
Figura 33 Ubicación Muestra MMU29.....	58
Figura 34 Ubicación Muestra MMU37.....	58

Figura 35 Ubicación MuestraMMU39.....	59
Figura 36 Ubicación Muestra MMU5.....	60
Figura 37 Ubicación Muestra MMU7.....	61
Figura 38 Ubicación Muestra MMU8.....	61
Figura 39 disolución cárstica	62
Figura 40 Foto Esquistos calcáreos 1.....	63
Figura 42 Ubicación Muestra MMU2.....	64
Figura 43 Ubicación Muestra MMU11.....	65
Figura 44 Ubicación Muestra MMU14.....	66
Figura 45 Ubicación Muestra MMU16.....	66
Figura 47 Ubicación Muestra MMU24.....	68
Figura 48 Ubicación Muestra MMU28.....	69
Figura 49 Foto corte paralelo a la foliación	69
Figura 51 Ubicación Muestra MMU30.....	70
Figura 52 Foto afloramiento de la muestra MMU32	70
Figura 55 Ubicación Muestra MMU35.....	73
Figura 57 Foto Vetas en Mármoles Negros	74
Figura 56 Foto Mármoles Negros	74
Figura 58 Ubicación Muestra MMU12.....	76
Figura 59 Foto sección fina MMU8 (Mármol Grisáceo).....	78
Figura 60 Foto sección fina muestra MMU35 (Esquisto Calcáreo)	81
Figura 62 Afloramiento plegado	84
Figura 64 foto Familia de pliegues	85
Figura 66 foto Familia de Pliegues 3	86
Figura 67 Plano Axial F.P.3.....	86
Figura 68 Plano Axial F.P.4.....	87
Figura 70 Foto Falla 1 en afloramiento.....	90
Figura 74 Densidad de Polos de planos de diaclasas	93
Figura 75 Columna litológica y Perfil de distribución de concentración de CaCO ₃ , SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , MgO, del PM1 y PM3	102
Figura 76 Columna litológica y Perfil de distribución de concentración de CaCO ₃ , SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , MgO, del PM6 y PM8	105

Figura 77 Columna litológica y Perfil de distribución de concentración de CaCO ₃ , SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , MgO, del PM9 y PM12	108
Figura 78 Columna litológica y Perfil de distribución de concentración de CaCO ₃ , SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , MgO, del PM14 y PM15	111
Figura 79 Columna de tipos químicos y Perfil de distribución de concentración de CaCO ₃ , SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , MgO, del PM16.....	113
Figura 80 Mapa índice de secciones	117

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Tablas de los análisis petrográficos de las 12 secciones finas	
Anexo 2 Tablas de datos de las concentraciones de óxidos, de las perforaciones realizadas por la empresa GEOCONSULTA en 1995	
Anexo 3 Panel de las perforaciones Mume para 1995	
Anexo 4 Tabla comparativa análisis químico	
Anexo 5 Mapa índice y secciones para la estimación del volumen del macizo por el método de perfiles paralelos	
Anexo 6 Mapa geológico cantera Mume	

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

I.1 GENERALIDADES

La cantera Mume es un gran macizo carbonático que es explotado con la finalidad de obtener materia prima para la producción de cemento en la Planta Ocumare del Tuy, propiedad de la empresa Fábrica Nacional de Cemento, ambas ubicadas en el centro norte de Venezuela, al sur del estado Miranda, en Los Valles del Tuy. La cantera se encuentra ubicada al suroeste de la ciudad de Charallave, a menos de cinco kilómetros de distancia por un desvío de la carretera Charallave-Cúa.

La caracterización geológica de las distintas canteras ubicadas en esta zona, son fundamentales para una adecuada explotación del macizo carbonático. La información resultante es una herramienta indispensable para los directivos de la Fábrica Nacional de Cemento, puedan generar los planes de explotación más adecuados. Debido a que estas canteras han sido explotadas por decenas de años, los estudios previos realizados por la empresa GEOCONSULTA C.A deben ser actualizados, ya que a medida que se consume el macizo surgen nuevas interrogantes geológicas sobre la disposición espacial del macizo, en especial las referentes al tipo litológico y de las características geoquímicas.

I.2 OBJETIVOS

I.2.1 Objetivo General

Caracterizar geológicamente la cantera Mume ubicada en el Municipio Cristóbal Rojas de los Valles del Tuy en el estado Miranda, para generar un modelo geológico actualizado y cuantificar las reservas geológicas existentes en el macizo, lo cual será aprovechado para los futuros planes de explotación minera.

I.2.2 Objetivos Específicos

- Compilar información bibliográfica de la zona de estudio, para analizar el contexto en el que se encuentra la cantera, desde el punto de vista de la geología regional, así como las características locales de la cantera y la información que compete a la explotación y producción de materia prima.

- Realizar un levantamiento geológico del macizo rocoso en su totalidad, ya que, debido a la explotación, se encuentra aflorando por completo, recolectando a su vez muestras de mano, siguiendo como criterio de escogimiento la distribución espacial y los cambios litológicos relevantes.

- Realizar un análisis cualitativo de los tipos litológicos identificados en campo, a través de 12 secciones finas seleccionadas entre las muestras de mano obtenidas, usando como criterio principal de selección la variación de alturas del frente de explotación así como ellos como los cambios litológico.

- Llevar a cabo un estudio de fluorescencia de rayos X de las 12 muestras preseleccionadas para el estudio petrográfico, con el fin de obtener los valores porcentuales de los componentes químicos de cada muestra para relacionar estos porcentajes con el análisis petrográfico y con los valores porcentuales obtenidos en la campaña de perforación del año 1995.

- Generar perfiles de concentración de carbonato de calcio con los datos obtenidos en las perforaciones realizadas en el año 1995 por la empresa GEOCONSULTA C.A., para conocer las variaciones de las concentraciones de los óxidos de calcio, hierro, silicio y magnesio en profundidad, promediadas por nivel de explotación (cada 10m).

- Realizar perfiles de variación de concentración de carbonato de calcio para interpretar el comportamiento en profundidad, por niveles de 10m cada uno, del

CaCO₃ a lo largo de la cantera Mume, lo cual es de carácter primordial en la toma de decisiones para realizar la explotación adecuada de la cantera.

➤ Elaborar un corte geológico en el área de estudio para realizar interpretaciones de las estructuras geológicas y tipos litológicos reconocidos, y de sus relaciones entre sí, con ayuda de la información obtenida durante el levantamiento, así como con los datos obtenidos por la empresa GEOCONSULTA C.A. durante una campaña de perforación realizada en el año 1995.

➤ Generar un mapa geológico a partir de los datos obtenidos de la campaña de perforación y de los datos recolectados en campo, para definir de manera más precisa el comportamiento espacial del macizo, para que éste dato sirva como herramienta para la toma de decisiones en cuanto a la explotación del material carbonático.

➤ Estimar el volumen del macizo calcáreo existente en el yacimiento a través del método de perfiles paralelos, con los perfiles realizados en 1995 y con relaciones aritméticas obtener la estimación de la reserva actual.

I.3 UBICACIÓN

La cantera se encuentra en el Municipio Cristóbal Rojas del estado Miranda, cercano a los caseríos Mume Arriba y El Dividive. El acceso se realiza a través de la carretera Charallave-Cúa, aproximadamente a 1,8 km de distancia de la encrucijada Charallave, donde se toma un desvío hacia el norte, por una carretera rural colina arriba, con un recorrido de 2 a 3 km, que finaliza al llegar a la cantera.

La cantera tiene una extensión de 42 hectáreas delimitadas por las coordenadas UTM:

N: 1.131.50 E: 731.300

N: 1.132.100 E: 731.900

A continuación se presenta la figura 1, de donde se puede observar la ubicación en imágenes, del área de estudio.

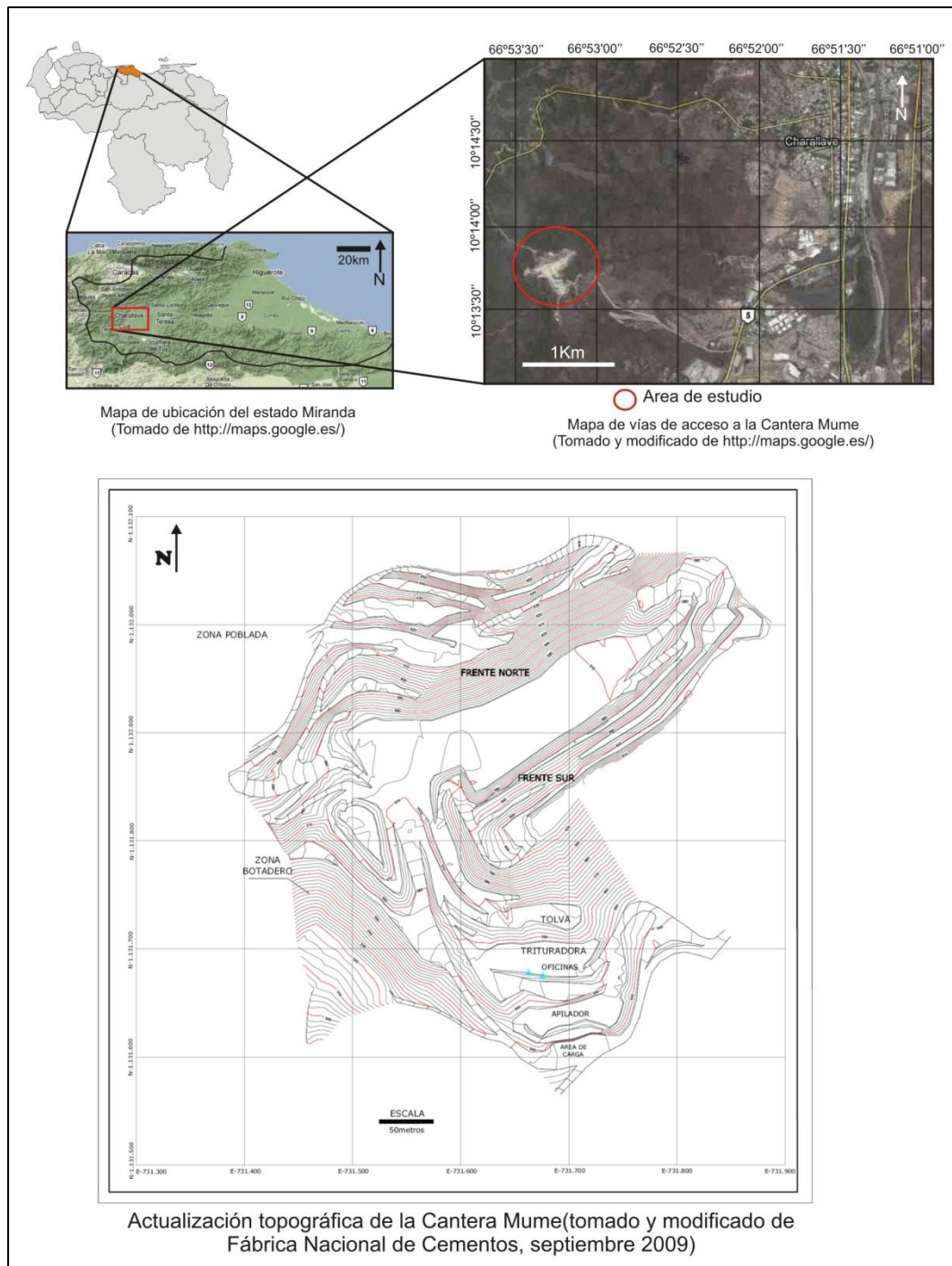


Figura 1. Ubicación del área de estudio

I.4 JUSTIFICACIÓN

Debido a la continua explotación del macizo carbonático de la cantera Mume, éste ha variado progresivamente su topografía a medida que se consume el frente de explotación. Tomando en cuenta que esta cantera se ha estado explotando por casi cincuenta años, es evidente que lo que actualmente aflora no es lo mismo que lo estudiado en levantamientos geológicos anteriores, donde el más reciente realizado fue en el 2005, aunque éste realmente fue una actualización del trabajo realizado por la empresa GEOCONSULTA en el año 2000. Por ello, y dada la importancia de esta cantera para la Planta de Ocumare del Tuy, es esencial conocer la litología restante del macizo calcáreo, así como características químicas puntuales, distribución del macizo y el volumen; datos importantes para la planificación de la explotación para así alargar la vida útil de la cantera.

El estudio está orientado a satisfacer estas necesidades, para ello se realiza una actualización de la información geológica, con el fin de mejorar la toma de decisiones de los directivos a cargo de la extracción del material carbonático, y como referencia a futuros trabajos a realizar en la cantera Mume.

I.5 TRABAJOS PREVIOS

- AGUERREVERE Y ZULOAGA (1937-1938), estudiaron la geología de la serranía de la Costa, y establecieron la primera correlación estratigráfica y dieron nombres a las formaciones. Este trabajo ayuda a entender el contexto geológico en el que se encuentra la cantera Mume.

- SMITH, R. (1952), condujo un estudio de la geología en el estado Miranda, publicado en el Boletín de Geología del Ministerio de Minas e Hidrocarburos en el año 1953. En este estudio enuncia y describe las características de macizos carbonáticos en la zona de estudio.

- VELARDE, H (1954), realizó un estudio geológico de las canteras de Carapita, al noreste de Antímano en el Distrito Capital. Concluyó que la zona estaba compuesta esencialmente de rocas metasedimentarias formadas por esquistos micáceos-calcáreos, calizas cristalinas y esquistos cuarzo-micáceos, del Pre-Cretáceo o Cretáceo y que la estructura principal de la zona es un anticlinal simétrico.

- NEUMAN, A. (1964), realizó un estudio geológico-económico de yacimientos de yeso y caliza en la parte sur de la Península de Paria, en el distrito Valdez, estado Sucre. Concluyó que la litología comprende rocas metamórficas de edad Triásico-Jurásico a Cretáceo temprano, y que originalmente se depositaron en una cuenca de aguas poco profundas y que luego fueron metamorfozadas. Este trabajo es importante para entender el contexto económico que involucra la explotación minera, que depende de la calidad del macizo, por lo que se rescata del mismo la pertinencia de evaluar la variación de la calidad en el frente de explotación.

- VILLENA Y DE ABREU (1985), trabajaron en un plan de explotación de la cantera El Melero, el cual consistió en diseñar la explotación más favorable para la extracción de caliza, donde se produciría también piedra picada como agregado del concreto. Los resultados obtenidos en la evaluación de las reservas revelaron un volumen total de 6.044.597 m³. La vida de la cantera ha sido determinada en 28 años, para una producción de 1.500 m³/día. Concluyeron que el proyecto era rentable de acuerdo con el análisis económico efectuado.

- FÁBRICA NACIONAL DE CEMENTOS (1998), emprendió un proceso de exploración y análisis de las canteras con mayor potencial de yacimiento, entre las cuales se encuentran las canteras San Bernardo, El Melero y Mume. Concluyeron que San Bernardo posee mayor tenor que las otras dos.

- GEOCONSULTA C.A (2000), realizó un plan de explotación minera en la cantera Mume, llevado a cabo por la Fábrica Nacional de Cementos con el propósito de extraer caliza para la elaboración del cemento y agregados para usos geotécnicos. El plan concluye la existencia de 4.7 millones de toneladas.

- GEOCONSULTA C.A (2005), realizó un plan de explotación minera en la cantera Mume, llevado a cabo por la Fábrica Nacional de Cementos con el propósito de extraer caliza para la elaboración del cemento y agregados; este plan estimó un volumen de 2.988.281 (ton).

- GÓMEZ Y MAYORA (2006), caracterizaron geológicamente la faja dolomítica de la zona ubicada entre Gañango y Patanemo, en el distrito Puerto Cabello del estado Carabobo, y estimaron el volumen del yacimiento calcáreo. Este trabajo contribuye ejemplificando con su metodología las actividades y tareas realizadas para estimar el volumen del macizo explotable.

I.6 METODOLOGÍA

La realización de este trabajo se lleva a cabo bajo un esquema de tres etapas generales, las cuales han sido catalogadas como: etapa compilatoria, etapa de campo y etapa de laboratorio y oficina.

I.6.1 Etapa compilatoria:

Esta etapa consiste en todas aquellas tareas realizadas previas a la salida de estudio en campo, con el fin de generar el contexto geológico regional en el que se encuentra el área de estudio, lo que incluye conocer cuáles son las posibles formaciones presentes, en el caso particular de la zona, generalidades sobre las división en fajas y napas realizada por otros autores en trabajos en la zona en estudio, así como la información en cuanto a la ubicación y el mapa al cual pertenece la zona según el Instituto Geográfico Simón Bolívar. Esta etapa se puede resumir en las siguientes fases:

- Revisión y recopilación bibliográfica: consistió en la búsqueda y estudio de los trabajos especiales de grado, congresos y demás documentación publicada de importancia realizada en la zona de estudio. Esta etapa continuó durante todas las fases y se realiza con el fin de generar una base de datos para el presente trabajo, para analizar el contexto geológico en el que se encuentra el área de estudio analizando las conclusiones a las que se llegaron en cada uno de los trabajos previos.
- Revisión de mapas topográficos correspondientes a la zona de estudio, entre los cuales se tienen la hoja 6846-IV-SO a escala 1:25.000 y el mapa topográfico de La cantera Mume a escala 1:1.000; también se obtuvo el mapa regional geológico de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) disponible en su sitio web. Con esta revisión se determinó la ubicación del área de estudio en la hoja cartográfica pertinente, así como la ubicación de las fallas cartografiadas en las zonas

aledañas al área de estudio. También se reconocen algunos aspectos fisiográficos del área.

- Preparación de un método de recolección de muestras para realizar el análisis químico y petrográfico post-campo, basado en alcanzar los objetivos específicos propuestos en el trabajo.

I.6.2 Etapa de Campo

Esta etapa consiste en el levantamiento geológico del área de estudio, con el fin de obtener datos científicos *in situ* que permiten realizar análisis pertinentes para etapas posteriores. Es de suma importancia que todos los datos estén ligados a posiciones específicas del área de estudio, por lo que se utiliza un GPS (*Global position System*) para atar los mencionados datos al mapa del área de estudio. El levantamiento se realiza siguiendo el patrón de disposición de los niveles que posee la cantera visible en la figura 2.



Figura 2 Foto Niveles del frente de explotación norte de la cantera Mume, vista hacia NE

- Se ubican afloramientos y puntos de relevancia geológica en el mapa del área de estudio mediante un GPS (*Global position system*) previamente calibrado. El GPS es de la marca MAGELLAN V 5.0, posee un rango de error de seis metros. Con el fin de aumentar la precisión, el levantamiento se lleva a cabo a través de poligonales, de las cuales se triangulan los extremos y con estos puntos triangulados se realizan comparaciones y

correcciones pertinentes, según sea el caso, de las coordenadas obtenidas por el GPS.

- Se realiza el levantamiento geológico estudiando los afloramientos encontrados en cada nivel de la cantera, mediante la descripción de las características litológicas y geométricas, propias de todo levantamiento geológico.
- Se describen los rasgos estructurales presentes en la zona, determinando sus características geométricas y su grado de deformación, así como la continuidad de estas deformaciones a lo largo de la cantera para el caso de las estructuras mesoscópicas. Para las estructuras de mayor envergaduras, no visibles mesoscópicamente, se hacen seguimiento de rumbos y buzamientos, prestando interés a los cambios relevantes, se realizan observaciones desde puntos donde se pueda ver la totalidad del macizo en estudio y se relacionan a su vez, los datos obtenidos en las perforaciones, los cuales generan perfiles que develan información del comportamiento del macizo en el subsuelo.
- Se toman las muestras bajo un esquema de mallado siguiendo el patrón que poseen las terrazas (niveles) de la cantera, donde se toman muestras distribuidas a lo largo de la terraza y en cada una de éstas, de manera tal que se tomen muestras en variaciones longitudinales y de profundidad en el frente de explotación. También se toman en cuenta cambios en el tipo litológico. Las muestras son denotadas de la siguiente manera: $MMU\alpha\beta$, donde la primera “M” corresponde a la palabra “muestra”, “MU” corresponde a la palabra “Mume” y las variables $\alpha\beta$ corresponden al número de muestra.
- De las muestras de mano se seleccionan 12 de ellas para hacerle una sección fina. Esta selección se basa en variaciones longitudinales y verticales del frente de explotación. También, se considera el hecho de que

los tipos litológicos son sólo tres, y estos tipos varían muy poco a lo largo de la cantera.

- A estas doce muestras previamente seleccionadas para el estudio petrográfico, se procede a efectuarse análisis químicos por el método de fluorescencia de rayos X, por dispersión de energía (FRX-DE), para lo cual existe un proceso estipulado para la preparación de pastillas en el laboratorio químico de la Planta Ocumare del Tuy.

En primer lugar se procede a moler la muestra, para lo cual la roca debe partirse en tamaños menores a la mitad de un puño. Luego se pasa por tres moledoras, las cuales llevarán la muestra a grano fino; estas tres moledoras se usan en orden cronológico. En primer lugar se utiliza la moledora G SIST de garganta, visible en la figura 3, la cual muele la muestra a tamaño menor a 5mm de diámetro, luego la muestra es pasada por la moledora de discos con movimiento rotacional de la marca BICO PULVERIZER visible en la figura 4, donde la muestra es molida hasta alcanzar el tamaño arena. Con este tamaño de grano se procede a generar las pastillas según el método del laboratorio químico de la Planta Ocumare del Tuy, donde se incluye la tercera moledora.



Figura 3 Foto moledora de garganta G SIST



Figura 4 Foto moledora de discos bico pulverizer



Figura 5 Foto cámara de discos moledora herzog



Figura 6 Foto moledora de anillos marca herzog

Los pasos a seguir para generar las pastillas son:

1. Tarar en la balanza un “beaker” limpio y seco de 100ml.
2. Pesar 16gr de la muestra de roca pulverizada y seca.
3. Trasladar la mezcla a la cámara de molino de discos de la marca HERZOG visibles en las figuras 5 y 6 asegurándose que la muestra no esté contaminada con otra muestra de una molida anterior.
4. Añadir dos gotas de Trietanolamina a la muestra.
5. Moler durante 100 seg. Las muestras
6. Tarar nuevamente el “beaker”.
7. Pesar 1,0 gr de cera “C” Micro-Molida, dentro del “beaker”.
8. Tomar 14 gr de la muestra.
9. Mezclar con una espátula la cera y la muestra hasta que no se observen manchas blancas en el fondo del vaso aforado.
10. Verificar que la cámara de la prensa HERZOG, visible en la figura 7, se encuentre previamente limpia antes de colocar la muestra a prensar. Si esta sucia retirar la cámara de molienda el disco y el anillo, limpiando suavemente con una brocha y dejando caer el material dentro de la cámara.



Figura 7 Foto Prensadora herzog



Figura 8 Foto pastillas obtenidas de la prensadora

11. Colocar el material a moler dentro del cilindro de la prensa HERZOG.
Cerrar el brazo de prensado y apretar el tornillo. Presionar el botón de inicio para confeccionar la pastilla.
12. Para retirar la pastilla de la prensa, aflojar el tornillo y girar el brazo.
Presionar nuevamente el botón de inicio para confeccionar la pastilla.
13. Tomar la pastilla por el borde, sin tocar la cámara inferior, marcar la cara superior con la identificación correspondiente.

Posteriormente se procede a introducir la pastilla obtenida, visible en la figura 9, referente a la muestra, en la unidad de fluorescencia de rayos x de la marca OXFORD, la cual imprime, después de empezar a correr el estudio de manera automática, los valores porcentuales de presencia de Ca, Fe, Al, Si y Mg.



Figura 9 Foto Unidad de estudios de fluorescencia de rayos x marca OXFORD

I.6.3 Etapa de laboratorio y oficina

Esta etapa consiste en la compilación de los datos obtenidos en las etapas anteriores. Una vez compilados los datos se procede al análisis de los mismos, individualmente y en conjunto, para obtener los resultados tales como los cortes y el modelo geológico. Con esta etapa completada se pueden obtener las conclusiones del trabajo de grado por medio de los análisis sobre los datos geológicos obtenidos.

- Se analizan todos los datos obtenidos en campo, tanto litológicos como estructurales.
- Se realiza el análisis petrográfico de las secciones finas bajo el microscopio, tomando en cuenta facies metamórficas y en especial minerales presentes.
- Se realiza el análisis químico de los datos obtenidos en los ensayos de fluorescencia de rayos X de las muestras preseleccionadas para el mismo,

donde se toma en cuenta la variación de los valores porcentuales de los óxidos de los elementos, y en especial del CaCO_3 .

- Se generan perfiles de valores porcentuales geoquímicos con los datos obtenidos en la campaña de perforación realizado por la empresa GEOCONSULTA C.A. en el año 1995. Debido a que la cantera es explotada por niveles de diez metros de altura cada uno, y el método de explotación implica que la roca removida del macizo se mezcla al ser recogida, se hacen promedios porcentuales cada diez metros en concordancia con los niveles del frente de explotación. Además se correlacionan los valores porcentuales de las perforaciones, con los datos obtenidos de las muestras recolectadas durante el levantamiento geológico, para discriminar la tendencia de las unidades informales en subsuelo.
- Realización de cortes geológicos con ayuda del programa “LANDSTOCK”. Basándose en los datos del levantamiento geológico, en especial los estructurales, y en los datos de las perforaciones, de la campaña realizada por la empresa GEOCONSULTA en el año 1995.
- Elaboración del mapa geológico de la zona bajo el programa AUTOCAD (LANDSTOCK), donde se plasma la distribución areal de las unidades informales reconocidas durante el levantamiento, así como las estructuras y contactos.
- Cuantificación de la cantidad de reservas de roca carbonática existentes en el yacimiento a través del método de perfiles paralelos.

Según BUSTILLO Y LÓPEZ (1997), para estimar el volumen del yacimiento se realiza a través de la metodología de perfiles paralelos que implica la siguiente fórmula:

$$V_{\text{bloque}} = \frac{(A1 + A2)}{2} * D$$

Donde V_{bloque} : volumen del bloque entre los dos perfiles

A1: área del perfil 1

A2: área del perfil 2

D : distancia horizontal entre los dos perfiles

Posteriormente se suma la totalidad de los volúmenes hallados

$$V_{\text{total}} = \sum_{i=1}^{n V_{\text{parcial}}} V$$

CAPITULO II

GEOLOGÍA REGIONAL

II.1 GENERALIDADES

El estudio de la geología regional se realiza en base a la cartografía disponible en la biblioteca de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela, basado principalmente en el trabajo de GONZÁLEZ DE JUANA et al. (1980).

La zona de estudio está ubicada en la cordillera del caribe venezolana. Este complejo montañoso ha sido dividido en fajas como lo muestra el trabajo realizado por MENÉNDEZ (1965), en el cual se toma como consideración discriminativa para la diferenciación general de las diferentes fajas, los grados de metamorfismo presentes a lo largo de la cordillera. Esto trajo como consecuencia cuatro fajas que se distribuyen de oeste a este de manera elongada pseudoparalela a la dirección W-E. Dentro de estas fajas, se encuentra la división estratigráfica oficial, como lo son las formaciones. Debido a la complejidad estructural que presenta esta región, la distribución de las formaciones es un serio complejo de macizos y bloques entrelazados entre sí, lo que dificulta su estudio e identificación, por lo que se han generado diferentes opiniones en cuanto a la distribución geográfica de algunas de las formaciones y/o áreas a la que autores de diferentes estudios le atribuyen formaciones distintas.

II.2 GEOLOGÍA REGIONAL

Debido a la ubicación del área de estudio, hay tres formaciones que es pertinente indagar en este trabajo especial de grado; la primera es la Filita Tucutunemo, la cual se extiende a manera de franja desde Aragua y Guárico hacia

el este, hasta la zona entre Los Teques y Cúa. Los Esquistos Las Mercedes que aflora desde Aragua, en una franja de oeste a este que va desde Guárico y Carabobo oriental hasta Guatire y Guarenas, pasando por Caracas y Los Teques. Y, finalmente, la Filita de Paracotos, que se extiende de oeste a este por una franja entre la falla de Agua fría al sur y la falla Santa Rosa al norte, atravesando los estados Miranda, Aragua, Guárico, Carabobo y Cojedes.

Tanto la Filita de Tucutunemo, como la Filita de Paracotos se encuentran al sur de la falla de la Victoria, al igual que la zona de estudio donde se realiza este trabajo especial de grado. Además presentan características litológicas muy parecidas, lo que las diferencia son las edades, pues entre ellas hay un aproximado de 180 Ma de diferencia, ya que la Formación Paracotos tiene una edad Mesozoico y la Formación Tucutunemo tiene una edad Pérmico.

Por el contrario, el Esquisto las Mercedes, de edad Jurásico-Cretácico, se encuentra al norte de la Falla de la Victoria, en la Faja de la Cordillera de la Costa, a pesar de este factor posicional relevante, de igual manera esta formación se incluye en el estudio regional, ya que también presenta macizos de mármoles como el que está siendo estudiado y porque en trabajos previos realizados por la empresa GEOCONSULTA C.A. (2002,2005) propuso que el área de estudio pertenece a los Esquistos las Mercedes.

II.2.1 Faja de la Cordillera de la Costa

Esta faja se extiende longitudinalmente de oeste a este en el área más al norte del centro-occidente de Venezuela, está limitada al sur por la faja de Caucagua-El Tinaco, por el contacto estructural de la falla de la Victoria. GONZÁLEZ DE JUANA “et al” (1980) consideran que toda esta faja tiene un grado de metamorfismo de la facies de los esquistos azules, con temperaturas entre los 200 °C y 300 °C, y asocia a estas características a comienzos de la orogénesis. Las formaciones presentes en esta faja según MENÉNDEZ (1965; p 119) son: Las Brisas, Peña de Mora, Gneis de Sebastopol, Mármol de Antímano y Las Mercedes.

II.2.2 Faja Caucagua-El Tinaco

Al norte esta faja está limitada por la falla de la Victoria quien marca el contacto con la cordillera de la costa. Al sur está limitada por la falla de Santa Rosa. Se extiende de oeste a este, desde el Poblado de El Tinaco continuamente hasta la zona al norte de Villa de Cura donde entra en contacto al sur con la faja de Paracotos, luego se extiende de manera discontinua hasta Caucagua, estas discontinuidades respectivamente son los valles de Carabobo y lago de Valencia y los Valles del Tuy.

Según GONZÁLEZ DE JUANA “et al.” (1980; p 331), en esta faja se incluyen las formaciones: La Placita, Pilancones, Tucutunemos, Los Naranjos, Conoropa, Urape, Maraguata y Chuspita, así como el Complejo El Tinaco. Actualmente se le considera a Los Naranjos un miembro de la Formación Tucutunemo, como lo muestra el trabajo de GRANDE (1995).

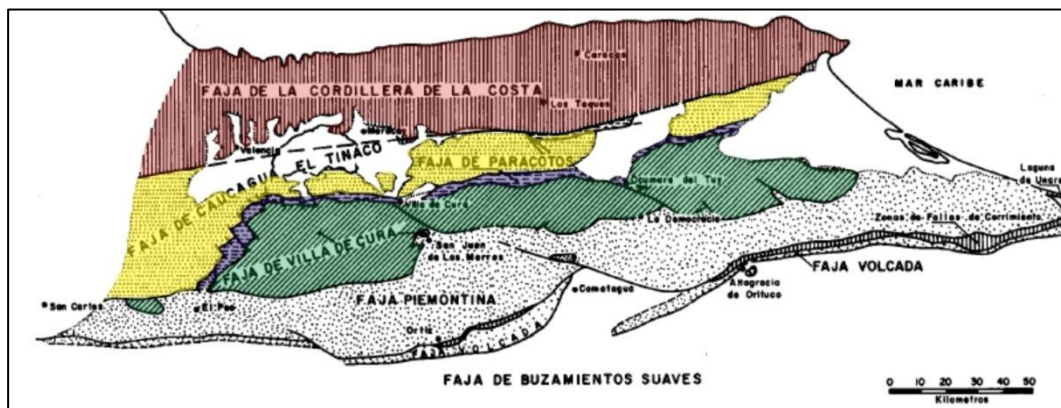


Figura 10 Disposición de las distintas fajas, Tomado y modificado de GONZÁLEZ DE JUANA 1980

II.2.3 Faja de Paracotos

Es una delgada franja que, según GONZÁLEZ DE JUANA “et al.” (1980; P 345), está limitada al norte por la falla de la Victoria, al oeste está limitada por la Faja de Caucagua- El Tinaco. Comienza precisamente desde el Poblado El Tinaco y se extiende hasta el oriente del estado Miranda, en donde se encuentra el valle más al

oeste del estado, en donde se halla el pueblo de Higuerote. Al sur está en contacto con la faja de Villa de Cura limitada por el corrimiento de Agua Fría.

II.2.4 Faja de Villa de Cura

Esta faja se extiende de este a oeste al sur de las fajas Paracotos y Caucagua-El Tinaco, están en contacto con las mismas según GONZÁLEZ DE JUANA “et al.” (1980; p 347) a través de la falla de corrimiento de Agua Fría. El contacto al sur es de fallas de corrimiento con la faja piemontina. BELLIZZIA Y RODRÍGUEZ (1976; p 1375) mencionan que las siguientes Formaciones se encuentran dentro de la faja: Formación Tiara, Formación Tiramuto y el complejo máfico y ultramáfico de El Chacao.

II.3 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

II.3.1 Filita de Tucutunemo

Esta formación pertenece, según GRANDE (1995), al Cretácico tardío, y consiste de filitas y filitas esquistosas con mineralogía variada, con un predominio de las filitas grises a gris oscuro, cuarzo-cericíticas; también se caracteriza por tener metaconglomerados polimícticos con cantos volcánicos y de cuarzo, lentes de caliza recristalizada de grano fino, grises a negruzcas y metagrawacas. Se encuentran zonas prominentes pero discontinuas de mármoles gris oscuros a negros, asociados a un metaconglomerado carbonático.

El Metavolcanosedimentarias de Los Naranjos se caracteriza por presentar filitas negras grafitosas, metaconglomerados y budines o intervalos de metalavas, anfibolitas y metatobas de afinidad basáltica, localmente, en el curso inferior del río Toro y en la quebrada Credalito, pueden observarse brechas de flujo e

hialoclastitas metamorfizadas , así como estructuras almohadilladas bastante bien preservadas (GRANDE 1995).

Según GONZÁLEZ DE JUANA “et al.” (1980), los mármoles presentes van de color gris oscuro a negro, microcristalinos, presentan impurezas, con cristales de cuarzo y albita que juntos constituyen el 30% de la roca. Por otro lado, los fragmentos de fósiles son escasos, éstos presentan una fuerte foliación metamórfica; se puede observar que los metaconglomerados varían de gris oscuro a blanco, presentan un mal escogimiento, con guijarros de cuarzo de veta, fñanita y plagioclasas, las cuales presentan texturas y estructuras metamórficas.

La formación también presenta filitas carbonáceas azules que usualmente varían a facies arenosas, y debido al metamorfismo se presentan micas blancas así como un gran desarrollo de texturas y estructuras metamórficas.

Debido a la presencia de elementos volcánicos hacia la base de la Filita Tucutunemo, justo al Oeste de la localidad tipo, se designó a estos elementos como Miembro Los Naranjos, ya referenciados en este trabajo.

SHAGAM (1960), quien describe la unidad Los Naranjos adjudicándola a la Formación Tucutunemo, contempla que la misma consiste esencialmente en filitas carbonáceas arenosas que varía a limolitas y areniscas cuarzo feldespáticas. También se encuentran areniscas de grano grueso e incluso conglomerados calcáreos. SHAGAM también identificó calizas cristalinas negras, de grano fino, que se presentan de manera discontinua pero prominente. Están ubicadas hacia la parte superior de la secuencia, y cerca de la base de la misma, presentan capas delgadas de toba básica afanítica de color verde.

Según GRANDE (1995), la edad más aceptada de la formación es la obtenida por radiometría K/Ar en total de las metalavas del Miembro Los Naranjos determinada por BECK (1986) en 73.5 +/- 1.9 Ma. BENJAMINI (1986) y GRANDE (1995), estipulan que la mencionada edad corresponde al último evento termal que

afectó a estas rocas y que la Formación Tucutunemo, con su Miembro Los Naranjos, sean de edad Paleozoico tardío.

II.3.2 Filita de Paracotos

Según GONZÁLEZ DE JUANA “et al.” (1980), en esta unidad se distinguen tres tipos litológicos, entre ellos están las calizas microcristalinas, los conglomerados líticos y las rocas volcánicas dentro de un matriz filítica que constituye un estilo de depositación tipo *wild flysch*.

Para SHAGAM (1960), las filitas son las rocas con mayor porcentaje de abundancia en la formación, alcanzando hasta un 60% del total de la misma. Éstas son de color azul grisáceo oscuro, afaníticas y foliadas que meteorizan a un color gris claro a amarillo. Distribuidos a lo largo de todas estas filitas se encuentran peñones de rocas volcánicas y sedimentarias que alcanzan los 20 cm de diámetro. GONZALEZ DE JUANA “et al” (1980; p 345), explican que estas características pueden ser correspondidas a una lodolita guijarrosa, litología típica de los olistostromos.

Esta formación también presenta meta-conglomerados y meta-areniscas. Las meta-areniscas son de color gris oscuro que clasifica como arenisca calcítico-micácea y waca lítica cuarcífera. Los meta-conglomerados por su parte presentan guijarros que alcanzan los 50 cm de diámetro, los conglomerados son de color gris verdoso. Los guijarros están constituidos por mármol, ftanita, fragmentos de, vetas de cuarzo, metalava basáltica, de estos últimos se conocen cuerpos que alcanzan varias decenas de metros de espesor interestratificados con las filitas que abundan en la zona. GONZÁLEZ DE JUANA “et al.” (1980).

II.3.3 Esquisto Las Mercedes

Para WEHRMANN (1972), la edad de esta formación es Mesozoica aunque sin poder diferenciar. La litología que predomina en la formación son esquistos

grafitoso- calcíticas, además presenta lentes de mármoles intercalados, también hay uno lentes de mármoles de color oscuros, intermitentes que ha sido denominados “Calizas de los Colorados”. WEHRMANN (1972) coloca en la base de la formación unos conglomerados cuarzosos en capas delgadas.

Según GONZÁLEZ DE JUANA “et al.” (1980; p 317), los esquistos de la formación son de tipo cuarzo-moscovíticos-grafitosos-calcíticos, aunque localmente en la serranía del Ávila se encuentran muestras con presencia de plagioclasas. GONZÁLEZ DE JUANA “et al.” (1980; p 317), también menciona que los esquistos van de grano medio a fino, con color fresco gris oscuro y color meteorizado gris parduzco. La Formación las Mercedes tiene numerosas vetas de cuarzo, con una competencia baja, por lo que facilita la absorción de los plegamientos.

II.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La región norcentral del país presenta un conjunto de elevaciones conocidas como la Cordillera del caribe, esta cordillera está compuesta por cuatro napas que están en contacto entre sí por fallas de corrimiento con una orientación general y pseudo paralela a la EW, cuyo mejor ejemplo es la conocida falla de La Victoria.

El contexto geológico regional de la zona norcentral del país implica una génesis muy complicada estructuralmente, por ello no es de extrañar la cantidad de fallas cartografiadas en la región, visibles en la figura 11 correspondientes a sistemas de fallas asociadas a fallas principales, como la ya mencionada falla de La Victoria.

La zona de estudio se encuentra al suroeste de Charallave, a unos cuantos kilómetros de esta localidad, por lo que referencialmente se puede asegurar que se encuentra al sur de la falla de la Victoria y al este de la Falla Tácata. Estas dos macro estructuras son las principales de la región en la que se encuentra la zona de

estudio, por lo que se encuentra presente en los sistemas de fallas asociados a estas dos fallas principales.

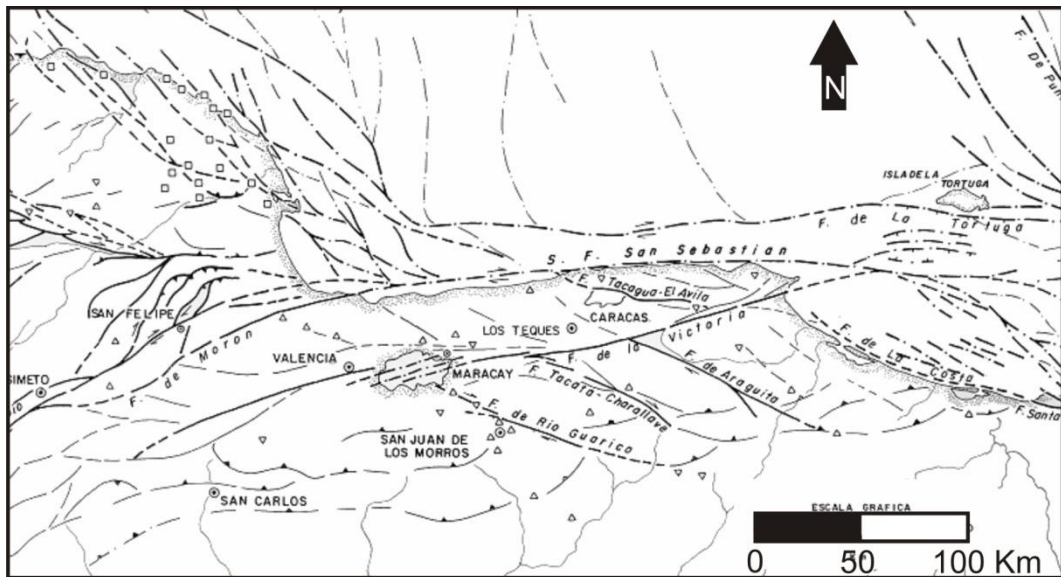


Figura 11 Mapa de fallas activas. Tomado y modificado de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) de la página web <http://www.funvisis.gob.ve>

II.4.1 Falla de la Victoria

Esta posee una longitud total de unos 350 km aproximadamente, tiene una dirección pseudo paralela a la E-W y va desde el sector La Mona en el estado Carabobo extendiéndose hasta el mar Caribe por la zona de Carenero estado Miranda como se observa en la figura 11 de Mapas de fallas activas.

Este elemento sismotectónico, según VAN BERKEL (1988 p83), tiene un movimiento dextral con una velocidad de 0.7 mm/a con una estimación de sismo máximo posible de magnitud 6,6 con un promedio de retorno de 1600 ma. Esta falla posee muy poca expresión superficial debido a que la misma atraviesa una zona que tiene una alta tasa de agradación sedimentaria, además durante su recorrido pasa a través del Lago de Valencia, La laguna de Taiguaguai y por el valle de la Victoria, que le da su nombre, las cuales dificultan las posibilidades de observar evidencias superficiales.

II.4.2 Falla de TÁCATA

Esta falla pertenece al sistema de fallas de La Victoria, de hecho se desprende de ella en la cercanías del poblado de TÁCATA, de donde nace su nombre. Pertenece a la familia de fallas con la dirección preferencial NO-SE que se encuentran a lo largo de la región de la cordillera de la costa. Tiene una extensión de 90 km desde la región de corrimiento piemontino al sur de la faja de Villa de Cura, hasta su intersección con la falla la victoria. Su expresión topográfica es evidenciable debido a las facetas triangulares bien desarrolladas, ensilladuras de falla apreciables, alineación de relieve y drenajes desplazados.

Según LOPES Y REYES (2010 p 42) la falla TÁCATA presenta un movimiento dextral y una velocidad de 0,4mm/a con desplazamiento que ocurren en caso de que se active un sismo del orden de 1 a 5 cm, su sismo máximo probable es de una magnitud de 6,7 en la escala de Richter y tiene un período de retorno de 2000 años.

II.4.3 Fallas menores

La falla de la Victoria genera todo un sistema de fallas, de donde se desprende la falla de TÁCATA. También existen una serie de fallas de menor escala que se encuentran en la región, fallas que han sido cartografiadas en estudios previos y que corresponden a sistemas de deformación antiguos, generalmente son parte de los contactos estratigráficos y en algunos casos fungen como planos pasivos de debilidad con presencia de brechas y alineaciones de diaclasas. Estas condiciones, junto al contexto estructural regional, facilitan desplazamientos menores a través del plano de falla. Todas estas fallas al pertenecer al sistema de fallas generadas por la falla de La Victoria se les consideran activas o susceptible a sufrir desplazamiento en caso tal que la falla principal se active.

CAPÍTULO III

GEOGRAFÍA FÍSICA

III.1 GENERALIDADES

Hay dos factores que rigen todas las características de la geografía física, directa o indirectamente, sobre la región en estudio; la primera es el posicionamiento global en el que se encuentra y segundo es el contexto geológico. Este último, principalmente modelado por las condiciones estructurales, ya que la región está aledaña a la convergencia tectónica entre la placa Suramericana y la placa Caribe, donde la última posee un movimiento relativo hacia el este con una leve componente hacia el sur, tendencia que en el Mioceno mMedio provocó el levantamiento de la cordillera de la costa. De esta condición se deriva el complejo sistema de fallas presentes en la región, e incluso los tipos de roca generalmente hallado en la cordillera (metamórficas), como consecuencia de las presiones y temperaturas durante la convergencia tectónica.



Figura 12 Ubicación nacional y línea ecuatorial, tomada y modificada del programa google earth
Línea ecuatorial

La región está posicionada globalmente al norte del Ecuador, aunque muy cercano a los 10°N del mismo, esto condiciona principalmente el tipo de clima, por ende la pluviosidad, lo que genera un tipo de clima específico. Todas esas condiciones rigen el clima regional, y localmente, en el área de estudio, influye

aunado a las condiciones anteriores, la altura de 800msnm a la que se encuentra el área de estudio.

III.2 FISIOGRAFÍA

La zona de estudio está ubicada en la Cordillera del Caribe, la cual es un macro accidente topográfico ubicado al norte de Venezuela, que se extiende desde Morón en el estado Carabobo hasta Higuerote estado Miranda. Esta serranía tiene como estructuras geológicas más comunes anticlinales, sinclinales, y diaclasas, además es una zona que presenta un complejo sistemas de fallas, esto implica un relieve muy accidentado y abrupto; además posee altas pendientes que varían de fuerte a media relativamente, con crestas irregulares, agudas y profundos entalles. Presenta topes cóncavos, de formas irregulares. En general presenta rocas de metamorfismo medio a muy bajo.

La Cordillera presenta valles intramontanos, entre los más relevantes están, el valle de la Victoria, Caracas y Los Valles del Tuy. El área de estudio se encuentra en el borde norte de los Valles del Tuy, al sur de la falla de la Victoria y al este de la Falla Tácata.

III.3 CLIMA

Debido a la ubicación geográfica de Venezuela, posicionada al norte de América del Sur, y su cercanía con el ecuador, el país se encuentra bajo la influencia de la hondonada intertropical de bajas presiones ecuatoriales, donde los vientos alisios provenientes del sureste convergen con los vientos alisios del noreste.

Este fenómeno trae como consecuencia que a alturas mayores de los 2000 msnm el aire carezca de humedad, por lo que el proceso convectivo de generación de nubes sea muy limitado, esto generalmente deriva en un clima seco en el país,

aunque la zona norte se ve afectada con relativa frecuencia por frentes fríos especialmente, entre los meses de Enero a Abril, que provocan precipitaciones dentro de la temporada seca.

El tipo de clima general del área de estudio es un clima monzónico, el cual es un clima transicional entre los climas tropical de sabana y tropical de selva, típico de regiones piemontinas o valles intramontinos como Los Valles del Tuy. Este tipo de clima domina gran parte del país y es difícil de diferenciar.

Dado a que la cantera se encuentra en una cota menor de lo 800 msnm, corresponde al piso térmico de *tierra caliente*, la cual posee temperaturas que varían generalmente desde los 22 °C hasta los 29°C. Los meses donde las posibilidades de pluviosidad son mayores son los meses de; Junio, Julio y Agosto, con una media anual de 800 mm.

III.4 RELIEVE

Venezuela se encuentra ubicada al norte de la placa tectónica Suramericana, esta está en contacto convergente con la placa tectónica del Caribe, y la expresión de este fenómeno, entre muchos otros, son las elevaciones topográficas. Al Centro norte de Venezuela, que es precisamente el área de estudio, se encuentra la serranía del Interior central venezolana, la cual se extiende de oeste a este desde El Tinaco estado Cojedes hasta Cúpira estado Miranda, de manera elongada en esta dirección, con una elevación máxima en el pico Petillón de 2.200m de altura. Posee una tendencia de disminución de cotas hacia el sur, de manera escalonada, hasta Los Valles del Tuy donde las cotas pueden alcanzar hasta 200 m sobre el nivel del mar.

Esta Serranía presenta valles intramontanos como el valle de Caracas y los mencionados Valles del Tuy. La cantera se encuentra precisamente en el borde norte de Los Valles del Tuy, en una colina que alcanza hasta los 680 m de altura. Esta colina tiene laderas irregulares con pendientes suaves hacia el sur y

pendientes más pronunciadas hacia el norte, mientras que el tope de la colina es cóncavo e irregular.

III.5 DRENAJE

El drenaje en la zona aledaña al área de estudio presenta una serie de afluentes al río Tuy, entre ellos las quebradas Las Yaguas, Mume, Sucua y San Bernardo. Todas estas poseen un recorrido con dirección irregular, con un sentido general hacia el sur. El río Tuy, tiene un sentido general hacia el SE, el cual recorre con forma de meandros.

III.6 VEGETACIÓN

La vegetación en la colina que comprende el área de estudio, es una vegetación de arbustales y matorrales, donde domina la presencia de arbustos, que no superan los 2m de altura. Este tipo de vegetación está condicionada por el clima, de este factor depende la densidad del mismo. Otro factor que determina la densidad de este tipo de vegetación es la altura, pues se observa un aumento en la densidad de la vegetación hacia el tope de las colinas. Entre los tipos de arbóreas más comunes se observan el Jabillo y el Dividive, mientras que los arbustos que con mayor presencia se observan son el Cují y la Guayaba sabanera.



Foto 9 Vegetación aledaña a la cantera Mume

Hacia la parte de menor altura de la colina y en el resto del valle, la vegetación que se presenta es de tipo de sabanas y herbazales, que se caracteriza por ser una cubierta de hierbas, la cual presenta arbustos aislados y en algunos casos en pequeños grupos.

CAPÍTULO IV

MARCO TEÓRICO

IV.1 CARACTERIZACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS CON INTERÉS ECONÓMICO

Es la actividad que se realiza durante todas las etapas del desarrollo del proyecto, desde la planificación inicial del mismo, hasta el desarrollo de la infraestructura de explotación del macizo, e incluso durante la actividad misma de explotación. Esta actividad consiste en la descripción y análisis de características observadas del macizo, también consiste en mediciones y ensayos que permiten adquirir parámetros cuantitativos útiles con el fin de mejorar la actividad de explotación.

Entre las fases que se requieren para caracterizar un macizo, la primordial es la caracterización geológica, pues esta establece las bases de las propiedades del macizo, sus tendencias y su distribución. De esta fase se desprende los análisis y planificación para el desarrollo de la actividad de explotación. Además la caracterización geológica es la herramienta indispensable para la planificación de las prospecciones geofísicas, las cuales, según GONZÁLEZ V (2002) determinan el nivel final de perforaciones exploratorias, medidas y ensayos geotécnicos.

IV.2 TIPOS DE MACIZOS ROCOSOS BLANDOS

Según GONZÁLEZ (2002)

Fresco: de grado I; en este tipo de macizo no se aprecia meteorización, donde solo llega a existir una leve degradación o cambio muy tenue de la coloración en los planos de debilidad o discontinuidades del macizo.

Levemente meteorizado: de grado II; en donde la meteorización se evidencia como el cambio de color del macizo y entre planos de debilidad. También este grado, puede presentar debilidad de la roca, en comparación con la roca fresca.

Medianamente meteorizado: de grado III; En este grado de meteorización menos de la mitad de la roca se encuentra descompuesta o desintegrada, puede presentar decoloración tanto en la roca como en los planos de debilidad.

Altamente Meteorizado: de grado IV; El macizo alcanza este nivel una vez que el mismo se ha desintegrado en gran medida, a tal punto que más de la mitad del macizo se encuentra descompuesto y desintegrado al suelo.

Completamente Meteorizado: de grado V; Este es el grado de metamorfismo más alto que se puede alcanzar sin que haya cambio en la estructura del macizo, aunque la roca se encuentra sumamente meteorizada.

Suelo residual: de grado VI; todo el macizo ha sido afectado por la meteorización, a tal punto que ha perdido la textura e incluso la estructura del mismo. Todo el material ha sido descompuesto y desintegrado al suelo, aunque este no ha sido erosionado.

IV.3 FUNDAMENTOS 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.

Según CAMPOSANO & MARTÍNEZ (2000) los métodos de análisis que emplean rayos X son: absorción, difracción, fluorescencia.

Los métodos analíticos empleados en este trabajo son fluorescencia de rayos X por dispersión de energía (FRX-DE)

IV.3.1 Fluorescencia de rayos X por dispersión de energía

Es una técnica de muestreo versátil, rápida y no destructiva (en algunos casos en los que la penetración de los rayos X no fuera suficiente se requerirían cortes o pulidos, dependiendo también de la uniformidad de la muestra) relativamente nueva, que reconoce un gran número de elementos químicos (no compuestos químicos) y presenta los resultados en tiempo real, permitiendo decidir la necesidad del muestreo adicional ante resultados analíticos no concluyentes. Logra alcanzar unos límites de detección de hasta 0,002% (20 ppm).

La técnica EDXRF utiliza la emisión secundaria o fluorescente de radiación X que se genera al excitar una muestra con una fuente emisora de rayos X. La radiación X incidente o primaria expulsa electrones de capas interiores del átomo, entonces los electrones de capas más externas ocupan los lugares vacantes, y el exceso energético resultante de esta transición se disipa en forma de fotones: la llamada radiación X fluorescente o secundaria. (tomado de CAMPOSANO & MARTÍNEZ, 2000).

Esta radiación de fluorescencia es característica para cada elemento químico. Por lo tanto, es posible identificar un elemento dentro del espectro de la muestra si se conoce la energía entre los orbitales atómicos implicados (longitud de onda). La concentración de cada elemento se detecta midiendo la intensidad de la energía asociada a cada transición de electrones. Es decir, la salida de un análisis EDXRF es un espectro que muestra la intensidad de radiación en función de la energía.

Esta técnica analítica es muy versátil y permite analizar más de 80 elementos, detectando concentraciones desde 100% hasta de unas pocas partes por millón (ppm).

Según ROLLINSON (1993), ésta es la técnica más usada en la determinación de elementos mayoritarios y traza en muestras de rocas, por ser un método rápido que puede llevar a cabo una gran cantidad de mediciones precisas, utilizando un espacio de tiempo relativamente corto.



Figura 13 Efecto de los rayos x (tomado de <http://www.interempresas.net/fotos/198272.jpeg>)

Propósito:

- Identificación de elementos químicos presentes en una muestra
- Cuantificación de elementos según los patrones disponibles
- Apoyo a la identificación de fases por difracción de rayos-x
- Apoyo a estudios petrogenéticos

IV.4 GEOLOGÍA MINERA

IV.4.1 Yacimiento Geológico

Es una acumulación presente en la corteza terrestre o litósfera, donde la elevada concentración de un mineral o varios minerales es de carácter estadísticamente anómalo.

IV.4.2 Yacimiento Minero

Es una acumulación presente en la corteza terrestre o litósfera, en donde la elevada concentración de mineral o minerales es de carácter estadísticamente anómalo, y además, es económicamente rentable, basado en estudios de calidad, método y tecnología de explotación, accesibilidad, impacto ambiental, y además cantidad; la cual está definida de acuerdo a las dimensiones areales y de profundidad.

IV.4.3 Minería de Superficie

Es el sistema de explotación usado para concentraciones minerales que están en la superficie o a muy poca profundidad, para este último caso se remueve una porción de material menor conocida como estéril, para poder llevar a cabo la explotación. Más del 60% de los minerales extraídos se explotan a través de este método minero que además no difiere de tipo de mineral o yacimiento, ya sea generalmente metales, carbón o materiales para uso industrial y de construcción en general. Y para el caso de las minas de placer de minerales y metales pesados se extrae entre otros platino, estaño y con mayor frecuencia oro.

IV.4.4 Minas a Cielo Abierto

Pertenecen al sistema de explotación de minería de superficie, tienen la característica de adoptar la forma de grandes fosas a medida que avanza la explotación. Se generan terrazas cada vez más profundas y anchas, que varían su tamaño e inclinación de talud de acuerdo al plan de explotación que rijan cada caso en particular. El típico sistema de explotación incluye las voladuras del macizo con explosivos, lo que implica un estricto sistema de seguridad, aunque se realiza con mayor facilidad que en los casos de minería subterránea pues no existen las

posibilidades de derrumbes que colapsen la estructura, es por ello que las voladuras es el sistema de explotación por excelencia de las minas a cielo abierto.

EL mineral extraído durante la explotación a través de cielo abierto es de fácil recolección y traslado, debido a las facilidades que implica el sistema. La maquinaria de transporte suelen ser grandes tractores con capacidades de carga que van desde las 20 toneladas hasta 50 toneladas. Estos tractores también son los responsables en reubicar el material no explotable, entre ellos el estéril, o algún mineral sin importancia económica para la explotación conocida como ganga. Su reubicación está asignada de acuerdo al plan de explotación en áreas pertenecientes al complejo.



Figura14 Foto Tractor canteras FNC

IV.4.5 Método de Canteras

Las canteras es un estilo de las minas de explotación por cielo abierto, por lo que el equipo empleado es el mismo. La diferencia es que los materiales extraídos suelen ser minerales industriales y materiales de construcción. En general, casi todo el material que se obtiene de la cantera se transforma en algún producto, por lo que hay mucho menos material de desecho, con excepción del estéril, que es parte de la cobertura vegetal y suelo que es necesario remover. De igual manera este material se reubica en unos botaderos, que suelen ser usados con fines estratégicos para relleno en la misma cantera con el fin de facilitar cualquier proceso que tenga que ver con la explotación en la cantera, sobre todo cuando

estas canteras se encuentran ubicadas en zonas montañosas de espacios limitados. También para crear caminos, o son aprovechados por la comunidad aledaña, según sea el caso, debe tener una finalidad provechosa.



Figura 15 Foto Trituradora Mume

Muchas de estas canteras poseen trituradoras dentro del mismo complejo, que sirven para facilitar el traslado del material de la cantera a la planta de tratamiento del mineral explotado, ya que es más fácil transportar material triturado que grandes peñascos. En la figura 15 se observa parte de la trituradora de la cantera Mume. Las plantas suelen estar ubicadas en zonas aledañas a las canteras, en caso de que en una región posea más de una cantera que explote el mismo material, la planta se ubica estratégicamente entre las canteras de explotación; este es el caso de la Planta Ocumare del Tuy, donde se procesa materia prima para la generación de cemento. Esta planta se ubica entre tres canteras que se encuentran en la región.

Una vez que la explotación ha concluido, debido a la cantidad de material que ha sido removido, se genera una fosa de gran tamaño que no es desaprovechada. Ya que las cavidades creadas por muchas canteras después de concluido el proceso de explotación son utilizadas con fines sociales o industriales, en algunos casos adquieren un cierto valor como vertederos de residuos urbanos, o algún otro fin como por ejemplo la cantera El Peñón, en el estado Miranda, la cual es actualmente un parque, debido a sus cavernas y calcitas bien formadas.

Las canteras pueden subdividirse en dos grandes grupo según ANNELS (1991):

-Donde se desea obtener el material completamente fragmentado o triturado para alimentar a las plantas de tratamiento y obtener un producto destinado a la construcción en forma de áridos, a la fabricación de cementos, es por ello que el método de explotación es poco cuidadoso, consistiendo en voladuras y trituración por maquinarias de martillos o retro excavadoras. Este es el caso de la cantera Mume, donde la explotación se realiza a través de voladuras y maquinaria pesada, que luego trasladan lo desprendido del macizo a la trituradora ubicada dentro de la propiedad de la cantera.

-Dedicado a la explotación cuidadosa de grandes bloques paralelepípedicos, que posteriormente se cortan y elaboran. Estas últimas canteras se caracterizan por el gran número de bancos que se abren para obtener los bloques y la maquinaria especial con la que se obtienen planos de corte limpios. Este estilo es consecuencia de los fines para los que se realiza, típicos para materiales de construcción urbanos, como mármol, granito, entre otros; es por ello que la roca es arrancada en bloques, donde luego son cortados y pulidos listo para el uso, sin pasar por algún proceso mayor a diferencia del caso anterior.

IV.4.6 Recursos y Reservas

Los recursos minerales son todos aquellos materiales de la naturaleza que tienen un fin en la sociedad, que va desde el entretenimiento hasta el progreso de la sociedad en tantas facetas como las posee el hombre. Entre ellas; el transporte, el urbanismo, la joyería, la construcción, la tecnología etc. Los recursos naturales mineros se ubican en la corteza de la tierra, y se encuentran en lugares donde las condiciones geológicas, durante la génesis del recurso, fueron propicias para la creación del mismo. Es por ello que la explotación del recurso se adapta a la

ubicación del mismo, el mejor ejemplo alrededor del mundo son los hidrocarburos.

Según ANNELS (1991), se define como recursos a aquellas masas de mineral que se conocen “in situ”, cuantificados básicamente por datos geológicos de forma tal que su extracción podría ser económicamente viable o es potencialmente viable en el futuro.

Estos depósitos minerales, que no son más que concentraciones estadísticamente anómalas ubicadas en un espacio de la corteza terrestre, tienen la condición de generarse bajo procesos geológicos particulares según sea el caso del mineral, pero todos, sin excepción, toman más años en crearse que los que tiene la humanidad sobre el planeta, con cantidades de años que van desde los cientos de miles, hasta los millones de años. Es por esta razón en particular que se les considera como recurso no renovables.

Según ANNELS (1991), los recursos no renovables, se forman por procesos mucho más lentos que el ritmo al que se explotan. La segunda característica es que sólo son explotables aquellos depósitos que poseen una concentración lo suficientemente elevada como para que sean rentables

Las reservas son todos aquellos volúmenes minerales ya cuantificados, y probados que además son económicamente rentables, y que no están siendo explotado por motivos estratégicos.

IV.4.7 Mena

Es todo aquel mineral del que se puede extraer un elemento aprovechable o de interés económico, además este mineral debe poseer un alta concentración, de manera tal que sea rentable, entonces se le conoce como mineral mena. El mineral además debe ser parte de un yacimiento, por ende, debe ser una concentración estadísticamente anómala del mineral y que además sea económicamente rentable.

IV.4.8 Clasificación de recursos y reservas

La clasificación de los recursos está basada en criterios viabilidad económica, evidencia geológica y aprovechamiento o recobro del mineral.

Algunos organismos como U.S. Bureau de Minas (USBM) y el U.S. Geological Survey (USGS) en 1980 y más recientemente, por el Australian Mining Industry Council (AMIC) y el Australian Institute of Mining and Metallurgy (AIMM) en 1989, han clasificado los recursos y reservas ajustadas para depósitos minerales.

En estas clasificaciones se destaca el sistema propuesto por AMIC/AIMM, que puede ser aplicable a cualquier tipo de yacimiento, el cual clasifica los recursos y reservas de la siguiente manera:

IV.4.9 Reservas probadas

Son las cantidades de mineral que por análisis de datos de geología de superficie e ingeniería, pueden ser estimadas con "razonable certeza" que serán recuperables comercialmente, a partir de una fecha dada, de reservorios conocidos y bajo las actuales condiciones económicas, métodos de operación y regulaciones. Las reservas probadas pueden ser sub-divididas en desarrolladas y no desarrolladas.

IV.4.10 Reservas probables

Son las reservas no probadas que el análisis de datos de geología e ingeniería sugieren que son menos ciertas que las probadas. En este contexto, cuando se usan métodos probabilísticos, debe existir al menos una probabilidad de 50 % de que la

cantidad a ser recuperada será igual o excederá a la suma del estimado de reservas probadas mas las probables. ANNELS (1991).

IV.4.11 Reservas posibles o inferidas

Son las estimaciones que se basan en una supuesta continuidad más allá de los recursos medidos e indicados, para los cuales existen pruebas geológicas. Las reservas posibles, también llamadas inferidas, pueden o no estar corroborados por muestras o mediciones de campo. ANNELS (1991).

Según BUSTILLO Y LÓPEZ (1997), para estimar el volumen del yacimiento se realiza la metodología de perfiles paralelos que implica la siguiente fórmula

$$V_{bloque} = \frac{(A1 + A2)}{2} * D$$

Donde Vbloque: volumen del bloque entre los dos perfiles

A1: área del perfil 1

A2: área del perfil 2

D : distancia horizontal entre los dos perfiles

Posteriormente se suma la totalidad de los volúmenes hallados

$$V_{total} = \sum_{i=1}^{n} V_{parcial}$$

IV.5 Desviación estándar

La desviación estándar es simplemente la raíz cuadrada de la varianza, la desviación estándar regresa a la medición de los valores originales, así tiene más valor descriptivo directo. HOPKINS D. (1997)

$$\sigma = \sqrt{SC/N}$$

Donde SC/N corresponde a la varianza

CAPÍTULO V

GEOLOGÍA LOCAL

V.1 GENERALIDADES

Este capítulo comprende la fase de estudio realizada en campo, del macizo que pertenece a la cantera Mume, propiedad de la Fábrica Nacional de Cemento (F.N.C.), ubicada al norte de Los Valles del Tuy. A la cantera se accede por una carretera rural ascendente de más de 3 km de largo, la cual es un desvío que se encuentra a 1,5 Km de Charallave, en la carretera Charallave-Cua.

Se realiza un levantamiento sistemático de la cantera apoyado en la topografía, ya que esta ha sido modificada durante la actividad de explotación del material carbonático, por lo que la cantera en la actualidad es un macizo modelado de niveles y taludes, lo que permite un levantamiento geológico por cada nivel, desde el más alto al más bajo, y a todo lo largo del macizo. Esta metodología permite la toma de muestras sistemática, en forma de enramado, ya descrita en el capítulo anterior.

De acuerdo a la litología encontrada durante el levantamiento, se divide a la cantera Mume en tres (3) unidades litológicas, diferenciadas según el criterio de tipo litológico e importancia económica. A cada unidad se le realizan estudios petrográficos, fluorescencia de rayos X y descripción de muestra de mano a muestras representativas de la unidad, tomadas durante el levantamiento.

V.2 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

En este proceso se presentan los datos recopilados durante el levantamiento geológico, así como la descripción de sus características observadas en muestra de mano, bajo el microscopio, y además datos porcentuales químicos de las muestras

evaluadas en el estudio de fluorescencia de rayos x. Para la descripción de cada tipo litológico se proponen las siguientes unidades informales:

- Unidad de Mármoles grisáceos.
- Unidad de Esquistos Calcáreos.
- Unidad de Mármoles Negros.

V.2.1 Unidad de Mármoles grisáceos

Esta unidad se encuentra hacia el extremo noreste de la cantera. Se distribuyen elongadamente con una dirección preferencial N80E y poseen un rumbo general N65E. Se presenta tanto en el frente de explotación norte, como en el frente de explotación sur de la cantera; aunque en este último tan solo en una porción del mismo. Hacia el límite de la cantera que va de norte a este los Mármoles grisáceos presentes, están limitados espacialmente por un desfiladero, mientras que hacia el oeste entran en contacto con la unidad de Esquistos Calcáreos. Hacia el extremo oeste de la propiedad, en la zona aledaña al taller mecánico de la cantera, también se presenta esta Unidad informal de Mármoles grisáceos, en un pequeño lente que mantiene la distribución elongada ya descrita. Esta distribución es apreciable en el Anexo 6. Esta unidad se encuentra en contacto concordante suprayacente a la Unidad de Esquistos Calcáreos, la cual es descrita más adelante en este mismo capítulo.

Este tipo roca presenta un color fresco grisáceo, con pequeñas variaciones en su tonalidad a lo largo del macizo, de gris claro a gris oscuro. Su color meteorizado varía de gris claro o marrón claro, a blanco, tendiendo a blanco hacia el tope del macizo rocoso. Hacia el oeste del frente de explotación norte, esta Unidad presenta un inter-laminado, dicha zona además presenta deformaciones plásticas; entre los planos del inter-laminado se aprecia una fina capa de material arcilloso, y en algunos casos vetas que mantienen la tendencia de interlaminado.

En el resto de la unidad se presentan vetas de calcita a través del macizo. Existen dos tendencias principales, unas de menor tamaño, angostas y otras de mayor tamaño. Cuando las vetas se presentan de menor tamaño; lo hacen con una alta frecuencia, se distribuyen sin orden preferencial en franjas muy angostas, con un promedio estimado de 0,5 mm de espesor y de longitud menor, que no superan los 30 cm de largo. Esta tendencia es apreciable hacia el tope del macizo.

Cuando las vetas de calcita se presentan anchas; se presentan con una frecuencia muy baja, con un espesor promedio de 18 cm y con elongaciones que superan el par de metros. Esta tendencia es apreciable hacia los niveles inferiores de los frentes de explotación, en especial hacia el frente sur. Estas vetas del frente sur, en particular, no solo contienen calcita, también contienen cuarzo, se pueden apreciar cristales muy bien formados, con tamaños que pueden alcanzar hasta el tamaño de un dedil, pero por el contrario a los cristales de cuarzo, los cristales de calcita no son apreciables, se encuentran bastante deformados y pulverizados.

Para el caso de las vetas menores que solo presentan calcita, estas poseen cristales que generalmente están muy bien formados, romboédricos, aunque de muy poco tamaño, donde la arista del romboédro no supera los 3mm, y en otros casos los cristales se presentan con aristas redondeadas, pero de mayor tamaño, alcanzando hasta los 7mm de diámetro, estos últimos observables en la figura 17.



Figura 16 Foto Afloramiento Mármoles Grisáceo del frente norte de explotación, vista hacia extremo NE, desde la cota 570



Figura 17 foto Veta con cristales de Calcita bien formados, con diámetro que alcanza hasta los 10 mm.

Solo en el extremo este de la cantera, en el nivel 600, y 610, en la zona aledaña al botadero de estéril, se observaron cavidades generadas por disolución cárstica, apreciables en la figura 24.

Se toman 19 muestras, de esta unidad, bajo un esquema de mallado siguiendo el patrón que poseen las terrazas (niveles) de la cantera, donde se toman muestras distribuidas a lo largo de la terraza y en cada una de éstas, de manera tal que se toman muestras en variaciones longitudinales y de profundidad en el frente de explotación. También se toman en cuenta cambios en el tipo litológico. Las muestras son denotadas de la siguiente manera: $MMU\alpha\beta$, donde la primera “M” corresponde a la palabra “muestra”, “MU” corresponde a la palabra “mume” y las variables $\alpha\beta$ corresponde al número de muestra.

De las muestras de mano se seleccionan siete de ellas, en representación de toda la unidad, para hacerle el estudio petrográfico y el estudio químico por el método de fluorescencia de rayos x por dispersión de energía (FRX-DE). La selección de las muestras para los mencionados estudios responde al criterio explicado en el capítulo I.

V.2.1.1 Descripción de muestras de la unidad de Mármoles Grisáceos

➤ MMU1

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado
MMU1	Gris	Marrón claro

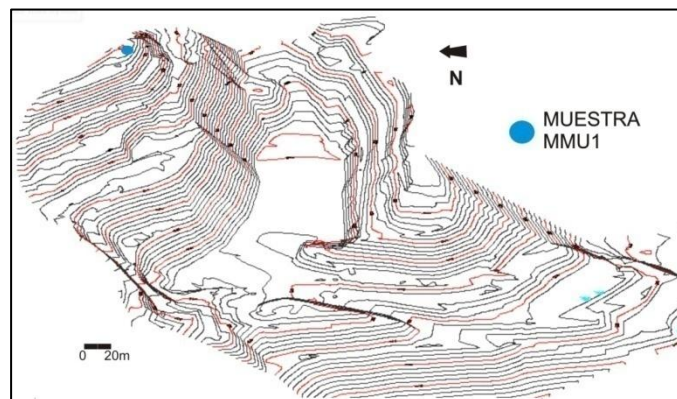


Figura 18 Ubicación muestra MMU1

Muestra tomada en el nivel 650, el más alto de la cantera, del frente de explotación norte. Las rocas de este afloramiento se presentan macizas, no se observan diaclasas. Hay vetas irregulares menores, sin cristales formados. La muestra se observa sin foliación y presenta una alta resistencia a romperse. No se le realiza el estudio de fluorescencia de rayos X ni el estudio petrográfico de acuerdo a los criterios de selección de muestras para tales estudios.

➤ MMU3

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado	Fluorescencia de rayos x			
			Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaCO ₃
MMU3	Gris	Marrón muy claro	0,52%	23,13%	2,23%	63,58%

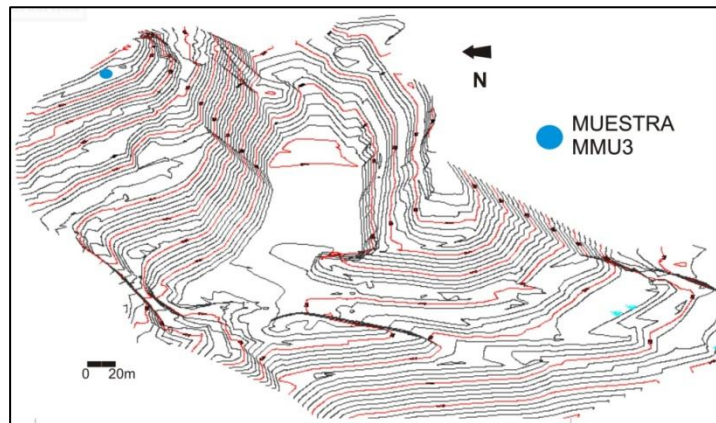


Figura 19 Ubicación Muestra MMU3

Muestra que pertenece a un afloramiento en el nivel 650, a 30 metros hacia el oeste del afloramiento anterior. Las rocas presentes en este afloramiento se encuentran plegadas, este plegamiento está identificado en el estudio estructural de este mismo capítulo como “Familia de Pliegues 1”. Se puede observar que el afloramiento presenta un interlaminado bastante marcado. La muestra es masiva, sucia, se observan pequeños cristales brillantes, posiblemente moscovita, posee una alta resistencia a partirse y no se encuentra foliada. Del estudio de fluorescencia por rayos x se puede observar que posee uno de los porcentajes más bajos de carbonato de calcio de la Unidad de Mármoles Grisáceo. En sección fina se puede observar claramente la presencia de cuarzo y micas. Para más detalles del estudio petrográfico ver el anexo 1a

➤ MMU10

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado
MMU10	Gris oscuro	Gris

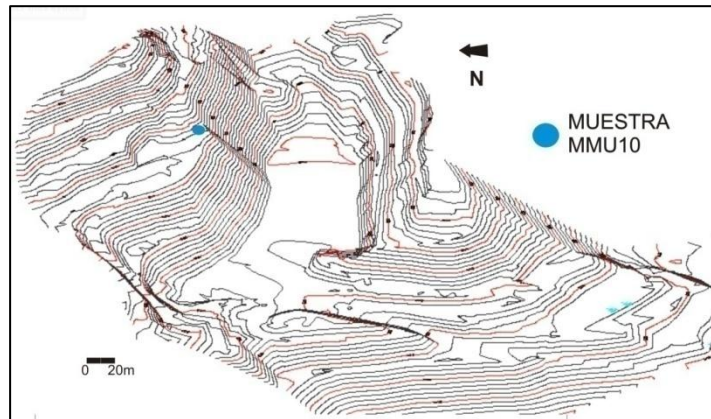


Figura 20 Ubicación Muestra MMU10

Muestra tomada en el nivel 610, ubicada en el centro del frente de explotación norte. Hay diaclasas en el afloramiento, los detalles de estas diaclasas se observan en la tabla 1 fila #4, de la geología estructural de este mismo capítulo. Dentro de estos planos se observan vetas de calcita. La muestra se observa masiva, muy competente, sin foliación, con brillo grafitoso. No se le realiza el estudio de fluorescencia de rayos X ni el estudio petrográfico.

➤ MMU13

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado
MMU13	Gris oscuro	Gris claro

Muestra tomada en el nivel 620, ubicada en el centro del frente de explotación norte. El afloramiento no se presenta ni masivo ni diaclasado, se observa interlaminación del mármol. La muestra se observa sin foliación, presenta una alta resistencia a partirse, de hábito masivo sin impurezas. No se le realiza el estudio

de fluorescencia de rayos x ni el estudio petrográfico de acuerdo a los criterios de selección descritos en el capítulo I.

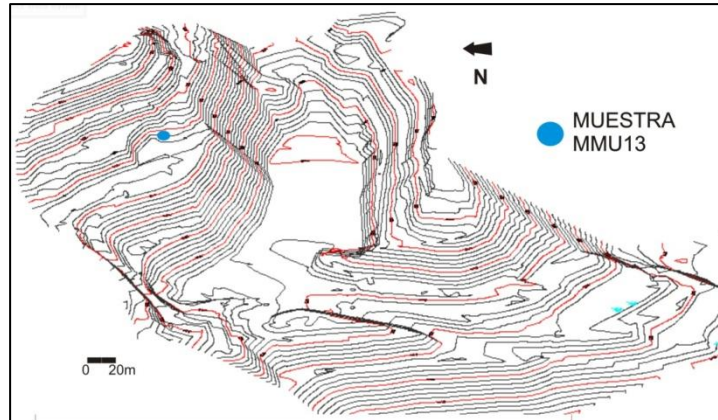


Figura 21 Ubicación Muestra MMU13

➤ MMU15

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado
MMU15	Gris claro	Gris oscuro

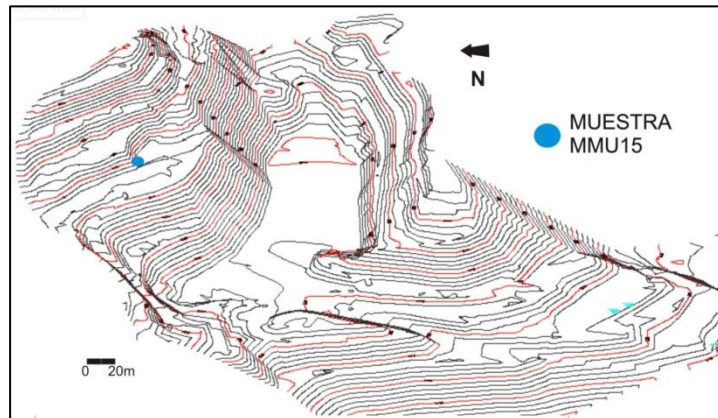


Figura 22 Ubicación Muestra MMU15

Muestra tomada en el nivel 630, en el afloramiento ubicado al este del frente norte de explotación, se encuentra diaclasado, con una frecuencia de diaclasas media, los datos detallados están en la fila #6 de la tabla 1 de diaclasas. Las rocas presentes en este afloramiento también se encuentran plegadas, estos plegamientos son identificados como Familia de Pliegues 3. En la descripción estructural del ya mencionado capítulo, en donde también se encuentra la imagen correspondiente, figura 37. La familia de Pliegues 3 es la de mayor envergadura

encontrada mesoscópicamente en un afloramiento de la cantera. La muestra se presenta masiva, muy competente a romperse, no se le observan impurezas, ni foliación. No se le realiza el estudio de fluorescencia de rayos x ni el estudio petrográfico de acuerdo a los criterios ya descritos en el capítulo I.

➤ MMU18

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado	Fluorescencia de rayos x			
			Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaCO ₃
MMU18	Gris oscuro	Blanco	0,50%	6,06%	1,41%	87,75%

Muestra tomada en el nivel 640, ubicado al noreste del frente de explotación norte. El afloramiento no tiene deformaciones plásticas ni diaclasas, se presenta enteramente masivo, aunque presenta una cobertura de un espesor de no más de 2cm en el afloramiento, que posiblemente es caliche.

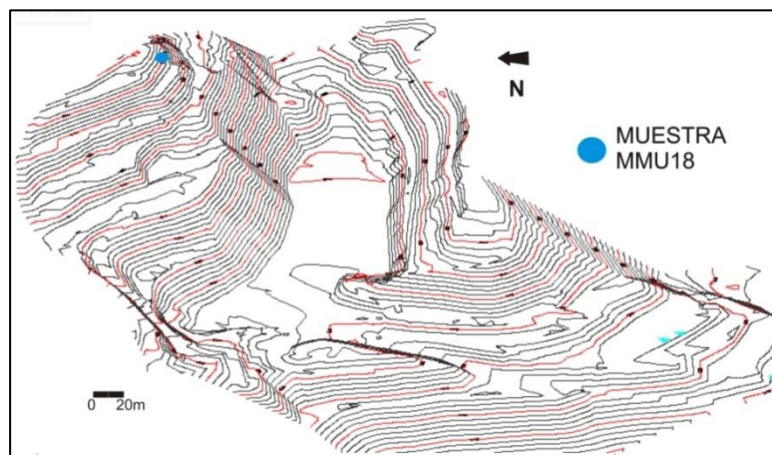


Figura 23 Ubicación Muestra MMU18

La muestra se observa masiva, muy competente a romperse, no se le observan impurezas o cristales, posee brillo grafitoso. El estudio de fluorescencia de rayos X muestra que posee un alto porcentaje de CaCO₃, característica que concuerda con la muestra de mano.

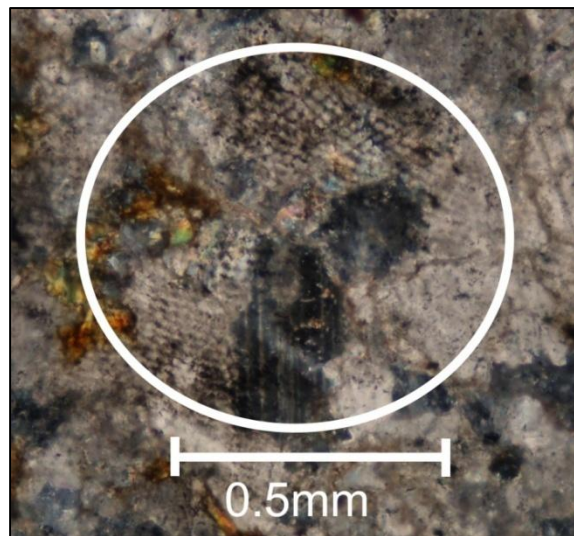


Figura 24 Foto Vestigios fósiles de MMU18 en sección fina con nicoles cruzados

En sección fina presenta una característica única a todo el muestreo realizado, ya que presenta vestigios fósiles posiblemente de algas calcáreas y foraminíferos visibles en la figura 24. La muestra se observa con una textura granoblástica, compuesta casi en su totalidad de calcita, con poca presencia de otros minerales en ella, como por ejemplo la pirtita y la moscovita. Más datos e imágenes de la sección fina visible en los anexos 1d.

➤ MMU19

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado
MMU19	Gris	Gris a blanco

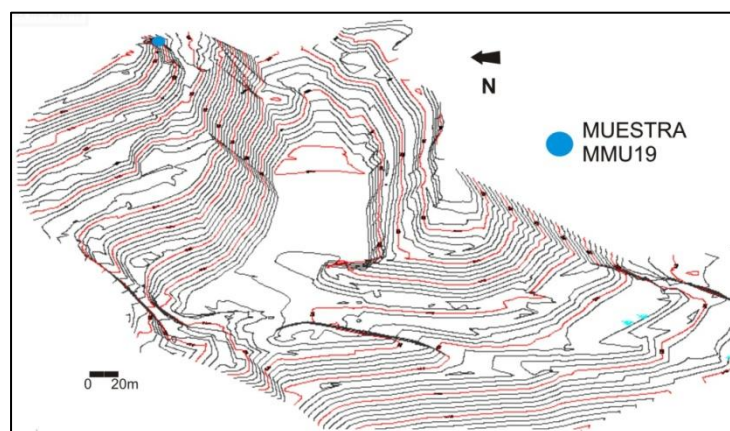


Figura 25 Ubicación Muestra MMU19

Muestra tomada en el nivel 640 ubicada al extremo noreste de la cantera, en el afloramiento se presentan planos de diaclasas, con una frecuencia única en este tipo litológico con hasta 10 planos de diaclasa por metro, datada en la tabla 1 de diaclasas, de la descripción estructural. En la figura 26 se puede observar dicho diaclasamiento.

La roca se parte a manera de paralelepípedos tabulares, con una competencia menor, por lo que se parte con facilidad, aunque se observa muy pura. No se le realizan los estudios de petrografía ni de fluorescencia de rayos x, de acuerdo a los criterios de selección del muestreo mencionados en el capítulo I.



Figura 26 Foto Afloramiento de donde se toma la muestra MMU19, extremo noreste de la cantera
Dirección de la foto es N15E

➤ MMU20

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado	Fluorescencia de rayos x			
			Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaCO ₃
MMU20	Gris oscuro	Marrón grisáceo	0,82%	8,46%	2,18%	84,29%

La muestra es tomada de un afloramiento al noreste de la cantera, en el nivel 630, el cual se presenta masivo, sin diaclasas, sin presencia de deformaciones dúctiles apreciables.

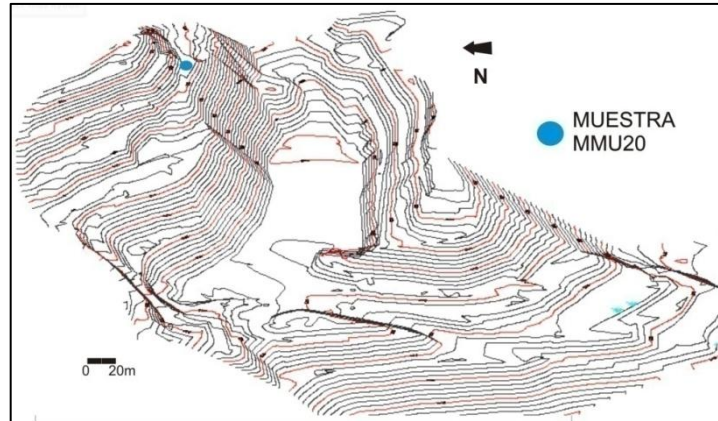


Figura 27 Ubicación Muestra MMU20

El afloramiento presenta pequeñas vetas irregulares de calcita. La muestra no presenta impurezas, no está foliada, posee una alta competencia, es de hábito masivo. Posee un alto porcentaje de carbonato de calcio, en sección fina se observa granoblástica, bastante pura por la inmensa cantidad de calcita, se observa también hematita, grafito y cuarzo. No se observa moscovita. Más información e imágenes sobre el análisis petrográfico en el anexo 1e.

➤ MMU21

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado
MMU21	Gris oscuro	Gris oscuro

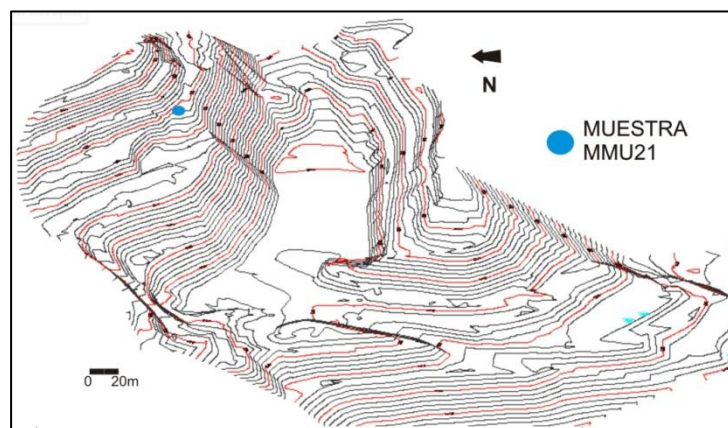


Figura 28 Ubicación Muestra MMU21

La muestra MMU21 pertenece a un afloramiento ubicado en el nivel 630, en la parte superior central del frente norte de explotación.

A pesar de que la roca se parte de manera tabular, no se aprecian plano de foliación. Hay un oscurecimiento progresivo de la roca del frente, desde donde se encuentra la muestra MMU20 hasta esta muestra, que se encuentra a unos 26m hacia el oeste de la muestra anterior. MMU21 se parte de manera tabular, posee una alta competencia a ser partida y no se encuentra foliada. A esta muestra no se le realiza petrografía ni el estudio de fluorescencia de rayos x, de acuerdo al los criterios de selección de muestras del capítulo I

➤ MMU22

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado
MMU22	Gris	Marrón

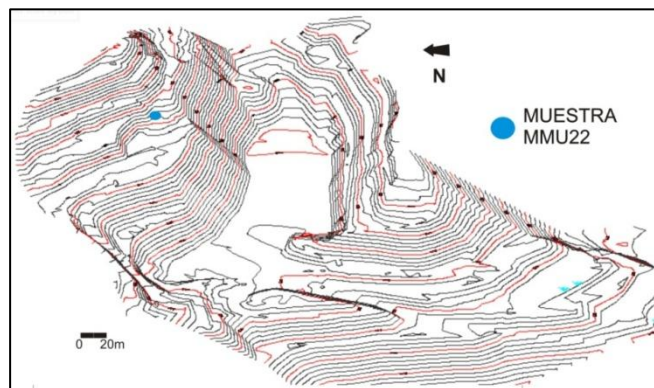


Figura 29 Ubicación Muestra MMU22

La muestra se ubica a unos 17m de la muestra anterior, hacia el oeste en el mismo nivel 630. Su color meteorizado varía a marrón. La roca se rompe de manera tabular, sin presentar planos de diaclasas o deformaciones. Posee una alta competencia a romperse, no se encuentra foliada. A esta muestra no se le realizan los estudios de fluorescencia de rayos X ni el estudio petrográfico, de acuerdo a los criterios de selección de muestras descrito en el capítulo I.

➤ MMU25

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado	Fluorescencia de rayos x			
			Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaCO ₃
mmu25	Gris	Negro	0,52%	11,12%	2,32%	84,83%

El afloramiento del cual es extraída la muestra se encuentra en el extremo oeste del frente de explotación norte, en el nivel 590, el afloramiento presenta diaclasas identificadas como #11 en la tabla 1 de diaclasas, en la tabla 1 de diaclasas, del estudio estructural de este mismo capítulo.

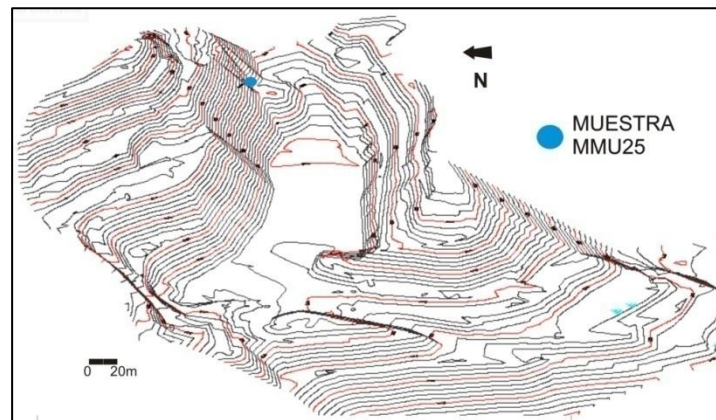


Figura 30 Ubicación Muestra MMU25

La muestra MMU25 se presenta bastante oscura, pero no negra. Es masiva, presenta una alta resistencia, tiene brillo grafitoso y mancha al contacto con la mano, está compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio, y en sección fina, además de estar compuesta casi en su totalidad por calcita, posee un porcentaje que alcanza el 12% de grafito, la textura de la muestra es granoblástica, se observa hematita y cuarzo. Para más detalle del análisis petrográfico observar el anexo 1f.

➤ MMU26

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado	Fluorescencia de rayos x			
			Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaCO ₃
MMU26	Gris oscuro	Gris claro	0,23%	8,00%	0,98%	91,04%

Muestra tomada en el afloramiento continuo más grande de la cantera, que posee hasta 50m de altura, visible en la foto 12, se encuentra diaclasado, datos visibles en la tabla 1 de diaclasas en la fila #11. Posee pequeñas vetas de calcita irregulares.

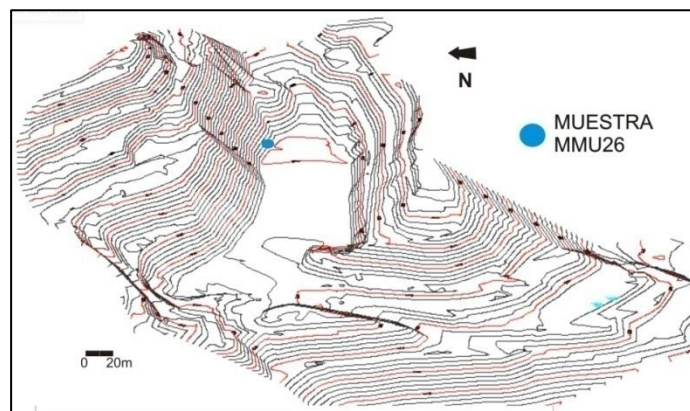


Figura 31 Ubicación Muestra MMU26

Este afloramiento se ubica en el extremo sur del frente norte de explotación, en el nivel inferior de la cantera para el período del levantamiento geológico, nivel 570. La muestra es masiva, posee una alta competencia a romperse, se observa bastante pura, verificable en el estudio de fluorescencia de rayos x, donde el porcentaje de carbonato de calcio alcanza hasta 91%. En sección fina también se observa como muestra muy pura y monótona, además de la gran cantidad de calcita, solo se puede observar grafito y moscovita. En el anexo 1g se puede observar las imágenes y datos más específicos de la petrografía.

➤ MMU27

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado
MMU27	Gris oscuro	Marrón grisáceo

Este afloramiento se encuentra en el extremo suroeste del frente norte de explotación, en el nivel 570, también se encuentran diaclasas en él, las características de estas diaclasas se presentan en la tabla 1 de diaclasas, representadas como # 13.

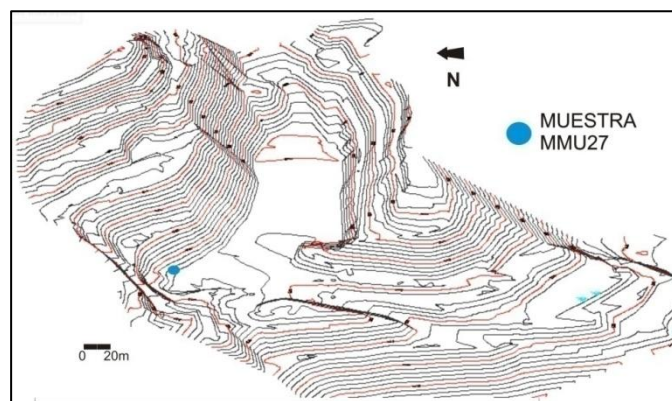


Figura 32 Ubicación Muestra MMU27

Este afloramiento, de donde se toma la muestra MMU27, presenta también una falla identificada como Falla 1, donde sus características se encuentran especificadas en el estudio estructural de este mismo capítulo. La muestra se presenta masiva, con alta competencia a romperse y no presenta foliación ni otros cristales visibles. No se le realiza el estudio petrográfico ni el estudio de fluorescencia de rayos x, de acuerdo al criterio de selección de muestras.

➤ MMU29

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado
MMU29	Gris	Blanco grisáceo

Esta muestra se encuentra en el frente sur, al extremo noreste del mismo, en el nivel 560. En este afloramiento se encuentran pequeñas cuevas generadas por la erosión cárstica. Las rocas presentes en este afloramiento no se encuentran

plegadas ni diaclasadas, aunque se hayan muchas fracturas en la roca, por lo que la roca de esta área se extrae con gran facilidad. La roca se parte en paralelepípedos elongados, se rompe con facilidad, no se identifican cristales en la muestra, ni se observa foliación. No se le realiza el estudio petrográfico ni la fluorescencia de rayos x, de acuerdo con el criterio de selección de muestras ya descrito en el capítulo I.

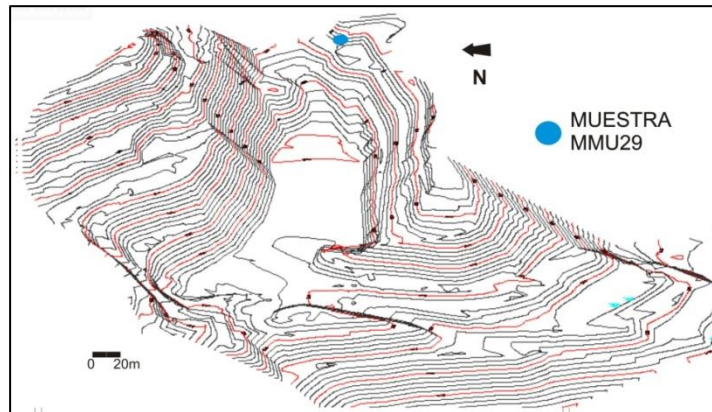


Figura 33 Ubicación Muestra MMU29

➤ MMU37

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado
MMU37	Gris	Marrón rojizo

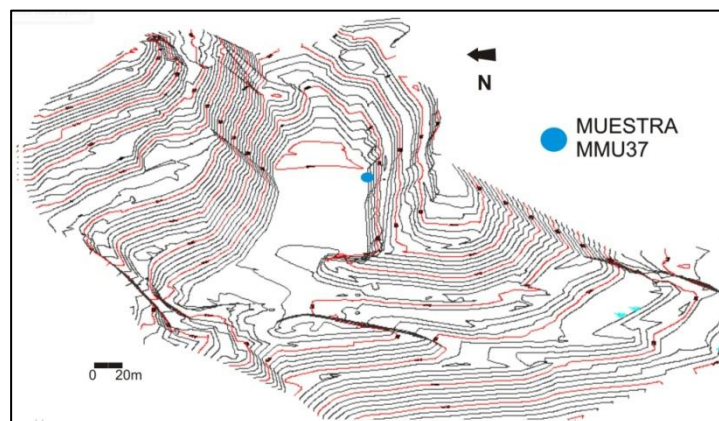


Figura 34 Ubicación Muestra MMU37

Esta muestra se encuentra hacia el este del frente sur de explotación. El afloramiento no se presenta masivo, más bien, la roca presenta en laminas con grosor aproximado de 20cm en el afloramiento. La muestra presenta un color

atípico de meteorización de acuerdo a la unidad de Mármoles Grisáceos, ya que el color marrón de meteorización presenta unas tonalidades rojas claras. La muestra es masiva, presenta resistencia a ser partida, no se observan cristales particulares ni foliación. No se le realiza el estudio petrográfico ni la fluorescencia de rayos X.

➤ MMU39

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado	Fluorescencia de rayos x			
			Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaCO ₃
MMU39	Gris	Marrón	0,18%	0,01%	0,04%	95,18%

Este afloramiento se encuentra ubicado al extremo oeste de la cantera, no es parte de alguno de los dos frentes de explotación, este afloramiento se encuentra en el camino que une la cantera con el taller mecánico de la misma. Se observan diaclasas, datos que se encuentran en la tabla 1 de diaclasas en la fila #20. La muestra es masiva, con una alta competencia a romperse, de pureza muy marcada, sin foliación y no presenta ningún mineral observable.

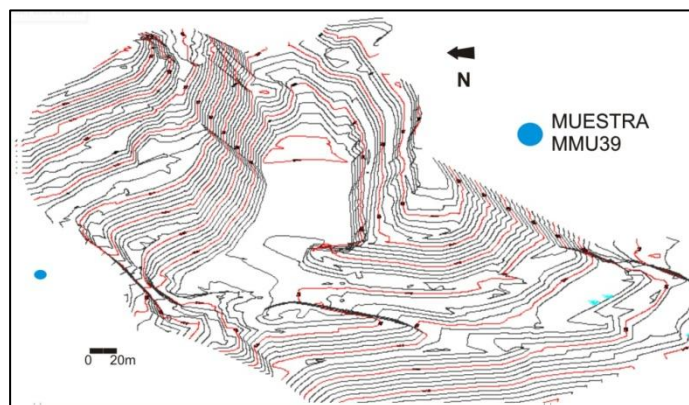


Figura 35 Ubicación MuestraMMU39

En el estudio por fluorescencia de rayos x se puede observar que posee el menor porcentaje de SiO₂ registrado en el estudio. Y un porcentaje que alcanza 95% de carbonato de calcio, lo que la hace una de las muestras más puras de la cantera. En el estudio petrográfico se observa calcita en grandes cantidades, cubriendo la muestra casi por completo, además de la calcita, únicamente se

observa grafito en sección fina. En el anexo 1k se pueden ver imágenes tanto de la muestra de mano como de la sección fina, entre otros detalles.

➤ MMU5

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado
MMU5	Gris	Marrón claro y blanco

Esta muestra es extraída de un afloramiento que se haya en el nivel 630 en el centro del frente de explotación Norte, dicho afloramiento presenta abundante vetas menores de calcita, paralelas a los planos de diaclasas. Las diaclasas se encuentran en la tabla 1 de diaclasas, referenciadas como #1. El afloramiento no presenta deformaciones plásticas. La muestra es masiva, con alta competencia a romperse, no presenta foliación, y no se le realiza el estudio petrográfico ni el estudio de fluorescencia de rayos X, de acuerdo a los criterios de selección de muestras.

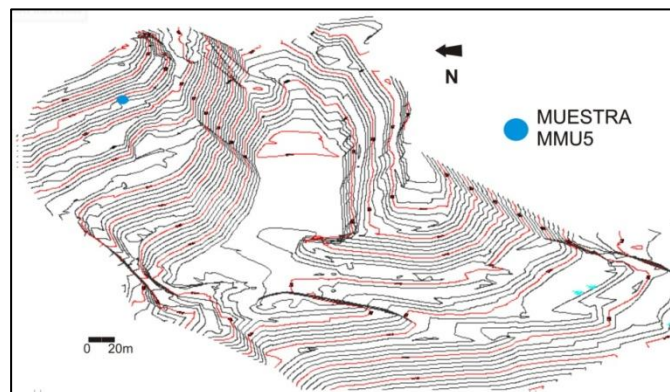


Figura 36 Ubicación Muestra MMU5

➤ MMU7

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado
MMU7	Gris	Marrón claro

Este afloramiento se halla al oeste del frente norte de explotación en el nivel 630, a unos 15m del afloramiento anterior. Presenta un sistema de diaclasas,

cuyas características se encuentran en la tabla 1 de diaclasas, referenciado como #2.

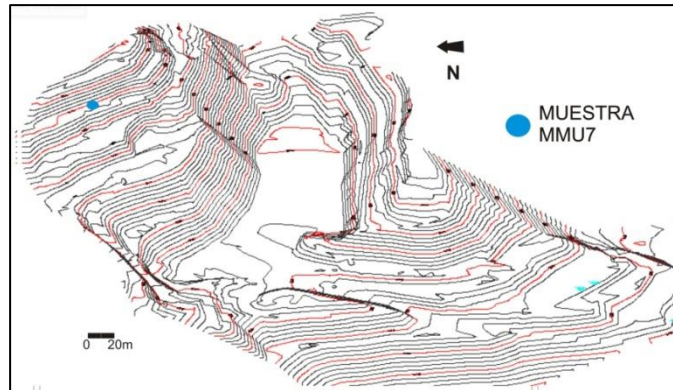


Figura 37 Ubicación Muestra MMU7

A diferencia del afloramiento anterior, se observa tan solo una veta de calcita paralela en un plano de diaclasas. La muestra es masiva, no se observan cristales, posee una alta competencia a romperse y no tiene foliación. No se le realiza estudio de fluorescencia de rayos x ni petrográfico, de acuerdo a los criterios de muestreo descritos en el capítulo I.

➤ MMU8

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado	Fluorescencia de rayos x			
			Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaCO ₃
MMU8	Gris	Marrón grisáceo	0,22%	1,44%	0,43%	96,78%

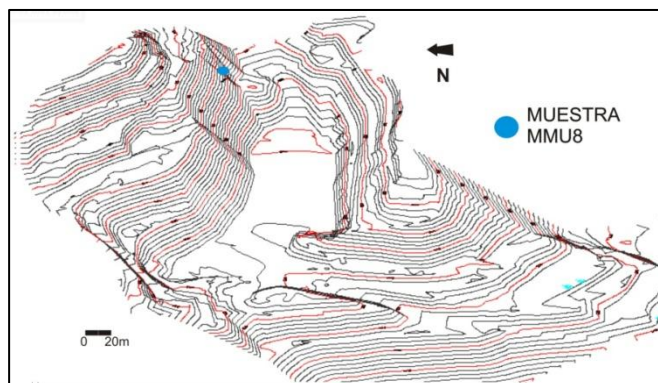


Figura 38 Ubicación Muestra MMU8

Este afloramiento se encuentra al oeste del frente norte de explotación, en el nivel 600, posee la particularidad de presentar pequeñas cuevas como la visible en la figura 39 de disolución cárstica, en el resto del afloramiento la roca es masiva, no presenta diaclasas ni plegamientos.



Figura 39 disolución cárstica

La muestra es masiva, no presenta foliación ni impurezas, posee una alta competencia a romperse. Alcanza el porcentaje de carbonato de calcio más alto de la cantera, en sección fina presenta una textura granoblástica, aunque es muy monótona, se observa abundante calcita, en menor porcentaje hay presencia de moscovita y grafito. La información detallada sobre el estudio petrográfico se encuentra en el anexo 1b.

V.2.2 Unidad de Esquistos Calcáreos

Esta unidad aflora en el extremo noroeste del frente de explotación norte de la cantera, delimitado al oeste por un pequeño lente de Mármol Grisáceo. Al extremo este la unidad es limitada por el gran cuerpo perteneciente a la unidad de Mármoles grisáceos. Los Esquistos Calcáreos se extienden con una tendencia longitudinal, donde su eje mantiene una dirección preferencial N70E. En el frente sur, la tendencia elongada se mantiene, al igual que su dirección preferencial, para

el caso de este frente, la unidad ocupa sustancialmente el volumen del mismo, con la excepción de un pequeño lente de mármol negro al oeste-centro y de los Mármoles Grisáceos en el extremo este del frente sur. Esta distribución es apreciable en el anexo 6. Esta unidad está infra adyacente a la unidad de Mármoles Grisáceos, y se encuentra en contacto concordante con la misma.

Estos esquistos presentan una foliación marcada, con láminas que no mantienen un espesor constante, en algunos casos las láminas son de grano tamaño medio, hasta láminas típicas de granos muy fino, este último caso más común al sur del macizo. Todas las muestras presentan bandas de foliación con tres colores constantes; bandas color blanco, las cuales, de acuerdo al estudio petrográfico son de material cuarzoso, bandas con color gris, que correspondan a material calcáreo y bandas color marrón que posiblemente sean óxidos.

Las muestras de esta unidad generalmente presentan color meteorizado marrón claro arcilloso, muy diferenciable debido al contraste con el gris usual del resto de los frentes de explotación. La característica más distintiva de esta unidad es el diaclasamiento pronunciado que presentan los afloramientos, donde la frecuencia de planos de diaclasa por metro es bastante alta en dos direcciones de las tres que posee, por ello tienen una tendencia a partirse de una manera muy específica, sobretodo donde la foliación es menos marcada. La roca se parte en forma de lápices o paralelepípedos elongados. Esto es observable en las figuras 40 y 41.



Figura 40 Foto Esquistos calcáreos 1



Figura 41 Foto Esquistos calcáreos 2

En ambos afloramientos pertenecen al frente norte de explotación, ubicados hacia el extremo oeste del mismo. Para la figura 40 la dirección de la fotografía es N 25W mientras que para la figura 41 la dirección de la fotografía es S80W

De esta unidad se tomaron 12 muestras de mano, de las cuales a cuatro de ellas se les realiza el estudio de sección fina y fluorescencia de rayos x de acuerdo a los criterios ya mencionados en este capítulo.

V.2.2.1 Descripción de muestras Esquistos Calcáreos

➤ MMU2

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado
MMU2	Gris claro	Marrón claro

Esta muestra es tomada de un afloramiento en el tope del frente de explotación norte, hacia el oeste del mismo, en el nivel 650. La muestra presenta muy poca resistencia a romperse, tiene una foliación muy marcada en la que se encuentra bandas de color gris principalmente, también se hayan bandas de color marrón y blanco, todas estas bandas muy finas.

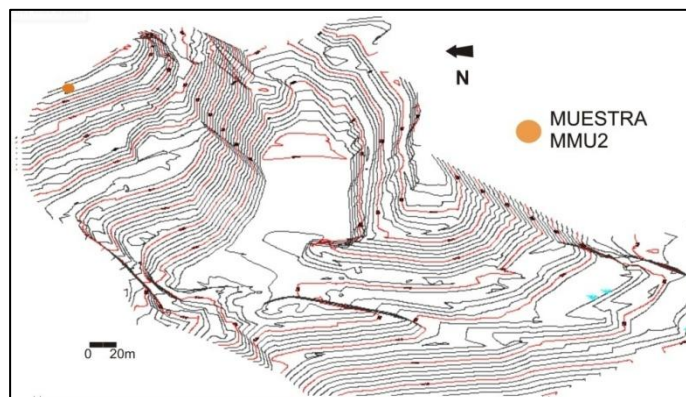


Figura 42 Ubicación Muestra MMU2

La roca se parte de manera tabular, y es de grano fino. A esta muestra no se le realiza el estudio petrográfico ni el estudio de fluorescencia de rayos x, de acuerdo a los criterios de muestreo descritos en el capítulo I.

➤ MMU11

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado
MMU11	Marrón grisáceo	Gris claro

La muestra MMU11 es tomada en un afloramiento en el centro del frente norte de explotación, en el nivel 610.

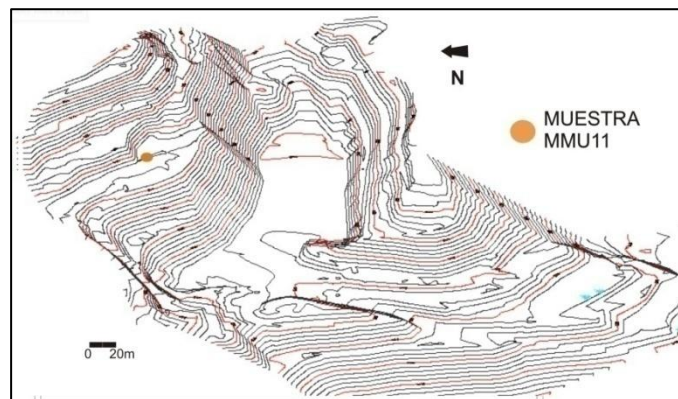


Figura 43 Ubicación Muestra MMU11

El macizo del afloramiento presenta una competencia muy pobre, al igual que la muestra. Esta posee una foliación bien marcada, esquistosa, con franjas blancas posiblemente cuarzosas, franjas marrones que pueden ser óxidos, y bandas grises de mayor espesor posiblemente de material calcáreo. Posee grano fino y se rompe con facilidad y tabularmente. Esta muestra no tiene estudio de fluorescencia de rayos X ni petrografía, de acuerdo a los criterios de selección de muestras descritos en el capítulo I.

➤ MMU14

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado	Fluorescencia de rayos x			
			Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaCO ₃
MMU14	Marrón grisáceo	Marrón claro	2,73%	51,54%	8,07%	26,01%

Muestra tomada de un afloramiento del mismo nivel 610, pero a 10 metros al norte de la muestra MMU11. También presenta una resistencia muy pobre, la

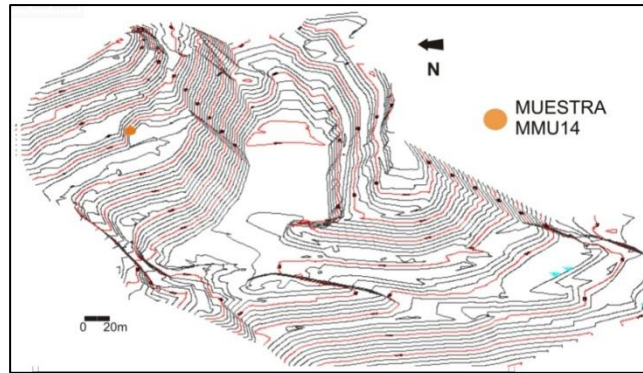


Figura 44 Ubicación Muestra MMU14

muestra está foliada, con bandas blancas posiblemente cuarzosas, con mayor presencia que las bandas grises calcáreas. Se observa también una importante presencia de moscovita. La muestra posee grano fino, se rompe tabularmente. En el estudio de fluorescencia de rayos X se observa que el porcentaje de SiO_2 es el más alto que posee la muestra. En sección fina se observa la foliación claramente, se identifican porcentajes mayores de cristales de moscovita y en menor grado cuarzo y calcita. Se le atribuye el nombre a la muestra de Esquisto Moscovítico-Cuarzoso. Más detalle del estudio petrográfico e imágenes en el anexo 11.

➤ MMU16

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado
MMU16	Marrón	Marrón claro

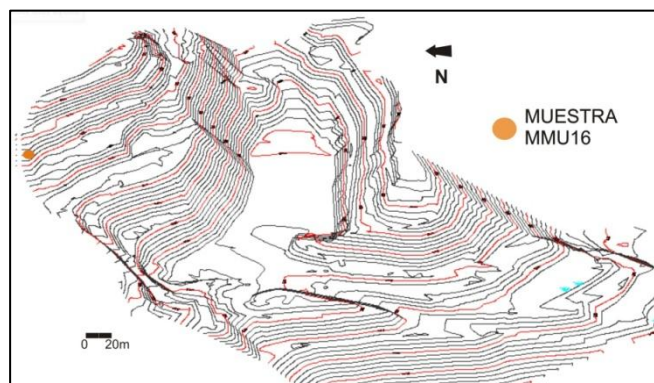


Figura 45 Ubicación Muestra MMU16

Muestra tomada de un afloramiento ubicado en el oeste del frente norte de explotación, en el nivel 620. Las rocas de este afloramiento se presentan diaclasadas, las cuales se encuentran especificadas en la tabla 1 de diaclasas, del estudio estructural de este mismo capítulo, y están especificadas como #7.

La muestra se presenta foliada, con bandas finas de colores blancos, grisáceos y marrones, correspondiente a material cuarzoso, calcáreo y arcilloso respectivamente, aunque para este caso, las bandas grisáceas son las que más se presentan, además son dos o tres veces más anchas que las demás. Presenta grano fino, pobre resistencia y se rompe tabularmente, en forma de lapicez. Se observan micas. A la muestra no se le realiza estudio petrográfico ni de fluorescencia de rayos x.

➤ MMU23

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado
MMU23	Gris claro	Marrón claro

Esta muestra pertenece a un afloramiento ubicado en uno de los accesos viales a los niveles superiores de la cantera. En el extremo oeste de la cantera, a una cota que supera los 600m sobre el nivel del mar. Es una muestra típica de la unidad, foliada, con bandas de colores, en este caso, las bandas de color blanco son las que más se repiten, correspondientes a material cuarzoso. Se observan también micas.

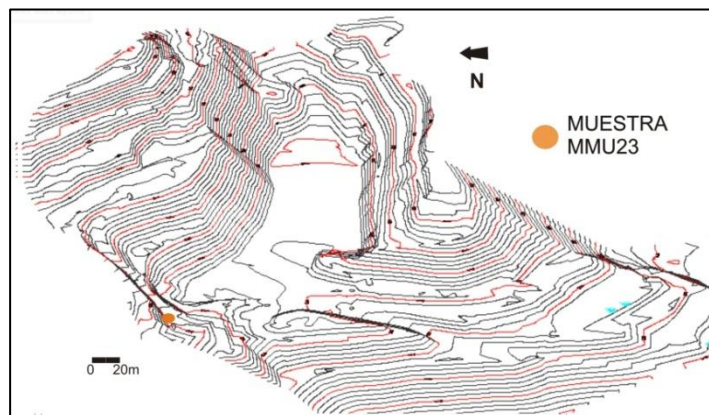


Figura 46 Ubicación Muestra MMU23

La muestra se rompe en forma tabular elongada, presenta una muy pobre resistencia a romperse. Esta muestra no posee estudio petrográfico ni fluorescencia de rayos x, de acuerdo con los criterios de muestreo ya descritos en el capítulo I

➤ MMU24

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado
MMU24	Gris claro	Marrón claro

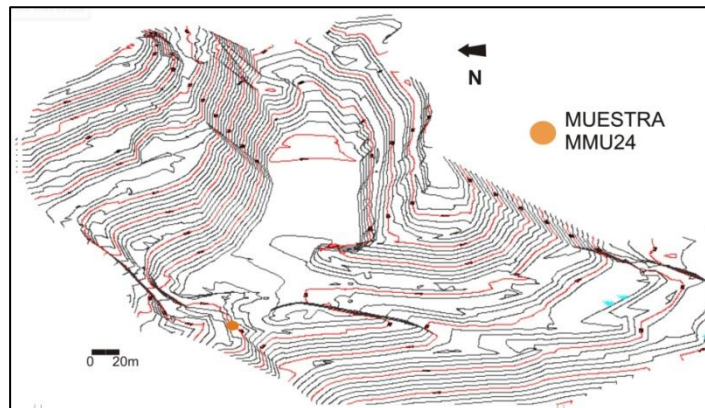


Figura 47 Ubicación Muestra MMU24

La muestra MMU24 es tomada a unos 30m al sur del afloramiento de la muestra anterior. El afloramiento también se encuentra en una carretera de acceso a los niveles superiores al oeste de la cantera, a una cota que supera los 590msnm. Posee las mismas características de la muestra anterior, y tampoco se le realiza estudio de fluorescencia de rayos x ni estudio petrográfico, de acuerdo con el criterio de selección de muestras ya descrito en el capítulo I.

➤ MMU28

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado	Fluorescencia de rayos x			
			Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaCO ₃
MMU28	Marrón	Ocre y gris	2,86%	50,68%	9,72%	27,92%

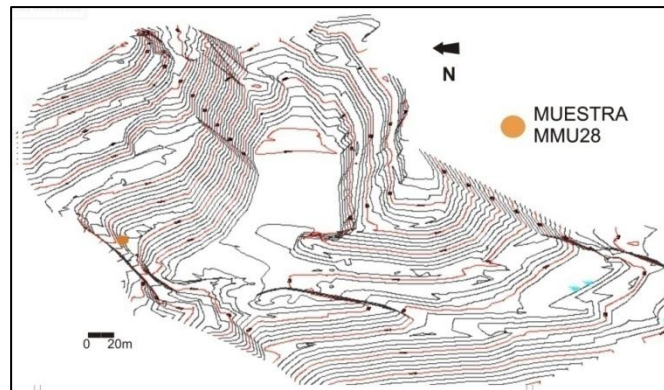


Figura 48 Ubicación Muestra MMU28

La muestra se extrae de un afloramiento encontrado al oeste del frente norte de explotación en el nivel 590. Hay presencia de diaclasas en el afloramiento, pero son inmedibles los planos dichas diaclasas debido a la marcada meteorización y derrumbe como consecuencia de la muy pobre competencia que presenta la roca.

La muestra se parte tubularmente, y posee una foliación sumamente marcada como es apreciable en la figura 49, también se observa en el corte perpendicular a los planos de foliación, de la figura 50 una deformación del bandeamiento.



Figura 49 Foto corte paralelo a la foliación



Figura 50 Foto corte perpendicular a la foliación

La muestra posee un porcentaje bastante alto de SiO_2 que corresponde al cuarzo y a la moscovita. En sección fina la foliación no se observa claramente, se presume que posee óxidos, con mucha presencia de cuarzo, moscovita y feldespato, en menor grado presenta epidoto y pirita. La muestra, de acuerdo el estudio petrográfico es denominada como Esquisto carbonático-cuarzoso-moscovítico. Los detalles de estas características están en el anexo 1h.

➤ MMU30

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado
MMU30	Marrón	Gris claro

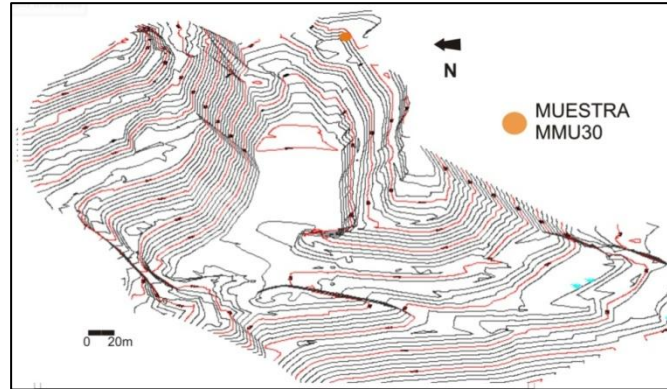


Figura 51 Ubicación Muestra MMU30

El afloramiento del que se extrae la muestra se encuentra en el frente sur de explotación. Este afloramiento de la unidad esquistosa se encuentra en contacto con la unidad de Mármoles Grisáceos.



Figura 52 Foto afloramiento de la muestra MMU32 en donde se puede apreciar el contacto entre la unidad de Mármol Grisáceo y Esquistos Calcáreos ubicada en el frente sur de explotación en el extremo sureste del macizo

En la figura 52 se puede apreciar el contacto entre las unidades de Esquistos Calcáreo (derecha) y Mármoles Grisáceos (izquierda). Entre las facturas del afloramiento se observan vetas de calcita con cristales no muy bien formados, aunque poseen diámetros que alcanzan hasta 0,5mm. La muestra posee una pobre competencia a romperse, se parte de manera tabular, se observa foliada, con franjas de colores blancos, gris y marrón que corresponden a material cuarzoso, calcáreo y arcilloso respectivamente. Presenta grano de fino a medio.

➤ MMU32

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado	Fluorescencia de rayos x			
			Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaCO ₃
MMU32	Marrón claro	Marrón	2,68%	37,97%	7,03%	37,50%

Presenta bandas de distintos colores los cuales correspondan a material cuarzoso, calcáreo y arcilloso de franjas blancas grises y marrones respectivamente.

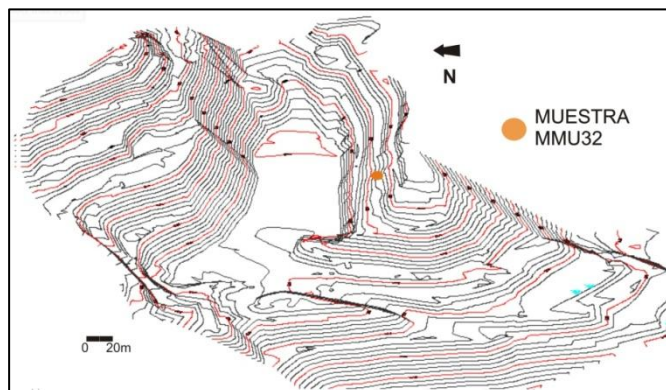


Figura 53 Ubicación Muestra MMU32

La muestra posee porcentajes parecidos de SiO₂ y CaCO₃. En sección fina el porcentaje de calcita se aprecia mayor al porcentaje de cuarzo, y el de moscovita menor que los dos anteriores. Se observa una foliación menuda, donde la moscovita, la calcita y el cuarzo se encuentran orientados. Para mayor detalle del análisis petrográfico de esta muestra ver el anexo 1i.

➤ MMU34

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado
MMU34	Gris	Gris

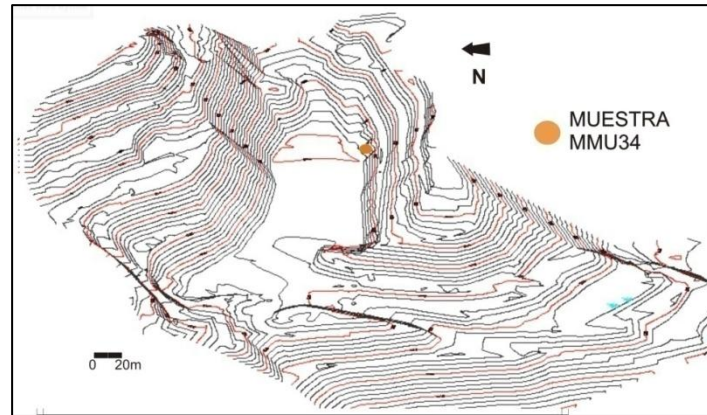


Figura 54 Ubicación Muestra MMU34

El afloramiento, del que se extrae la muestra MMU34, se encuentra en el frente sur de explotación, hacia el este del mismo. Las rocas de este afloramiento presentan vetas irregulares de calcita, las cuales no se elongan por más de 30cm. La muestra se rompe con facilidad, de forma tabular, se observa foliada, con franjas de colores blancos, gris y marrón que corresponden a material cuarzoso, calcáreo y arcilloso respectivamente. Presenta grano de fino a medio y una pobre competencia.

➤ MMU35

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado	Fluorescencia de rayos x			
			Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaCO ₃
MMU35	Gris claro	Marrón	2,21%	35,29%	5,82%	50,20%

Esta muestra es tomada de un afloramiento al este del frente sur, en el nivel 570, las rocas presentes en el afloramiento se encuentran diaclasadas, dichas características se encuentran especificadas en la tabla 1 de diaclasas identificada como #18.

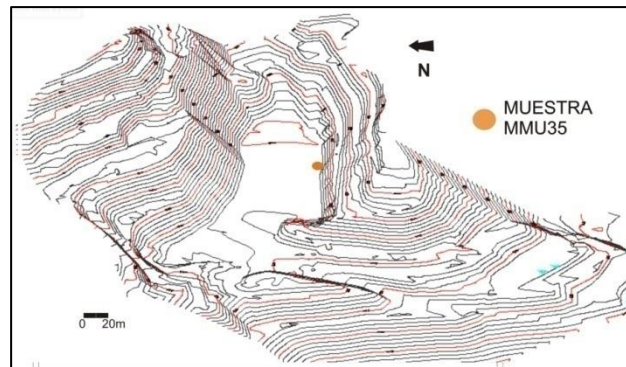


Figura 55 Ubicación Muestra MMU35

La muestra es de hábito tabular, con poca resistencia, con foliación muy menuda, evidenciable en las franjas de colores principalmente gris, blanco y marrón que corresponden a material calcáreo, cuarzoso y arcilloso respectivamente. Posee un porcentaje de carbonato de calcio alto en comparación con el resto de la unidad esquistosa, aunque también posee un porcentaje alto de SiO_2 , característico de esta unidad informal. En sección fina se aprecian los cristales orientados con la foliación, también se observan cuarzos y moscovitas en cantidades porcentuales muy parecidas, se observa calcita, pirita, biotita y unos cristales muy bien formados de posiblemente magnetita, el cual tiene alteraciones menores en los bordes. Más detalle observable en el anexo 1j.

➤ MMU36

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado
MMU36	Gris claro	Marrón

Esta muestra es tomada de un afloramiento a 10 metros hacia el oeste del afloramiento anterior. Presenta el mismo patrón de diaclasas ya referenciado. Y posee las mismas características en la descripción de muestra de mano, con la salvedad que presenta una pequeña tonalidad rojiza como color meteorizado.

V.2.3 Unidad de Mármoles Negros

Esta unidad aflora en la actualidad como pequeños lentes elongados, con una dirección preferencial N70E. En el frente norte este lente se encuentra al centro del mismo, entre la unidad de Esquistos calcáreos y la unidad de Mármoles grisáceos, a una altura de 620m aproximadamente. Mientras que en el frente sur, el lente se presenta hacia el oeste-centro del frente de explotación sur, posee una mayor extensión que en lente del frente norte y se encuentra en la cota 570. La distribución de esta pequeña unidad es visible en el anexo 6 Esta unidad se encuentra en contacto con la unidad de Mármoles Grisáceos como lentes menores dentro de la unidad de mármoles, elongados, con la misma dirección preferencial con la que se elonga la unidad de Mármoles Grisáceos

Esta unidad se caracteriza por su color primordialmente negro a gris muy oscuro, por lo que resalta mucho a la vista en afloramiento, debido a que el frente norte está en constante explotación en el área donde aflora esta unidad, el color meteorizado no es apreciable, aunque en el frente sur presenta un color meteorizado que va de anaranjado a rojizo como se puede apreciar en la figura 56.



Figura 56 Foto Mármoles Negros

Se observa en la figura 56 el color meteorizado rojizo, muy distintivo en el frente sur de explotación, en el extremo este del mismo, mientras que en el extremo contrario se observa el afloramiento visible en la figura 57, donde las vetas generan ángulos cercanos a los 90 entre sí

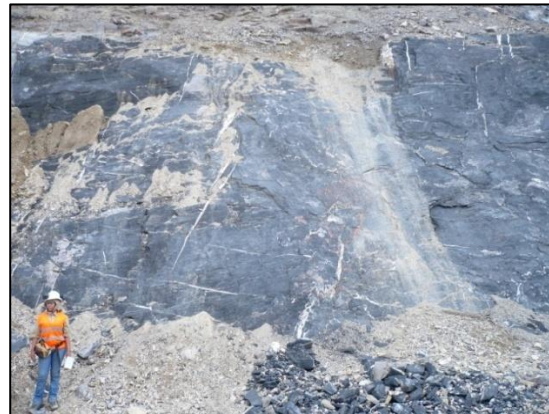


Figura 57 Foto Vetas en Mármoles Negros

La unidad presenta vetas que tienen un espesor mayor, que alcanza hasta los 30 cm en ciertas partes, aunque el espesor no se mantiene constante. Además estas vetas poseen extensiones longitudinales que superan el par de metros. Estas vetas poseen dos direcciones preferenciales, las cuales al cruzarse generan ángulos cercanos a los 90° como es apreciable figura 57.

Esta unidad es muy parecida a la unidad de Mármoles Grisáceos, tanto en características de muestras de mano, como en características químicas y petrográficas. La gran diferencia en el color negro atípico, y que presenta en sección fina mayores porcentajes de grafito. Está separada de la unidad de los Mármoles Grisáceos, en Mármoles Negros, porque no son comunes en macizos calcáreos en general; esta particularidad puede ayudar a la correlación del macizo, y por razones de producción industrial, ya que cantidades importantes de grafito pueden quemar los hornos de la planta e incluso cualquier otro artefacto que alcance altas temperaturas.

Debido a que sólo se observan unos lentes en ambos frentes de explotación, tan solo se toman dos muestras de este tipo litológico. Aunado con el hecho de que la unidad es muy monótona. De las muestras a una se le realiza el estudio petrográfico y el de fluorescencia de rayos x, de acuerdo con los criterios de muestreo explicados en el capítulo I.

V.2.3.1 Descripción muestras unidad Mármoles Negros

➤ MMU12

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado	Fluorescencia de rayos x			
			Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaCO ₃
MMU12	Negro	Negro	1,32%	15,16%	3,79%	70,52%

La muestra se encuentra ubicada en el centro del frente norte de explotación de la cantera, en el nivel 610. Las rocas del afloramiento se encuentran bastante fracturadas, con vetas mayores de calcita, y dentro de las mismas vetas, se

observan cuarzos, donde se aprecian cristales bien formados, con diámetros de 1cm.

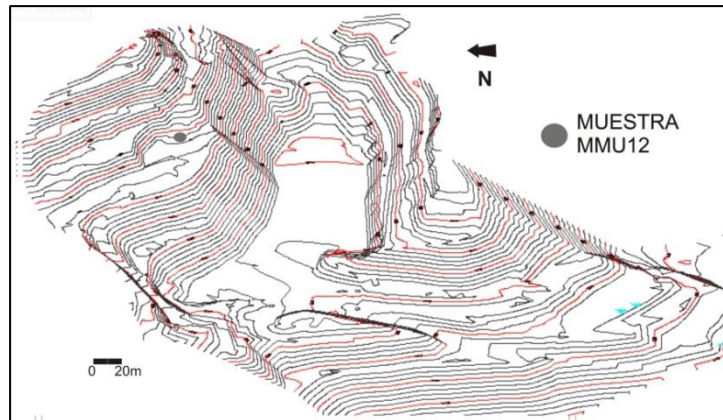


Figura 58 Ubicación Muestra MMU12

La muestra de mano se observa con brillo grafitoso, se rompe en forma de paralelepípedos, la muestra mancha al contacto con la piel, es masiva y posee una alta resistencia. La muestra esencialmente está compuesta por carbonato de calcio, con un porcentaje que sobrepasa el 70%. En sección fina posee una textura granoblástica, con mucha presencia de cristales de calcita, y el mayor porcentaje de grafito visto en alguna muestra del estudio. Para más detalle ver el anexo 1c.

➤ MMU38

Muestra	Color fresco	Color Meteorizado
MMU38	Negro	Rojo

La muestra se encuentra en un afloramiento ubicado en el frente Sur de explotación; en el nivel 570. Este afloramiento se presenta como un largo lente delgado de mármol negro, presenta un color rojo de meteorización visible en la foto 22 Mientras que en la foto 23, que pertenece al mismo afloramiento, aunque más al oeste, se observan las vetas de mayor tamaño encontradas en la cantera, las cuales forman al cruzarse un ángulo cercano a los 90°. Estas vetas son calcáreas y cuarzosas, de donde se pueden observar cristales muy puros, transparentes y bien formados de cuarzo, los cuales alcanzan hasta un diámetro de 2 a 3 cm. La muestra es masiva, de brillo grafitoso, mancha al contacto con la piel.

V.2.4 Estudio Petrográfico

De las muestras colectadas en campo, se le realiza el estudio petrográfico a 12 de ellas, seleccionadas de acuerdo a los criterios de selección de muestra detallados en el Capítulo I. De las 12 tomadas, 7 de ellas pertenecen a la unidad litológica de los Mármoles Grisáceos, la cual es la unidad de mayor importancia, ya que esta es la roca explotada en la cantera. De la unidad litológica de los Esquistos Calcáreos se le realizó el estudio petrográfico a 4 de ellas, y 1 estudio petrográfico a una muestra de la unidad litológica de los Mármoles Negros, la cual es la de menor tamaño de las presentes en la cantera.

V.2.4.1 Estudio petrográfico Mármoles Grisáceos

En general se observa en las muestras de esta unidad presencia mayoritaria de cristales de calcita, y un porcentaje menor de grafito. En algunas de las muestras se puede observar en menor concentración moscovita y/o cuarzo. Para más detalle ver los anexos 1. Estas muestras se asocian a la facies metamórfica de los esquistos verdes, a la subfacies clorita. A continuación se presenta la descripción de los minerales observados bajo el microscopio:

Calcita: se presenta en una concentración que varía entre las distintas secciones de 78% hasta 92%. Se observa con hábito anhedral, con cristales elongados, incoloros en nicoles paralelos, en nicoles cruzados incoloros pero también de color gris. Estos cristales se disponen a manera de mosaico, sin dirección preferencial, con bordes irregulares, por lo que los contactos entre los mismos cristales de calcita son irregulares, y presentan un maclado polisintético.

Grafito: se observa en todas las muestras de esta unidad y se distribuye sin orden aparente a lo largo de la sección para algunos casos, para otros casos el grafito se encuentra concentrado entre el espacio existente por las irregularidades de los contactos entre los cristales de calcita, como se observa en la figura 59. Se observa de color negro tanto en nicoles cruzados como en nicoles paralelos, de hábito masivo con diámetro de 0,0015 mm, sin extinción.

Cuarzo: no se presenta en todas las muestras de esta unidad, cuando lo hace se presenta con hábito prismático, subhedral, con bordes redondeados, incoloro en nicoles paralelos y en nicoles cruzados se presenta desde incoloro hasta gris claro y en algunos casos amarillo; presenta extinción angular. Los cristales de cuarzo no superan los 0,25mm de diámetro y en promedio tienen un tamaño de 0,18mm.

Moscovita: no se presenta en todas las muestras, solo en aquellas donde las concentraciones de calcita están en el orden de los 78% a 85%. Se presenta de forma elongada, los cristales no se extienden por más de 0,25 mm. En nicoles paralelos se observan los cristales incoloros y en nicoles cruzados se observan incoloros, amarillos y azules.

Magnetita: no se presenta en todas las secciones finas, cuando lo hace, se presenta en una concentración menor al 5%. Se observa con luz reflejada de color gris oscuro, de hábito prismático euhedral, en algunos casos con una leve alteración hacia los bordes. Puede alcanzar hasta los 4mm de diámetro.

Limonita: no se presenta en todas las secciones finas, cuando lo hace, se presenta en una concentración menor al 5%. Se observa con luz reflejada de color rojo oscuro, de hábito prismático subhedral.

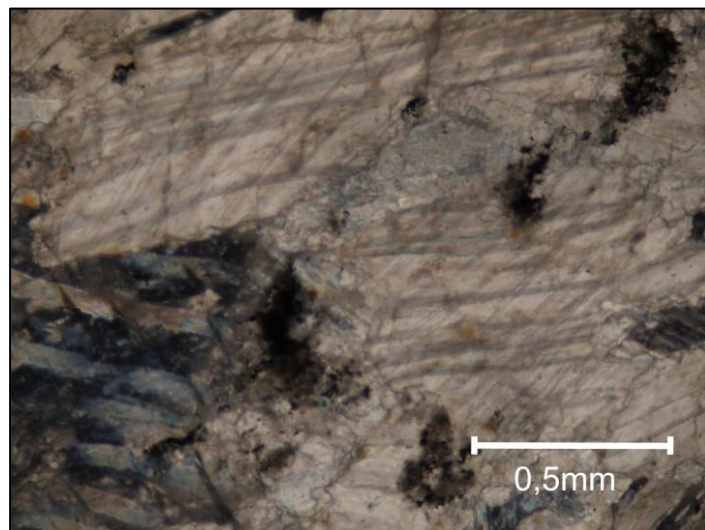


Figura 59 Foto sección fina MMU8 (Mármol Grisáceo), se observa la textura granoblástica donde los cristales de calcita ocupan la mayoría de los espacios, también se observa grafito dispuesto irregularmente, sin ningún patrón preferencial.

V.2.4.2 Estudio petrográfico Esquistos Calcáreos

Las muestras de esta unidad, bajo el microscopio, presentan sin excepción una textura foliada, se observa como la moscovita, la calcita y el cuarzo, presentes en casi todas las muestras de esta unidad, están orientados con la foliación. Según los minerales encontrados, se estima que estos esquistos tienen como protolito rocas sedimentarias de grano fino. Estas rocas pertenecen a la facies de los esquistos verdes de bajo grado. A continuación se presenta la descripción de los minerales observados bajo el microscopio:

Calcita: se presenta en una concentración que varía entre las distintas secciones de 18% hasta 30%. Se observa con hábito cristalino anhedral, con cristales elongados, incoloros en nicoles paralelos, y en nicoles cruzados de colores gris e incoloro. Estos cristales se disponen elongadamente, paralelos a la dirección preferencial de la foliación, con bordes irregulares y presentan un maclado polisintético.

Grafito: se distribuye en concentraciones a lo largo de las secciones finas que poseen la misma tendencia de la foliación. Se observa de color negro tanto en nicoles cruzados como en nicoles paralelos, de hábito laminar, de diámetro de 0,015 mm, sin extinción.

Cuarzo: se presenta en todas las muestra de esta unidad con concentraciones que van desde 15% hasta 30%; los cristales son de hábito prismático subhedral, con bordes redondeados, incoloros en nicoles paralelos, mientras que en nicoles cruzados se presentan desde incoloros hasta gris claro y en algunos casos amarillos; presenta extinción angular. Los cristales de cuarzo poseen diámetros que van desde los 0,15 mm hasta 0,5 mm, y en promedio tienen un tamaño de 0,30 mm.

Moscovita: se presenta con concentraciones que van desde 15% hasta 30%. Tiene un hábito tabular, posee una forma elongada con la misma dirección preferencial de la foliación, en algunos casos se elonga por más de 0,6 mm. En

nicoles paralelos se observan los cristales incoloros y en nicols paralelos se observan incoloros, amarillos y azules.

Magnetita: no se presenta en todas las secciones finas, cuando lo hace, se presenta en una concentración hasta el 15%. Se observa con luz reflejada de color gris oscuro, de hábito prismático euhedral, en algunos casos con una leve alteración hacia los bordes. Puede alcanzar hasta los 0,25 mm de diámetro sólo para los casos donde las concentraciones son menores, para los casos donde las concentraciones son mayores, los cristales alcanzan diámetros hasta los 0,6 mm. Los cristales de magnetita presentan una leve alteración hacia los bordes del cristal.

Clorita: para esta unidad siempre se presenta en concentraciones menores al 10%, con cristales de hábito hojoso, de color verde claro en nicols paralelos y marrón en nicols cruzados, presenta aristas irregulares y se orienta con la foliación.

Limonita: no se presenta en todas las secciones finas, cuando lo hace, se presenta en una concentración menor al 5%. Se observa con luz reflejada de color rojo oscuro, de hábito prismático subhedral.

Pirita: no se presenta en todas las secciones finas, cuando lo hace, se presenta con una concentración menor al 7%. Se observa con luz reflejada de color amarillo, no presenta deformaciones en sus aristas, es de hábito prismático y en algunos pocos casos euhedrales, para la mayoría de los casos subhedrales.

Cericita: se observa en pocas muestras, con concentraciones menores a 10 %; en nicols paralelos se observa incolora a marrón claro, y en nicols cruzados se observa de color marrón. Se presenta como hojuelas de diámetro 0,02 mm.

Feldespato: presenta un hábito prismático con aristas irregulares, en nicols paralelos se observa incoloro mientras que en nicols cruzados se observa de incoloro a gris.

Hematita: no se presenta en todas las muestras, bajo luz reflejada se observa de color rojiza, posee las aristas alteradas, es de hábito tabular y alcanza diámetros de 0,05 mm.

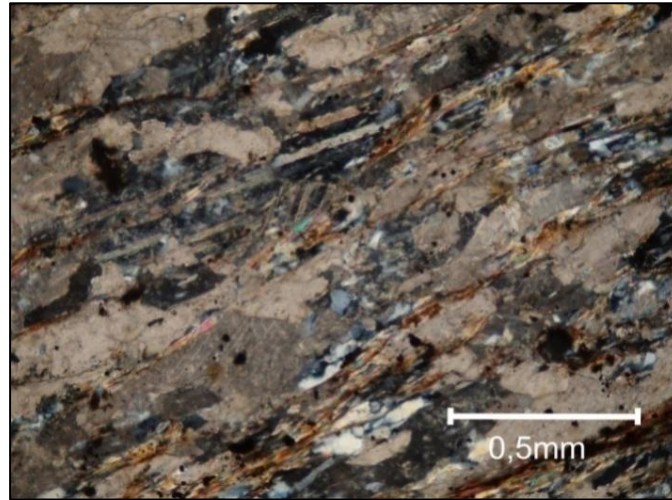


Figura 60 Foto sección fina muestra MMU35 (Esquisto Calcáreo), se puede observar claramente la textura foliada, y como los cristales de moscovita, calcita y cuarzo (entre otros) se orientan con la foliación

V.2.4.3 Estudio petrográfico Mármoles Negro

A la muestra que se le realiza el estudio petrográfico de esta unidad, presenta en sección fina cristales de calcita mayoritariamente, y en menor concentración moscovita y cuarzo. Como característica distintiva posee una concentración bastante alta de grafito, que supera el 20% de concentración, disponiéndose a lo largo de toda la muestra envolviendo a los clastos presentes, como se observa en la figura 61 y con mayor detalle en el anexo 1c. Los minerales observados en la sección fina permiten hacer la asociación del grado de metamorfismo de esta unidad a la facies de los esquistos verde de bajo grado. A continuación se presenta la descripción de los minerales observados bajo el microscopio:

Cuarzo: se presenta con hábito prismático, subhedral, con borde redondeados, incoloro en nicoles paralelos, en nicoles cruzados se presenta desde incoloro hasta gris claro y en algunos casos amarillo, presenta extinción angular. Los cristales de

cuarzo no superan los 0,25mm de diámetro, y en promedio tienen un tamaño de 0,18mm.

Calcita: se presenta en una concentración que alcanza hasta un 62%. Se observa con hábito prismático subhedral, con cristales elongados, incoloros en nicoles paralelos, en nicoles cruzados se observan grises e incoloros. Estos cristales se disponen de manera irregular en contacto con el grafito, el cual no permite el contacto entre los cristales de calcita, los cuales poseen bordes irregulares y maclado polisintético.

Clorita: para esta unidad siempre se presenta en concentraciones menores al 5%, con cristales de hábito hojoso, de color verde claro en nicoles paralelos y marrón en nicoles cruzados, presenta aristas irregulares y se orienta con la foliación.

Moscovita: se presenta con una concentraciones de 5%. Se presenta de forma elongada, los cristales no se extienden por más de 0,25 mm. En nicoles paralelos se observan los cristales incoloros y en nicoles cruzados se observa incoloro, amarillo y azul.

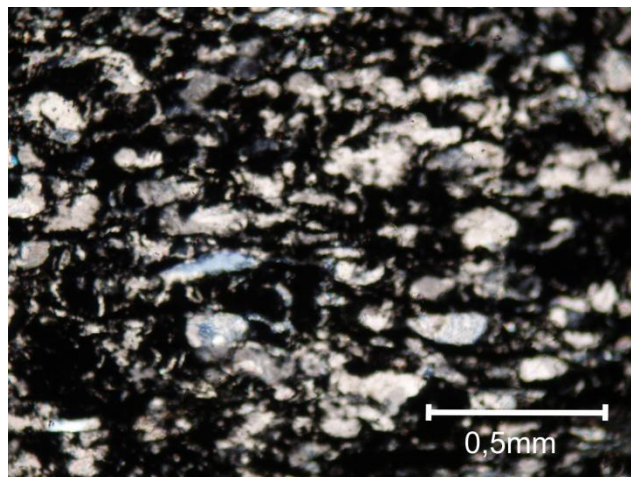


Figura 61 Foto sección fina muestra MMU12 (Mármol Negro), donde se puede observar la alta concentración de grafito en la muestra.

V.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Durante el levantamiento geológico se cartografiaron las estructuras de deformación apreciables a escala mesoscópica, midiendo propiedades características de cada tipo de deformación, dúctil o frágil. Entre las estructuras observadas frágiles se encontraron dos fallas, una falla en el nivel inferior perteneciente al frente norte de explotación, y la otra falla observada se encuentra en el frente de explotación sur, en el nivel 590. Se observan también planos de diaclasas con diferentes tendencias a lo largo de todo el macizo. Entre las estructuras de deformación de tipo dúctil se encuentran pliegues, tanto antiformes como sinformes, e incluso secuencias de deformación de una continuidad maciza de antiformes y sinformes, de ángulo interlimbar de tipo abierto.

Con el fin de apreciar deformaciones de mayor escala que la apreciable a simple vista, se observaron características que son indicios de estructuras a gran escala, como por ejemplo variaciones de rumbos y buzamientos a lo largo del área de estudio. También se utilizan los datos obtenidos en la campaña de perforación del 1995 realizada por la empresa GEOCONSULTA de manera tal que la estructura inferida es un gran sinforme.

V.3.1 Deformaciones de régimen Dúctil

V.3.1.1 Familia de Pliegues 1

Esta deformación se encuentra en el nivel superior de la cantera, hacia el extremo noroeste de la misma, se presenta como una continuidad de antiformes y sinformes de ángulo interlimbar abierto. Esta deformación se presenta en el tipo de roca denominado como Esquisto Calcáreo.

Esta estructura se extiende uno 36.8m en el nivel 650, y se prolonga verticalmente hasta los 10m de altura, a pesar de esto, la deformación es de las de menor envergadura observadas en la cantera, como es apreciable en la foto Su línea de charnela buza al norte unos 15° y tiene un rumbo N66E. El plano axial y

el polo del mismo están representados en la red estereográfica, en la figura 63 y como aspecto importante, estas características se mantienen constantes en la seguidilla de antiformes y sinformes que conforman esta deformación general.



Figura 62 Afloramiento plegado

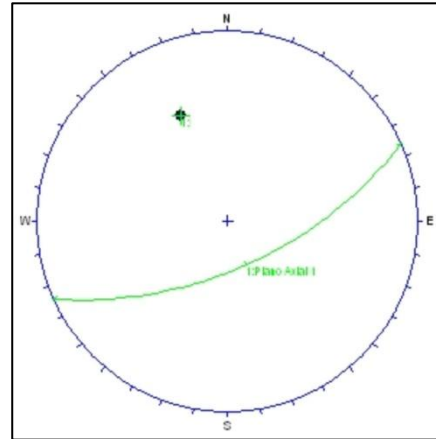


Figura 63 Plano Axial F.P.1

Afloramiento observado en el extremo oeste del frente norte de explotación, en el nivel 650, vista hacia oeste con ligera tendencia hacia al norte

Se obtiene de la red estereográfica un plano axial N66E62S, y el polo posee la dirección N66E32 la cual representa la única dirección de deformación de esta estructura plástica.

V.3.1.2 Familia de Pliegues 2

Estas deformaciones se encuentran cercanas a las deformaciones denominadas como Familia de Pliegues 1, al noroeste del macizo, pero en un nivel inferior, el nivel 640. A pesar de esto, son muy diferentes a las anteriores, primero porque el tipo de roca en el que se manifiesta es del tipo Mármoles Grisáceos, además la envergadura de la masa deformada es de mayor volumen que en el caso anterior. Otra gran diferencia que presenta este conjunto de plegamientos, es que poseen más de una dirección de deformación, por ello, tanto el plano axial, como la línea

de charnela, e incluso el ángulo interlimbar no se mantienen constantes, por ende se pueden evidenciar dos tendencias.



Figura 64 Foto Familia de pliegues 2

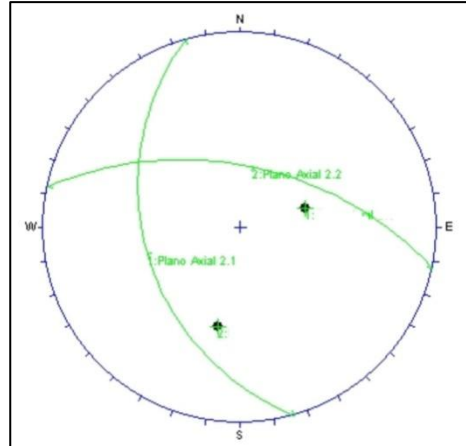


Figura 65 Planos Axiales F.P.2

Afloramiento observado en el nivel 640, ubicado en el centro del frente norte de explotación, se puede apreciar dos direcciones de deformación preferencial, foto con vista hasta el noreste

En estos plegamientos se aprecian pliegues parásitos en las láminas del interlaminado, y vetas de calcita plegadas en conjunto con el macizo. De la figura 65 se observan los dos planos axiales de los distintos plegamiento, de donde se obtienen las dos direcciones de deformación que causaron este conjunto de plegamientos. Las cuales son:

Dirección de deformación 1 (P 2.1) N74E52

Dirección de deformación 2 (P 2.2) S12W35

V.3.1.3 Familia de Pliegues 3

Este pliegue está ubicado en el centro del frente de explotación norte, en el nivel de cota 620, muy cercano a la Familia de Pliegues 2, y al igual que dicha familia, este se manifiesta en el tipo de roca Mármol Grisáceo. Su envergadura es la mayor encontrada en el macizo a nivel mesoscópico, como se puede notar en la figura 66 se extiende unos 15 m verticalmente y se manifiesta a lo largo del nivel

unos 22m. Es evidenciable una dirección de deformación pseudovertical. A diferencia de la Familia de Pliegues 2, esta deformación mantiene constante las características que definen a este conjunto de plegamientos; línea de charnela, plano axial, y ángulo interlimbar.

Se observan vetas de calizas igualmente plegadas al conjunto rocoso, se encuentran pliegues parásitos entre el inter-laminado de la roca.



Figura 66 Foto Familia de Pliegues 3, en esta gran estructura se puede observar una dirección de deformación preferencial vertical, al extremo derecho de la foto se puede apreciar el interlaminado en cual se presentan los pliegues parásitos. Vista N15W

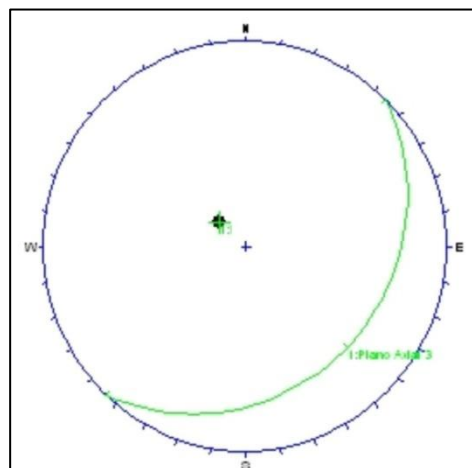


Figura 67 Plano Axial F.P.3

Como se observa en la figura 67, la dirección del polo tiene una componente vertical muy alta, esta dirección de deformación corresponde perfectamente con las impresiones que deja la figura 66 obtenida durante el levantamiento de campo. De la red estereográfica se obtiene la dirección de deformación N46W70.

V.3.1.4 Familia de Pliegues 4.

Este plegamiento es inferido tomando en cuenta las direcciones de rumbos y grados de buzamiento generales de cada uno de los frentes de explotación, así como del perfil generados con las perforaciones ya mencionadas.

Se infiere un sinforme de ángulo interlimbar muy abierto, de 130° , asimétrico, con un flanco sur de tendencia más vertical que el flanco norte. Estos flancos son respectivamente los frentes de explotación sur y norte, lo que implica que la estructura es macroscópica, característica lógica al entender que por ejemplo, el frente norte de explotación tiene más de 100m de altura.

Flanco Norte N50E50S

Flanco Sur N60E80N

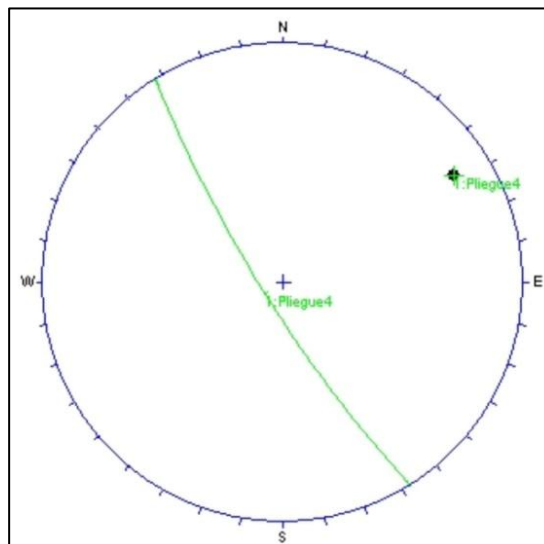


Figura 68 Plano Axial F.P.4

Este plegamiento verticaliza sus limbos a medida que tiende hacia el este, aunque en profundidad tiende a la horizontalidad, en la figura 36 se observa el

Perfil A-B. El plano axial obtenido es N32W80S y la estructura posee una dirección de deformación N38W16.

La figura 69 Perfil A-B también muestra la Falla 2, especificada más adelante en este mismo capítulo. El perfil es realizado al este de la cantera, de norte a sur, con una dirección S35E.

Aunque teóricamente, a través de la red estereográfica se obtiene un pliegue muy abierto, en el perfil se observa un pliegue abierto, donde el ángulo interlimbar apenas supera los 90°

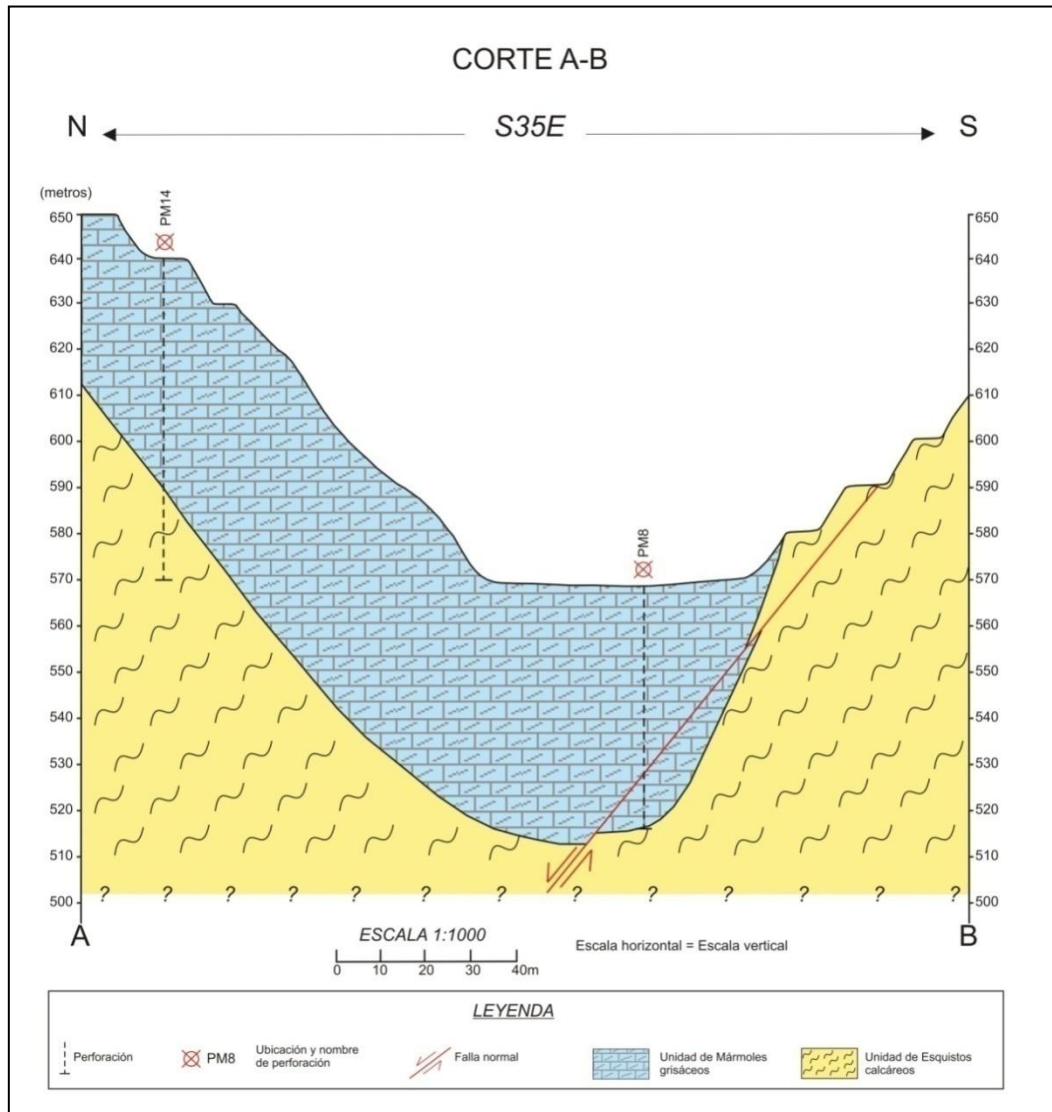


Figura 69 Perfil A-B

V.3.1.5 Densidad de polos de deformaciones dúctiles

Las distintas direcciones de deformación, en conjunto no poseen tendencias preferenciales entre sí, como es evidenciable en la figura 70 densidad de polos de deformaciones dúctiles, en la misma se observan 5 densidades de polos que corresponden a las 5 direcciones de deformación, las cuales fueron detalladas en cada una de las descripciones de las deformaciones dúctiles anteriores.

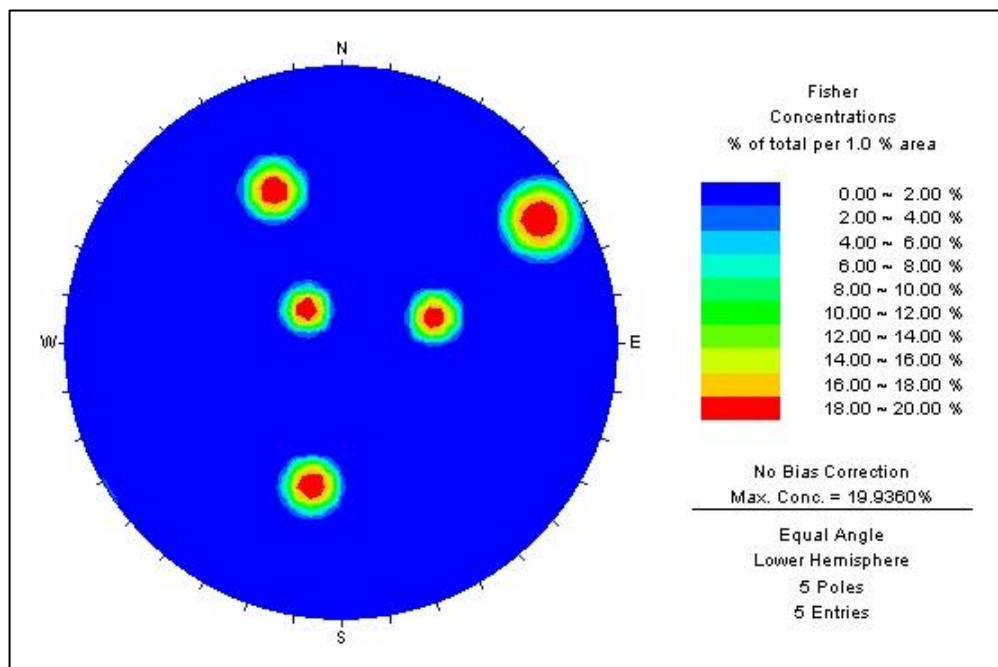


Figura 70 Densidad de polos de deformaciones dúctiles, donde se observa que no existe ninguna dirección preferencial de deformación.

De las deformaciones dúctiles que fueron observadas en campo, se dataron en total 4 deformaciones, de las cuales 3 de ellas poseen una sola dirección de deformación, mientras que para la Familia de Pliegues 3 se observaron dos direcciones de deformación, es por ello que la figura anterior muestra 5 densidades de polos que corresponden, cada una, a un polo del plano axial de los plegamientos observados, por ende, no hay direcciones de deformación preferencial.

V.3.2 Deformaciones de régimen frágil

V.3.2.1 Falla 1

La expresión de esta falla es el plano de falla encontrado en el nivel inferior de la cantera, 570, al oeste del frente de explotación norte, en el tipo de roca Mármol Grisáceo. Este plano de falla presenta estrías de falla y facetas escalonadas las cuales revelan las características del comportamiento de dicha falla.



Figura 70 Foto Falla 1 en afloramiento
afloramiento que se encuentra al oeste del frente norte
de explotación. En la cota 570

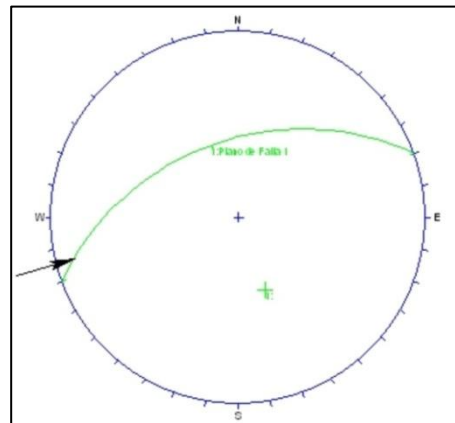


Figura 71 Plano de Falla 1 este un

Esta falla es inversa dextral, se puede apreciar en la imagen las estrías de falla. El plano de falla es N70E45N, y la estría, sobre el plano de falla tiene una dirección N75E

V.3.2.2 Falla 2

La expresión de esta falla es un plano de falla encontrado en el centro del frente de explotación sur, en el nivel 590, donde el plano se manifiesta en el tipo de roca Mármol Grisáceo. Se observan estrías de falla, se representa la falla en la red estereográfica en la figura 73

El plano de falla es N50E50N y la estría sobre el plano de falla posee la dirección N70W. La falla se comporta como una falla normal dextral.



Figura 72 Foto Falla 2 en afloramiento

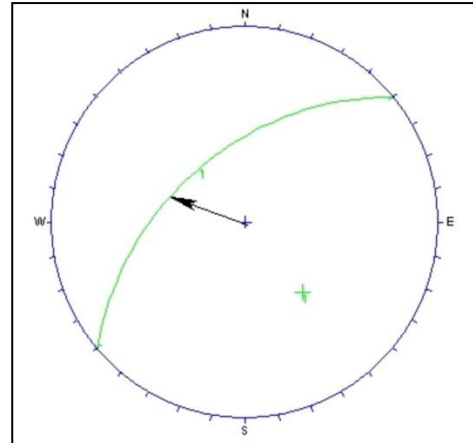


Figura 73 Plano de Falla 2

V.3.3 Eventos de Deformación

Primer evento → constituye las deformaciones asociadas al metamorfismo que sufre este macizo para mutar de roca sedimentaria a metamórfica, como lo demuestran las unidades presentes de mármoles y esquistos. En este evento de deformación también se generan vetas de calcita y cuarzo por precipitación *in situ* de fluidos enriquecidos en carbonato de calcio y sílice respectivamente.

Segundo evento → el macizo es sometido a esfuerzos menores que generan deformaciones de poca envergadura, plegamientos de ángulo abiertos y muy abiertos, con más de una dirección de deformación. Estos plegamientos en su interlaminado presentan pliegues parásitos que evidentemente ocurren en el mismo período de deformación que estos pliegues menores. Los pliegues menores son identificados como Familia de Pliegues 1,2 y 3 en este mismo estudio.

Tercer evento → durante este evento se deforma todo el macizo en conjunto, generando el sinforme descrito anteriormente identificado como Familia de Pliegues 4, en el análisis de deformaciones dúctiles de este mismo capítulo. Posteriormente durante este mismo evento, dado a que la deformación continua, el macizo cede y se falla generando estas estructuras de régimen frágil las cuales son señaladas como Falla 1 y Falla 2

V.3.4 Diaclasas

La mayor parte del macizo se encuentra diaclasado, aunque la frecuencia y las direcciones de las diaclasas no se mantienen constante, estas variaciones son mucho más evidentes entre los cambios litológicos de las unidades informales, en especial en los Esquistos Calcáreos, los cuales presentan frecuencia de diaclasas mucho mayores que en comparación con el resto del macizo.

La tabla siguiente muestra las características de las diaclasas observadas durante el levantamiento geológico. En ella se aprecian los planos de diaclasas, y su frecuencia por metro horizontal de elongación. También como dato se presenta el tipo de roca en cual se manifiesta la diaclasa datada.

#	Tipo de roca	Plano 1	f1/m	Plano 2	f2/m	Plano 3	f3/m
1	Mármol Grisáceo	N56W72S	3/1	N60E55S	3/1	N50E40N	3/1
2	Mármol Grisáceo	N56W72S	3/1	N60E55S	3/1	N50E40N	3/1
3	Esquisto Calcáreo	N60E75N	8/1	N60E20S	8/1	N25W PV	4/1
4	Mármol Grisáceo	N65E40S	3/1	N70E52N	3/1	N40W75N	3/1
5	Mármol Grisáceo	N75W75S	2/1	N53E PV	3/1	N45E27S	4/1
6	Mármol Grisáceo	N70W PV	4/1	N40E70S	4/1	N45E11N	2/1
7	Esquisto Calcáreo	N30W PV	1/1	N60E70N	1/1	N70E17S	8/1
8	Mármol Grisáceo	N65E40N	10/1	N60E20N	10/1	N30W PV	5/1
9	Esquisto Calcáreo	N22W PV	2/1	N67E PV	15/1	inmedible	X
10	Esquisto Calcáreo	N25W75N	2/1	N50E30N	5/1	N60W60S	3/1
11	Mármol Grisáceo	N65E35S	1/1	N25W85N	1/1	N50E58N	1/1
12	Mármol Grisáceo	N45E PV	5/1	N60W25N	5/1	N60W70N	5/1
13	Mármol Grisáceo	N65W45N	2/1	N45W50S	2/1	N15E PV	2/1
14	Esquisto Calcáreo	N55E50S	3/1	N50W32S	5/1	N40W84N	5/1
15	Esquisto Calcáreo	N60E75N	1/1	N50E PV	3/1	N50E25S	1/1
16	Mármol Negro	N60E60N	4/1	N25W PV	4/1	N10E30S	2/1
17	Esquisto Calcáreo	N55E56N	5/1	N35W PV	5/1	N65E40S	3/1
18	Esquisto Calcáreo	N55E75N	1/1	N30W85N	2/1	N65E15N	2/1
19	Mármol Negro	N60E58N	1/2.5	N30W80S	4/1	N20W30N	4/1
20	Mármol Grisáceo	N70W70S	1/1	N12E45N	1/1	N5W55S	1/1

Tabla 1 Diaclasas

De la tabla 1 de diaclasas se puede apreciar como la frecuencia de diaclasas por metro de levantamiento es mucho mayor en los Esquistos Calcáreos que en el resto de las unidades litológicas, con la excepción de la familia de diaclasas # 8, la cual se presenta en el tipo litológico Mármol Grisáceo con una frecuencia de 10 planos por metro de levantamiento, para uno de los planos de dicha familia de diaclasas. Esta excepción se encuentra al extremo noreste de la cantera, aunque desde esa zona, hasta el oeste de la cantera se mantiene una frecuencia mucho menor, donde rara vez la frecuencia de diaclasas alcanza los 5 planos por metro de levantamiento, hasta que se presenta el cambio litológico a la unidad de tipo Esquisto Calcáreo donde el ritmo aumenta a más del doble, hasta el caso extremo de llegar a 15 planos de diaclasa por metro de levantamiento en el afloramiento de Esquistos Calcáreo, donde la familia de diaclasas es identificada como # 9 en la tabla 1 de diaclasas.

La figura 74 muestra la densidad de polos de las diaclasas encontradas durante el levantamiento, además se observan los planos preferenciales de diaclasa, tomados a partir de las distintas densidades de polos. Se observan tres densidades preferenciales, por ende tres planos de diaclasas preferenciales.

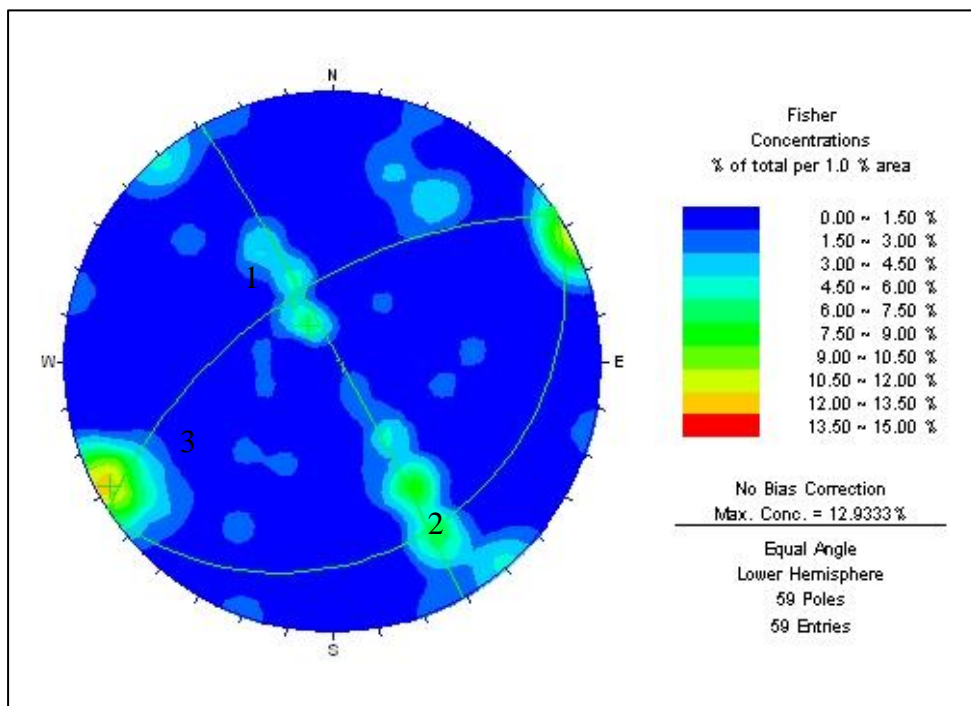


Figura 74 Densidad de Polos de planos de diaclasas

Planos	DIP;DIP
1	87;61
2	19;145
3	58;327

Tabla2 Planos de diaclasas preferenciales

El plano que representa la mayor densidad de las densidades de polos, es el identificado como plano 1 en la figura 74 como se observa en los datos de la tabla 2 de diaclasas preferenciales, de estos datos también se observa que el Plano 1 alcanza un buzamiento de 87°, muy cercano a la verticalidad. Esta tendencia preferencial es observada a lo largo de los dos frentes de explotación. Con mayor frecuencia en el hala oeste del frente de explotación norte.

De la Figura 74 Densidad de Polos de planos de diaclasas, se puede apreciar la existencia de otras tendencias menores, a diferencia de las interpretadas en el análisis. Por esta razón no se le adjudica a estas tendencias de planos de diaclasas consideraciones de tendencias principales.

V.4 ANÁLISIS QUÍMICO

A las doce muestras que se les realizó el estudio petrográfico, también se les realizó el estudio de fluorescencia de rayos X a través del espectrómetro FRX Oxford. Con ayuda de este estudio se puede determinar la concentración p/p de CaO, de la que luego estequiométricamente se determina la concentración de CaCO₃ de primordial interés para la empresa Fábrica Nacional de Cementos. Otras concentraciones obtenidas son las de Fe₂O₃, SiO₂, Al₂O₃. Estos valores también se toman en cuenta, ya que en total los mismos influyen en la calidad del cemento. Los valores obtenidos en el estudio de fluorescencia de rayos x de las muestras tomadas en campo se representan en la siguiente tabla.

MUESTRA	Unidad	CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaCO ₃
MMU8	Mármol Grisáceo	54,25%	0,22%	1,44%	0,43%	96,78%
MMU39	Mármol Grisáceo	53,35%	0,18%	0,01%	0,04%	95,18%
MMU26	Mármol Grisáceo	51,03%	0,23%	8,00%	0,98%	91,04%
MMU18	Mármol Grisáceo	49,19%	0,50%	6,06%	1,41%	87,75%
MMU25	Mármol Grisáceo	47,55%	0,52%	11,12%	2,32%	84,83%
MMU20	Mármol Grisáceo	47,25%	0,82%	8,46%	2,18%	84,29%
MMU12	Mármol Negro	39,53%	1,32%	15,16%	3,79%	70,52%
MMU3	Mármol Grisáceo	35,64%	0,52%	23,13%	2,23%	63,58%
MMU35	Esquisto Calcáreo	28,14%	2,21%	35,29%	5,82%	50,20%
MMU32	Esquisto Calcáreo	21,02%	2,68%	37,97%	7,03%	37,50%
MMU28	Esquisto Calcáreo	15,65%	2,86%	50,68%	9,72%	27,92%
MMU14	Esquisto Calcáreo	14,58%	2,73%	51,54%	8,07%	26,01%

El valor de CaCO₃ es estequiométrico

Tabla 3 Estudio de Fluorescencia de rayos X

La cantidad de CaCO₃ que se refleja en la tabla 3 de Estudio de Fluorescencia de rayos X, se obtuvo a través de cálculos estequiométricos realizados de dos maneras para corroborar los valores.

En primer lugar, se determinó el valor de CaCO₃, mediante un factor multiplicador que resulta de la adición del PM de la fórmula necesaria (CaCO₃) / PM de la fórmula original (CaO).

$$\frac{\text{PM (CaCO}_3\text{)}}{\text{PM (CaO)}} = 1,784$$

Con el valor del factor de corrección 1,784 multiplicado por el valor del %CaO previamente derivado del análisis de fluorescencia de rayos X, se obtiene el valor porcentual del CaCO₃.

Esta fórmula se realiza ya que las concentraciones de óxido de magnesio (MgO) no superan el 1%. Esta condición se aprecia en la tabla 3 donde se refleja los valores del estudio de fluorescencia de rayos x, una vez configurando el equipo del laboratorio de la Planta Ocumare del Tuy para que arroje el valor del óxido de magnesio. Que el valor de óxido de magnesio (MgO) sea menor que “1”

implica que no hay dolomitización en la zona de estudio, por ende en las consideraciones estequiométricas anteriores no se toma en cuenta el carbonato de calcio que se desprende de $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

El estudio de concentración de MgO sólo se le realiza a 5 muestras entre las 12 muestras preseleccionadas en los estudios anteriores. Estas 5 muestras fueron seleccionadas bajo el criterio de posicionamiento espacial, en representación de todo el macizo, con el fin de verificar que los valores de óxido de magnesio (MgO) a lo largo de los frentes de explotación de la cantera no superasen el 1%.

Muestra	Unidad	MgO (%)
MMU12	Mármoles Negros	0,12
MMU18	Mármoles Grisáceos	0,11
MMU14	Esquistos Calcáreos	0,31
MMU8	Mármoles Grisáceos	0,07
MMU28	Esquistos Calcáreos	0,42

Tabla 4 Concentraciones de MgO

De la tabla4 Porcentaje de óxido de magnesio, se puede apreciar como la unida de Esquistos Calcáreos alcanza los porcentajes más altos entre las muestras analizadas, aunque estos no superan el 0,5%.

Para corroborar el valor de CaCO_3 obtenido, se determinó el porcentaje a partir del valor del dióxido de carbono (CO_2). La premisa es que en rocas muy carbonáticas la mayor parte del calcio se encuentra asociado al CaCO_3 , de manera que a partir del % CO_2 asociado al %CaO se puede obtener el CaCO_3 . El CO_2 se determinó por ensayos de pérdida al rojo vivo y por medio de la siguiente ecuación (GONZÁLEZ & SANCHEZ 2001):

$$\% \text{CO}_2 = \frac{\% \text{CaO} * \text{PM CO}_2}{\text{PM CaO}}$$

Ejemplo:

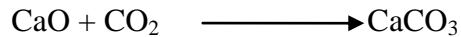
$$\begin{aligned} \text{MMU8} &\rightarrow \% \text{CaO} = 54,25 \\ \text{PM CO}_2 &= (\text{PA C}) + (\text{PA O}) \times 2 \\ \text{PM CO}_2 &= 12 + 16 \times 2 = 44 \\ \text{PM CaO} &= (\text{PA Ca}) + (\text{PA O}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PM CaO} &= 40,07 + 16 \\ \text{PM CaO} &= 56,07 \end{aligned}$$

$$\% \text{CO}_2 = \frac{54,25 \cdot 44}{56,07} = 42,571 \text{ \%p/p}$$

Donde p/p es porcentaje en peso

Sabiendo que la ecuación estequiometría es:



$$54,25 + 42,571 = 96,82$$

Dado a que la muestra fue colocada en el horno antes de hacerle el estudio de fluorescencia, de acuerdo a la metodología aplicada por el laboratorio de la Planta Ocumare del Tuy, no se agrega ningún valor de H₂O. En el anexo 4 se puede observar la tabla comparativa, donde se aprecia que la diferencia del valor obtenido para CaCO₃ es del orden de 1x10⁻³.

De acuerdo a los análisis químicos, se caracteriza a la roca en tipos químico, con la finalidad de generar una estimación del tipo de roca que se encuentra en profundidad, a través de los valores de concentraciones obtenidos de las perforaciones realizadas en 1995.

De acuerdo a los criterios de la Planta Ocumare del Tuy, de la empresa F.N.C., para los valores mayores al 70% de CaCO₃, se considera a la roca como tipo mármol, mientras que para valores menores a 70% de CaCO₃ se considera tipo Esquistos Calcáreos.

Si % CaCO₃ < 70% → Esquisto Calcáreo

Si % CaCO₃ > 70% → Mármol

Estos dos tipos químicos se relacionan con las unidades litológicas ya discriminadas en este mismo capítulo, gracias al estudio de fluorescencia de rayos x realizado a las 12 muestras de las distintas unidades litológicas, que fueron seleccionadas de acuerdo al criterio de selección de muestras explicado en el

capítulo I. Entonces se estima un tipo litológico basándose en los valores de concentraciones típicos de cada unidad litológica

Para la unidad litológica de Esquistos Calcáreos, las concentraciones de CaCO_3 no superan el 70%, como lo muestra la Tabla 3, por ende se relaciona con el tipo químico esquisto calcáreo.

Tanto para la unidad de Mármoles Grisáceos como para la unidad de Mármoles Negros las concentraciones de CaCO_3 superan el 70%, por ende ambas se relacionan con el tipo químico mármol. No es posible determinar si los valores obtenidos en las perforaciones pertenecen a rocas de las unidades litológicas de Mármoles Negros o de Mármoles Grisáceos, debido a que las concentraciones de CaCO_3 para ambas unidades litológicas superan el 70%, y entre los minerales evaluados no existe un criterio que ayude a la identificación precisa o discrimine entre las dos unidades litológicas de mármoles ya mencionadas, por ende se considera un tipo único para valores mayores al 70%: tipo mármol

La muestra MMU3 se caracterizó litológicamente como un Mármol Grisáceo, de acuerdo al análisis de las muestras de mano, pero la muestra no alcanza el 70% CaCO_3 , lo que hace de esta muestra la excepción para la condición anterior sobre el porcentaje de CaCO_3 .

Algunas muestras alcanzas valores de hasta 40% de óxido de sílice, este porcentaje de sílice no proviene directamente del cuarzo presente en la muestra, también proviene de la moscovita, esta característica se observa en los análisis petrográficos realizados, para más detalle observar los anexos 1. Muchas de las muestras tienen moscovita en su composición mineralógica, en algunos casos en mayor cantidad que cristales de cuarzo, por lo que algunas muestras son esquistos-moscovítico-cuarzosos.

Las concentraciones anteriores son las de principal interés para la producción de cemento y/o agregados en la Planta Ocumare del Tuy, por lo que es pertinente conocer como varían a lo largo del frente de explotación y en profundidad del mismo, por ello se realizan perfiles que reflejan las concentraciones de CaCO_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 .

Con el fin de observar la distribución de los porcentajes mencionados en todo el frente de explotación, se realizan perfiles de concentración con los datos obtenidos en la campaña de perforación realizada por la empresa GEOCONSULTA en 1995. La cual realiza 16 perforaciones a lo largo de la cantera (anexo 6) Denominadas en este trabajo como PM, referentes a “Perforacion Mume”.

Dado a que estas perforaciones fueron realizadas hace casi 15 años, los frentes de explotación han variado, cambiando de altura; por lo que se realizó un ajuste de los perfiles de acuerdo a las cotas reales actuales, en las posiciones donde se realizaron cada una de estas perforaciones.

De las perforaciones realizadas, no tienen validez las que en el cuerpo perforado ha sido consumido hasta la actualidad, estas son: PM2, PM4, PM5, PM7, PM10, PM11, y PM13.

A continuación se presentan los perfiles realizados a partir de los datos de las perforaciones que aun no han sido consumidas por el proceso de explotación. En ellos se representan los valores de concentración de óxidos versus metros sobre el nivel del mar (msnm). Cada perfil muestra las variaciones en profundidad de los ya mencionados valores porcentuales, usando estas variaciones y el criterio de porcentaje de carbonato de calcio para la discriminación del tipo químico, se estima el tramo evaluado como tipo químico de mármol o esquisto calcáreo. Esta estimación se realiza cada 10 m de profundidad, para coincidir con la altura que poseen los niveles o bancos de explotación, además, los valores porcentuales son promediados debido a que el sistema de explotación mezcla la roca extraída de los 10m de altura que posee el nivel. Para los perfiles, el valor de CaCO_3 que se refleja es el valor que dan las tablas generadas por la empresa GEOCONSULTA en 1995 (anexos 2)

➤ PM1

cota	PM1	CaCO ₃		SiO ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃		MgO	
		Prom	Dev Est	Prom	Dev Est	Prom	Dev Est	Prom	Dev Est	Prom	Dev Est
Inicio 580	Tipo químico										
580-570	Mármol	74,91	23,22	23,62	21,54	0,94	1,33	1,67	1,33	0,44	0,07
570-560	Esquisto Calcáreo	51,31	14,32	41,89	11,80	2,16	0,91	2,74	0,91	0,50	0,09
560-550	Esquisto Calcáreo	42,14	19,85	48,96	16,69	2,97	0,80	2,41	0,80	0,51	0,18
550-540	Mármol	71,36	14,11	24,86	12,47	1,14	0,42	1,07	0,42	0,31	0,05

Prom. Promedio %CaCO₃ cada 10m Dev Est: Desviación Estándar cada 10m

Tabla 5 PM1

La perforación PM1 se encuentra al oeste de la cantera, en el frente de explotación norte. De la cota 580 a la 570 se estima presencia de mármol, este valor porcentual de carbonato de calcio es adecuado para la producción de cemento. Hay valores en esta decena de metros que alcanzan porcentajes de 97% de CaCO₃, pero para esta misma decena de metros, hay valores que alcanzan 30 % de SiO₂, por lo que se considera que para esta decena de metros, hay presencia de mármol de buena calidad que posiblemente estén entremezclados con rocas de la unidad de esquistos calcáreo, por lo que el promedio de carbonato de calcio disminuye a 74,91% para esta decena de cotas específicamente. Esta característica concuerda con el valor de desviación estándar que presenta esta decena de metros, indicando variaciones bastante altas entre los porcentajes de carbonato de calcio.

Desde la cota 570 hasta 550, altura suficiente para dos niveles o bancos, se estima presencia del tipo químico esquisto calcáreo, con valores no aprovechables para la producción de cemento o agregados. Para las cotas de 550 hasta la 540 se estima presencia de mármol, con material propio para el aprovechamiento de agregados, posee una desviación estándar menor en comparación con la primera decena de metros de mármol de este mismo perfil, lo que indica menor cantidad de picos de sílice.

➤ PM3

Cota	PM3	CaCO ₃		SiO ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃		MgO	
Inicio	Tipo químico	Prom %	Dev Est	Prom %	Dev Est	Prom %	Dev Est	Prom %	Dev Est	Prom %	Dev Est
567-560	Mármol	69,26	28,04	17,33	22,43	1,20	1,43	1,25	1,12	0,46	0,19
560-550	Mármol	73,76	21,66	21,28	17,32	2,42	2,34	1,25	0,95	0,66	0,21
550-540	Esquisto Calcáreo	62,62	17,09	31,83	13,81	2,07	1,29	1,99	1,05	0,57	0,14
540-530	Esquisto Calcáreo	47,56	27,78	44,45	23,72	3,20	1,63	2,41	1,09	0,61	0,13
530-520	Esquisto Calcáreo	43,20	14,47	47,91	11,52	3,37	1,40	3,06	1,14	0,60	0,10

Prom. Promedio %CaCO₃ cada10m Dev Est: Desviación Estándar cada 10m

Tabla 6 PM3

La perforación PM3 se encuentra en el centro del frente de explotación norte, en lo que actualmente es el nivel inferior de la cantera. Para las cotas 570-560, se estima que la roca presente es mármol, a pesar de tener un concentración menor al 70% de CaCO₃, ya que se acerca bastante y puede ser aprovechado para la producción de agregados. Los picos de los distintos perfiles de óxidos muestran que no es un material homogéneo, característica evidenciable con la desviación estándar muy marcada para esta sección, posiblemente la roca sea mármol de baja concentración de CaCO₃, que se encuentra entremezclado con rocas pertenecientes a la unidad de esquistos calcáreos en menor proporción que con los mármoles.

De la cota 560 hasta la cota 550, se estima a la roca como mármol, aunque hay que tomar consideraciones de calidad por el alto valor que alcanza la desviación estándar, lo que indica muy poca homogeneidad para esta sección. De la cota 550-520, de 30m de espesor vertical, se encuentra una roca estimada como esquisto calcáreo, a pesar que en las cotas cercanas a los 540 los porcentajes de CaCO₃ son altos, al promediarlo con los valores del resto de esa décima de metros, los valores decrecen considerablemente, de manera tal que no pueden ser aprovechado para la producción de cemento o agregados. Las cotas inferiores, hasta la finalización de la perforación, son estimadas como esquistos calcáreos.

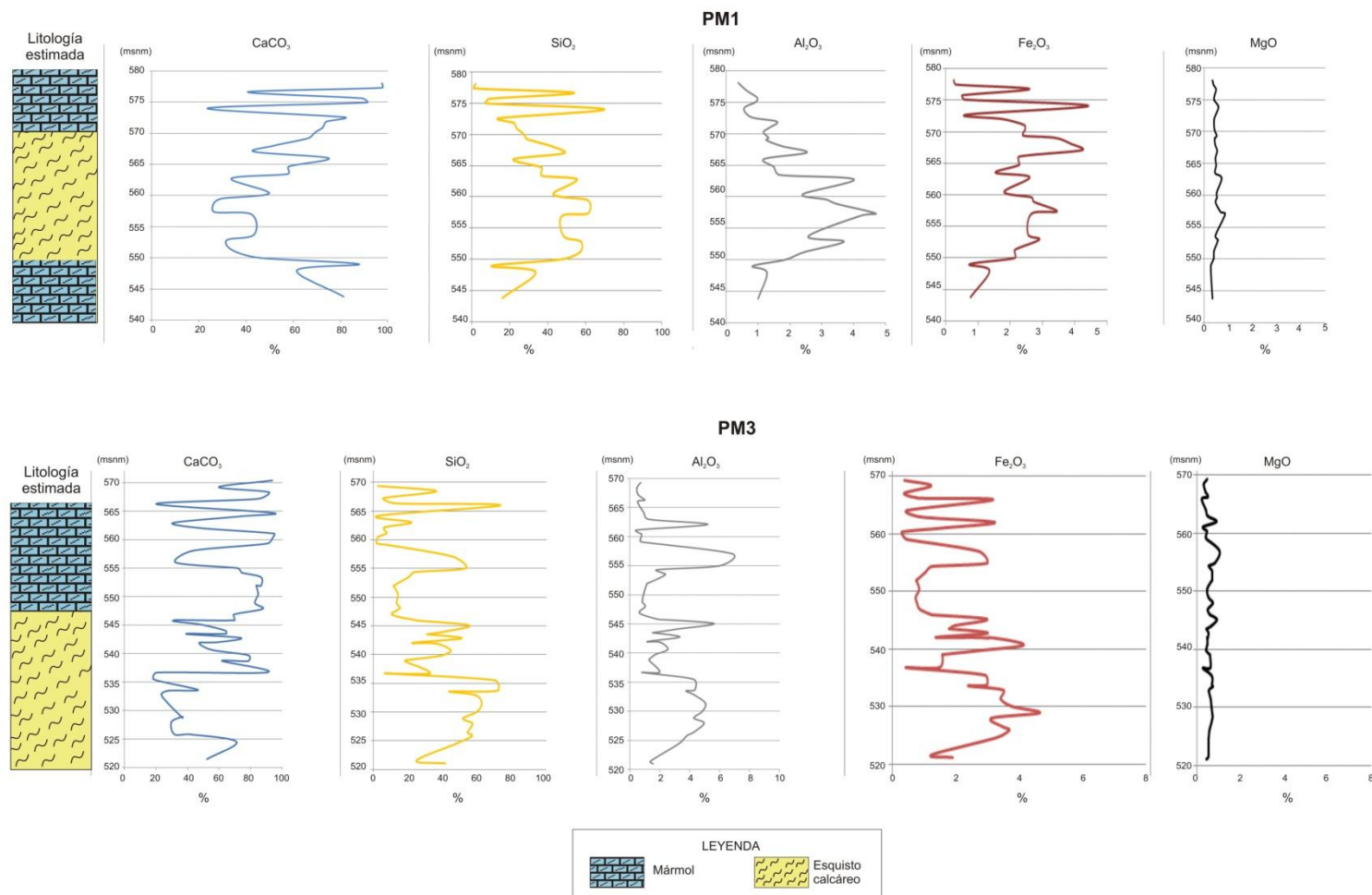


Figura 75 Columna litológica y Perfil de distribución de concentración de CaCO_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MgO , del PM1 y PM3

➤ PM 6

Cota	PM6	CaCO ₃		SiO ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃		MgO	
		Prom %	Dev Est	Prom %	Dev Est	Prom %	Dev Est	Prom %	Dev Est	Prom %	Dev Est
Inicio 580	Tipo químico										
580-570	Mármol	79,18	24,29	18,22	22,63	0,54	0,09	0,91	0,98	0,37	0,08
570-560	Mármol	79,92	18,92	17,15	15,43	1,23	1,51	0,84	0,72	0,44	0,15

Prom. Promedio %CaCO₃ cada 10m Dev Est: Desviación Estándar cada 10m

Tabla 7 PM6

Esta perforación se encuentra en el centro del frente de explotación sur, levemente hacia el oeste (anexo 6). Desde la cota 580 hasta la 560 posee valores altos de concentración de CaCO₃, aunque no se mantienen constantes, como lo demuestra la desviación estándar para estas cotas, además de la figura 76, donde se observa claramente las marcadas variaciones de las distintas concentraciones de los óxidos evaluados, en especial en las cotas adyacentes a la cota 575, donde hay un aumento marcado de la concentración SiO₂. Debido a que sólo es un pico y posteriormente la concentración de CaCO₃ alcanza de nuevo la concentración de las cotas superiores, se infiere que esta anomalía es causada por un entremezclado de mármoles con esquistos calcáreos generando así el aumento de las concentraciones de sílice para algunas de estas cotas, pero de igual manera no se realiza la diferenciación de rocas en la columna estimada, para estas cotas puntuales, ya que el proceso de explotación implica un mezclado de la roca en niveles de 10m, por lo que se considera el promedio de las concentraciones como criterio para la estimación litológica.

➤ PM8

Cota	PM8	CaCO ₃		SiO ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃		MgO	
		Prom %	Dev Est	Prom %	Dev Est	PProm %	Dev Est	Prom %	Dev Est	Prom %	Dev Est
Inicio 570	Tipo químico										
570-560	Mármol	99,74	0,75	0,48	0,16	0,26	0,03	0,15	0,02	0,47	0,08
560-550	Mármol	98,10	0,71	0,42	0,18	0,29	0,03	0,15	0,02	0,53	0,11
550-540	Mármol	96,31	1,33	2,75	2,14	0,28	0,04	0,16	0,04	0,44	0,04
540-530	Mármol	87,53	3,85	10,66	3,07	0,97	0,39	0,52	0,21	0,46	0,08
530-520	Mármol	82,63	5,10	14,17	4,00	1,66	0,37	0,88	0,22	0,54	0,05

Prom. Promedio %CaCO₃ cada 10m Dev Est: Desviación Estándar cada 10m

Tabla 8 PM8

Esta perforación se encuentra al noreste de la cantera, en el área que hay entre los dos frentes de explotación, en lo que para la fecha del trabajo es el nivel inferior de la cantera, la cota 570. En la roca de esta área, a través de la perforación, se observa una de las concentraciones más altas de CaCO₃, que además se prolonga 50m hacia cotas inferiores.

En el perfil se puede observar una tendencia constante de la variación de la concentración de CaCO₃ con respecto a la cota, sin presentar anomalías. También se observa como la concentración de CaCO₃ tiende a disminuir a medida que la profundidad es mayor, aun así la desviación estándar para cada decena de metros de la perforación, es de las menores de todo el estudio.

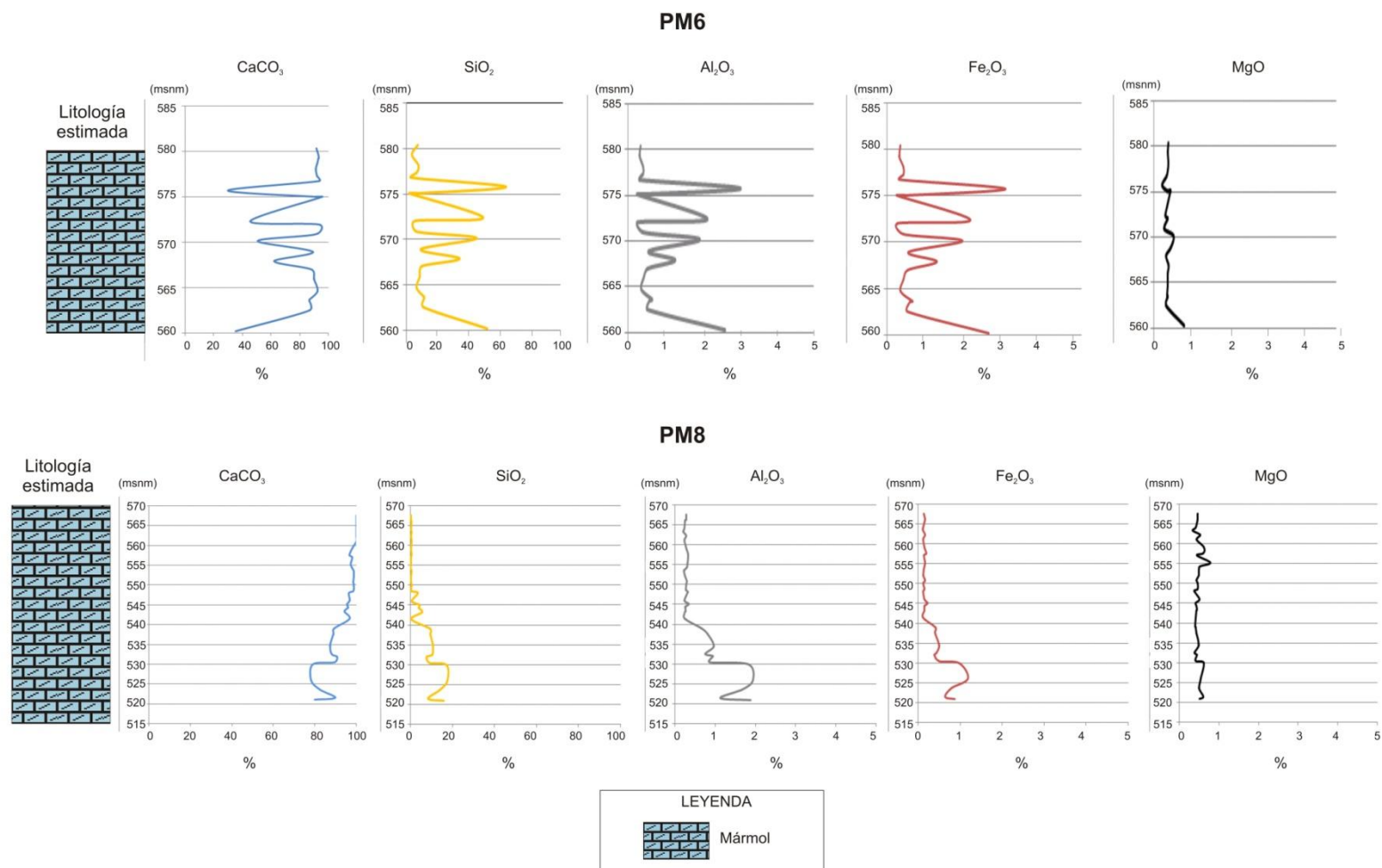


Figura 76 Columna litológica y Perfil de distribución de concentración de CaCO_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MgO , del PM6 y PM8

➤ PM9

Cota	PM9	CaCO ₃		SiO ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃		MgO	
		% Prom	Dev Est	% Prom	Dev Est	% Prom	Dev Est	% Prom	Dev Est	% Prom	Dev Est
Inicio 590	Tipo químico										
590-580	Mármol	99,44	0,71	0,41	0,11	0,27	0,02	0,16	0,07	0,35	0,11
580-570	Mármol	99,89	0,32	2,93	4,57	0,28	0,03	0,12	0,03	0,36	0,04
570-560	Mármol	98,39	4,81	1,65	3,81	0,27	0,05	0,19	0,16	0,32	0,03

Prom. Promedio %CaCO₃ cada10m Dev Est: Desviación Estándar cada 10m

Tabla 9 PM9

Esta perforación se encuentra al oeste del frente de explotación norte, en las rampas de acceso hacia los niveles superiores de la cantera (anexo 6).

En esta perforación se observa que esta roca también posee una alta concentración de CaCO₃, de las más altas de la cantera, que además se mantiene constante por más de 30m de profundidad desde la cota 590 hasta la cota 557, sin presentar anomalías. Se observa en la tabla 9 los bajos valores en la desviación estándar, por lo que se estima que toda la roca evaluada con este perfil posee una de las mejores concentraciones de CaCO₃ para la producción de cemento.

➤ PM12

Cota	PM12	CaCO ₃		SiO ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃		MgO	
		% Prom	Dev Est	% Prom	Dev Est	% Prom	Dev Est	% Prom	Dev Est	% Prom	Dev Est
Inicial 610	Tipo químico										
610-600	Mármol	96,03	1,03	1,94	1,94	0,26	0,26	0,14	0,14	0,34	96,03
600-590	Mármol	96,84	2,84	0,91	0,91	0,27	0,27	0,13	0,13	0,37	96,84
590-580	Mármol	95,43	2,43	3,54	3,54	0,41	0,41	0,15	0,15	0,36	95,43
580-570	Mármol	94,07	3,07	5,09	5,09	0,59	0,59	0,23	0,23	0,35	94,07
570-560	Mármol	91,72	2,72	6,67	6,67	1,03	1,03	0,40	0,40	0,41	91,72

Prom. Promedio %CaCO₃ cada10m Dev Est: Desviación Estándar cada 10m

Tabla 10 PM 12

La perforación PM12 se encuentra al extremo oeste de la cantera, al sur de la vía que va hacia el taller mecánico (anexo 6).

La perforación Alcanza hasta la cota 560 desde la cota 610, involucrando un espesor de 50m, posee altas concentraciones de CaCO₃, manteniendo valores constantes, sin anomalías apreciables a lo largo de la perforación. Posee la tendencia de disminuir las concentraciones de CaCO₃ a medida que tiende a cotas menores, aunque la menor evaluada posee una concentración de 91.72%, un 20% más del mínimo necesario para ser considerado como material adecuado para la producción de cemento.

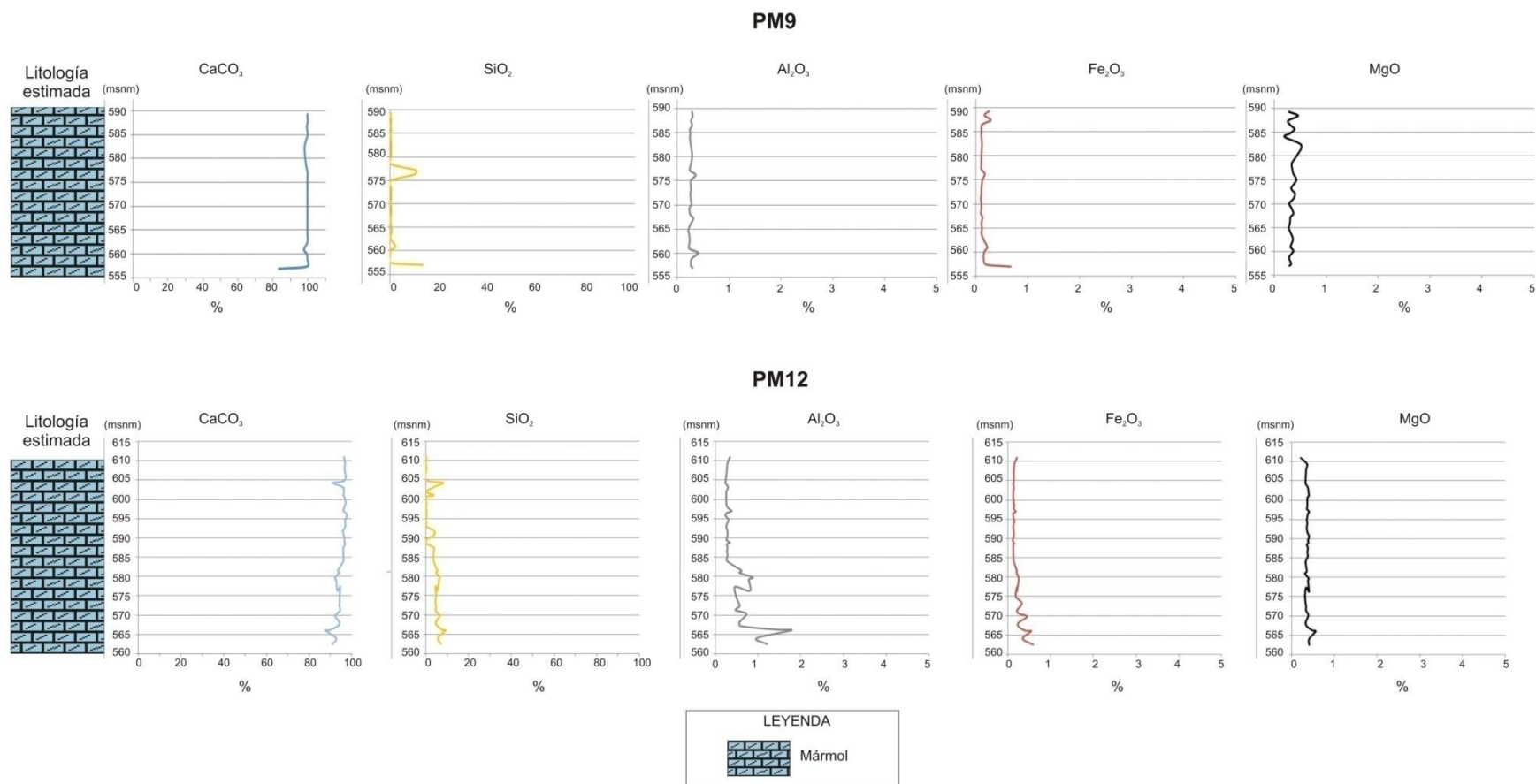


Figura 77 Columna litológica y Perfil de distribución de concentración de CaCO₃, SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, MgO, del PM9 y PM12

➤ PM14

Cota	PM14	CaCO ₃		SiO ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃		MgO	
		% Prom	Dev Est	% Prom	Dev Est	% Prom	Dev Est	% Prom	Dev Est	% Prom	Dev Est
Inicio 640	Tipo químico										
640-630	Mármol	73,04	8,10	20,57	6,28	2,02	1,12	0,85	0,22	0,55	0,09
630-620	Mármol	82,02	4,29	13,05	8,42	0,73	0,15	0,64	0,08	0,55	0,02
620-610	Mármol	81,89	2,20	12,88	8,62	1,01	0,70	0,65	0,09	0,52	0,03
610-600	Mármol	83,36	1,88	12,29	2,89	0,59	0,12	0,59	0,03	0,43	0,07
600-590	Mármol	73,37	1,13	19,35	1,50	2,75	0,79	0,81	0,07	0,63	0,28
590-580	Esquisto calcáreo	60,49	15,09	29,58	2,21	3,97	1,59	1,15	0,41	0,69	0,20
580-570	Esquisto calcáreo	35,57	8,70	48,42	0,96	6,36	1,16	1,73	0,36	1,09	0,23

Prom. Promedio %CaCO₃ cada 10m Dev Est: Desviación Estándar cada 10m

Tabla 11 PM14

Esta perforación se encuentra hacia el noreste de la cantera, en el frente de explotación norte (anexo 6). Va desde la cota 634 hasta la 590, debido a la concentración de CaCO₃, se estima que la roca es de tipo químico mármol. Para la decena superior de metros la concentración de CaCO₃, no es la mayor del perfil, se aprecia en la figura 78 un aumento de la concentración SiO₂ para dichas cotas, esto puede implicar vetas de cuarzo, que disminuyen el promedio por ende la calidad del mármol presente para esa decena de metro, pero aun así son buenos valores para la producción de cemento. En las cotas inferiores, desde la cota 590 hasta la 574 la concentración de CaCO₃ disminuye por lo que se estima que la roca presente es de tipo químico esquisto calcáreo.

➤ PM15

Cota	PM15	CaCO ₃		SiO ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃		MgO	
		% Prom	Dev Est	% Prom	Dev Est	% Prom	Dev Est	% Prom	Dev Est	% Prom	Dev Est
610-600	Esquisto Calcáreo	60,67	12,24	29,53	3,29	3,42	1,27	1,43	0,44	0,72	0,16
600-590	Esquisto Calcáreo	47,96	10,65	38,68	3,05	4,77	1,28	1,57	0,31	0,81	0,22
590-580	Esquisto Calcáreo	56,64	1,25	33,90	3,05	3,70	0,13	1,42	0,03	0,76	0,03
580-570	Esquisto Calcáreo	51,94	10,40	36,04	3,35	4,30	1,32	1,85	0,30	0,84	0,20
570-560	Esquisto Calcáreo	57,23	6,91	32,55	2,57	3,51	0,75	1,61	0,53	0,72	0,11
560-550	Esquisto Calcáreo	57,23	6,91	32,55	2,57	3,51	0,75	1,61	0,53	0,72	0,11
550-540	Esquisto Calcáreo	55,09	0,78	35,90	2,00	3,82	0,40	1,28	0,21	0,74	0,05

Prom. Promedio %CaCO₃ cada 10m Dev Est: Desviación Estándar cada 10m

Tabla 12 PM15

La perforación 15 se encuentra al norcentro del frente de explotación norte de la cantera (anexo 6). Desde la cota 606 hasta la cota 540 la roca presente se estima del tipo químico esquisto calcáreo, debido a su pobre concentración de CaCO₃ comparado con los porcentajes de la roca tipo mármol, el perfil es visible en la figura 78.

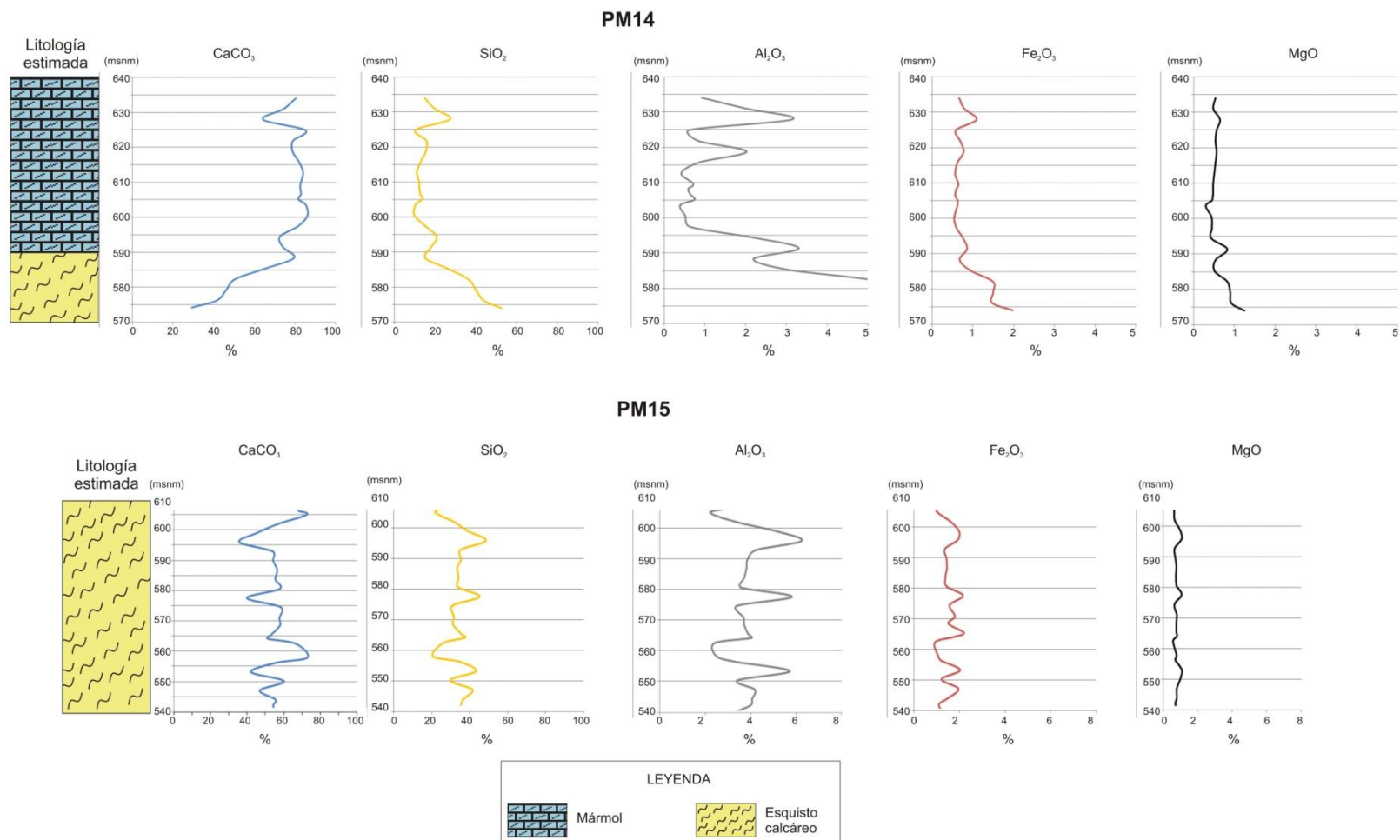


Figura 78 Columna litológica y Perfil de distribución de concentración de CaCO_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MgO , del PM14 y PM15

➤ PM16

Cota	PM16	CaCO ₃		SiO ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃		MgO	
		% Prom	Dev Est	% Prom	Dev Est	% Prom	Dev Est	% Prom	Dev Est	% Prom	Dev Est
Inicio 590	Tipo químico										
590-580	Esquisto Calcáreo	45,94	4,03	40,82	3,06	5,20	0,50	1,81	0,14	1,02	0,07
580-570	Esquisto Calcáreo	50,28	9,33	38,66	6,00	4,40	1,06	1,65	0,24	0,91	0,16
570-560	Esquisto Calcáreo	52,60	6,25	36,22	4,34	4,01	0,54	1,45	0,20	0,85	0,07
560-550	Esquisto Calcáreo	60,27	10,84	30,70	8,40	3,38	0,94	1,20	0,35	0,81	0,10

Prom. Promedio %CaCO₃ cada 10m Dev Est: Desviación Estándar cada 10m

Tabla 13 PM16

Esta perforación se encuentra al suroeste del frente de explotación norte, posee un espesor cercano a los 40m, de los cuales la roca presenta una concentración menor al 70% de CaCO₃, por lo que la roca es estimada de acuerdo a los criterios químicos como esquisto calcáreo, esta concentración menor, no permite la utilización de la roca para la producción de cemento o agregados. En la figura 79 se pueden observar las características de esta perforación en sus respectivos perfiles.

En el anexo 3 se puede observar la distribución espacial de las distintas perforaciones, con sus espesores originales para el año de la campaña de perforación (1995)

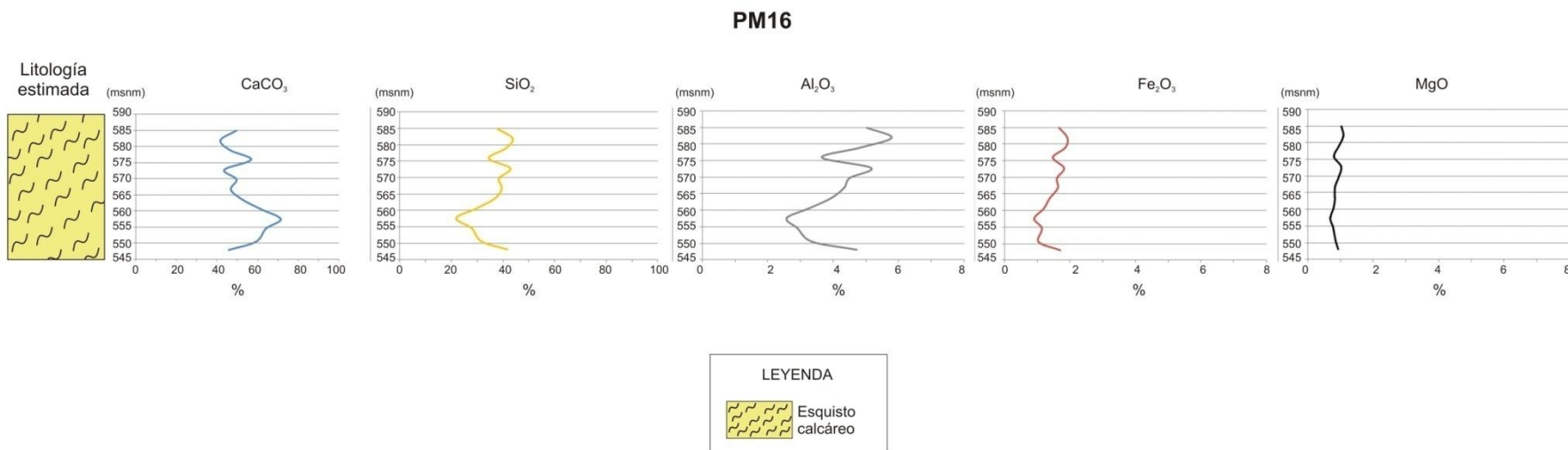


Figura 79 Columna de tipos químicos y Perfil de distribución de concentración de CaCO₃, SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, MgO, del PM16

CAPITULO VI

Geología de Yacimientos

VI.1 GENERALIDADES

En función de atender las demandas de la empresa F.N.C., la estimación de las reservas y el volumen del yacimiento se basa en el volumen del tipo químico establecido en el capítulo V de este trabajo. Es pertinente generar una relación entre el mencionado tipo químico y las unidades litológicas informales, ya que durante el proceso de explotación debe existir la relación del macizo aflorante con el tipo químico establecido.

Se encontraron tres unidades litológicas aflorando en la cantera, mientras que sólo se clasificaron dos tipos químicos según las concentraciones de carbonato de calcio presentes en la roca, según los valores analizados a partir de la campaña de perforación de 1995.

Posteriormente, con el método de perfiles paralelos se estima el volumen de la cantera para la fecha de las perforaciones ya mencionadas, y con una relación aritmética de acuerdo a la cantidad de toneladas explotadas por año, se estima el volumen actual del yacimiento restante.

VI.2 Tipos químicos

Dado a que las perforaciones arrojan valores de concentración de CaCO_3 , y de acuerdo a estos valores se discrimina si el material es aprovechable para la producción de cemento o agregados, se utiliza la discriminación sobre concentraciones de CaCO_3 para la estimación del tipo químico según los valores obtenidos de la campaña de perforación de 1995.

El criterio mencionado se basa en las exigencias del proceso de producción de cemento o agregados de la Planta Ocumare del Tuy, por lo que la concentración de

CaCO₃ debe exceder el 70%, para que pueda ser utilizado en los procesos de producción ya mencionados.

Para los valores mayores al 70% de CaCO₃ se considera a la roca un Mármol, mientras que para valores menores al 70% de CaCO₃, se considera que la roca es un Esquisto Calcáreo.

Si % CaCO₃ < 70% → Esquisto Calcáreo

Si % CaCO₃ > 70% → Mármol

VI.3 Relación tipos Químicos – Unidades Litológicas

A partir del estudio de fluorescencia de rayos x realizado a las 12 muestras tomadas durante el levantamiento, se obtiene que para todas las muestras clasificadas como Mármol grisáceo o Mármol negro, el porcentaje de CaCO₃ supera el 70%, con la excepción de la muestra MMU3, la cual alcanza una concentración de 63%, aún así esta muestra se presenta tanto en el estudio petrográfico como en el análisis de muestra de mano como un Mármol Grisáceo.

El análisis de fluorescencia de rayos x realizado en el laboratorio de la Planta Ocumare del Tuy, no arroja ningún valor que permita discriminar entre las unidades litológicas de Mármol Grisáceo y Mármol negro, por lo que ambas unidades litológicas se relacionan con un solo tipo químico: Mármol.

De las muestras tomadas durante el levantamiento geológico, todas las muestras caracterizadas como Esquisto Calcáreo poseen concentraciones menores al 70% de CaCO₃ de acuerdo al estudio de fluorescencia de rayos x realizado para las mismas. De manera tal que esta unidad se relaciona con el tipo químico Esquisto Calcáreo.

En la tabla 14 se puede apreciar cómo se relacionan las unidades litológicas con el tipo químico

Unidad Litológica	Descripción	Tipo Químico	Descripción
Mármol Grisáceo	Roca de color grisáceo, masiva, con alta competencia a romperse, en ocasiones con vetas de calcita y/o cuarzo; en sección fina se observa granoblástica, con abundantes cristales de calcita y en menor grado grafito. Pocas veces presenta cuarzo o moscovita.	Mármol	Roca que posee un porcentaje de carbonato de calcio mayor al 70%, en ocasiones alcanza hasta el 98%. Estas rocas presentan vetas de cuarzo que aumentan el porcentaje de óxido de sílice y disminuyen las concentraciones de carbonato de calcio por decena de metros de profundidad en las perforaciones.
Mármol Negro	Roca de color negro, masiva, con alta competencia romperse, en ocasiones con vetas de calcita y/o vetas mayores de cuarzo; en sección fina se observa granoblástica, con abundantes cristales de calcita y abundante grafito. Rara vez se observa cuarzo o moscovita.		
Esquistos Calcáreos	Roca que presenta bandas de colores, en especial gris marrón y blanco que corresponden a material carbonático, óxidos, y material cuarzoso respectivamente. Esta roca se presenta foliada, se rompe con facilidad, los afloramientos poseen alta frecuencia de diaclasas. En sección fina se observa calcita, cuarzo, moscovita, feldespato, entre otros, todos estos orientados en dirección de la foliación.	Esquisto Calcáreo	Roca que posee una concentración de carbonato de calcio menor al 70%, donde usualmente el óxido de sílice supera el 30% de la roca. Esta roca no es homogénea, tiene variaciones muy altas de óxido de sílice, y un aumento progresivo de óxido de aluminio y hierro en profundidad.

Tabla 14 Relación unidad litológica con tipo químico

VI.4 ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DEL YACIMIENTO

Por el método de los perfiles paralelos se estima el volumen sólo de la roca explotable, por ende, toda la roca que ha sido estimada como mármol según la discriminación química. Esta estimación es detallada en el capítulo V, en el análisis químico del mismo.

Para aplicar el método se utilizan las perforaciones del año 1995, calculando así el volumen para la fecha en las que fueron realizadas dichas perforaciones, ya que para la actualidad la roca en la que se realizaron algunas de las perforaciones ha sido consumida, y con las perforaciones restantes no es posible aplicar el método de los perfiles paralelos o algún otro que involucre las perforaciones.

Una vez calculado el volumen para el año 1995 se resta el consumo que se ha generado hasta la actualidad según los datos suministrados por la Planta Ocumare del Tuy, los cuales reflejan las toneladas totales anuales explotadas por la cantera

VI.4.1 Aplicación del método por perfiles paralelos

Se toman las secciones con la configuración que se aprecia en la siguiente figura 80 y el anexo 5a

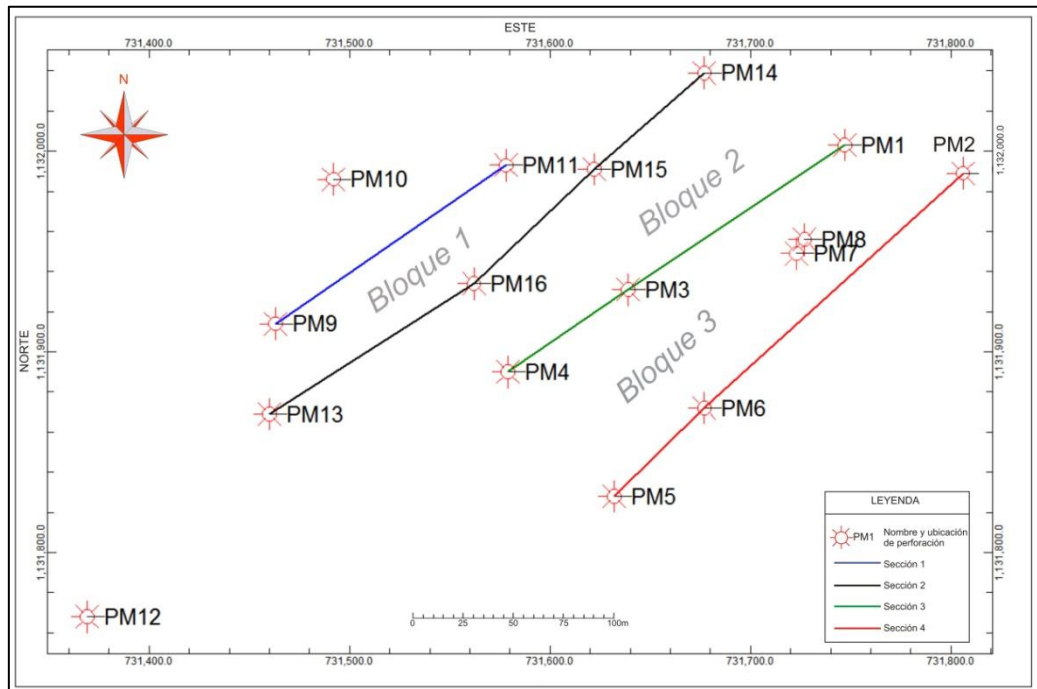


Figura 80 Mapa índice de secciones, el cual muestra las secciones pseudoparalelas entre sí, generadas por las distintas perforaciones, estas secciones a su vez generan 3 bloques a los cuales se les estima el volumen para finalmente obtener el volumen total del macizo

Se observa en la figura 47 que las perforaciones PM10 y PM12 no pertenecen a ninguna de las secciones escogidas, ni se encuentran dentro de alguno de los bloques generados por las distintas secciones. Todas las rocas que perfora PM10, según el análisis químico del capítulo V, son esquistos calcáreos, por lo que no se incluye en la estimación. Para el caso de las rocas que perfora PM12 todas fueron estimadas como Mármol, pero la ubicación de dicha perforación con respecto a las otras perforaciones no permite que PM12 sea incluida en el método de perfiles paralelos.

Se generaron 4 secciones visibles en la figura 47 y de estas 4 secciones se desprenden 3 bloques. Las perforaciones PM7 y PM8 están incluidas en la sección 4 (color rojo), con ayuda de la extrapolación que genera el programa *Rockworks* para perfiles con perforaciones cercanas. En el anexo 5e se puede observar el modelado del

perfil realizado con el programa *Rockworks*, que posteriormente fue editado, según las interpretaciones realizadas.

Posteriormente se miden las áreas de cada sección en perfil, con ayuda del programa *Rockworks*. Estos perfiles se encuentran detallados en el anexo 5. Luego se obtiene la distancia entre las secciones (D), en el caso en el que las secciones no sean enteramente paralelas, se promedian distintas distancias, entre diferentes puntos de las secciones, posteriormente se utiliza la fórmula:

$$V_{bloque} = \frac{(A1 + A2)}{2} * D$$

En la tabla 15 de volúmenes de bloques se puede observar lo volúmenes hallados para los distintos bloques

Bloque	A1	A2	Distancia m	Volumen m ³
1	7693,80	9048,50	34,26	286795,599
2	9048,50	12911,20	61,40	674162,79
3	12911,20	15598,90	70,50	1004981,025

Tabla 15 Volumen de los bloques

Posteriormente se suma los volúmenes de cada bloque para obtener un volumen en m³, para el año 1995, el cual es convertido a toneladas. Luego se restan las toneladas explotadas anualmente, según los datos obtenidos en la Planta Ocumare del Tuy. Vale la pena acotar que de acuerdo a estos datos no se explotó material desde 1995 hasta 1998.

Una vez restadas las toneladas explotadas anualmente, se obtiene la estimación del volumen del yacimiento de la cantera Mume para la actualidad. Tabla 16 Volumen cantera Mume

Volumen total 1995	1965939,41 m ³
Total Toneladas 1995	5111442,48 t
total Toneladas consumidas	2736506,57 t
Volumen actual	2374935,90 t

Tabla 16 Volumen cantera Mume

CAPÍTULO VII

SUMARIO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VII.1 SUMARIO

- En la cantera Mume se caracterizaron tres unidades litológicas informales, identificadas como Mármoles Grisáceos, Mármoles Negros y Esquistos Calcáreos.
- Se tomaron 39 muestras duras a lo largo del afloramiento, las cuales fueron descritas a través de una breve tabla y un análisis posterior más detallado para interpretar y caracterizar los afloramientos presentes en el macizo.
- Se seleccionaron 12 muestras para el estudio petrográfico para analizar sus características visibles bajo el microscopio.
- A las mismas 12 muestras se les realizó un análisis de fluorescencia de rayos x por dispersión de energía (FRX-DE) con la finalidad de obtener una relación química-litológica entre las muestras colectadas en campo con las perforaciones realizadas en 1995.
- Se generaron 12 tablas descriptivas del análisis petrográfico correspondiente a las 12 muestras tomadas durante el levantamiento geológico. En las mismas se especifican los porcentajes de los minerales presentes, facies metamórfica, textura y tipo de roca de acuerdo al análisis realizado bajo el microscopio, además se incluyen los datos obtenidos en el estudio de fluorescencia de rayos x.
- Se generó una tabla con los resultados del estudio de fluorescencia de rayos x con la finalidad de analizar las características químicas evaluadas, en relación con la unidad litológica a la que pertenece cada muestra.
- Se analizaron las estructuras de deformación de régimen dúctil, generando redes estereográficas, las cuales representan para cada estructura el plano axial, por ende la dirección de deformación de cada uno de los plegamientos estudiados, así como una red estereográfica de densidad de polos, de todas las direcciones de deformaciones.

- Se analizaron las estructuras de régimen frágil, generando redes estereográficas, con la finalidad de representar los planos de fallas y su movimiento relativo.
- Se generó un perfil geológico con la finalidad de mostrar las estructuras presentes y la distribución del macizo en profundidad.
- Se generó la secuencia de eventos de deformación del macizo, en orden cronológico relativo, con la finalidad de conocer la génesis del macizo.
- Se analizaron todas las diaclasas observadas durante el levantamiento geológico a través de la generación de una tabla comparativa de las características de cada familia de diaclasas. Además se generó una red estereográfica de densidad de polos de diaclasas con la finalidad de obtener las diaclasas mayores que presenta el macizo.
- Tanto para la unidad de Mármoles Grisáceos como para la unidad de Mármoles negros, las concentraciones de carbonato de calcio superan el 70%, mientras que para la unidad de Esquistos Calcáreos son inferiores al 70%.
- Se realizaron 9 tablas explicativas correspondiente a cada una de las perforaciones en las rocas aun no consumidas, las cuales poseen valores de concentración de CaCO_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y MgO en promedios de cada 10 metros de perforación, así como su desviación estándar por decena de metros. Además, se estimaron tipos químicos para cada decena de metros según la concentración de CaCO_3 primordialmente, con la finalidad de obtener nociones claras de la distribución del macizo, así como para generar una herramienta necesaria para la estimación del volumen del yacimiento.
- Se realizaron perfiles gráficos que representan las concentraciones de los óxidos de CaCO_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y MgO versus la variación de los mismos en profundidad, además se identificaron los tipo litológicos, con la finalidad de explicar de una manera más didáctica la distribución del macizo en profundidad
- Se realizó un panel entre las perforaciones vigentes con la finalidad de entender y analizar la distribución en profundidad del macizo
- Se generó una tabla que contiene la relación entre las unidades litológicas y los tipos químicos, con la finalidad de explicar de una manera más didáctica la mencionada relación.

- Se estimó el volumen de macizo para el año 1995, en concordancia con las perforaciones, por el método de perfiles paralelos, para luego restarle el volumen consumido hasta la fecha con la finalidad de estimar el volumen actual restante del yacimiento.

VII.2 CONCLUSIONES

- La zona de estudio pertenece a la Filitas de Tucutunemo, ya que presenta mármoles negros que son distintivos de esta unidad, así como también mármoles grisáceos. A diferencia de algunos trabajos previos los cuales proponen a la zona de estudio como Esquistos Las Mercedes, vale la pena acotar que esta zona se encuentra al sur de la falla de La Victoria y al este de la falla de Tácata, lo que imposibilita que esta zona pertenezca a los Esquistos Las Mercedes
- A diferencia de los trabajos previos, los cuales señalan que la roca calcárea presente es caliza, se caracteriza a esta roca como un mármol ya que la misma ha sufrido el metamorfismo requerido para ser considerada como tal.
- De acuerdo al estudio petrográfico todas las unidades presentes pertenecen a la facies de los esquistos verdes de grado de metamorfismo bajo.
- El macizo es un sinforme de tamaño macroscópico, con un ángulo interlimbar que varía de muy abierto a abierto, de oeste a este. Posee deformaciones de menor envergadura en sus limbos.
- Se estiman 3 eventos de deformación, los cuales incluyen un primer evento de metamorfismo, un segundo evento que conforma deformaciones menores y un tercer evento, que deforma macroscópicamente al macizo, hasta el punto de fallarlo.
- Para la unidad de esquistos calcáreos, a mayor profundidad hay una tendencia de disminución en la concentración de CaCO_3 .
- Para la unidad de Mármoles Grisáceos, las concentraciones de CaCO_3 aumentan hacia los extremos suroeste y noroeste.
- El factor multiplicador aplicado por el laboratorio de la Planta Ocumare del Tuy, de 1,784 para obtener la concentración de CaCO_3 a partir del valor de CaO es

- adecuado, ya que fue comprobado con la relación estequiometrica, obteniendo un rango de error entre los distintos métodos, menor a 1×10^{-3} .
- Debido a la continua explotación del macizo, la roca evaluada durante la campaña de perforación de 1995, ha sido consumida para algunas de las ubicaciones de las perforaciones mencionadas. Este vacío de información que se genera, imposibilita la adecuada estimación volumétrica del yacimiento restante en la actualidad.
 - El volumen del área aledaña al taller mecánico (extremo oeste), que contiene a la perforación PM12, no puede ser estimado debido a que esta perforación está aislada de las demás, por lo que no es posible aplicar métodos de estimación volumétrica.
 - El volumen estimado para la actualidad, permite que la cantera pueda seguir siendo explotada por al menos 6 años más, según las toneladas que se explotan mensualmente en la actualidad.

VII.3 RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar las orientaciones de las diaclasas mayores, como consideración de carácter geotécnico para los futuros diseños de los niveles y taludes de la cantera.
- Se recomienda reubicar el botadero noreste, ya que del análisis de la perforación PM8, adyacente al mencionado botadero, se estima un espesor de 50m de profundidad de mármol para la roca ubicada en dicha perforación, adecuado para la producción de cemento.
- Dado a la incongruencia entre la información obtenida a través del análisis de la perforación PM9, con la identificación de unidades durante el levantamiento geológico, se recomienda un estudio puntual de esta área, en especial en profundidad. Ya que la roca de esta área es caracterizada como Esquistos Calcáreos en el levantamiento geológico, y en el análisis de la perforación se estima como mármol, debido a las altas concentraciones de CaCO_3 que posee.

- Se recomienda realizar una nueva campaña de perforación, que tenga una configuración de mallado donde uno de los ejes de este mallado coincida con el eje del pliegue denominado como Familia de Pliegues 4, ya que esta es la estructura macro que define la disposición espacial del material explotable. Además, con esta nueva campaña de perforación es posible estimar con mayor precisión el volumen restante del yacimiento.

- Se recomienda que la nueva campaña de perforación involucre el extremo oeste de la cantera, ya que en el análisis de la perforación PM12, ubicada en dicha área, se estima una columna de 50m de mármol, adecuado para la producción de cemento y agregados.

- Se recomienda realizar análisis geofísicos del macizo, a través de prospecciones de métodos sísmicos, con el fin de delimitar, con un método más preciso, al yacimiento.

CAPITULO VIII

BIBLIOGRAFÍA

- AGUERREVERE, S. & ZULOAGA, G. 1937. *Observaciones geológicas en la parte central de la Cordillera de la Costa*. Bol. Geol y Min., Caracas
- ANNELS, A. 1991. *Mineral deposits evaluation: A practical approach*. Londres. Ediciones Chapman and Hall.
- BECK, C. 1986. *Geologie de la chaine Caraïbe su meridiem de Caracas (Venezuela)*. Soc. Geol. de Nord, Villeneuve s'Ascq, Francia, Public. no. 14, 462 p.
- BELIZZIA & RODRÍGUEZ G., D. 1976. *Geología del estado Yaracuy*. Cong. Geol. Ven IV Caracas Noviembre 1969 Memorias, Bol. Geol. Caracas, Public. Esp. 5 VI: 3317-3417.
- BENJAMINI, C.; R. SHAGAM & A. MENÉNDEZ. 1986-a. *(Late?) Paleozoic age for the "Cretaceous" Tucutunemo Formation, Northern Venezuela: Stratigraphic and tectonic implications*. Geology, (15): 922-926.
- BENJAMINI, C., R. SHAGAM & A. MENÉNDEZ V. 1986-b. *Formación Tucutunemo*. Mem. VI Congr. Geol. Venezolano, Caracas, 10: 6551-6574.
- BUSTILLO, M. & LÓPEZ, C. 1997. *Manual de evaluación y diseño de explotación minera*. 220p.
- CAMPOSANO, L. & MARTÍNEZ, N. 2000. *Caracterización química y radiométrica de secciones*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Geólogo, inédito, 245p.
- Efectos de los rayos x <http://interempresas.net/fotos/198272.jpeg>
- FÁBRICA NACIONAL DE CEMENTOS. 1998. *Plan de explotación cantera Mume*. Fábrica Nacional de Cementos, Ocumare del Tuy, inédito.
- FÁBRICA NACIONAL DE CEMENTOS. 2009. *Actualización topográfica de la cantera Mume*. Fabrica Nacional de Cementos, Ocumare del Tuy. Escala 1:1000.
- GEOCONSULTA C.A. 2000. *Proyecto de explotación cantera Mume*. Geoconsulta C.A., inédito, 27p.

- GEOCONSULTA C.A. 2005. *Plan de explotación cantera de caliza Mume, Municipio Cristóbal Rojas, estado Miranda*. Geoconsulta C.A., inédito, 45p.
- GÓMEZ, A. & MAYORA, M. 2006. *Caracterización geológica de la faja dolomítica de la zona ubicada entre Cañango y Patanemo, distrito Puerto Cabello, estado Carabobo*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito, 117p.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C, AROZENA & X. PICARD-CADILLAT, 1980. *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Caracas, Foninves ediciones, v.2, 1051p.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. 2002. *Ingeniería Geológica*. México, D.F. Prentice Hall. 965p.
- GRANDE, S. 1995. *Caracterización geoquímica de las metalavas del Miembro Los Naranjos, Formación Tucutunemo, Aragua central y su interpretación tectónica*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo de ascenso a la categoría de asistente, inédito, 32p.
- GRANDE, S. 2000. *Mineralogía para geólogos*. Universidad central de Venezuela. 420p.
- Guía geográfica de los países del mundo por continentes, sur América, Venezuela <http://geografia.laguia2000.com/climatologia/venezuela-clima>
- HERNÁNDEZ, M. & MARTÍNEZ, R. 2008. *Análisis de los parámetros geomecánicos en la excavación del túnel de Trasvase Taguaguay-Valles de Tucutunemo, estado Aragua. Progresivas 0+000-0+200*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Geólogo, inédito, 173p.
- HOPKINS, K. 1997. *Estadística básica para las ciencias sociales y del comportamiento*. Universidad de Colorado. Editorial Prentice Hall.
- Imagen satelital de Charallave. <http://maps.google.es>. Consulta: Noviembre 2009.
- Imagen satelital de Sur América: línea ecuatorial. Google Earth. Consulta: Enero 2010.
- LÓPEZ, B. & REYES Z. 2010. *Estudio geológico-geotécnico de una zona ubicada al oeste del poblado Tácata, estado Miranda*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito,
- Mapa neotectónico de Venezuela. <http://www.funvisis.gob.ve>. Consulta: Enero 2010.
- Mapa de relieve del estado Miranda. <http://maps.google.es>. Consulta: Marzo 2010.

- MENÉNDEZ, V. 1965. *Geología del área del Tinaco, centro-norte del estado Cojedes*. Bol. Geol. Caracas 6 417-543.
- NEUMAN, A. 1964. *Estudio geológico-económico de yacimientos de yeso y caliza en la Península de Paria, estado Sucre*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito, 68p.
- RODRÍGUEZ, J. & URBANI, F. 2004. *Mapa geológico de la región de Quebrada de Cúa*. Atlas geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Integración de la Información en hojas a escala 1:25.000. Ediciones Fundación Geos, Caracas.
- ROLLINSON, H. 1993. *Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation*. New York, Longman scientific and technical. 352 p. Essex.
- SHAGAM, R. 1960-a. *Geología de Aragua central (Venezuela)*. III Cong. Geol. Venezolano, Caracas, 2: 574-675.
- SKOOG, D.A. & WEST, D.M. 1992. *Fundamentos de Química Analítica*. Ediciones Reverté, Barcelona.
- SMITH R. (1952), condujo un estudio de la geología en el estado Miranda, publicado en el Boletín de Geología del Ministerio de Minas e Hidrocarburos en el año 1953
- VAN BERKEL, D. 1988. *Estudio geológico del área de Tácata-Altagracia de la Montaña, estado Miranda*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito.
- VELARDE, H. 1954. *Estudio geológico de las canteras de Carapita al noreste de Antímano, Distrito Federal*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Geólogo, inédito, 93p.
- VILLENA, G. & DE ABREU, J. 1985. *Plan de explotación de la cantera El Melero, Distrito Cristóbal Rojas, Municipio Charallave, estado Miranda*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Geólogo, inédito.
- WEHRMANN, M. 1972. *Geología de la región de Guatire-Colonia Tovar*. IV Cong. Geol. Venezolano, Caracas, 4: 2093-2121.
- YARDLEY, B. 1989. *An introduction to metamorphic petrology*. New York, Longman Scientific Technical, 248p.
- YARDLEY, B.; MACKENZIE, W.; & GUIFORD, C. 1997. *Atlas de rocas metamórficas y sus texturas*. Editorial Masson S.A. Zaragoza, España, 120p.

ANEXOS