

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE
CARRERA DE GEOLOGÍA

TRABAJO DE GRADUACION



ESTUDIO GEOLÓGICO EN BAJA VERAPAZ: "ANÁLISIS DEL
FRACTURAMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD
DE EXPLOTACIÓN DE MÁRMOL ROSA, EN UN ÁREA DE 9 km²
EN LA ALDEA LOS JOBOS DEL MUNICIPIO DE
SANTA CRUZ EL CHOL"

LUIS ERICK CHAVARRÍA NOACK

COBÁN, ALTA VERAPAZ MARZO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE
CARRERA DE GEOLOGÍA

TRABAJO DE GRADUACION

ESTUDIO GEOLÓGICO EN BAJA VERAPAZ: "ANÁLISIS DEL
FRACTURAMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD
DE EXPLOTACIÓN DE MÁRMOL ROSA, EN UN ÁREA DE 9 km²
EN LA ALDEA LOS JOBOS DEL MUNICIPIO DE
SANTA CRUZ EL CHOL"

PRESENTADO AL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO DEL
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

POR

LUIS ERICK CHAVARRÍA NOACK
CARNÉ: 201241144

COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR AL TÍTULO DE
TÉCNICO EN GEOLOGÍA

COBÁN, ALTA VERAPAZ MARZO DE 2017

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR MAGNÍFICO

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

CONSEJO DIRECTIVO

PRESIDENTE:	Lic. Zoot. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales
SECRETARIO:	Ing. Geól. César Fernando Monterroso Rey
REPRESENTANTE DE DOCENTES:	Lcda. T.S. Floricelda Chiquín Yoj
REPRESENTANTE EGRESADOS:	Lic. admón. Fredy Fernando Lemus Morales
REPRESENTANTES ESTUDIANTILES:	Br. Fredy Enrique Gereda Milián PEM. César Oswaldo Bol Cú

COORDINADOR ACADÉMICO

Ing. Francisco David Ruiz Herrera

COORDINADOR DE LA CARRERA

Ing. Geól. Sergio David Morán Ical

COMISIÓN DE TRABAJO FINAL DE CAMPO

COORDINADOR:	Ing. Geól. Luis Alfonso Laj Hun
SECRETARIO:	Ing. Geól. Claudia Patricia Muñoz Castro
VOCAL:	Ing. Geól. Luis Gustavo Chiquín Marroquín

REVISOR DE REDACCIÓN Y ESTILO

Ing. Química Verónica Beatriz Juárez Jiménez

REVISOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Ing. Geól. Bernie Gamaliel Castillo Moeschler

ASESOR

Ing. Serio David Morán Ical

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



**CENTRO UNIVERSITARIO
DEL NORTE (CUNOR)
CARRERA GEOLOGÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz

PBX: 79 566 600 Ext. 209

Guatemala, C. A.

c. e.: geologiausac@gmail.com

Ref. 15-CG-315/2016
30 de noviembre de 2016

Señores
Comisión Trabajos de Graduación
Nivel Intermedio, Carrera Geología
CUNOR

Señores:

Por este medio informo a ustedes que he procedido a la **ASESORÍA** del informe final del Trabajo de Graduación del Nivel Intermedio, del estudiante **LUIS ERICK CHAVARRÍA NOACK**, carné n°. **201241144**, titulado: **“ESTUDIO GEOLÓGICO EN BAJA VERAPAZ: ANÁLISIS DEL FRACTURAMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE EXPLOTACIÓN DE MÁRMOL ROSA, EN UN ÁREA DE 9 km² EN LA ALDEA LOS JOBOS DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ EL CHOL”**, el cual someto a consideración de ustedes, para su aprobación.

Atentamente

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Geól. Sergio David Morán Ical
Docente Asesor
Carrera Geología
CUNOR



c.c. archivo

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



Ref. 15-CG-18/2017
25 de enero de 2017

**CENTRO UNIVERSITARIO
DEL NORTE (CUNOR)
CARRERA GEOLOGÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz
PBX: 79 566 600 Ext. 209
Guatemala, C. A.
e. e.: geologiausac@gmail.com

Señores
Comisión Trabajos de Graduación
Nivel Intermedio, Carrera Geología
CUNOR

Señores:

Por este medio informo a ustedes que he procedido a la **REVISIÓN** del informe final del Trabajo de Graduación del nivel intermedio, del estudiante **LUIS ERICK CHAVARRÍA NOACK**, carné n°. **201241144**, titulado: **“ESTUDIO GEOLÓGICO EN BAJA VERAPAZ: ANÁLISIS DEL FRACTURAMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE EXPLOTACIÓN DE MÁRMOL ROSA, EN UN ÁREA DE 9 km² EN LA ALDEA LOS JOBOS DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ EL CHOL”**, el cual someto a consideración de ustedes, para su aprobación.

Atentamente

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. M. Sc. Bernie Gamaliel Castillo Moeschler
Docente Revisor
Carrera Geología
CUNOR



c.c. archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



Ref. 15-CG-93/2017
21 de marzo de 2017

**CENTRO UNIVERSITARIO
DEL NORTE (CUNOR)
CARRERA GEOLOGÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz
PBX: 79 566 600 Ext. 209
Guatemala, C. A.
c. e.: geologiauisac@gmail.com

Señores Miembros
Comisión Trabajos de Graduación
Nivel Intermedio, Carrera Geología
CUNOR

Respetables Señores:

Adjunto remito el Informe Final del trabajo de graduación de nivel intermedio, titulado: **“ESTUDIO GEOLÓGICO EN BAJA VERAPAZ: ANÁLISIS DEL FRACTURAMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE EXPLOTACIÓN DE MÁRMOL ROSA, EN UN ÁREA DE 9 km² EN LA ALDEA LOS JOBOS DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ EL CHOL”**, del estudiante **LUIS ERICK CHAVARRÍA NOACK**, carné n°. **201241144**, el cual ya fue revisado como miembro de la Comisión de Redacción y Estilo de la Carrera de Geología, quien considera llena los requisitos establecidos para su aprobación.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Comisión de Redacción y Estilo
Carrera Geología

Inga. Verónica Beatriz Juárez Jiménez
Docente Carrera Geología
CUNOR



c.c. Archivo.

HONORABLE COMITÉ EXAMINADOR

En cumplimiento a lo establecido por los estatutos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a consideración de ustedes el trabajo de graduación titulado: ESTUDIO GEOLÓGICO EN BAJA VERAPAZ: "ANÁLISIS DEL FRACTURAMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE EXPLOTACIÓN DE MÁRMOL ROSA, EN UN ÁREA DE 9 km² EN LA ALDEA LOS JOBOS DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ EL CHOL" como requisito previo a optar al título profesional de Técnico en geología



Luis Erick Chavarria Noack
Carné: 201241144

RESPONSABILIDAD

“La responsabilidad del contenido de los trabajos de graduación es: Del estudiante que opta al título, del asesor y del revisor; la Comisión de Redacción y Estilo de cada carrera, es la responsable de la estructura y la forma”.

Aprobado en punto SEGUNDO, inciso 2 .4, subinciso 2.4.1 del Acta No. 17-2012 de Sesión extraordinaria de Consejo Directivo de fecha 18 de julio del año 2012.

ACTO QUE DEDICO A:

**La memoria de
mi querido hermano
Pablo Cesar Chavarria**

Tú serás siempre la inspiración de mi vida. Tengo la esperanza que donde estés, sonrías por este triunfo que comparto contigo. Te amo y no pasa un día en el que no te extrañe.

**Quienes ya no están
Con nosotros**

El estimado Dr. Humberto Palacios, mi querida tía Otilia Noack, Sr. Otto Noack y mis abuelos Angelina Rey y Pablo Noack.

Mis padres

Erwin Chavarria, porque siempre estás dispuesto a todo por mí, gracias por impulsarme siempre a ser un hombre de bien. Dora Ilse Noack, por tu risa, tu llanto, tus desvelos, tu apoyo, pero principalmente por tu amor, sin ti, yo nunca hubiese podido alcanzar este día.

**Mi hermano,
Otto Chavarria**

Por tu fortaleza, tu nobleza y por siempre velar por mí, gracias por todo lo que me has inculcado, enseñado y compartido conmigo.

Mis abuelos

Federico Chavarria y Elizabeth Cajbom, por enseñarme el valor del trabajo duro, la honestidad y que el camino del bien siempre es el correcto.

**Mi sobrino,
Otto Erick Chavarría**

Por enseñarme con tu inocencia y tu ternura lo bello de la vida.

Mi familia

Mis tíos: Erick, Luis, Otto, Linda, Narda, Blanca, Ragna y Frieda y mis primos, por compartir conmigo lo bueno y lo malo de la vida.

Mis padrinos

Otto Noack y Bonnie de Noack, por su cariño sincero, gracias por siempre velar por mí.

**El amor de mi vida,
Rocío Palacios**

Porque tu cariño, comprensión, apoyo, consuelo y amor son lo que me inspira a luchar por mis sueños cada día. Sin ti, mi presencia hoy aquí sería imposible. No alcanzaría una vida entera para agradecerte.

AGRADECIMIENTOS A:

- | | |
|--|---|
| Dios | Porque todo lo que soy y lo que he logrado hasta este día ha sido por tu amor y gracia. |
| La Universidad de San Carlos de Guatemala | Mi eterna gratitud y respeto por cobijarme como a un hijo y entregarme la más valiosa virtud que posee: el conocimiento. |
| Centro Universitario Del Norte | Por haberse convertido en mi hogar durante estos años y permitirme desarrollarme no solo como profesional sino además como una mejor persona. |
| La Carrera de Geología | Por atestiguar éxitos y fracasos. Siempre será un orgullo y un honor formar parte de ella. |
| Mi asesor,
Ing. Sergio Moran | Por motivarme siempre a dar lo mejor de mí, su enseñanza la tendré siempre presente en mi vida. |
| Mis maestros | Ing. Fernando Monterroso, Bernie Castillo, Osmin Vásquez, Ricardo Milian, Aroldo Perdomo e Inga. Silvia Cortez, por compartir su conocimiento y su tiempo desinteresada y gentilmente, mis infinitas gracias a Uds. |

Mis compañeros

En especial, Gerson Ramos, Kevin Enriquez, Edson González y Cesar Chavarría por el invaluable apoyo que siempre me brindaron, este triunfo es de Uds.

Mis amigos

Carlos Milian, José Mo y Fernando Monterroso, por su sincera amistad durante tantos años.

Las personas de la comunidad de Los Jobos, B.V.

En especial al Sr. Sabino Orrego y su familia por todas las consideraciones que tuvieron conmigo durante la realización de este estudio. Mil gracias.

ÍNDICE GENERAL

	Página
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS	ix
RESUMEN	xi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I MARCO CONCEPTUAL

1.1	Antecedentes del Problema	3
1.2	Planteamiento del Problema	5
1.3	Objetivos	5
	1.3.1 General	5
	1.3.2 Específicos	6
1.4	Hipótesis	6

CAPÍTULO 2 DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD PRÁCTICA

2.1	Localización Geográfica	7
2.2	Vías de Acceso	9
2.3	Geología Regional	10
	2.3.1 Litoestratigrafía	10
	2.3.2 Tectónica	13
	2.3.3 Geomorfología	14

CAPÍTULO 3 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS

3.1	Marco Metodológico	21
	3.1.1 Etapa de Recopilación y Análisis Bibliográfico	21
	3.1.2 Etapa de Campo	22
	3.1.3 Etapa de Laboratorio	24
	3.1.4 Etapa de Gabinete	24

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1	Estratigrafía Local	25
4.1.1	Unidad de Gneis Biotítico (Gb)	26
4.1.2	Unidad de Mármoles y Esquistos (Ume)	30
4.1.3	Unidad de Para-anfibolitas (Upa)	37
4.1.4	Unidad de Serpentinitas (Usp)	40
4.1.5	Unidad de Lavas Basálticas Terciarias (Tlb)	47
4.1.6	Unidad de Coluvión (Qcol)	52
4.2	Geología Estructural	53
4.2.1	Foliación	53
4.2.2	Pliegues	59
4.2.3	Pliegues Secundarios	61
4.2.4	Lineaciones	62
4.2.5	Diaclasas	66
4.2.6	Grietas de Tensión	67
4.2.7	Zonas de Cizalla	68
4.2.8	Fallas	70
4.2.9	Análisis Estructural	75
4.3	Geomorfología Local	80
4.3.1	Unidades Denudacionales	80

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1	Factibilidad de explotación de yacimientos de mármol	91
5.1.1	Familias y Orientación	93
5.1.2	Juntas por metro (Jv o Juntas x volumen)	94
5.1.3	Espaciado	95
5.1.4	Continuidad	96
5.1.5	Abertura	97
5.1.6	Relleno	98
5.1.7	Meteorización	99
5.1.8	Rugosidad	99
5.1.9	Dureza	100
5.1.10	Condiciones Hidrológicas	101
5.2	RMR Básico	102
5.2.1	Estructura, juntas por volumen (Jv), RQD y espaciado	102
5.2.2	Continuidad	105
5.2.3	Abertura	106
5.2.4	Relleno	107
5.2.5	Meteorización	108

5.2.6	Rugosidad	109
5.2.7	Dureza (Compresión Simple aproximada)	110
5.2.8	Condiciones Hidrológicas	111
5.2.9	RMR básico, puntuación total y Calidad del Macizo	111
5.2.10	Puntuación Alternativa	112
5.3	Análisis de factibilidad de explotación	113
5.4	Observaciones	115
CONCLUSIONES		117
RECOMENDACIONES		119
BIBLIOGRAFÍA		121
ANEXOS		125

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Parámetros medidos en las fracturas del mármol	23
2	Columna litoestratigráfica de las unidades del área de estudio	26
3	Estereogramas de la foliación del mármol en el área. con una orientación media hacia NW de N310°	55
4	Estereogramas para la representación de la foliación de las serpentinitas en el área. con una orientación media hacia el nw de n301°	55
5	Estereograma que presenta los polos de planos de foliación en las anfibolitas en el área. el plano muestra una orientación media hacia el NW de N295°	56
6	Estereogramas representando los polos de planos de foliación del gneis biotítico en el área de estudio. Presenta una orientación media NW-SE de N315°	56
7	Estereograma representando los polos de planos de foliación de todas las unidades en el área de estudio. Presenta una orientación media NW-SE de N301°	57
8	Diagrama de polos para los planos axiales de crenulación en serpentinitas	58
9	Diagramas de contornos y ejes de pliegue en las unidades de gneis, serpentinita y anfibolitas del área de estudio.b	59
10	Estereograma de ejes de pliegue y traza de eje en las unidades de gneis, serpentinita y anfibolitas del área de estudio	61
11	Diagrama de polos y de contornos para los ejes de crenulación en la serpentinita. La orientación media de los polos es de N104° (trend).	63
12	Diagrama de polos y contornos para los ejes de boudines en el mármol. La orientación media de los polos es de N250° (trend).	64
13	Estereograma para los ejes de lineación mineral y traza de eje en la unidad de gneis.	65
14	Diagrama de roseta para las diaclasas de todas las unidades del área estudio. La orientación es NE-SW de N44°	66
15	Diagrama de roseta para las grietas de tensión en el área de estudio. La orientación media es de NE-SW de N54°	67
16	Diagrama de contornos para las fallas normales puras del área. Guirnalda media	71
17	Estereograma para las fallas normales dextrales.	72

18	Estereograma de para las fallas inversas puras. Guirnalda media.	73
19	Estereograma donde se muestran los planos medios para las fallas inversas con componentes de rumbo	74
20	Rosetas ilustrando el rumbo de fallas normales (gris), fallas inversas (verde), diaclasas (rojo) y grietas de tensión (violeta).	76
21	Modelo estructural frágil para el primer dominio	77
22	Traza de ejes de boudin (naranja), traza de ejes de pliegue (azul) y plano medio de foliación S2 (negro).	77
23	modelo estructural dúctil para El segundo dominio	78
24	Modelo Estructural Dextral Los Jobos para régimen estructural local.	79
25	Vista de planta de yacimiento de mármol rosa ubicado en Rancho Sentado. Diagramas de roseta muestran las tendencias medias de las familias de fracturamiento.	92
26	Diagrama de polos y roseta que muestran las orientaciones preferenciales de las 8 familias de fracturas en el yacimiento de mármol Rancho Sentado.	93
27	Estereograma que muestra la relación entre los planos de tres familias de fracturamiento	94
28	Medición del valor J_v (juntas por metro) con ayuda de una regla rígida.	95
29	Perfil de rugosidad	100
30	Bloques formados por familias de fracturamientos en el yacimiento de mármol	103
31	Grafica de pastel que demuestra en promedio el tipo de abertura que domina en las fracturas del yacimiento.	107

ÍNDICE DE MAPAS

1	Ubicación del área de estudio y coordenadas UTM de los vértices.	7
2	Accesos y carreteras desde ciudades de Cobán y Guatemala hacia las comunidades Los Jobos y Lo de Reyes.	9
3	Redes de drenaje del área de estudio.	15
4	Provincias fisiográficas de Guatemala.	20
5	Geomorfológico local.	90

ÍNDICE DE TABLAS

1	Resultados del análisis microscópico de la sección LN-018-15	29
2	Resultados del análisis microscópico de la sección LN-004-15, LN-025-15 y LN-028-15	32
3	Resultados del análisis petrográfico de la sección LN-014-15.	35
4	Resultados del análisis microscópico de la sección LN-010-15	44
5	Resultados del análisis microscópico de la sección LN-006-15	51
6	Clasificación de los pliegues del área de estudio en base al ángulo de inmersión de su eje, el ángulo interlimbal y el buzamiento de plano axial.	60
7	Valores promedio de abertura en centímetros para las 5 familias principales de fractura en el yacimiento Rancho Sentado	98
8	Gráfico de dispersión para los valores de RQD + Espaciado del yacimiento Rancho Sentado	105
9	Tabla de clasificación de continuidad mostrando el resultado del yacimiento de estudio	106
10	Tabla de clasificación de abertura	106
11	Tabla de clasificación y puntuaciones según el tipo de material de relleno y su espesor.	108
12	Tabla de clasificación y puntuación según el nivel de meteorización del yacimiento	109
13	Tabla de clasificación y punteo según el índice de rugosidad. Barton y Hoek, modificado por Bienawski	110
14	Resistencia de rocas	110
15	Grados y clasificación de condiciones hidrológicas, basada en las evidencias de la cantidad de agua freática	111
16	RMR basico puntuación total y calidad del macizo	112

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

1	Afloramiento de gneis biotítico con bandeamiento y afloramiento de gneis Rancho Sentado.	27
2	Dique de pegmatita deformado localizado en las coordenadas.	28
3	Microfotografías en XPL de la muestra LN-018-15	29
4	a. Mármol aflorando en la carretera hacia Los Amates, nótese la orientación preferencial marcada. b. Mármol rosa ubicado en Rancho Sentado.	30
5	a. Mármol con textura bioclástica ubicada en Rancho Sentado. b. Bandas milimétricas y centimétricas de chert en mármol Rancho Sentado	31
6	Microfotografías de mármol	33
7	Afloramientos de esquisto moscovítico. a. afloramiento ubicado en la localidad de Los Jobos b. Afloramiento ubicado en la localidad Rancho Sentado	34
8	Microfotografía de la sección LN-014-15, esquisto moscovítico	36
9	a. Secuencia metasedimentaria ubicada en la localidad de Las Cuevas, b. Afloramiento de anfibolitas en el campo de futbol Los Jobos.	37
10	a. Anfibolita con cristales de moscovita, indica cercanía a la base. b. Cristales disgregados de tremolita en matriz de anfíboles.	38
11	a. Cuarzita con moscovita y fengita. b. Cuarzita con una banda de fuschita	39
12	a. Crenulación semi simetrica desarrollada en anfibolita. b. plegamiento parasito en anfibolita.	40
13	Afloramientos de serpentinitas. a. Quebrada Lo de Reyes, UTM: 772188, 1648557. b. Afloramiento en la localidad de Los Jobos.	41
14	Afloramientos de Serpentinitas	42
15	Lentes de anfibolita entre serpentinitas en la localidad de Rancho Sentado	43
16	a. Granates $\geq 1\text{cm}$ en anfibolita. b. Orto-anfibolita con moscovita + hornblenda+ fuchsita+ moscovita	44
17	Microfotografías en XPL de la sección LN-010-15. anfibolita con granates	45
18	Dique de pegmatita ubicado en las coordenadas afectado por una falla inversa evidenciada por las estrías en el plano.	46
19	Serpentinitas de alteración hidrotermal con textura encajonada, en panal de abeja o boxwork.	47
20	a. Basalto vesiculares en las coordenadas b. Basaltos fracturados en un patrón oblicuo ubicados en las coordenadas	48
21	A. Secuencia de lavas basálticas en la localidad Las Cuevas, carretera hacia Los Jobos.	49

22	Microfotografías de basalto olivínico en XPL	51
23	Coluvión por avalancha de mármol y caliza marmoleada. Lo de Reyes.	52
24	Bloques y coluviones.	53
25	Foliación S1 penetrativa desarrollada en mármol.	54
26	Planos axiales de crenulación en serpentinita	58
27	a. Pliegue de anfibolita, en el núcleo serpentinita. b. Pliegue isoclinal en Gneis biotítico. c. Plegamientos pequeños en serpentinita	59
28	a. Pliegue S formado por feldespatos en gneis biotítico. b. Plegamiento parásito asimétrico en anfibolita. c. Foliación de plano axial marcada en el flanco derecho de pliegue sinforme de serpentinita.S1	62
29	Boudines de cuarzo en mármol. Rancho Sentado	64
30	Campo de fútbol Los Jobos, aflora anfibolita con un clivaje de cizalla muy marcado.	69
31	Falla inversa en mármol.	70
32	Evidencias del cabalgamiento en la localidad de Rancho Sentado	73
33	Bloques de serpentinitas de gran tamaño arrastrados por la corriente del Río Gavilanes.	80
34	a. Erosión en surcos formado en una loma. b. Cárcava	81
35	Deslizamiento rotacional ubicado en las coordenadas	82
36	Deslizamiento planar de basaltos en el tablón, ubicado en las coordenadas	83
37	Deslizamiento por caída libre de bloques de serpentinitas	84
38	Desprendimiento por volcadura de serpentinitas	85
39	Valles fluviales, a la izquierda el del Río Gavilanes y a la derecha del Motagua.	86
40	Crestas, cumbres y lomas en los cerros de El Tablón.	87
41	Escarpe formado en mármol Lo de Reyes, carretera hacia Ojo de Agua.	88
42	Cantera de serpentinita, Lo de Reyes	89
43	Ejemplo de espaciado entre dos familias de fracturas, nótese que deberá existir un valor de espaciado por cada familia diferente	96
44	Continuidad de una fractura mayor a 1m de longitud	97
45	Fractura de 3 cm de espesor rellena de cuarzo, relleno duro.	99

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

σ_1 : Sigma 1 (compresivo)	N: Norte
σ_3 : Sigma 1 (distensivo)	n= Número de datos
μm : Micrómetros	NE: Noreste
A: Grado metamórfico alto	NW: Noroeste
Amph: Anfíboles	Ol: Olivinos
B: Grado metamórfico bajo	Opx: Ortopiroxenos
BSS: Bosque Seco Subtropical	Plg: Plagioclasa
Bt: Biotita	PPL: Luz polarizada plana
CA-14: Carretera centroamericana 14	Qcol: Unidad de Coluvión del Cuaternario
Calcita: Cal	RMR: Rock Mass Rating/ Valoración de Macizos Rocosos
Chg: Serie de suelos El Chol	RN-5: Ruta nacional 5
Cm: Centímetros	RQD: Rock Quality Index/ índice de Calidad de Roca
CN-17: Carretera nacional 17	S: Sur
Cuarzo: Qz	S ₁ : Foliación regional
DIP: Buzamiento	S ₂ : Foliación local
DIR: Dirección de buzamiento	SE: Sureste
Dolomita: Dol	sp: especie
Fd: Feldespato	SW: Suroeste
GPS: Sistema de Posicionamiento Global	Tlb: Unidad de Lavas Basálticas del Terciario
Grafito: Gr	Ugb: Unidad de Gneis Biotítico
Grt: Granates	Ume; Unidad de Mármoles y Esquistos
Hb: Hornblenda	Upa: Unidad de para Anfibolitas
IGN: Instituto Geográfico Nacional	Usp: Unidad de Serpentinitas
J: Familias de fracturamiento	UTM: Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator
Jv: Juntas por volumen	XPL: Luz polarizada cruzada
M: Grado metamórfico medio	
MB: Grado metamórfico medio bajo	
Mm: Milímetros	
Mpa: Megapascales	
Ms: Moscovita	

TABLE OF CONTENTS

1	Introduction
2	1.1 Background
3	1.2 Objectives
4	1.3 Scope
5	1.4 Methodology
6	1.5 Organization of the Report
7	2. Literature Review
8	2.1 Existing Research
9	2.2 Gaps in the Literature
10	2.3 Theoretical Framework
11	3. Methodology
12	3.1 Research Design
13	3.2 Data Collection
14	3.3 Data Analysis
15	3.4 Ethical Considerations
16	4. Results
17	4.1 Descriptive Statistics
18	4.2 Inferential Statistics
19	4.3 Discussion of Findings
20	5. Conclusion
21	5.1 Summary of Findings
22	5.2 Implications
23	5.3 Limitations
24	5.4 Future Research
25	References
26	Appendix A
27	Appendix B
28	Appendix C
29	Appendix D
30	Appendix E

RESUMEN

El presente estudio representa la síntesis de varias etapas de investigación dividida en dos partes. La primera parte está dedicada a la comprensión de la litoestratigrafía, geología estructural y geomorfología de un área de 9 km² en los alrededores de la aldea Los Jobos, jurisdicción del municipio de Santa Cruz El Chol, Baja Verapaz.

Al este, la geología del área de estudio consiste en una secuencia paleozoica de rocas metasedimentarias en contactos graduales y dispuestos en capas paralelas con orientación al noroeste. Está constituida por Gneis Biotítico (Gb) en la base, mármoles y esquistos moscovíticos (Mem) y para-anfibolitas (Pa) en la parte superior. Estas rocas están asociadas al Complejo Chaucus.

En la mayor parte del área afloran Serpentinitas (Sp) del Mesozoico. Se encuentran cabalgando a la secuencia metasedimentaria y se describen como rocas masivas con escasas variaciones petrográficas.

Tanto al oeste como al sur se encuentran capas horizontales de Lavas Basálticas Terciarias (Tlb) en contacto discordante con Serpentinitas y Mármoles. Capas horizontales de Coluviones del Cuaternario (Qcol) se depositan, dispersas a lo largo del área, cubriendo principalmente a las Serpentinitas.

La geología estructural en el área de estudio está compuesta tanto por estructuras de dominio frágil como dúctil, compatibles entre sí al analizarlas en conjunto y asociadas a un modelo estructural dextral.

La geomorfología local la compone principalmente las estructuras denudacionales como lomas, crestas, cumbres, escarpes, entre otras.

La segunda parte de este estudio está dedicado al análisis del fracturamiento, para la evaluación de la factibilidad de explotación de un yacimiento de mármol rosa, ubicado en la aldea Rancho Sentado.

El yacimiento Rancho Sentado se ubica al este del área de estudio y es la única exposición de mármol rosa dentro de la extensión de la misma. Para evaluar la factibilidad de explotación del yacimiento se utilizó la clasificación geomecánica de Bienawski de 1989, método que requirió la medición de ocho características de las fracturas como: continuidad, espaciado, abertura, relleno, meteorización, rugosidad, dureza y condiciones hidrológicas. Acompañado de este método se realizó un levantamiento topográfico a detalle con estación total

Los resultados indican que el yacimiento cuenta con un perímetro de 295,7 m, un área de 1 395,6 m² y un volumen de 2 655, 7 m³. El análisis estadístico de las discontinuidades presenta cinco familias principales de fracturamiento que, conservan una orientación preferencial al noroeste.

La evaluación y el análisis de las características del fracturamiento indican que el yacimiento Rancho Sentado, está clasificado como una roca de grado III o de calidad regular, lo que significa que el índice de factibilidad de explotación es de 60%; por lo que se considera que la explotación del yacimiento de mármol rosa Rancho Sentado no es factible, para la extracción de bloques de 1 m³.

Se recomiendan otros posibles usos comerciales como los cerámicos, áridos de construcción, la calcinación o los complementos para cemento.



INTRODUCCIÓN

El objeto de la investigación es la comprensión de un área enmarcada dentro de un contexto geológico, desde rasgos amplios, como la geología regional de Santa Cruz El Chol, hasta el enfoque local de los alrededores de la aldea Los Jobos.

Para cumplir con los objetivos propuestos, se ha aplicado el método científico a través de varias etapas de investigación, siendo las principales, el levantamiento geológico a escala 1:5 000 del área de estudio en general y la medición de las características de las fracturas, en el yacimiento de mármol rosa Rancho Sentado.

El presente estudio se encuentra desarrollado en cinco capítulos en los que se ha compilado la información y los resultados de etapas de campo, laboratorio y gabinete.

El capítulo 1 desarrolla el marco conceptual. Contiene los objetivos, antecedentes, desarrollo del problema de investigación e hipótesis. El capítulo debe introducir al lector a los objetivos del estudio de manera lógica.

El capítulo 2 es una descripción general de área y alrededores, describe las características geológicas regionales de la misma, así como su localización geográfica y vías de acceso.

El capítulo 3 es una descripción del marco metodológico. En este capítulo se encuentra cada, etapa en la que se ha desarrollado el estudio, así como la metodología específica empleada para la realización del estudio.



Capítulo 4 es el desarrollo de la investigación. Se ha descrito la Litoestratigrafía, geología estructural y geomorfología local, posterior a la descripción se han analizado los datos, para desarrollar observaciones de situaciones geológicas particulares que suceden en el área de estudio.

El capítulo 5 es el final de la investigación. Se dedica exclusivamente a la comprobación de la hipótesis y a dar respuesta al problema de investigación mediante la discusión de resultados. Incluye las conclusiones y recomendaciones del estudio.

CAPÍTULO I

MARCO CONCEPTUAL

1.1 Antecedentes del Problema

Alexander R. McByrney, 1963, realizó el trabajo geológico titulado “*Geology of a part of the central Guatemalan Cordillera*” en el que abarca el Complejo Chuacús. En este trabajo, define una secuencia de rocas metamórficas que datan del Paleozoico, incluyendo anfibolitas, esquistos micáceos, gneises y mármoles en contacto discordante sobre rocas sedimentarias del Pensilvanico.

Van Den Boom, 1971 y 1972, realizó investigaciones mineralógicas en Baja Verapaz definiendo divisiones zonales basadas en minerales índices. Según su trabajo, existen divisiones entre tres zonas minerales: zona de Clorita+Sericita, zona de biotita y zona de granates.

En el estudio “*High Pressure Belts of Central Guatemala: The Motagua Suture and The Chuachús Complex*” realizado por Mertens, Harlow, Ortega, Solari y Giunta publicado en 2007, las rocas aflorantes en el área de estudio se definen como esquistos y gneises micáceos y cuarzomicáceos, mármoles, filitas y anfibolitas intercaladas tectónicamente con rocas ultramáficas: peridotitas serpentinizadas.

Harlow, en su estudio “*The Guatemala Suture Zone*”, publicado en 2012, define que el área de estudio está enmarcada en la acción de la falla de Motagua, por lo que la mayoría de estructuras desarrolladas como parte del dominio frágil guardan las características y relaciones

cinemáticas de la falla. El metamorfismo principal es regional, de presiones medias-altas y temperatura baja-media.

Regionalmente se encuentran estudios como "*Mapeo geológico del Cuadrángulo Granados*", realizado por Sergio Morán, Requena y Chiquin, publicado en 2001, donde se caracterizan algunas secciones tipo del Chuacús. En "*The northwestern border of the Caribbean plate in Guatemala: new geological and petrological data on the Motagua ophiolitic belt*", realizado por Beccaluva, Dengo y Giunta en 1995, caracterizan las unidades del Motagua, relacionándolas con la su génesis y explicando su posible formación, además menciona los aloctonos ofiolíticos y su relación estratigráfica con las unidades metamórficas.

Gutierrez Ortega en 2004 analizó el cuadrángulo El Chol y definió las edades y las unidades aflorantes y sus características petrográficas. Ortega define una base de esquistos y gneises, anfibolitas granatíferas y mármoles que pertenecen al Paleozoico, posiblemente entre el Silúrico y Devónico.

Localmente, se encuentran dos trabajos finales de campo (TFC's) que incluyen el área de estudio en su totalidad. "*Levantamiento geológico El Chol, Vega del Limón, municipio del El Chol, Baja Verapaz*" realizado por Milian García en 1993 y "*Cartografía geológica y evaluación de yacimientos de mármol en la aldea Los Jobos, El Chol, Baja Verapaz*" de Torres Sam en 1996 realizaron estudios acerca del mármol, enfocándose en el mármol Lo de Reyes.

Milian García, 1993, apporto la cartografía inicial en la que clasifico el mármol según los sectores posibles de explotación y caracterizo el mismo según aspectos petrográficos, en base a estos datos, dio el precio de comercialización en su momento.

Torres Sam, 1996, continúa con el estudio de Milian con el mármol. Su estudio se basa en la calidad del mármol según su coloración, textura y otros aspectos mineralógicos estudiados macroscópicamente y calculó las reservas probables en unidades de volumen para una posible explotación.

En ambos estudios, además, se caracterizaron las unidades, definiendo su estratigrafía, su geometría, sus características petrográficas; en aspectos estructurales se determinaron las orientaciones preferenciales por métodos de análisis de rosetas.

1.2 Planteamiento del Problema

¿Cuál es el índice y grado de factibilidad para la explotación de los recursos indicados de mármol en base al análisis del patrón de fracturamiento en un área de 9 km² en los alrededores del caserío Rancho Sentado, El Chol, Baja Verapaz?

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Realizar un levantamiento geológico en el área de estudio, comprendiendo 9 km² en los alrededores de las aldeas Los Jobs y Lo de Reyes a escala 1:5 000.

1.3.2 Específicos

Realizar el análisis estructural y estadístico de las redes de fracturamiento que afectan el mármol Rancho Sentado.

Determinar el área y volumen de los recursos mineros de mármol Rancho Sentado.

Proponer un índice cuantitativo de la calidad de la roca ante una posible explotación, basado en el valor J_v : fracturamiento por unidad de volumen (m^3), espaciado, abertura, relleno, dureza, continuidad, meteorización y condiciones hidrológicas.

Determinar el porcentaje de factibilidad para la explotación de los recursos mineros de mármol Rancho Sentado.

1.4 Hipótesis

“Los recursos indicados de mármol ubicado en los alrededores del caserío Rancho Sentado son potencialmente explotables según la red de fracturamiento”.

CAPÍTULO 2

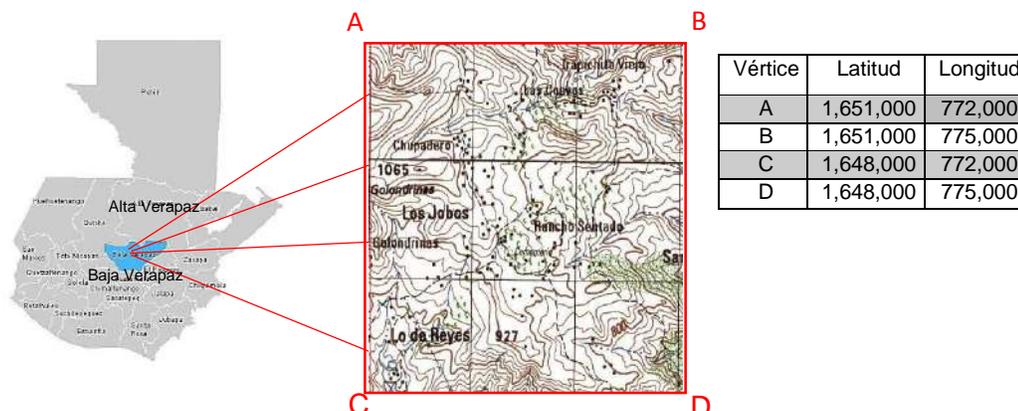
DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD PRÁCTICA

2.1 Localización Geográfica

El área de estudio se encuentra en el departamento de Baja Verapaz, al sur del municipio de Santa Cruz, El Chol; en los alrededores de las aldeas: Los Jobos, Lo de Reyes y Los Lochuyes, abarcando los caseríos Las Cuevas, Chupadero, Trapiche Viejo y Rancho Sentado.

El estudio comprende un área de 9 kilómetros cuadrados, localizados en la hoja cartográfica EL CHOL (2160 IV) a escala 1:50 000, *datum*: NAD 83/WGS84 el cual fue editada por el Instituto Geográfico Nacional (mapa 1).

MAPA 1 MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y COORDENADAS UTM DE LOS VÉRTICES.



Fuente: Investigación de campo. 2015

2.2 Vías de Acceso

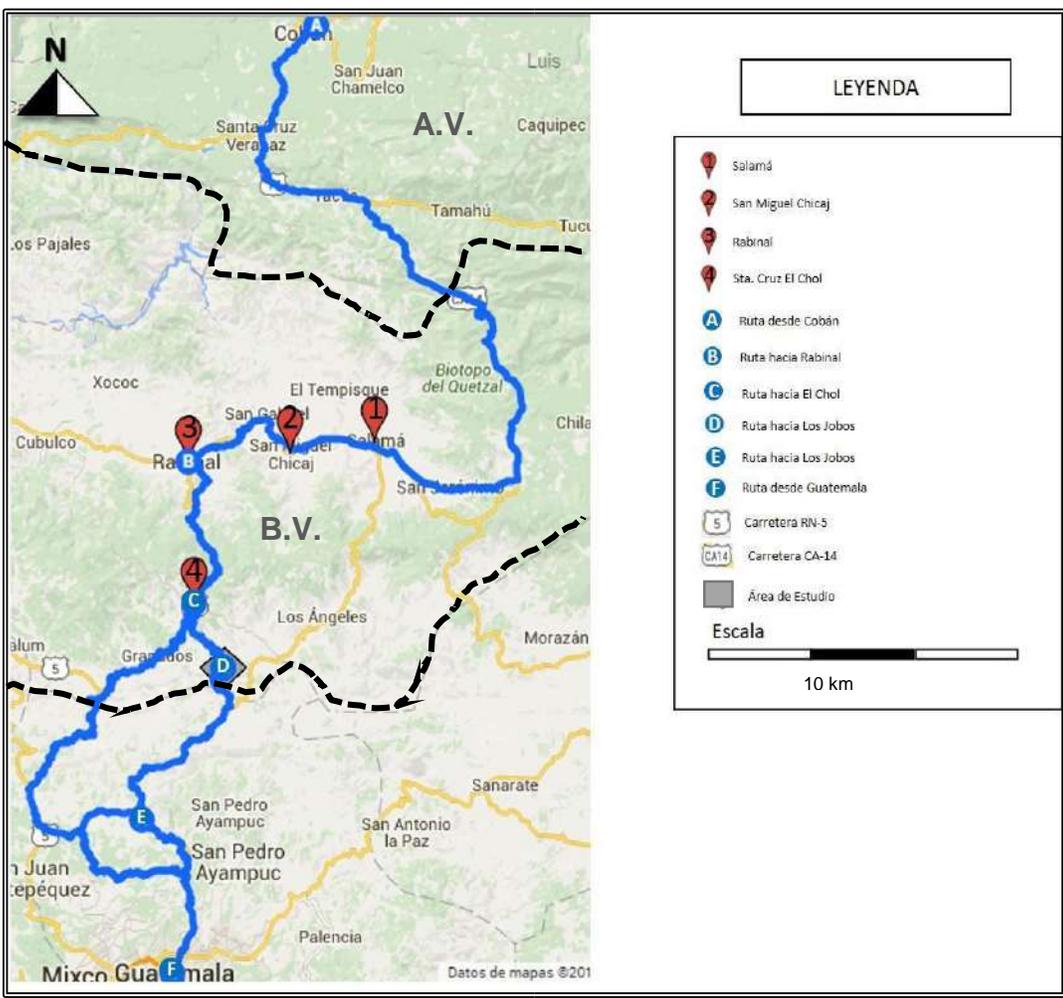
La Cabecera municipal de El Chol, se encuentra a 12 km al norte de Granados y a 25 km al sur de Rabinal. Para el acceso al área de estudio debe movilizarse por la carretera CA-14 partiendo de la ciudad de Cobán hacia Santa Elena, donde se desvía hacia el municipio de Salamá por la carretera CN17.

Por la calle principal de Salamá debe seguirse derecho hasta llegar a la carretera RN-5 que lleva a San Miguel Chicaj y posteriormente a Rabinal. Desde Rabinal se debe cruzar desde la 1ª calle hasta la 7ª calle para retomar la carretera RN-5 que lleva al municipio de Sta. Cruz, El Chol.

Desde el centro de El Chol puede llegarse al área de estudio, tanto a Los Jobos como a Lo de Reyes por medio de automóvil, motocicleta o microbús; es un viaje de entre una hora y hora y media, la distancia es de 11,7 km a los Jobos y 14 km a Lo de Reyes, la carretera es de terracería, con secciones pavimentadas y es transitable durante todo el año.

Existe otra forma de acceder al área. Desde la ciudad capital y pasando por San Raymundo y luego por Chuarrancho siguiendo la carretera hacia Lo de Reyes, debe cruzarse el Río Motagua. En esta ruta se logra acceder a la parte sur del área (mapa 2).

MAPA 2 ACCESOS Y CARRETERAS DESDE CIUDADES DE COBÁN Y GUATEMALA HACIA LAS COMUNIDADES LOS JOBOS Y LO DE REYES.



Fuente: Investigación de campo. Septiembre, 2015

2.3 Geología Regional

2.3.1 Litoestratigrafía

El Bloque Maya agrupa a todas las rocas que se encuentran al norte de la falla del Motagua. A través de la historia geológica, se describe una gruesa sedimentación marina desde el Pensilvanico y sedimentación continental en el Jurásico.

Desde el Cretácico Temprano deposiciones de una cuenca carbonática limitada por arrecifes con extensas evaporitas, depósitos de caliza de plataforma en el Cretácico Tardío, deformación y sedimentación clástica en el borde sur durante el evento de sutura del Cretácico Tardío y Terciario Temprano, acompañado por emplazamiento por cabalgamiento y deslizamiento de un complejo ofiolítico y deposición en una variedad de ambientes sedimentarios continentales.

“Rocas terciarias cercanas a la zona de sutura del Motagua son en su mayoría clásticas marinas y volcánicas, indicando un volcanismo activo, actividad tectónica y tasas de erosión muy altas. En la parte central de Guatemala se desarrolla un paquete de rocoso de rocas metamórficas de alto grado; esta banda se desarrolla de este a oeste, y presenta una geología estructural muy compleja”.¹

¹ Dengo G. 1985. *Mid America: tectonic setting for the Pacific Margin from Southern Mexico to Northwestern Colombia*. In: NAIRN et al (eds): *The Oceans Basins and Margins*, vol. 7A, The Pacific Ocean, Plenum Press,

El término Serie Chuacús (que luego pasaría a ser Grupo Chuacús²), está basado en consideraciones estratigráficas regionales y cartografiando rocas metamórficas que iban de anfibolitas, esquistos micáceos y gneises principalmente, aunque también se identificó unidades menores de mármol y capas delgadas de cuarcita y metavolcánicas.

“Las anfibolitas descritas por McBirney, actualmente son consideradas como parte del complejo ofiolítico. El Complejo Chuacús se divide en tres secciones o partes: central, oeste y este. El Chol pertenece al Chuacús central. La región de El Chol se encuentra muy bien representada en la zona de biotita (Esquistos El Chol), a ello se debe el nombre de la unidad.”³

Posteriormente, se definieron siete unidades para el Complejo Chuacús localizado en el centro.⁴

Unidad de gneis cuarzo feldespático (paragénesis):

Esta es la unidad más abundante e indica un metamorfismo de alta presión con la asociación mineralógica corresponde a: clinopiroxeno, rutilo, granate, fengita, zoisita con inclusiones de albita poikilitica.

Unidad de mica esquistos: Es una de las litologías más abundantes y consisten principalmente de mica blanca, cuarzo, biotita (en ocasiones detrítica y parcialmente cloritizada), granate,

² Grupo Chuacús fue un término introducido por Kesler y Van den Boom en 1972.

³ McByrney, A.R. 1963. *Geology of a Part of the Central Guatemalan Cordillera*. Univ. California. Pub. Geol. Sciences. Vol. 38, No.4, p. 177-242, Berkeley and Los Angeles.

⁴ Ortega Gutierrez, et. al. *Caracterización estructural, petrológica y geoquímica de la zona de cizalla Baja Verapaz*, Guatemala. 2004.

mega cristales de cianita, epidota, albita, rutilo y titanita (secundaria).

Unidad de cuarcitas: Las cuarcitas están estrechamente asociadas a las metapelitas y están caracterizadas por la asociación de cuarzo \pm granate \pm anfíbol \pm fengita \pm turmalina y con minerales accesorios están presentes: rutilo, biotita y zircón.

Unidad de mármol: La mineralogía característica consiste en una asociación de cuarzocarbonato- rutilo-mica blanca-sulfuros-zircón y se encuentran ínterestratificados con anfibolitas y bandas de calco-silicatos.

Unidad de anfibolita: Consiste de onfacita, granate, rutilo y como accesorios cuarzo con fengita, zoisita y aragonito.

Unidad El Tumbadero: Litológicamente se encuentra compuesta por ortogneises del Triásico, ígneas y esquistos pelíticos, paragneises, mármoles y cuarcitas. La geocronología evidencia rocas metasedimentarias post ordovícico y el depósito posterior al pensilvaniense.

Unidad El Chol: El protolito de la unidad revela en zircones de las rocas máficas. La deformación dobla las bandas félsicas.

La unidad de El Chol también contiene eclogitas como dominios irregulares en las bandas de anfibolitas.

2.3.2 Tectónica

Guatemala se encuentra localizada al este y sobre una triple unión de placas: norteamericana, Cocos y Caribe. Los bloques maya y Chortí son subdivisiones que se han definido en el norte de Centroamérica; la evidencia de esta división es la zona de falla del Motagua.

El desarrollo de la tectónica de la región teóricamente debería estar ligada a la zona de fallamiento del Motagua.

Estructuralmente, se define un fallamiento transcurrente ha afectado el borde sur durante el Neógeno; la deformación regional del Paleozoico y Mesozoico ocurrió durante una orogenia de choque, resultado del levantamiento del bloque Maya y la formación del plegamiento y de un cinturón deformado que compone la cordillera central de Guatemala. La zona de falla del Motagua se extiende por lo menos 300 km.

En el cinturón aflora la llamada zona de sutura del Motagua, que se define como un complicado sistema colisional Mesozoico Terciario entre dos bloques continentales (Norteamericana y Caribeña).

“El fallamiento sobre el lado norte está caracterizado por fallas inversas de alto ángulo con buzamiento al sur y posiblemente fallas de desplazamiento de rumbo. El límite sur de la zona de falla del Motagua está definido por una falla de deslizamiento sinistral periódico, una zona distinta de intenso cizallamiento.”⁵

⁵ Newcomb, W. *Motagua Fault zone, a crustal suture*. 1973

Deformación secundaria ocurre al norte de la zona de grietas y está caracterizada por una menor deformación y fallas normales de buzamiento sur; que han tenido desplazamientos centrimétricos.⁶

Muchos de los rasgos geológicos fundamentales de la Cordillera Central, están bien mostrados en la Sierra de Chuacús. Los más sobresalientes son la tendencia pronunciada E-W de las unidades y las fallas, y la orientación paralela de los ejes fisiográficos de las montañas y valles.⁷

2.3.3 Geomorfología

a. Hidrología

El área de estudio posee una cuenca hidrográfica propia que pertenece principalmente al Río Gavilanes, que está conectado con el Río San Pedro, al este y el Río Lo de Reyes al suroeste. Ambos drenan hacia el Río Motagua.

Estos dos son los ríos de mayor energía y transporte, sin embargo, existen varias quebradas menores, riachuelos, corrientes efímeras e intermitentes que se encuentran en varios sectores del área.

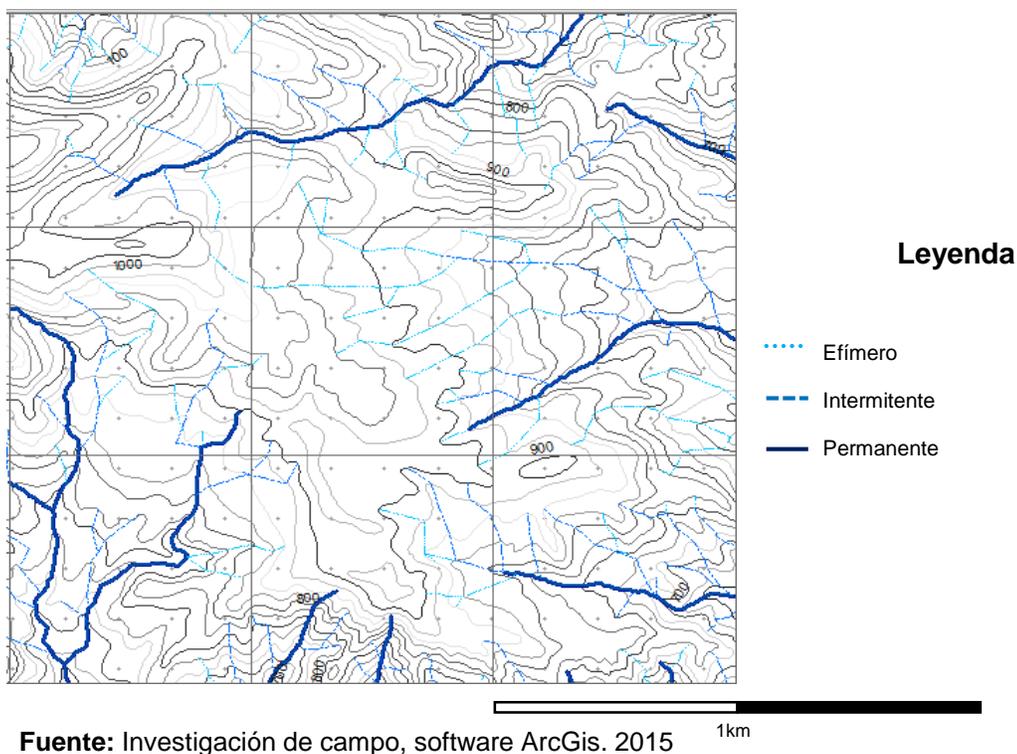
⁶ Schwartz, D. *Quaternary faulting along the Caribbean and Northamerican plate boundary in Central America*. 1979

⁷ McByrney, A. *Geology of a part th central Guatemala Cordillera*. 1963

Además, existen varias zonas donde se encuentran fuentes de agua, ya sea como nacimientos, como es más frecuente al norte, o como pozos.

Las quebradas al norte del área suelen presentarse como zonas de pendiente moderadamente inclinada, a diferencia de las quebradas al sur que descienden directamente al Río Motagua y presentan pendientes más suaves (mapa 3).

MAPA 3 MAPA DE REDES DE DRENAJE DEL ÁREA DE ESTUDIO.



b. Clima y Vegetación

El área de estudio se encuentra clasificada como bosque seco subtropical.

Bosque Seco Subtropical – BSS – Esta unidad abarca el 39 % del territorio municipal de Sta. Cruz El Chol, se localiza de 500 a 1 000 msnm. Los suelos son superficiales, de textura liviana y mediana, bien drenados y de color grisáceo. La pendiente regularmente está entre el 12 % a 32 %, pero hay puntos con pendientes de 45 %.

Predomina un clima cálido, entre un mínimo de 16C° y un máximo de 28C° anuales. Enero y diciembre son los meses donde la temperatura puede llegar a su punto más bajo, hasta 13C°; el resto del año la temperatura oscila desde 20 a 28C° siendo los meses críticos de abril a agosto.

La precipitación pluvial se encuentra entre 600 mm y 750 mm anuales, siendo, en promedio, junio, julio y septiembre los meses de mayor porcentaje de precipitación.

La vegetación agroproductiva son principalmente Pasto (*Lolium*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), maíz (*Zea mays*), tomate (*Solanum lycopersicum*), okra (*Abelmoschus esculentus*).

“La vegetación común del área consiste principalmente en maderas preciosas como la caoba, cedro y conacaste; encinos, robles, pinos, árboles espinosos, mangos, tamarindos, yajes, guapinoles y nances que son arbustos con un período de vida corto. Además pueden encontrarse pegapega (*Priva lappulaceae*), palo de jioite (*Bulcera simaruba*), amate (*Ficus sp.*), hierba del cáncer (*Acalypha guatemalensis*) y eucalipto (*Eucalyptus sp.*)”.⁸

c. Suelos

Los suelos presentes en el área de estudio, como en casi todo el departamento de Baja Verapaz, han sido divididos en 15 unidades, que consisten en 13 series de suelo, una fase de suelo y una clase de terreno misceláneo.

Establecieron los siguientes suelos para el área de estudio:

“Suelos Serie El Chol (chg): suelos poco profundos, escarpados, muy drenados, de clima seco a húmedo seco, sobre serpentinitas y esquistos, comprendidos entre los suelos El Chol, Acasaguastlán, Chuarrancho y Solanimá. Presentan relieves inclinados y elevaciones medias. Los suelos superficiales poseen una textura franco arenosa fina, un promedio de 10 cm de profundidad. El subsuelo es de textura franco arcillosa gravosa-arcillosa, de drenado más lento o menor y 25 cm de profundidad”.⁹

⁸ Tomado de *Monografía Oficial* de Sta. Cruz El Chol, Municipalidad El Chol, B.V., 2013.

⁹ Simmons, C. *Clasificación de los suelos de la república de Guatemala*. 1959

De esta serie podemos encontrar suelos desarrollados en esquistos y serpentinitas, suelos desarrollados sobre materiales volcánicos y suelos desarrollados sobre calizas (mármol).

d. Relieve

El área de estudio pertenece, desde el punto de vista geomorfológico, a la Cordillera Central de Guatemala, que se localiza entre las fallas del Motagua y Polochic. La pendiente es muy inclinada, intercaladas con zonas de planicies y elevaciones entre 600 msnm y 1 150 msnm y van desde muy sinuosas a escarpadas hasta suaves y planas.

Según Simmons, el área de estudio presenta colinas de pendiente regular y escarpes semi verticales, con líneas divisorias angulosas, valles en “V” con pendientes aproximadamente entre 45° y 85° de inclinación.

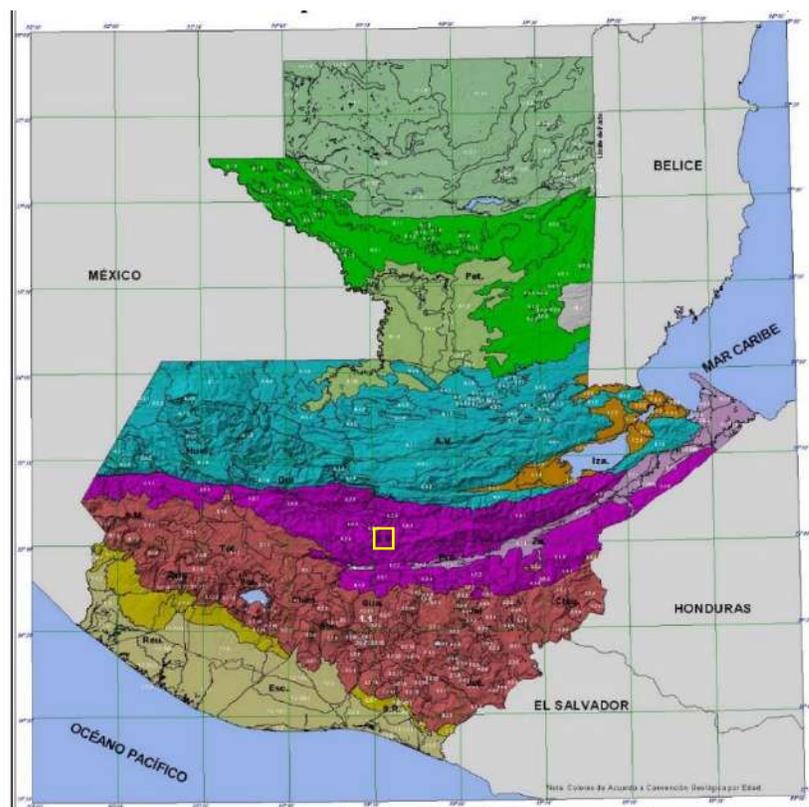
El área se encuentra comprendida fisiográficamente como Zona de Tierras Altas Cristalinas, que se define de la siguiente manera:

Las Tierras Altas Cristalinas se caracterizan por estar compuestas de rocas ígneas, micas, cuarzos, feldespatos, entre otros. Estas tierras fueron creadas por el enfriamiento repentino del magma, es decir, aunque en la zona no se encuentran volcanes se supone que en la zona existían hace millones de años, grietas que liberaban el magma bajo la superficie del mar,

mucho antes que el territorio guatemalteco emergiera debajo del agua.

“Actualmente; las Tierras Altas Cristalinas son zonas montañosas que se han levantado, debido a la presión que ejercen entre sí la falla del Río Motagua con las fallas de los ríos Cuilco y Polochic”.¹⁰ (Mapa 4).

MAPA 4 MAPA DE PROVINCIAS FISIOGRÁFICAS DE GUATEMALA.



Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). Atlas temático de las cuencas hidrográficas de la República de Guatemala, Unidad de planificación geográfica y gestión de riesgo. Año 2005

¹⁰ Paíz. *Degradación ambiental y desastres en Guatemala*. 2007

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS

3.1 Marco Metodológico

El trabajo final de campo se ha desarrollado a lo largo de cuatro etapas: la primera de planificación y tres de ejecución.

3.1.1 Etapa de Recopilación y Análisis Bibliográfico

Esta es la etapa de planificación, consistió básicamente en la recopilación de todo el material disponible que abarco aspectos tanto regionales como locales del área de estudio.

Principalmente se consultaron mapas topográficos, geológicos, ensayos y artículos publicados sobre la geología de El Chol y la zona de falla del Motagua: trabajos finales de campo (TFC) que abarcaran parcialmente el área de estudio o sus alrededores.

Además, en esta etapa se completó la elaboración del mapa base, se definió el marco de investigación, la forma de ejecución, el cronograma, entre otros.

3.1.2 Etapa de Campo

En esta etapa se desarrolló el levantamiento geológico y el desarrollo del problema de investigación.

El levantamiento geológico se realizó por el método de afloramientos y caminamientos marcados con GPS de $\pm 3\text{m}$ de error a escala 1:5 000.

Con este método se plasmaron la litología predominante en puntos numerados sobre el mapa base con los rasgos estructurales más importantes como foliaciones, diaclasas, planos de falla, ejes de pliegues, etc., y así poder interpretar la tendencia de las capas de roca y su disposición espacial en el área.

Principalmente se mapeó a través de los caminos principales, veredas y quebradas, con un total de más de 550 estaciones. Los datos estructurales fueron medidos con una brújula tipo Brunton y con el método *DIP/DIR* en sentido azimutal.

Además, se recolectaron muestras de las distintas litologías debidamente orientadas, en el caso de las rocas metamórficas, y con el menor índice de meteorización posible.

El problema de investigación se trabajó de manera independiente al mapeo. Para determinar la factibilidad de explotación del cuerpo de mármol rosa ubicado en la carretera hacia Los Amates, localidad de Rancho Sentado. Se realizaron mediciones con estación total *STONEX* modelo STS2-R con un prisma de precisión milimétrica, a cada metro formando un enmallado sobre el cuerpo de mármol, tomando datos de longitud y alturas.

En la segunda fase se establecieron 52 estaciones para el monitoreo de las fracturas que presenta el afloramiento. Se determinó la orientación de las familias de fracturamiento, espaciado, continuidad, abertura, relleno, cantidad de fracturas por metro y por longitud (J_v), dureza, meteorización y condiciones hidrológicas.

A cada valor se le clasifica según la medida y se le otorga un punteo predefinido por el formato de Clasificación Geomecánica RMR de Bienawski modificado (1989). La suma y posterior equivalencia de estos punteos permite determinar en un porcentaje la calidad del macizo rocoso y conclusiones suficientes para analizar la factibilidad de explotación (figura 1).

FIGURA 1 PARÁMETROS MEDIDOS EN LAS FRACTURAS DEL MÁRMOL.



Fuente: MSc. Norly Belandria –GIGA-, 2012.

3.1.3 Etapa de Laboratorio

En esta etapa se realizó el análisis petrográfico macroscópico de las muestras de mano recolectadas. Se elaboraron 8 secciones delgadas de las unidades más representativas del área. Posteriormente se realizó el análisis microscópico mediante la lupa binocular y el microscopio petrográfico para determinar cualidades y cantidades de minerales, textura, entre otros.

3.1.4 Etapa de Gabinete.

En la etapa final se analizaron los datos recabados en campo. El análisis de datos estructurales se realizó mediante *software* (*GeoPlot*, *DIPS*), por el método de proyección estereográfica con la falsilla de Wulff y por rosetas.

Estos programas se utilizaron para la proyección de foliaciones, estrías, planos de falla, ejes de pliegue, planos axiales, fracturas, entre otros. En esta etapa se digitalizó el mapa geológico y dos perfiles respectivos mediante el *software* *ArcGis*.

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Estratigrafía Local

En el área de estudio afloran 6 unidades: Gneis Biotítico (Gb), Mármoles y Esquistos Moscovíticos (Mem), Para-Anfibolitas (Pa), Serpentinitas (Sp), Lavas Basálticas terciarias (Tlb) y Coluviones del Cuaternario (QCol). (Figura 2)

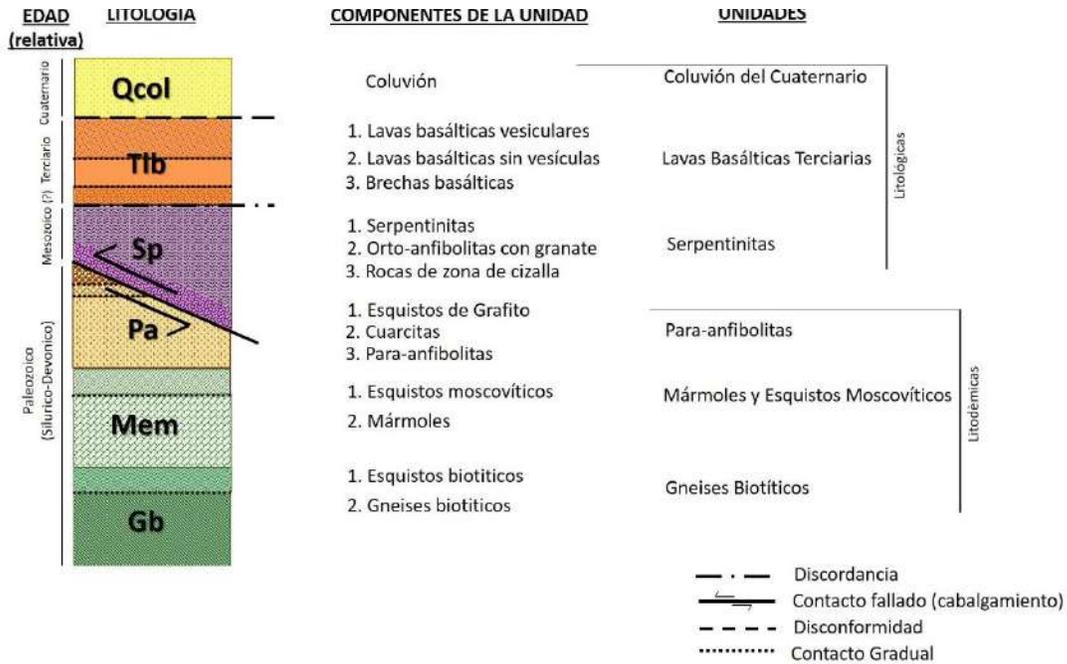
Las unidades más antiguas del área son los Gneises, Mármoles, Esquistos y Para-Anfibolitas, que se encuentran en contactos graduales. Se les asigna probablemente dentro del Complejo Chuacús Central. Estas unidades pertenecen posiblemente al Paleozoico, entre los períodos Silúrico y Devónico.

En contacto fallado de tipo inverso y bajo ángulo (cabalgamiento) con las Para-Anfibolitas, aflora la unidad de serpentinitas. A estas rocas se les asigna una edad aproximada del Cretácico.

Discordantemente sobre las Serpentinitas se encuentran Flujos de Lavas Basálticas. Estas rocas probablemente pertenecen al Terciario.

En contacto discordante, también, con las Lavas Basálticas se encuentra la Unidad de Coluvión, que está definida como la más reciente del área asignándosele una edad aproximada del Cuaternario (figura 2).

FIGURA 2
COLUMNA LITOSTRATIGRÁFICA DE LAS UNIDADES DEL
ÁREA DE ESTUDIO.



Fuente: Investigación de campo. 2015

4.1.1 Unidad de Gneis Biotítico (Gb)

Esta unidad aflora en la parte noreste del área de estudio y se extiende de noroeste a sureste. Se encuentra como capas ubicadas en las cotas topográficas más bajas, foliadas y bandeadas composicionalmente.

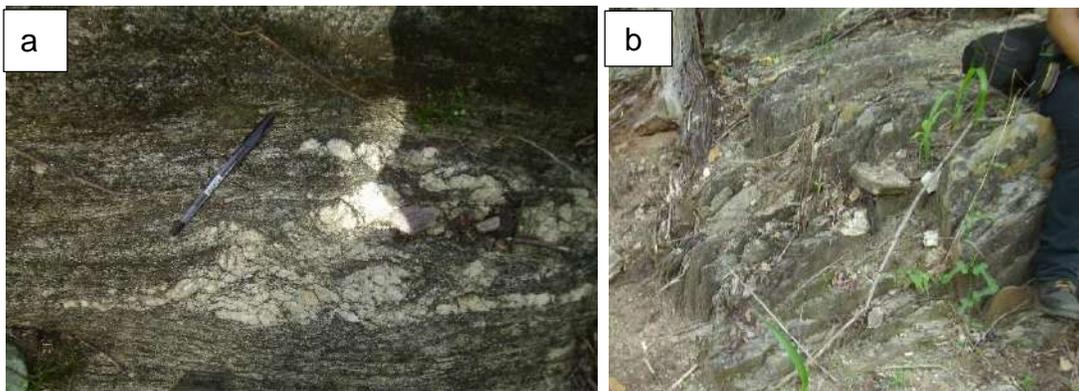
Puede llegar a variar el rumbo de la foliación en 10 o 20 grados, pero por lo general mantiene un rumbo hacia el NW/SE. Son las rocas más antiguas en el área. Los mejores exponentes de esta unidad se encuentran al NE, en las cercanías del Río Gavilanes.

Su contenido mineral consiste principalmente en Feldespato (50%), Biotita (30%), Moscovita (10%) y Cuarzo (10%) en granos no mayores a 1 cm.

Se observan como rocas con textura o estructura Gnéisica o granolepidoblástica, usualmente desarrollando una lineación mineral (bandeamiento composicional) semiperpendicular a la foliación (fotografía 1).

La textura varía ligeramente en relación al tamaño de grano, asemejándose a un esquisto, su contenido de feldespato y micas también suele variar, principalmente el porcentaje de moscovita que presenta (15-20%). Estas variaciones se presentan en contactos graduales.

FOTOGRAFÍA 1 GNEIS BIOTITICO



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

- a. Afloramiento de gneis biotítico con bandeamiento composicional desarrollado y deformado en Rancho Sentado, UTM: 773591, 1650943.
- b. Afloramiento de gneis Rancho Sentado, UTM: 773291, 1651078.

Entre los gneises pueden encontrarse diques pegmatíticos simples de espesor variable, los más grandes suelen estar deformados a tal punto que se observan como lentes homogéneas de feldespato. Por otro lado, los diques más pequeños, generalmente de espesores entre 4 y 8 cm suele presentarse fracturados y con menor grado de deformación (fotografía 2).

FOTOGRAFÍA 2
DIQUE DE PEGMATITA DEFORMADO LOCALIZADO
EN LAS COORDENADAS UTM: 773563, 1650980.



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

Del análisis de la sección delgada LN-018-15, ver mapa de ubicación de muestras en anexos, se determinó que la unidad está representada por gneises granoblásticos con porcentajes elevados de feldespato (55 %) y micas (40%) (tabla 1).

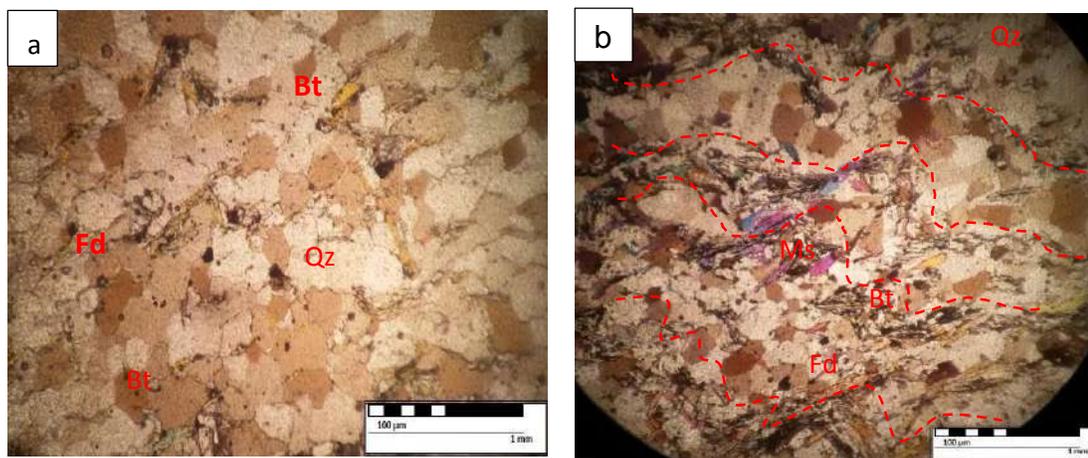
En las muestras de gneises del noreste se observan bandas melanocráticas de anfíboles en el gneis, generalmente de 3 mm de espesor, que no son visibles en sección delgada. La sección presenta, además, una crenulación poco desarrollada formada por moscovita y biotita.

TABLA 1
RESULTADOS DEL ANÁLISIS MICROSCÓPICO
DE LA SECCIÓN LN-018-15.

Mineral	Porcentaje	Forma	Tamaño (µm)
Feldespato (Fd)	55	Subhedral	100-150
Biotita (Bt)	25	Euhedral a Subhedral	100-200
Moscovita (Ms)	10	Euhedral a Subhedral	100-200
Cuarzo (Qz)	10	Subhedral a Anhedral	100-150
Textura:	Granolepidoblástica, equigranular		
Tipo de metamorfismo:	Regional		
Grado metamórfico:	B (bajo) a MB (medio bajo)		
Zona metamórfica:	Zona de Biotita		
Protolito:	Arenisca (grauvaca)		
Clasificación:	Gneis feldespático con biotita		

Fuente: Investigación de campo. 2015

FOTOGRAFÍA 3
MICROFOTOGRAFÍAS EN XPL DE LA MUESTRA LN-018-15.



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

- a. Se observa una abundancia de feldespato y cuarzo en proceso de poligonización, al centro de la fotografía una pequeña cantidad de biotita con coloraciones amarillentas o café con el hábito típico de filosilicatos.
- b. Se observa una pseudocrenulación asimétrica poco desarrollada en los planos de moscovita y biotita.

4.1.2 Unidad de Mármoles y Esquistos (Ume)

Se encuentran aflorando principalmente al noreste del área extendiéndose de noroeste a sureste. Varían ligeramente el rumbo de foliación, conservando una preferencia al noroeste. La capa es paralela y en contacto gradual con los Gneises Biotíticos, a los que sobreyacen. Las mejores exposiciones de esta unidad se encuentran en la localidad de Rancho Sentado al NE del área.

Esta unidad agrupa mármoles y esquistos moscovíticos. Los Mármoles se observan como rocas blancas, grises o beige, con una foliación marcada en bandas negras de calcita y grafito (fotografía 4).

FOTOGRAFÍA 4
a. MÁRMOL AFLORANDO EN LA CARRETERA HACIA
LOS AMATES, NÓTESE LA ORIENTACIÓN
PREFERENCIAL MARCADA. b. MÁRMOL ROSA
UBICADO EN RANCHO SENTADO.



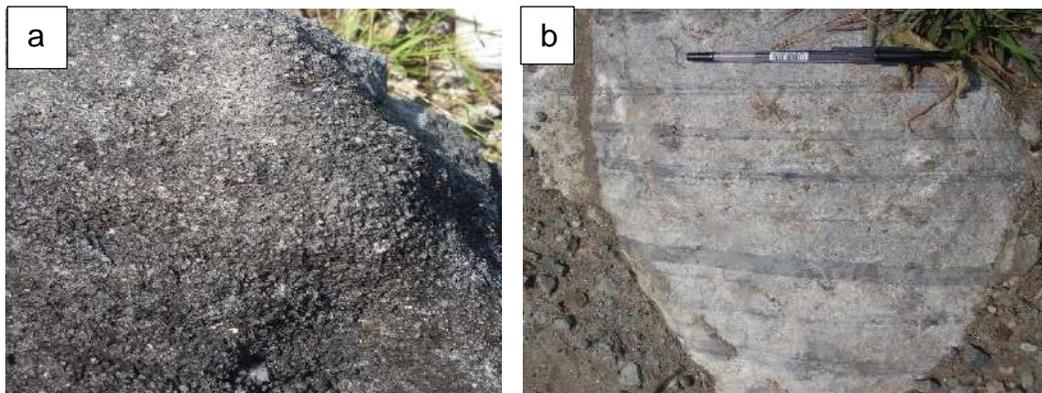
Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

Generalmente estos mármoles suelen ser casi monominerales, solo formados por carbonatos: dolomita y calcita (70-80%), aunque además pueden observarse, bandas de cuarzo (7-15%), moscovita (3-5%) y grafito (3-5%). Son rocas de grano medio con textura granoblástica.

En la localidad Rancho Sentado, se encuentra una variedad de Mármol rosa con bandas de espesores de hasta 5 cm de chert y menos contenido de mica.

La textura de estas rocas varía ligeramente mientras se acerca a la base de la secuencia de Mármoles. Suelen encontrarse mármoles con granos más gruesos asemejando la recristalización de calizas bioclásticas y bandas desde 3 mm a 4 cm *chert* (fotografía 5).

FOTOGRAFÍA 5
a. MÁRMOL CON TEXTURA BIOCLÁSTICA UBICADA EN RANCHO SENTADO. b. BANDAS MILIMÉTRICAS Y CENTIMÉTRICAS DE CHERT EN MÁRMOL RANCHO SENTADO.



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

No parece desarrollarse ninguna tendencia preferencial, ni indicadores cinemáticos. Las bandas oscuras que caracterizan al mármol a nivel de muestra de mano ya no se observan a nivel microscópico (tabla 2).

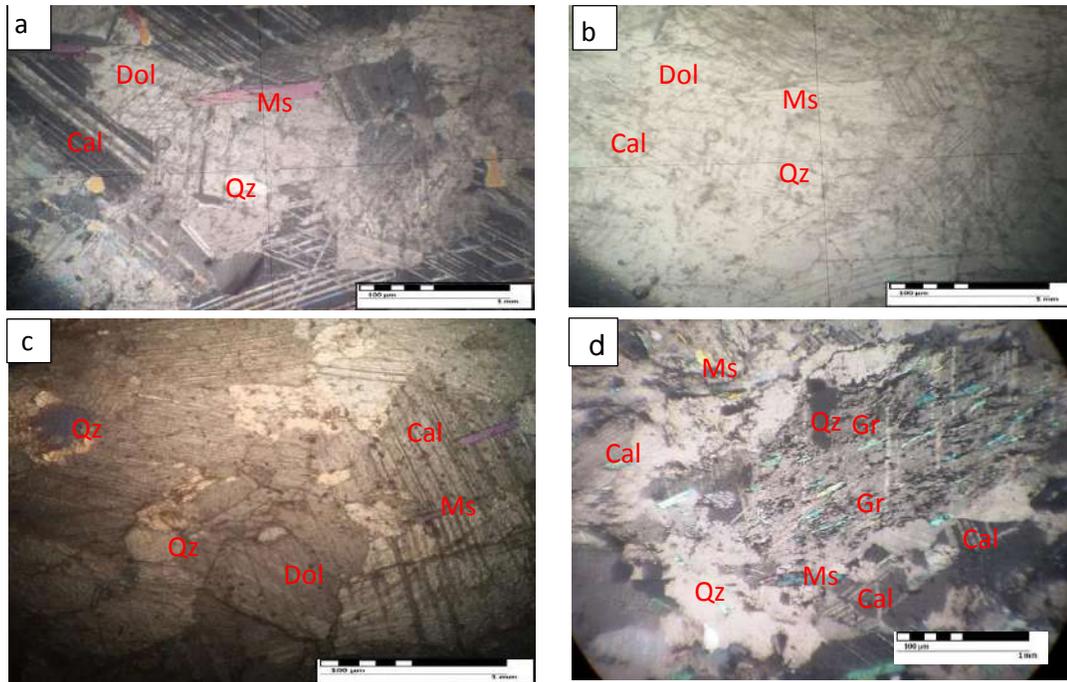
TABLA 2
RESULTADOS DEL ANÁLISIS MICROSCÓPICO
DE LA SECCIÓN LN-004-15, LN-025-15 Y LN-028-15

Mineral	Porcentaje	Forma	Tamaño (µm)
Calcita (Cal)	80	Subhedral	500-1000
Dolomita (Dol)	10	Subhedral	300-500
Cuarzo (Qz)	5	Anhedral	50-100
Moscovita (Ms)	3	Euhedral a Subhedral	1000
Grafito (Gr)	2	Subhedral a Anhedral	50-100
Textura:	Granoblástica		
Tipo de metamorfismo:	Regional		
Grado metamórfico:	B (bajo) a MB (medio bajo)		
Zona metamórfica:	Ninguna		
Protolito:	Caliza Dolomítica		
Clasificación:	Mármol		

Fuente: Análisis de laboratorio. 2015

Del análisis de las secciones delgadas LN-004-15, LN-025-15 y LN-028-15, véase mapa de muestras en anexos, se determinó que los mármoles de esta unidad presentan una mineralogía compuesta en su mayoría por calcita (80%) y en menor porcentaje dolomita (10%); se puede observar cuarzo (7%) y moscovita (3%). El grafito es de ocurrencia variable y solamente como un mineral accesorio (3-5%) (fotografía 6).

FOTOGRAFÍA 6 MICROFOTOGRAFÍAS DE MÁRMOL



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

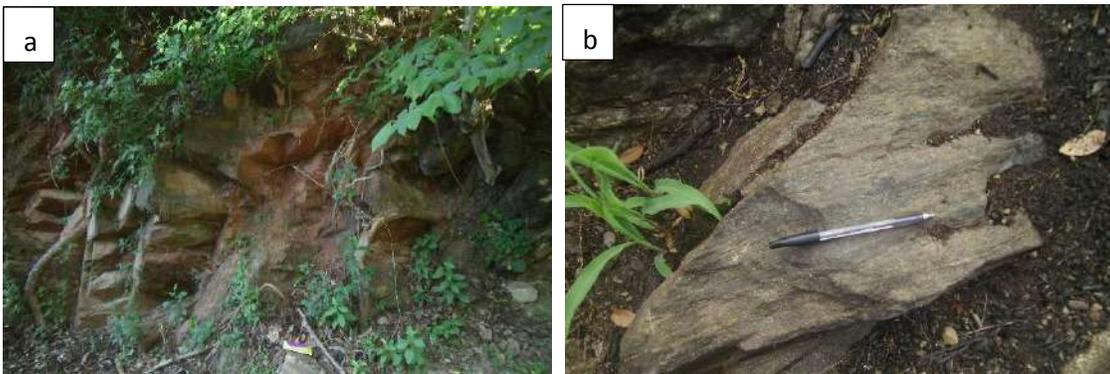
Microfotografías de mármol, izquierda en XPL y derecha en PPL. a. Mármol dolomítico, LN-004-15 con cuarzo y moscovita. c. Mármol rosa con moscovita, LN-025-15, mayor contenido de calcita, el cuarzo llega a presentar formas más subhedrales. d. Fotografía en XPL de mármol con bandas de grafito, nótese como la cantidad de moscovita aumenta.

Los esquistos, por su parte, se encuentran intercalados gradualmente con los mármoles en espesores de 1 m y 1,5 m. Generalmente se les observa con foliación penetrativa muy marcada determinada por las micas. Se observan como capas paralelas con orientación preferencial de foliación NW/SW. Los esquistos también desarrollan una lineación mineral que tiende a ser perpendicular a la dirección de foliación.

En muestra de mano se observan como rocas de grano medio con textura o estructura esquistosa formada por el contenido de moscovita ($\pm 60\%$) y biotita ($\pm 10\%$). Su textura no tiende a variar (fotografía 7).

Se pueden observar pórfidos de feldespato y cuarzo con ligeras rotaciones sinestrales poco desarrolladas. Es usual también encontrar ligeras crenulaciones, de un máximo de 10 cm de longitud asociadas a estas rocas, formadas por la deformación leve de los planos de esquistosidad.

FOTOGRAFÍA 7 AFLORAMIENTOS DE ESQUISTO MOSCOVÍTICO.



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

a. afloramiento ubicado en la localidad de Los Jobsos UTM: 773092, 1649127. b. Afloramiento ubicado en la localidad Rancho Sentado, UTM: 773853, 1649840.

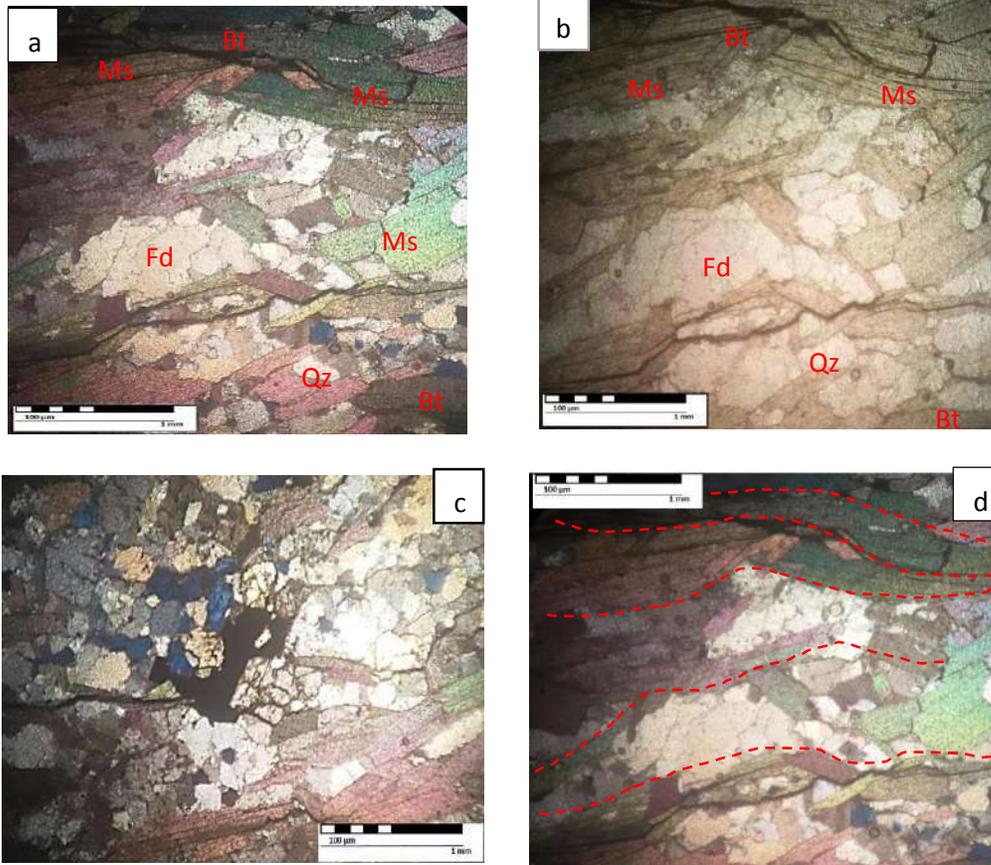
En el análisis de la sección delgada LN-014-15, *ver mapa de muestras en anexos*, puede observarse que la roca está constituida en su mayoría por moscovita (65%), en menor grado biotita (15%), cuarzo (10%), feldespato (7%) y minerales opacos (3%) (tabla 3). No se observan indicadores cinemáticos determinantes, salvo un microplegamiento poco desarrollado por las micas (fotografía 8).

TABLA 3
RESULTADOS DEL ANÁLISIS PETROGRÁFICO
DE LA SECCIÓN LN-014-15.

Mineral	Porcentaje	Forma	Tamaño (μm)
Moscovita (Ms)	65	Euhedral a Subhedral	≥ 1000
Biotita (Bt)	15	Euhedral a Subhedral	≥ 1000
Cuarzo (Qz)	10	Subhedral a Anhedral	100-200
Feldespato (Fd)	7	Subhedral	300-700
Opacos	3	Euhedral a Subhedral	500-800
Textura:	Lepidoblástica, inequigranular		
Tipo de metamorfismo:	Regional		
Grado metamórfico:	B (bajo) a MB (medio bajo)		
Zona metamórfica:	Zona de Biotita		
Protolito:	Areniscas/pelitas		
Clasificación:	Esquisto Moscovítico con Biotita		

Fuente: Investigación de campo. 2015

FOTOGRAFÍA 8 MICROFOTOGRAFÍA DE LA SECCIÓN LN-014-15, ESQUISTO MOSCOVÍTICO.



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

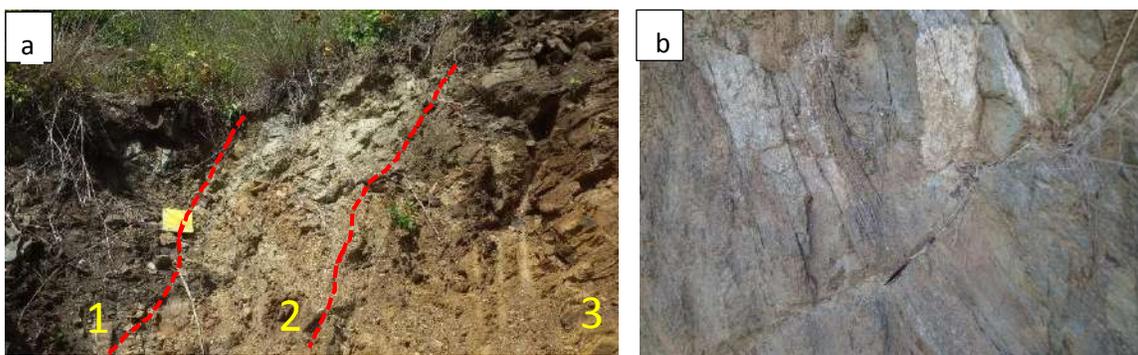
a. Moscovita y Biotita en XPL con colores de interferencia de tercer orden y granos blancos y beige de cuarzo y feldespato, se observa una orientación preferencial formado por las micas. b. Misma fotografía en PPL, la platina se ha rotado 15° con respecto a la foto anterior. c. Porfidoblasto al centro de la imagen, mineral metálico opaco con granos sobrepuestos de cuarzo y feldespato. d. Micro plegamiento semi simétrico poco desarrollado en los planos de mica.

4.1.3 Unidad de Para-anfibolitas (Upa)

Afloran en la parte noreste y centro del área y se extienden de noroeste a sureste, paralelas al rumbo de gneises y mármoles. Sobreyace a los Mármoles con los cuales se encuentra en contacto gradual. Estas rocas se observan solamente en secciones aisladas del área; foliadas y fuertemente fracturadas.

Puede llegar a variar su rumbo en 15° , pero siempre mantiene la relación hacia el NW/SE. Esta unidad agrupa una secuencia que consiste en para-anfibolitas, cuarcitas y grafito, que se observan como capas paralelas en contacto gradual con espesores menores o iguales a 1,5 m (fotografía 9).

FOTOGRAFÍA 9
a. SECUENCIA METASEDIMENTARIA UBICADA EN LA LOCALIDAD DE LAS CUEVAS, UTM: 774331, 16503785. b. AFLORAMIENTO DE ANFIBOLITAS EN EL CAMPO DE FUTBOL LOS JOBOS, UTM: 773336, 1649181.



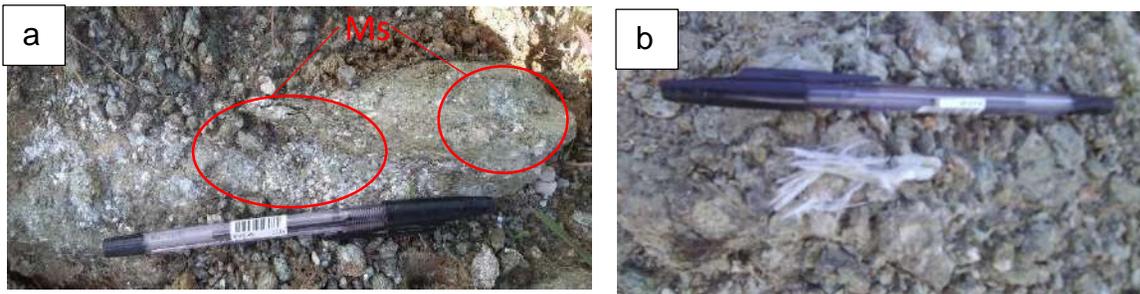
Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

a. 1. Horizonte oscuro que contiene fragmentos de grafito. 2. Estrato blanquecino, contiene una capa de poco espesor de cuarcita. 3. Capa de mayor espesor y coloraciones naranjas y verdosas perteneciente a para-anfibolitas. b. Afloramiento de Anfibolitas en el campo de futbol Los Jobos, presenta un patrón de fracturamiento fuerte y bien marcado, UTM: 773336, 1649181.

En muestra de mano se observa como rocas de grano fino, su textura es similar a areniscas de grano fino. Se observan cristales grandes de cuarzo con un hábito anguloso cuando se acerca a la zona de cizalla, Granates, que rara vez superan el milímetro de tamaño, Feldespato y algunos minerales metálicos. Lateralmente tienden a encontrarse cristales de moscovita mientras se acerca a la base de la unidad.

La matriz que le da el color característico está formada por anfíboles de tamaño menor a un milímetro y Tremolita. Es común ver a esta roca afectada fuertemente por la meteorización, en ocasiones solo puede encontrarse como un material arcilloso de color blanco o beige (fotografía 10).

FOTOGRAFÍA 10
a. ANFIBOLITA CON CRISTALES DE MOSCOVITA, INDICA CERCANÍA A LA BASE. b. CRISTALES DISGREGADOS DE TREMOLITA EN MATRIZ DE ANFIBOLES.

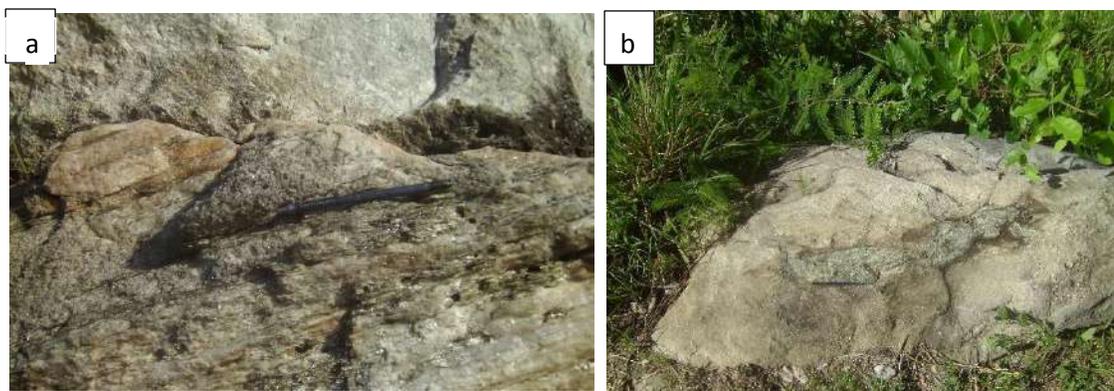


Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

La capa de Cuarcitas posee un espesor no mayor a 1 m. Se observa como cuarzo blanquecino, subhedral a anhedral y deleznable. Al sur, localidad de Rancho Sentado, pueden encontrarse los mejores exponentes de las cuarcitas, aunque asemejan a lentes debido a la deformación.

En esta localidad desarrollan una fuerte foliación de mica blanca (fengita) alternada con micas de tonos verdes esmeralda (fuchsita) (fotografía 11).

FOTOGRAFÍA 11
a. CUARCITA CON MOSCOVITA Y FENGITA. b. CUARCITA
CON UNA BANDA DE FUSCHITA

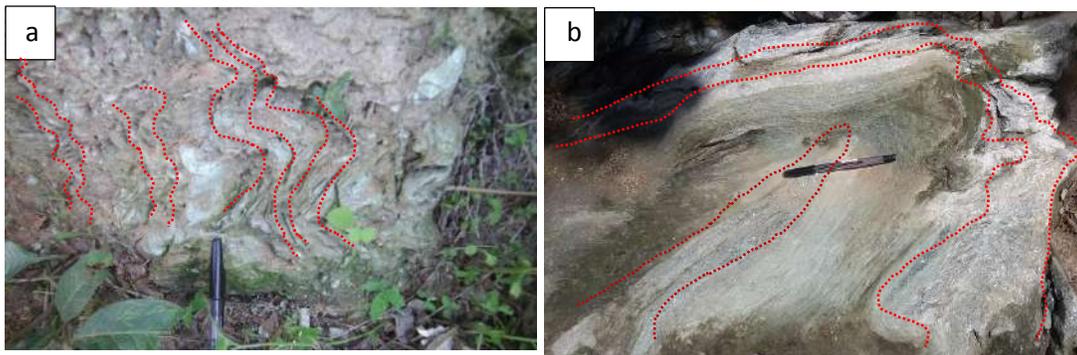


Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

A su vez, las cuarcitas pueden encontrarse en contactos graduales con capas, de espesores no mayores a 1 m, de grafito. Éste se observa como una roca grisácea azulada, varia de grano muy fino a medio y es común verla acompañado con cuarzo. La mejor exposición de esta secuencia es en la localidad de Rancho Sentado al E del área.

La Anfibolita está fuertemente afectada por una zona de cizalla, cuyo mejor exponente se encuentra en el centro de los Jobos, donde se forma un patrón fuerte de fracturamiento, se desarrollan plegamientos parasitarios y crenulaciones bien marcadas (fotografía 12).

FOTOGRAFÍA 12
a. CRENLACIÓN SEMI SIMETRICA DESARROLLADA EN ANFIBOLITA. b. PLEGAMIENTO PARASITO EN ANFIBOLITA.



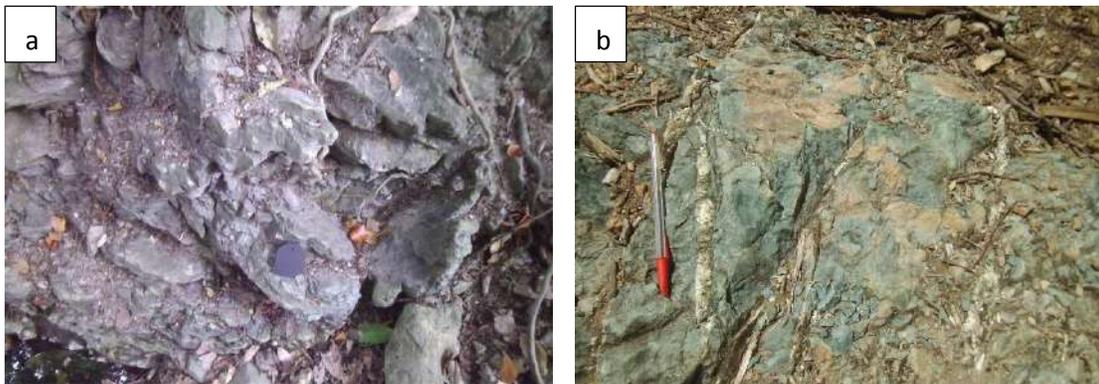
Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

4.1.4 Unidad de Serpentinitas (Usp)

Es la unidad más abundante en el área, aflorando en el centro, sur y oeste. Se extiende de noroeste a sureste cabalgando sobre las capas de Anfibolitas. Su alto grado de deformación hace que varíe la orientación de la foliación.

Se encuentra como una roca de grano muy fino y textura sedosa debido al alto contenido de talco, su coloración puede ser negra, café, verde pálido o blanca, dependiendo de su nivel de alteración. Su mineralogía a nivel macroscópico consiste principalmente en olivinos (45%), piroxenos (10%), crisotilo (5%), talco/saponita (15%), sericita (10%) y actinolita (5%) (fotografía 13).

FOTOGRAFÍA 13
a. SERPENTINITAS EN LA QUEBRADA LO DE REYES, UTM:
772188, 1648557. b. AFLORAMIENTO DE SERPENTINITAS EN
LA LOCALIDAD DE LOS JOBOS, UTM: 774298, 1649029.

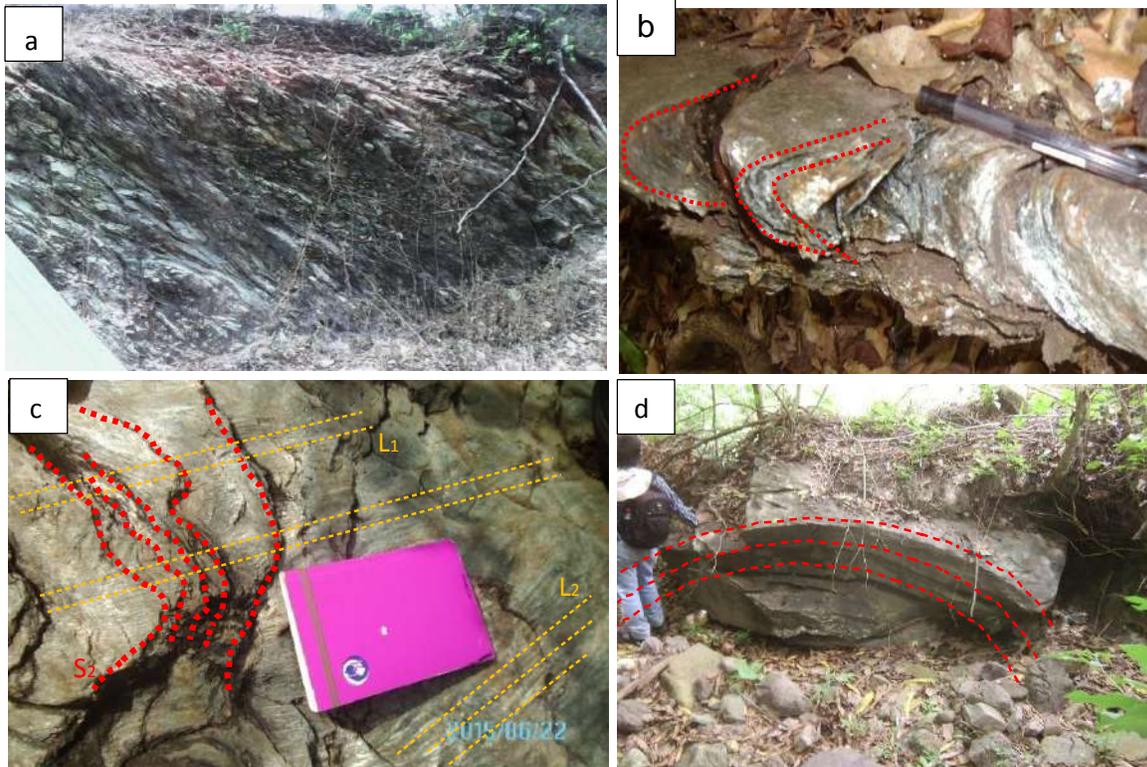


Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

La Serpentinita se observa en las cotas bajas cabalgando sobre la unidad de anfibolitas, en esta zona puede observarse esta roca mezclada con otros materiales como anfibolitas, grafito, esquistos, etc. Además, forma parte de la zona de cizalla que guarda una dirección paralela al rumbo de las Anfibolitas, Gneises y Esquistos.

Suele presentar pliegues parásitos de unos cuantos centímetros y plegamientos mayores a 3 m de altura. Se le observa con frecuencia crenulada, fallada y con lineaciones bien marcadas (fotografía 14).

FOTOGRAFÍA 14 AFLORAMIENTOS DE SERPENTINITAS



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

a. Serpentinita fuertemente fracturada afectada por la zona de cizalla en el centro de Los Jobos. b. Pliegue parásito centimétrico en serpentinita. c. Planos de crenulación S_2 y dos patrones de lineación L_1 y L_2 en una serpentinita con alto contenido de talco. d. Mitad de un pliegue de serpentinita, Quebrada Lo de Reyes.

Dentro de esta unidad pueden observarse diques de orto-anfibolitas, con espesores entre 1 m y 3 m, que se han deformado a tal punto de asemejar lentes. Son rocas de grano fino a medio y textura nematoblástica, formadas casi exclusivamente por hornblenda, lo que les da una coloración negra y verde oscura característica (fotografía 15).

FOTOGRAFÍA 15
LENTES DE ANFIBOLITA ENTRE SERPENTINITAS EN LA
LOCALIDAD DE RANCHO SENTADO, UTM: 774446, 1648388.



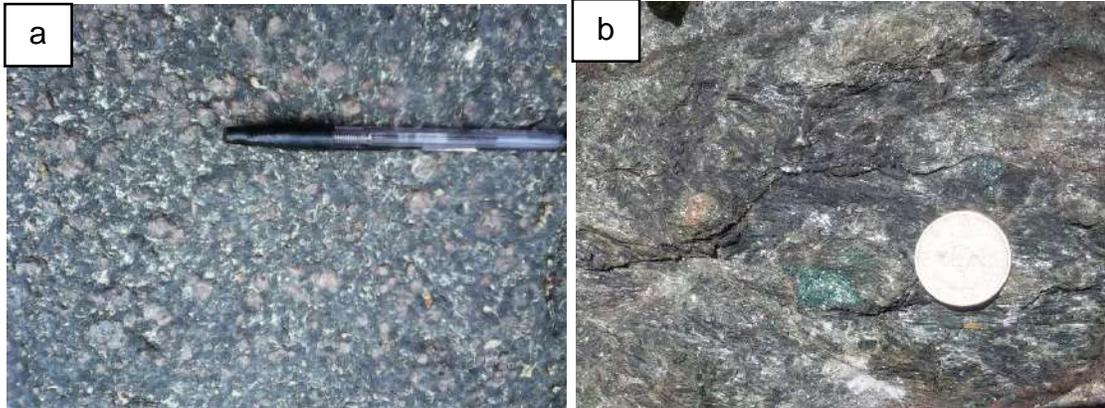
Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

En el sur del área estas anfibolitas pueden presentar ocurrencia de granates ≥ 3 mm. Pueden llegar a presentar foliación con tendencia al noroeste, aunque es común que no se encuentren foliadas. Además, pueden desarrollar una lineación mineral formada por los anfíboles.

Por otro lado, al NE, las anfibolitas carecen de granates, pero pueden encontrarse crenuladas y con la ocurrencia de fuchcita (fotografía 16).

FOTOGRAFÍA 16

a. GRANATES $\geq 1\text{cm}$ EN ANFIBOLITA. b. ORTO-ANFIBOLITA CON MOSCOVITA + HORNBLENDA+ FUCHSITA+ MOSCOVITA



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

En el análisis de la sección delgada LN-010-15, (mapa de muestras en anexos), se determinó que esta variedad de anfibolita está constituida en su mayoría por anfíboles, principalmente hornblendas (70%), en menor grado ortopiroxenos (15%), granates (10%) y minerales opacos (5%). (tabla 4).

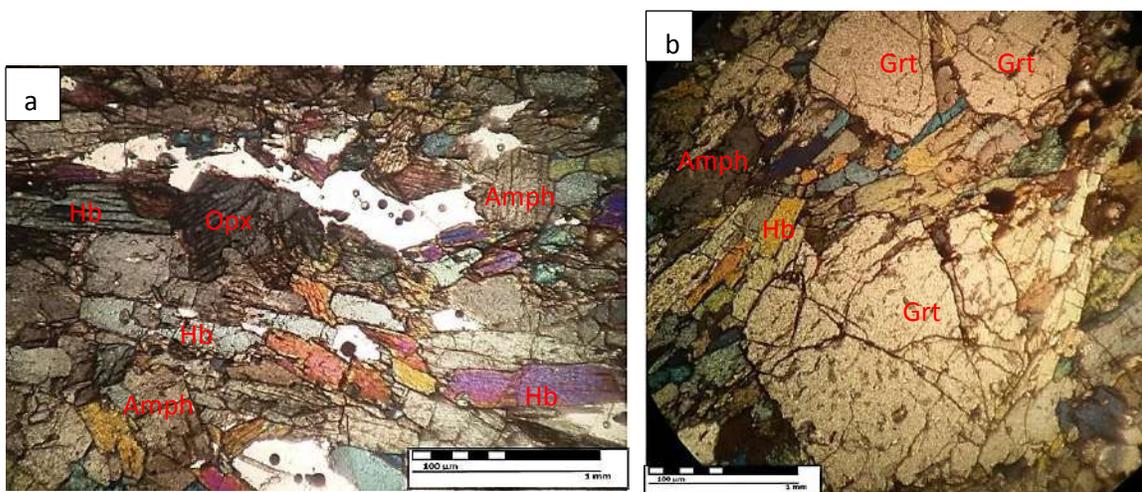
TABLA 4
RESULTADOS DEL ANÁLISIS MICROSCÓPICO DE LA SECCIÓN LN-010-15.

Mineral	Porcentaje	Forma	Tamaño (μm)
Anfíboles (Hb –Amph)	70	Euhedral a Subhedral	≥ 500
Ortopiroxenos (Opx)	15	Euhedral a Subhedral	≥ 500
Granates (Grt)	10	Euhedral a Subhedral	> 1000
Opacos	5	Euhedral a Subhedral	≥ 300
Textura:	Nematoblástica, porfidonematoblástica		
Tipo de metamorfismo:	Regional		
Grado metamórfico:	M (medio) a A (alto)		
Zona metamórfica:	Zona de Granate		
Protolito:	Hornblendita		
Clasificación:	Anfibolita con granates		

Fuente: Investigación de campo. 2015

Los granates se identifican como minerales pre-tectónicos y pueden llegar a formar una ligera tendencia de rotación, aunque es prácticamente imperceptible salvo por una orientación leve de los anfíboles que lo rodean (fotografía 17).

FOTOGRAFÍA 17 MICROFOTOGRAFÍAS EN XPL DE LA SECCIÓN LN-010-15. ANFIBOLITA CON GRANATES



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

a. Arreglo orientado de los anfíboles en mezcla con ortopiroxenos, nótese la variedad de anfíboles que presenta aparte de la hornblenda. b. Granates fracturados sobre una matriz de anfíboles. Se nota también en el centro de la foto un cristal opaco con forma euhedral.

Además de las anfibolitas se pueden encontrar diques de pegmatitas simples que pueden variar de algunos centímetros hasta de 3 m de espesor, aunque cabe mencionar que los diques de mayores dimensiones se encuentran fuertemente deformados, fracturados y fallados por lo que su forma original ya no es perceptible. Pueden apreciarse sus mejores exponentes en la parte sur del área, localidad de Los Jobos (fotografía 18).

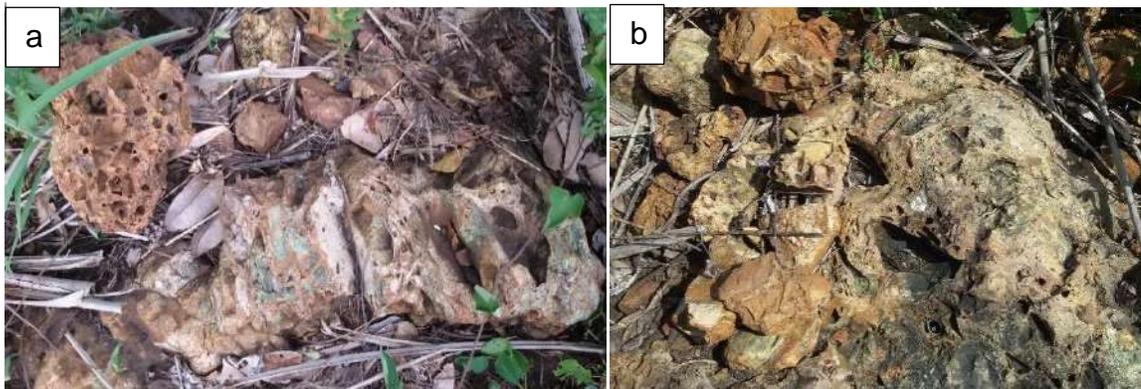
FOTOGRAFÍA 18
DIQUE DE PEGMATITA UBICADO EN LAS COORDENADAS
UTM: 774426, 1648334, AFECTADO POR UNA FALLA
INVERSA EVIDENCIADA POR LAS ESTRÍAS EN EL PLANO.



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

Al sureste del área, localidad de Lo de Reyes al pie de los cerros de El Tablón pueden encontrarse serpentinitas con texturas *boxwork* o panal de abejas y alteradas por procesos de silicificación. Esto es un indicador de un paleofoco de alteración hidrotermal. La alteración se concentra en el valle y disminuye al ascender a las partes altas. Es el único punto en el área donde pueden encontrarse estas texturas de alteración en las serpentinitas (fotografía 19).

FOTOGRAFÍA 19 SERPENTINITAS DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL



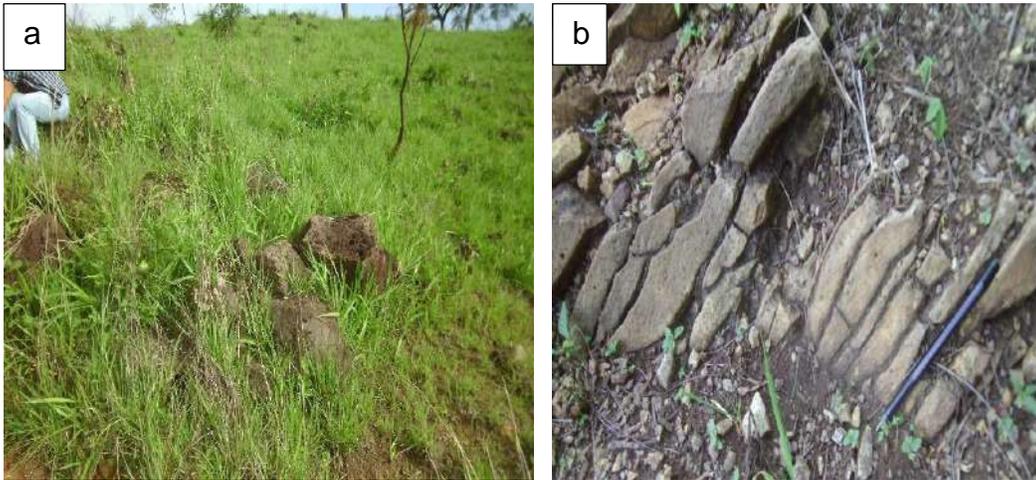
Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

Serpentinitas de alteración hidrotermal con textura encajonada, en panal de abeja o *boxwork*. Nótese la fotografía de la izquierda conserva pequeños remanentes de la serpentinita original entre los cajones de la textura.

4.1.5 Unidad de Lavas Basálticas Terciarias (Tlb)

Después de la Serpentinita, es la unidad más abundante en el área. Se encuentran como capas horizontales formando una discordancia con las unidades subyacentes. Se le observa como suelo residual de color negro o café oscuro o como bloques sueltos de aproximadamente cincuenta centímetros en quebradas y ríos. Es el principal componente de los cerros de El Tablón (fotografía 20).

FOTOGRAFÍA 20 BASALTOS FRACTURADOS Y VESICULARES



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

a. Basaltos vesiculares en las coordenadas UTM: 773356, 1648837. b. Basaltos fracturados en un patrón oblicuo ubicados en las coordenadas UTM: 772952, 1648407.

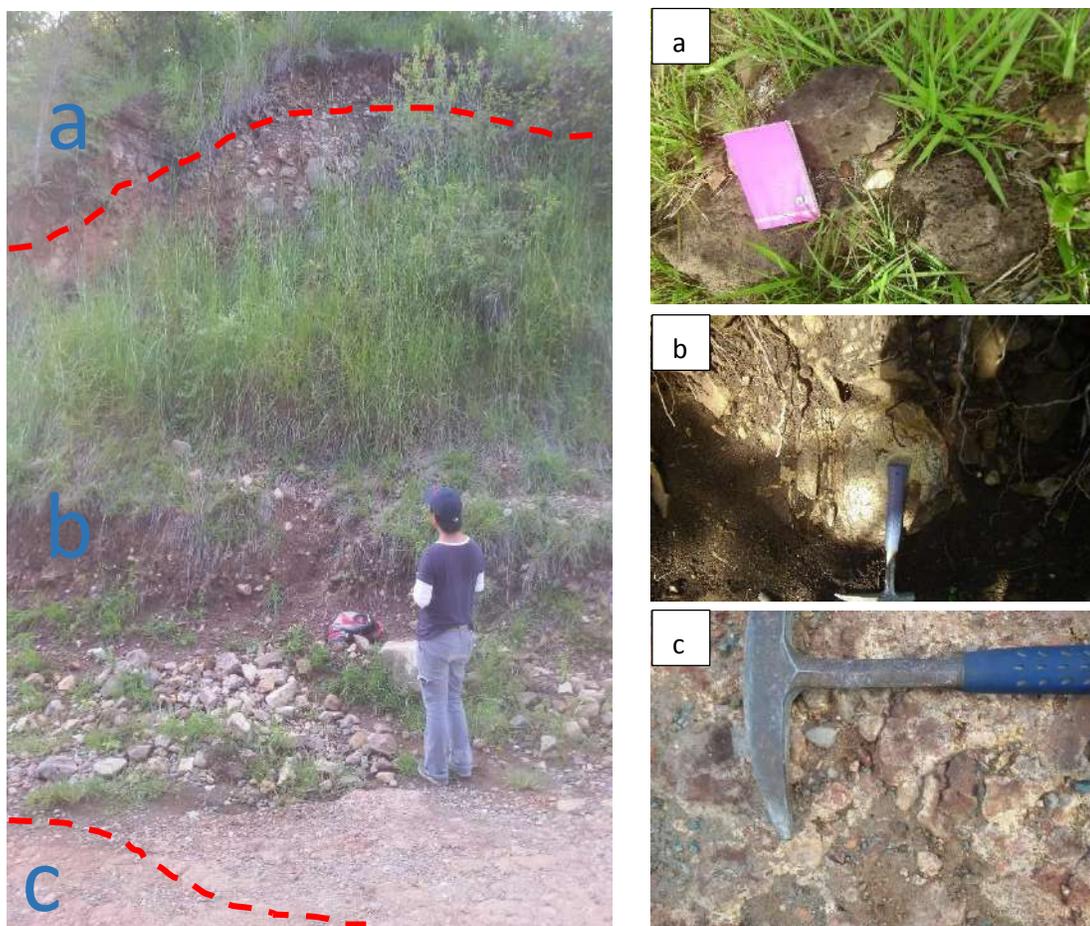
Esta unidad está formada por una secuencia que agrupa tres variaciones en la textura de la roca (fotografía 21).

La parte más baja de la secuencia está constituida de brechas basálticas, rara vez se encuentran aflorando, solamente pueden verse en algunas veredas o partes de la carretera. Son rocas con una matriz de grano fino leucocrática con fragmentos angulosos de basalto de coloración marrón oscuro.

Sobre estas brechas pueden encontrarse aflorando basaltos, grano muy fino, coloraciones de gris hasta marrón oscuro. La parte superior de la secuencia y, la que parece ser la de mayor espesor, consiste en basaltos con textura vesicular o espacios vacíos que indican la presencia de volátiles al momento del enfriamiento.

Estos últimos no se encuentran como afloramientos, sino más bien como bloques de entre 20 cm hasta 50 cm diseminados sobre suelo negro producido por la meteorización de los mismos basaltos. La mejor exposición de la secuencia completa se encuentra en la localidad de Las Cuevas, al noreste del área (fotografía 21).

FOTOGRAFÍA 21
SECUENCIA DE LAVAS BASÁLTICAS EN LA LOCALIDAD LAS CUEVAS, CARRETERA HACIA LOS JOBOS, UTM: 772742, 1650314.



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

- a. Basaltos vesiculares en el techo de la secuencia. b. Basaltos de grano fino.
 c. Brechas basálticas formando la base de la secuencia.

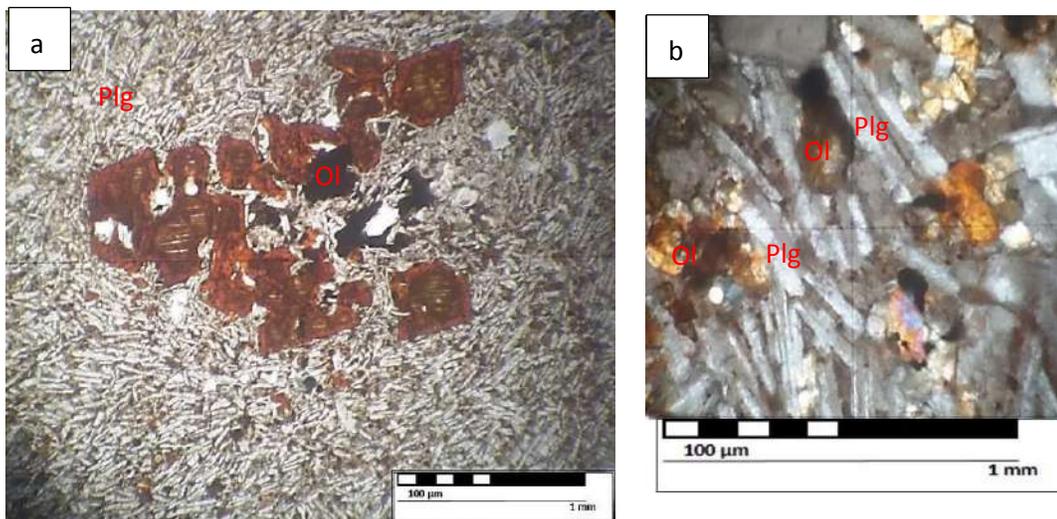
Los basaltos en muestra de mano pueden distinguirse como rocas de grano muy fino y colores de gris a marrón, con una textura vesicular. Macroscópicamente solo pueden distinguirse olivinos meteorizados en una matriz muy fina de tonos claros.

En lámina delgada, la muestra LN-006-15, (mapa de muestras en anexos), demuestra que la matriz de estos basaltos está constituida por plagioclasas cálcicas, principalmente bytownita y labradorita (tabla 5), que distinguen un maclado característico que divide los cristales en dos o más franjas alternas de tonalidades claras y oscuras (Tipo Carlsbad).

Los olivinos son el segundo constituyente de esta roca, varían su tamaño considerablemente y se observan como minerales de hábito ortorrómbico con coloraciones naranjas y rojizas (fotografía 22).

Siendo la parte más superficial de la secuencia basáltica, es común encontrar los olivinos fuertemente afectados por la meteorización, lo que es evidente al microscopio donde han perdido sus colores de interferencia característicos y se distingue una aureola marcada en el borde del cristal.

FOTOGRAFÍA 22 MICROFOTOGRAFÍAS DE BASALTO OLIVÍNICO EN XPL.



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

a. Varios cristales de olivino y minerales opacos en una matriz de plagioclasas a 4x. b. Mismo basalto a 10x, se observa el maclado de las plagioclasas y los olivinos de menor tamaño.

TABLA 5 RESULTADOS DEL ANÁLISIS MICROSCÓPICO DE LA SECCIÓN LN-006-15

Mineral	Porcentaje	Forma	Tamaño (µm)
Olivinos (Ol)	55	Euhedral a Subhedral	≥ 300
Opacos	3	Euhedral a Subhedral	≥ 500
*Bytownita (Plg)	35	Euhedral a Subhedral	≤ 100
*Labratoryta (Plg)	7	Euhedral a Subhedral	≤ 100
Textura:	Porfídica, Fluidal		
Tipo de roca:	Ígnea Extrusiva		
Magma:	Básico		
Serie ígnea:	Alcalina		

Fuente: Investigación de campo. 2015

*Las plagioclasas bytownita y labratoryta están presentes porcentualmente, pero son la matriz de la roca

4.1.6 Unidad de Coluvión (Qcol)

Esta unidad es la más reciente del área y se encuentra en la parte noreste desplazándose hacia el sureste en capas horizontales formando una inconformidad con las unidades subyacentes.

Al suroeste puede encontrarse un coluvión por avalanchas de calizas marmoleadas y mármoles proveniente del Mármol Lo de Reyes (fotografía 23).

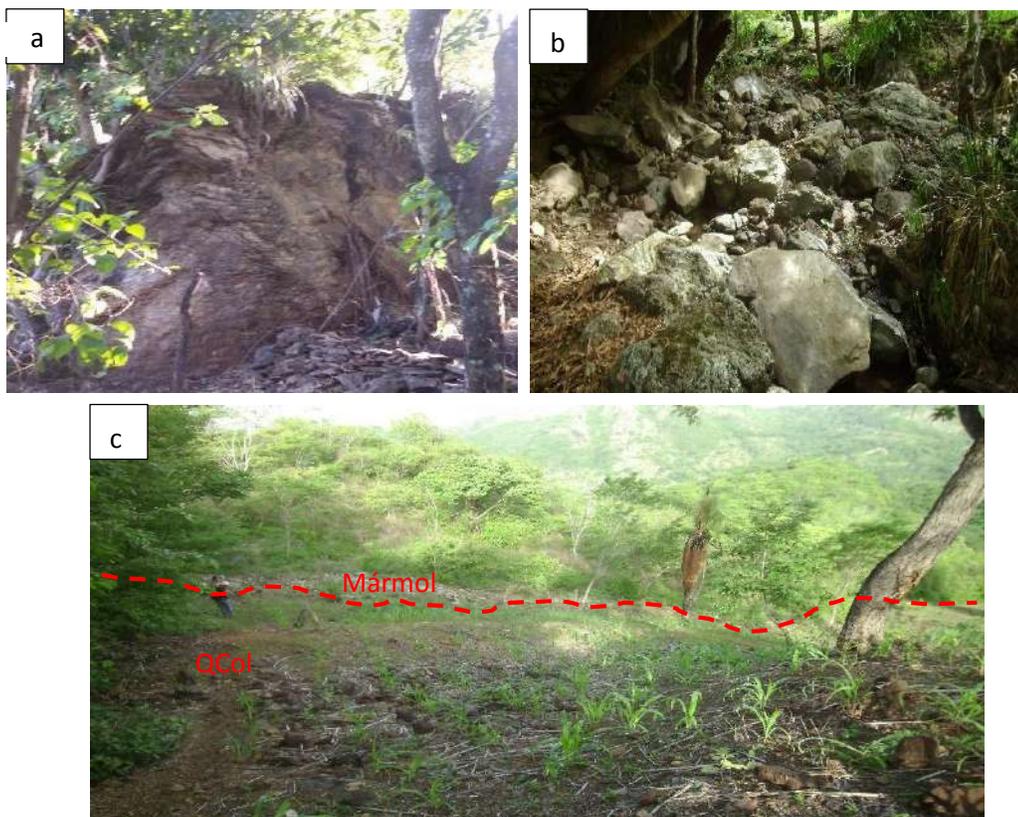
FOTOGRAFÍA 23 COLUVIÓN POR AVALANCHA DE MÁRMOL Y CALIZA MARMOLEADA. LO DE REYES, UTM: 772836, 1650277.



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

Forma gran parte de las quebradas y ríos, principalmente en el Río Gavilanes. Hay dos tipos distinguibles de coluvión en el área, por avalanchas y de acarreo fluvial. Generalmente está conformado por bloques de Serpentinita, Anfibolitas, Basaltos, Gneises y Esquistos (fotografía 24).

FOTOGRAFÍA 24 BLOQUES Y COLUVIONES



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

a. Bloque de serpentinita, coluvión de avalancha, UTM: 773557, 1649798. b. Coluvión de acarreo fluvial en la quebrada del Río Pescaditos, UTM: 77233, 164880. c. Coluvión por avalancha de basaltos vesiculares sobre mármol.

4.2 Geología Estructural

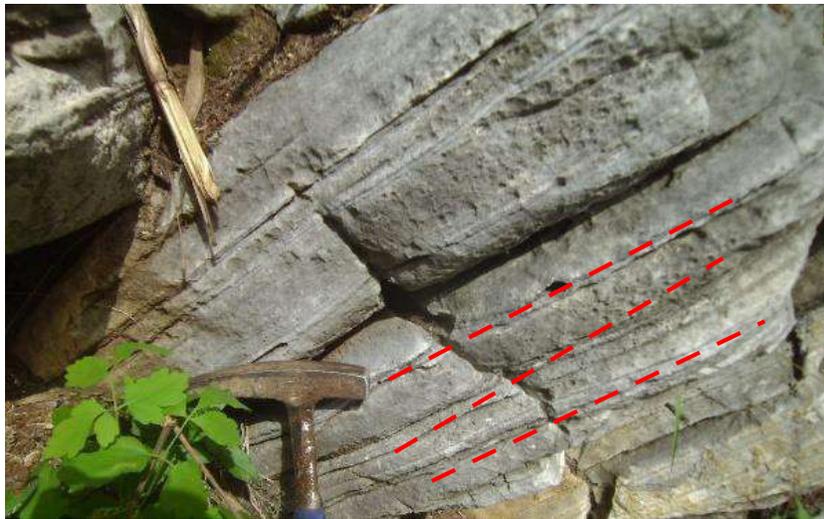
4.2.1 Foliación

Es un rasgo típico de encontrar en todas las unidades, excepto por las lavas basálticas. Hay dos tipos de foliación que pueden encontrarse en el área: la foliación principal (S1) que se ve evidenciada como la tendencia preferencial en todas las rocas del área, y una foliación menor o secundaria (S2) que suele presentarse en algunos sectores donde afloran serpentinitas.

a. Foliación S1

Es la estructura más sobresaliente y abundante en el área afectando prácticamente a todas las unidades. Por lo general va desde penetrativa en los gneises, esquistos y mármoles (fotografía 25) hasta llegar a una foliación grosera en las serpentinitas.

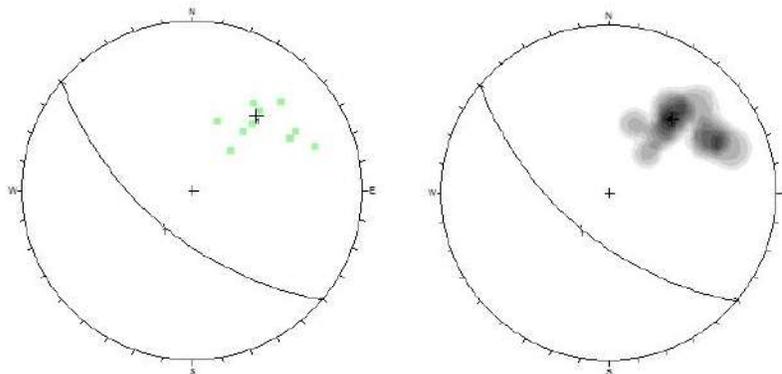
FOTOGRAFÍA 25
FOLIACIÓN S1 PENETRATIVA DESARROLLADA
EN MÁRMOL.



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

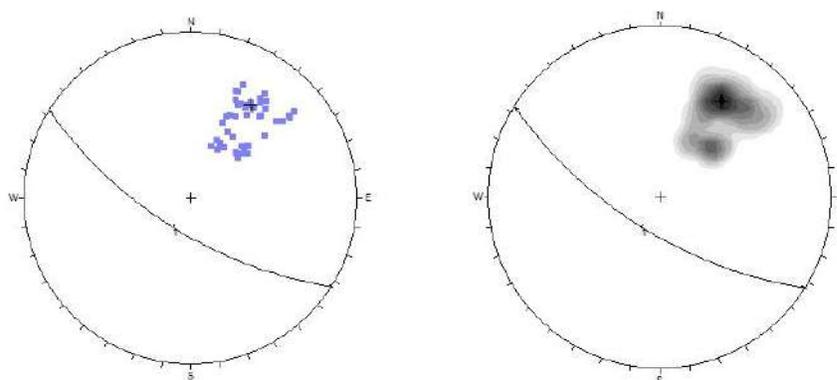
Las foliaciones son poco variables y suelen mantener un rumbo hacia el noroeste en las unidades de serpentinita, anfíbolita, mármol y gneis biotítico, (figuras 3, 4, 5 y 6). Hay un ligero cambio de ± 10 grados, pero suelen mantenerse entre N295° y N310°.

FIGURA 3
ESTEREOGRAMAS DE LA FOLIACIÓN DEL MÁRMOL
EN EL ÁREA. CON UNA ORIENTACION MEDIA HACIA
NW DE N310°.



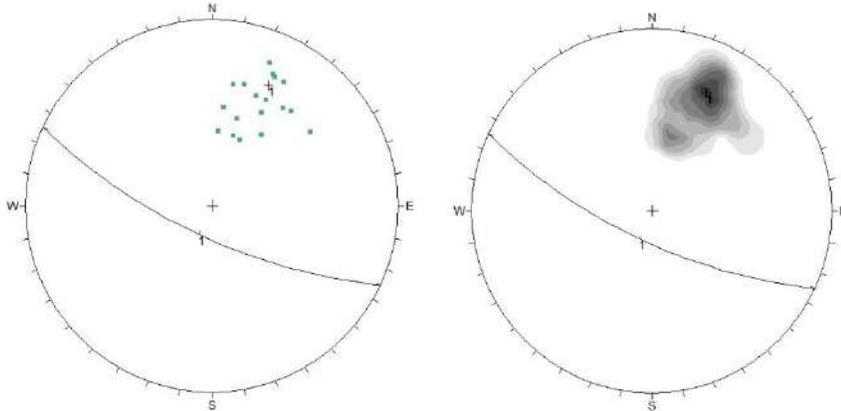
Fuente: Investigación de campo. 2015

FIGURA 4
ESTEREOGRAMAS PARA LA REPRESENTACIÓN DE LA
FOLIACIÓN DE LAS SERPENTINITAS EN EL ÁREA. CON UNA
ORIENTACION MEDIA HACIA EL NW DE N301°



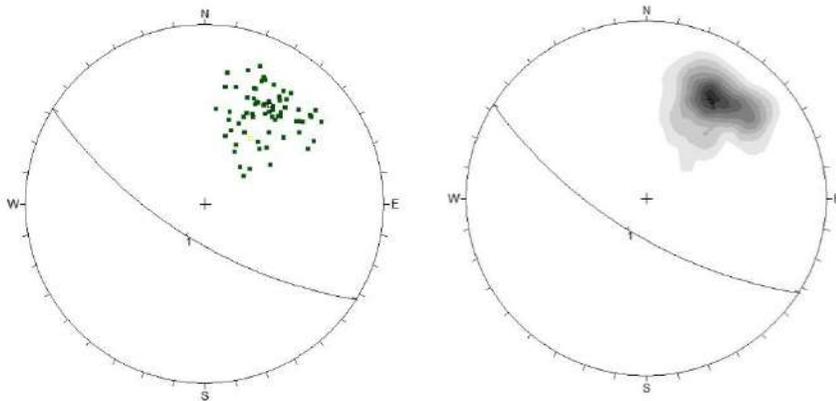
Fuente: Investigación de campo. 2015

FIGURA 5
ESTEREOGRAMA QUE PRESENTA LOS POLOS DE PLANOS DE FOLIACIÓN EN LAS ANFIBOLITAS EN EL ÁREA. EL PLANO MUESTRA UNA ORIENTACIÓN MEDIA HACIA EL NW DE N295°.



Fuente: Investigación de campo. 2015

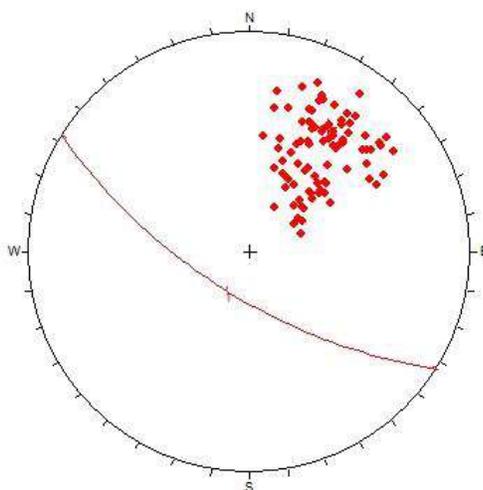
FIGURA 6
ESTEREOGRAMAS REPRESENTANDO LOS POLOS DE PLANOS DE FOLIACIÓN DEL GNEIS BIOTÍTICO EN EL ÁREA DE ESTUDIO. PRESENTA UNA ORIENTACIÓN MEDIA NW-SE DE N315°.



Fuente: Investigación de campo. 2015

En la figura 7 se ha trazado el plano medio que representa la foliación S1 en todas las unidades. La ciclográfica media cuya concentración de polos se encuentran al NE posee una orientación de $N301^\circ$ (*Dip/Dir*).

FIGURA 7
ESTEREOGRAMA REPRESENTANDO LOS POLOS
DE PLANOS DE FOLIACIÓN DE TODAS LAS
UNIDADES EN EL ÁREA DE ESTUDIO. PRESENTA
UNA ORIENTACIÓN MEDIA NW-SE DE $N301^\circ$.



Fuente: Investigación de campo. 2015

b. Foliación S2

Es menos frecuente, generalmente se desarrolla en las rocas que tienden a deformarse como las serpentinitas (fotografía 26) y anfibolitas, donde la foliación original se ha replegado. La foliación S2 encuentra comúnmente cortando los planos de la foliación original.

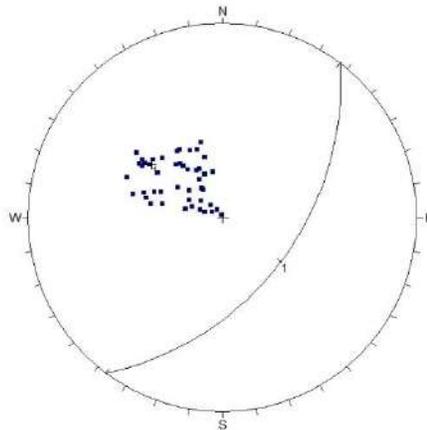
FOTOGRAFÍA 26
PLANOS AXIALES DE CRENULACIÓN EN SERPENTINITA



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

La foliación S2 suele variar constantemente debido al nivel de deformación en las serpentinitas. En la figura 8 el plano medio posee una dirección NE con una orientación N218° (*Dip/Dir*).

FIGURA 8
DIAGRAMA DE POLOS PARA LOS PLANOS AXIALES DE CRENULACIÓN EN SERPENTINITAS.

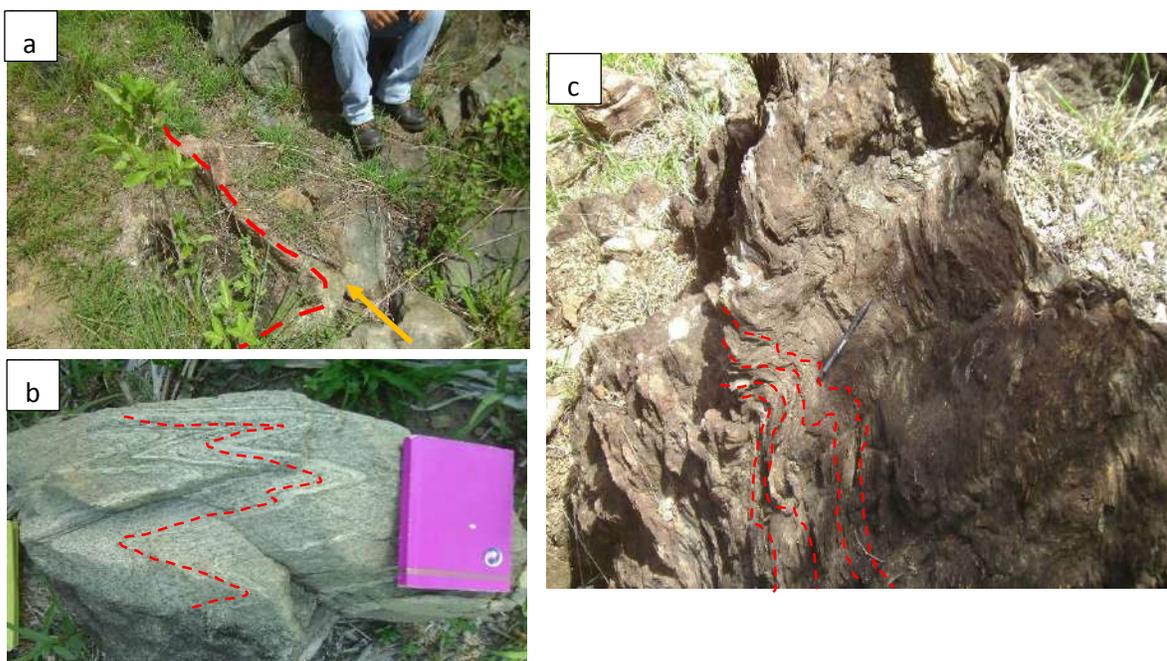


Fuente: Investigación de campo. 2015

4.2.2 Pliegues

Son estructuras que resultan de los esfuerzos de compresión que afectan el área. Pueden llegar a encontrarse pliegues de hasta cinco o diez metros en el área (fotografía 27). Los plegamientos se agrupan según la clasificación de Fleuty, en base al buzamiento del plano axial y la inmersión del eje (tabla 6).

FOTOGRAFÍA 27 PLIEGUES EN EL AREA DE ESTUDIO



Tomada por: Luis Chavarría Noack. Año 2015

a. Pliegue de anfibolita, en el núcleo serpentinita. b. Pliegue isoclinal en Gneis biotítico. c. Plegamientos pequeños en serpentinita

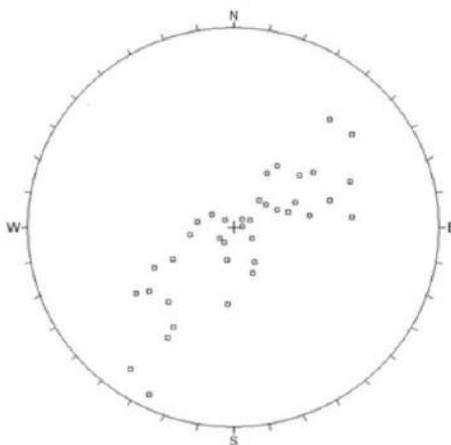
TABLA 6
CLASIFICACIÓN DE LOS PLIEGUES DEL ÁREA DE ESTUDIO EN
BASE AL ÁNGULO DE INMERSIÓN DE SU EJE, EL ÁNGULO
INTERLIMBAL Y EL BUZAMIENTO DE PLANO AXIAL.

EJE DIP/DR		ÁNGULO INTERLIMBAL		PLANO AXIAL DIP/DIR			NOMBRE DEL PLIEGUE	UNIDAD	
53	242	Con inmersión moderada	85	Abierto	89	152	Pliegue derecho	Pliegue derecho con inmersión moderada	Sp
66	260	Con inmersión fuerte	45	Cerrado	90	261	Pliegue derecho	Pliegue derecho con inmersión fuerte	Sp
4	206	Horizontal	176	Suave	89	288	Pliegue derecho	Pliegue derecho horizontal	Sp
11	108	Con inmersión débil	65	Cerrado	88	222	Pliegue derecho	Pliegue derecho con inmersión débil	Sp
16	290	Con inmersión débil	59	Cerrado	77	253	Pliegue muy inclinado	Pliegue muy inclinado con inmersión débil	Anf
62	158	Con inmersión fuerte	71	Abierto	79	249	Pliegue muy inclinado	Pliegue muy inclinado con inmersión fuerte	Sp
39	55	Con inmersión moderada	165	Suave	73	323	Pliegue muy inclinado	Pliegue muy inclinado con inmersión moderada	Sp
70	279	Con inmersión fuerte	73	Abierto	46	176	Moderadamente inclinado	Pliegue moderadamente inclinado con inmersión fuerte	Anf
78	121	Con inmersión fuerte	87	Abierto	69	26	Pliegue muy inclinado	Pliegue muy inclinado con inmersión fuerte	Sp
15	170	Con inmersión débil	60	Cerrado	71	262	Pliegue muy inclinado	Pliegue muy inclinado con inmersión débil	Sp
20	165	Con inmersión débil	86	Abierto	75	266	Pliegue muy inclinado	Pliegue muy inclinado con inmersión débil	Sp
14	171	Con inmersión débil	84	Abierto	72	261	Pliegue muy inclinado	Pliegue muy inclinado con inmersión débil	Sp
71	191	Con inmersión fuerte	88	Abierto	77	98	Pliegue muy inclinado	Pliegue muy inclinado con inmersión fuerte	Sp
55	31	Con inmersión moderada	29	Apretado	90	302	Pliegue derecho	Pliegue derecho con inmersión moderada	Sp

Fuente: Investigación de campo, modificado de *Geología Estructural*, Ragan D. pág. 52-55. 2015

La figura 10 evidencia que la traza de ejes de pliegue posee una tendencia NE-SW con orientación $N222^\circ$ (*Dip/Dir*) puede observarse en el estereograma con una traza de color azul. Nótese que la traza coincide con el plano medio de la foliación S2.

FIGURA 10
ESTEREOGRAMA DE EJES DE PLIEGUE Y TRAZA DE
EJE EN LAS UNIDADES DE GNEIS, SERPENTINITA Y
ANFIBOLITAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.

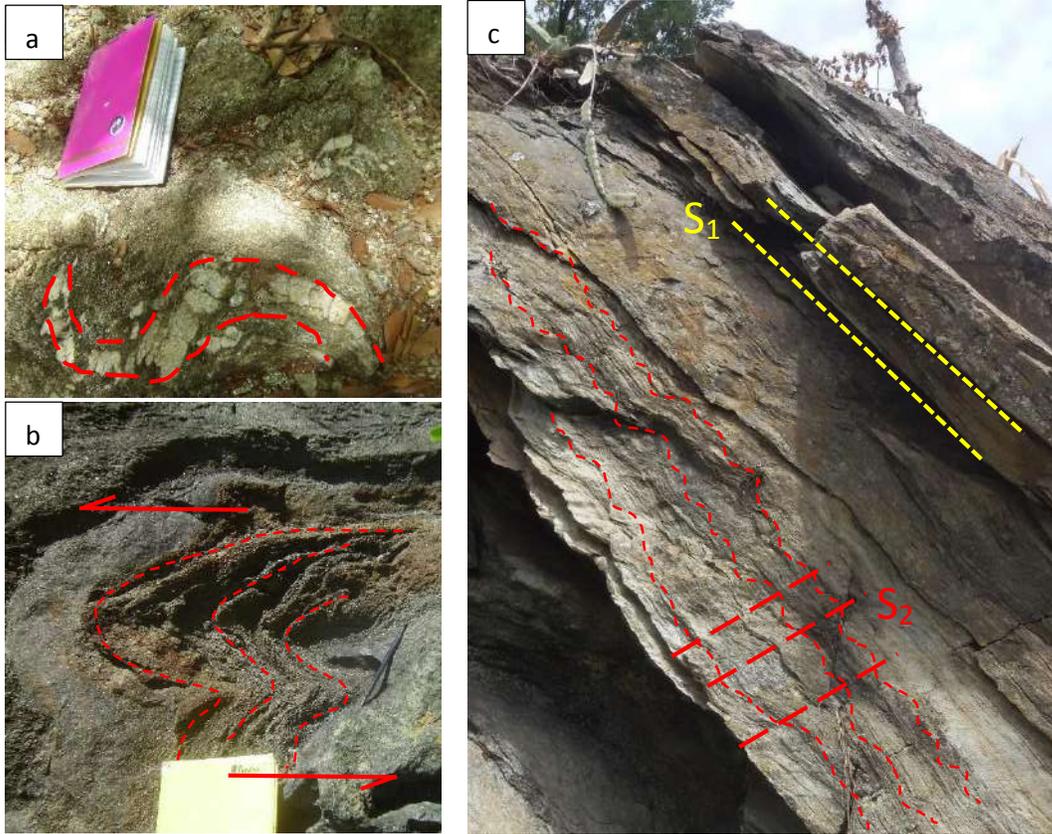


Fuente: Investigación de campo, 2015

4.2.3 Pliegues Secundarios

También llamados pliegues parásitos o pliegues menores. Son de pequeñas dimensiones. En el área pueden encontrarse como foliaciones de plano axial asociados a plegamientos mayores.

FOTOGRAFÍA 28 PLEGAMIENTOS SECUNDARIOS EN EL AREA



Tomada por: Luis Chavarría Noack 2015

a. Pliegue S formado por feldespato en gneis biotítico. b. Plegamiento parásito asimétrico en anfibolita generado por cizalla. c. Foliación de plano axial marcada en el flanco derecho de pliegue sinforme de serpentinita.

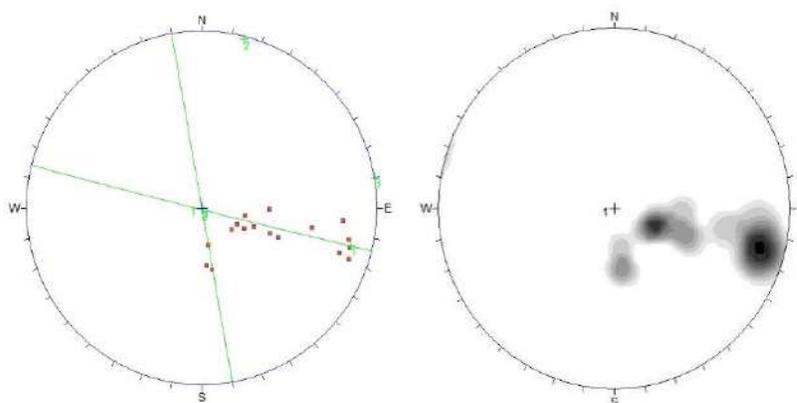
4.2.4 Lineaciones

a. Lineación de Crenulación

Esta lineación está determinada por los ejes de la crenulación, intersección entre S_1 y S_2 . Usualmente se desarrolla en las unidades de serpentinitas, pero también puede observarse en ocasiones en los planos de esquistosidad de los esquistos moscovíticos a lo largo de la foliación S_1 .

La figura 11 muestra una concentración de eje, la primera con inmersión hacia el SE y la segunda con una inmersión hacia el sur. Las trazas de estas líneas poseen orientaciones de $N284^{\circ}$ (*trend/plunge*).

FIGURA 11
DIAGRAMA DE POLOS Y DE CONTORNOS PARA
LOS EJES DE CRENULACIÓN EN LA
SERPENTINITA. LA ORIENTACIÓN MEDIA DE
LOS POLOS ES DE $N104^{\circ}$ (TREND).



Fuente: Investigación de campo. 2015

b. Ejes de Boudines

Los boudines en el área consisten en lentes de cuarzo que se forman entre los estratos del mármol de la localidad Rancho Sentado. Suelen ser de entre 5 cm a 8 cm en su eje mayor. Nótese el *boudin* de la izquierda: se desarrolla como un porfiroblasto asimétrico tipo sigma ($pc\sigma$) donde son evidentes sombras de presión que indican una cinemática dextral evidencias de un cizallamiento (fotografía 29).

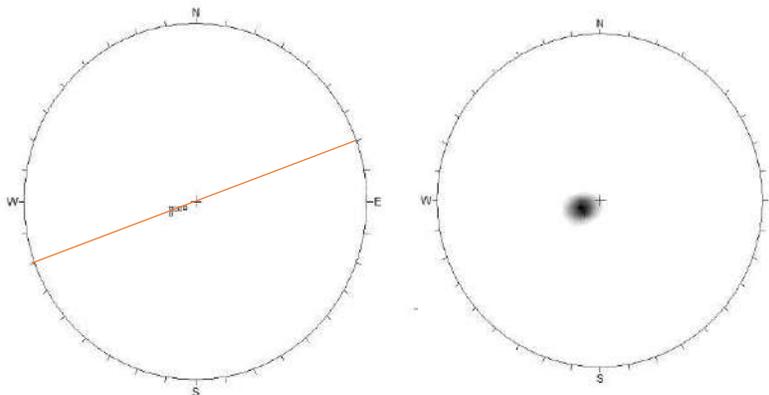
FOTOGRAFÍA 29
BOUDINES DE CUARZO EN MÁRMOL.
RANCHO SENTADO UTM: 774248, 1650565



Tomada por: Luis Chavarría Noack 2015

En la figura 12 puede observarse que los ejes se concentran con inmersión casi vertical ligeramente al SW y la traza de ejes posee una orientación de $N250^\circ$ (*trend*).

FIGURA 12
DIAGRAMA DE POLOS Y CONTORNOS PARA
LOS EJES DE BOUDINES EN EL MÁRMOL. LA
ORIENTACIÓN MEDIA DE LOS POLOS ES DE
 $N250^\circ$ (TREND).



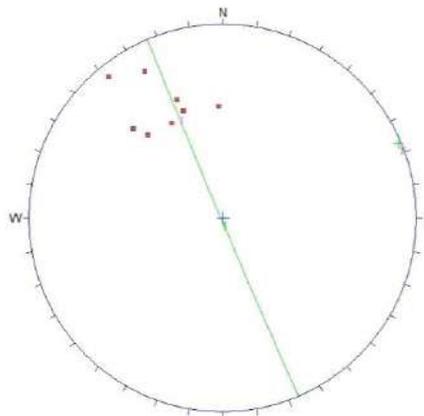
Fuente: Investigación de campo. 2015

c. Lineación Mineral

Es la alineación preferencial que se encuentra desarrollada por minerales alargados como las micas en los gneises u hornblendas en las anfibolitas. Estas lineaciones se determinaron en la unidad de gneis y usualmente se observa de manera semi perpendicular a la foliación.

En la figura 13 se presentan los ejes de lineación mineral para el área. Nótese que se concentran con una inmersión en dirección NW. La traza de lineación mineral posee un sentido NW-SE y una orientación de $N338^\circ$.

FIGURA 13
ESTEREOGRAMA PARA LOS EJES DE
LINEACIÓN MINERAL Y TRAZA DE EJE EN
LA UNIDAD DE GNEIS.



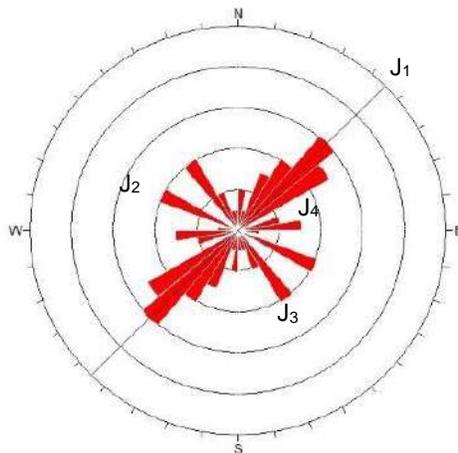
Fuente: Investigación de campo. 2015

4.2.5 Diaclasas

La mayoría de las unidades están afectadas por el fracturamiento, especialmente las Serpentinitas, Esquistos y en ocasiones el Mármol. Hay cuatro familias de fracturamiento, de las cuales una (J1) se distribuyen con regularidad a lo largo de toda el área y otras tres (J2, J3, J4) que son generalmente familias menores. Las orientaciones de estas familias son las siguientes: J1 = N45°, J2=N110°, J3=N330°, J4= N90°.

En la figura 14, el diagrama de roseta presenta que la tendencia principal de las diaclasas en el área posee una orientación NE-SW de N44°.

FIGURA 14
DIAGRAMA DE ROSETA PARA LAS DIACLASAS
DE TODAS LAS UNIDADES DEL ÁREA ESTUDIO.
LA ORIENTACIÓN ES NE-SW DE N44°.



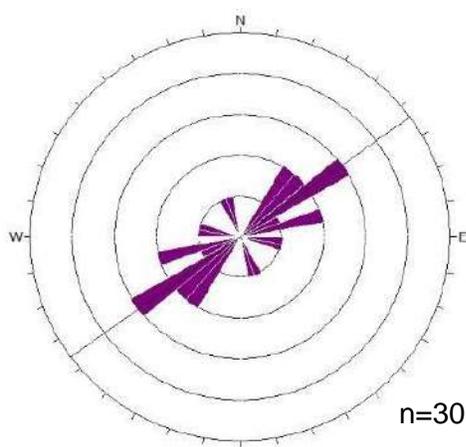
Fuente: Investigación de campo. 2015

4.2.6 Grietas de Tensión

Se encuentran en las unidades de mármol, serpentinitas, gneis y anfibolitas. Usualmente se les observa como fracturas rellenas de cuarzo o calcita de espesores entre tres y quince centímetros y de longitud variable que nunca llega a ser mayor de un metro.

Hay cinco familias diferentes, que coinciden con los sistemas que desarrollan las fracturas las orientaciones son $N54^\circ$, $N80^\circ$, $N100^\circ$ y $N340^\circ$. Para las unidades se evidencia una dirección media NE-SW de $N54^\circ$ como se puede observar en la figura 15.

FIGURA 15
DIAGRAMA DE ROSETA PARA LAS GRIETAS DE TENSION EN EL ÁREA DE ESTUDIO. LA ORIENTACIÓN MEDIA ES DE NE-SW DE $N54^\circ$.



Fuente: Investigación de campo. 2015

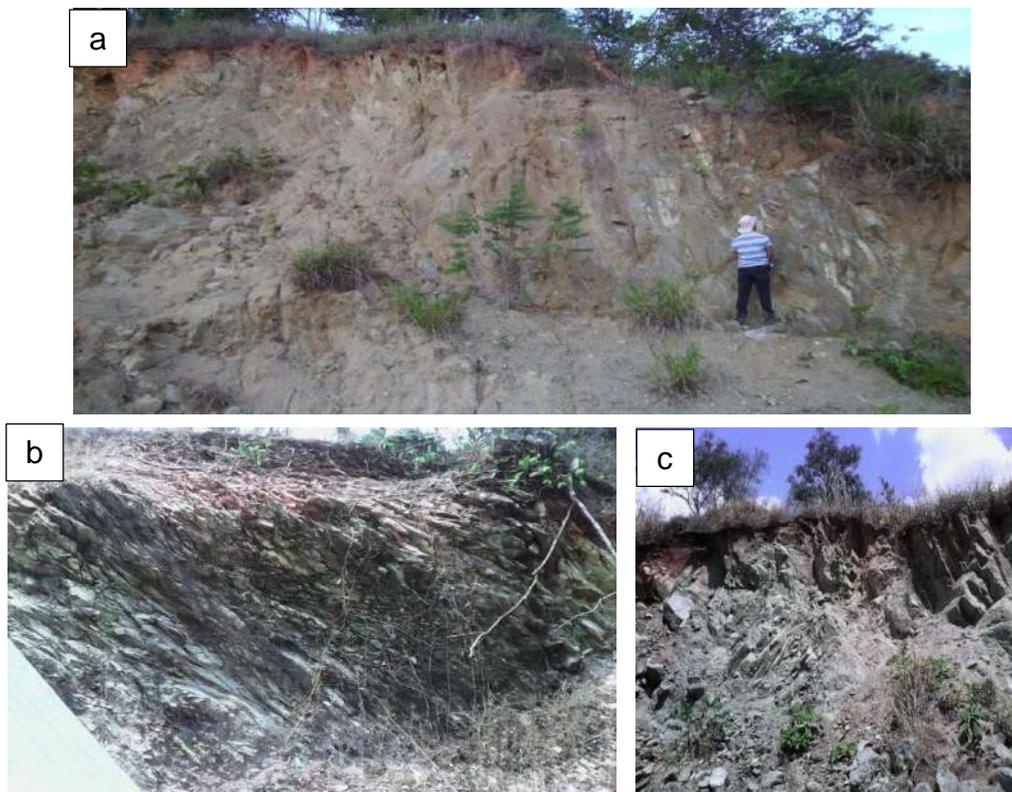
4.2.7 Zonas de Cizalla

Se encuentra al centro y sur del área y se extiende con una dirección NE-SW desarrollándose principalmente en serpentinitas. La comunidad de La Colonia presenta el mejor exponente de esta zona de cizalla (fotografía 30).

Esta zona se evidencia por un fuerte patrón de fracturamiento en las serpentinitas (clivaje de cizalla). Hay pocos indicadores de la cinemática, basados en los ejes de pliegues secundarios que se desarrollan en la serpentinita puede inferirse que la cizalla es de cinemática dextral.

En este sector puede encontrarse anfibolita degradada a suelo talcoso, desarrollo de talco en la serpentinita, bandas de actinolita recristalizada y patrones de fracturamiento bien marcados (fotografía 30).

FOTOGRAFÍA 30
CAMPO DE FÚTBOL LOS JOBOS, AFLORA ANFIBOLITA
CON UN CLIVAJE DE CIZALLA MUY MARCADO.
UTM: 773336, 1649181.



Tomada por: Luis Chavarría Noack 2015

a. A la izquierda de la fotografía puede observarse como el material se ha degradado completamente a suelo residual, se considera un tipo de harina tectónica de la zona de cizalla b. Clivaje de cizalla desarrollado en serpentinitas. c. Harina tectónica y clivaje de cizalla en para-anfibolitas.

Las rocas se encuentran en esta zona se han clasificado como rocas de zona de cizalla y principalmente son esquistos talcosos derivados de las serpentinitas, material triturado (*gouge*) de la anfibolita, rocas en proceso de milonitización y eclogitas. Cabe mencionar que ninguna de estas rocas se encuentran in situ en esta categoría y han sido transportadas por la banda de cizalla.

4.2.8 Fallas

En el área se encuentran fallas de tipo normal e inverso principalmente. Se identificaron gracias a los tectoglifos evidenciados en las rocas o a gradaciones que logran distinguirse en los planos (fotografía 31).

FOTOGRAFÍA 31 FALLA INVERSA EN MÁRMOL.



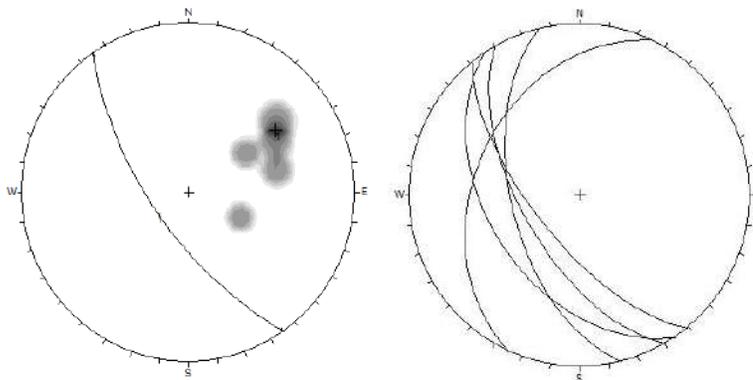
Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

a. Fallas Normales Puras

Son las fallas que no poseen componentes de rumbo y donde el bloque del techo está descendiendo con respecto al bloque de la base. La mayoría de estas fallas se encuentra en Serpentinitas y Para-Anfibolitas.

En la figura 16 se muestran el diagrama de contornos de polos para las fallas normales puras, el plano demuestra una tendencia media de N324°.

FIGURA 16
DIAGRAMA DE CONTORNOS PARA LAS FALLAS
NORMALES PURAS DEL ÁREA. GUIRNALDA MEDIA.



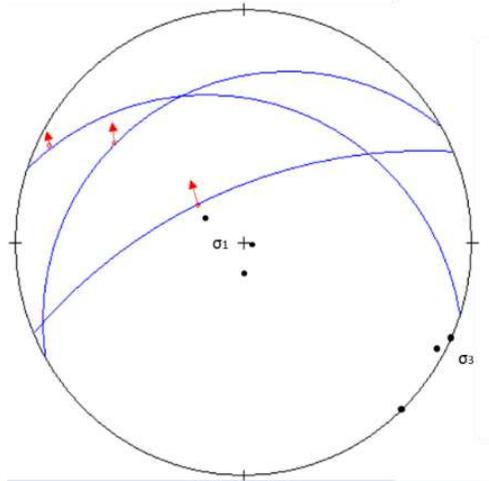
Fuente: Investigación de campo. 2015

b. Fallas Normales con Componentes Dextral y Sinestral

Son las fallas de tipo normal que han distinguido un componente dextral o sinestral evidenciado por el ángulo de cabeceo que resulta de las mediciones de las estrías. En el área se forman en cantidades iguales tanto dextrales como sinestrales.

En la figura 17 se muestra el estereograma para los planos medios de las fallas de esta clasificación. Poseen una orientación media de $N91^\circ$ (*trend*). Los sigmas compresivo y distensivo se encuentran con orientaciones medias de $N81^\circ$ y $N90^\circ$ respectivamente.

**FIGURA 17
ESTEREOGRAMA PARA LAS FALLAS
NORMALES DEXTRALES.**



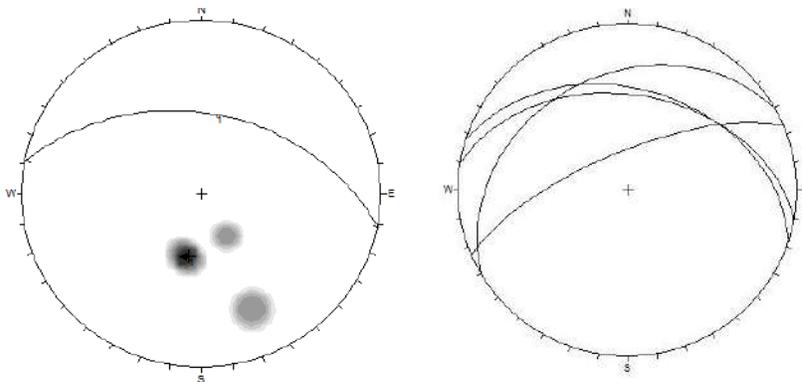
Fuente: Investigación de campo. 2015

c. Fallas Inversas Puras

Son las fallas que no poseen componentes de rumbo, pero el bloque de la base está ascendiendo en respecto al bloque techo. La mayoría de estas fallas se encuentra en las serpentinitas.

En la figura 18 se muestra el diagrama de contornos de polos para las fallas inversas puras, el plano demuestra una tendencia media de N101°.

**FIGURA 18
ESTEREOGRAMA DE PARA LAS FALLAS
INVERSAS PURAS. GUIRNALDA MEDIA.**



Fuente: Investigación de campo. 2015

Al este del área puede observarse el cabalgamiento de las serpentinitas sobre las para-anfibolitas. Se evidencia como un contacto fallado de cinemática inversa y bajo ángulo (20°) en el que el *gouge* o harina tectónica consiste en serpentinitas brechificadas y esquistos de talco (fotografía 32).

**FOTOGRAFÍA 32
EVIDENCIAS DEL CABALGAMIENTO EN LA LOCALIDAD
DE RANCHO SENTADO UTM: 774301, 1650388**



Tomada por: Luis Chavarría Noack 2015

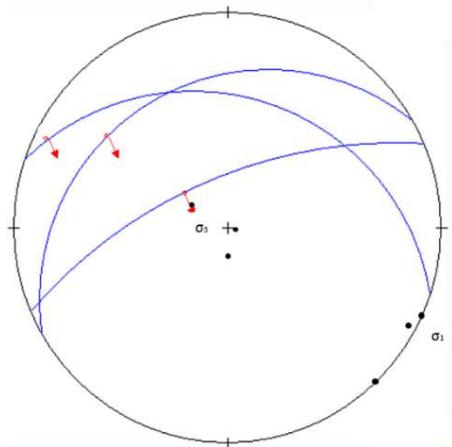
A. Serpentinitas degradadas a suelo talcoso (harina tectónica). B. Para-anfibolitas brechificadas en un juego preferencial paralelo al plano de falla.

d. Fallas Inversas con Componentes Dextral y Sinistral

Son las fallas de tipo inverso que muestran evidencias en sus estrías o escalones que permiten diferenciar que poseen componentes de tipo dextral o sinistral. En el área dominan las fallas inversas con componente dextral.

En la figura 19 se muestra el estereograma para los planos medios de las fallas. Poseen una orientación media de $N180^\circ$ (*trend*). Los sigmas compresivo y distensivo se encuentran con orientaciones medias de $N182^\circ$ y $N178^\circ$ (*trend*).

FIGURA 19
ESTEREOGRAMA DONDE SE MUESTRAN LOS
PLANOS MEDIOS PARA LAS FALLAS INVERSAS
CON COMPONENTES DE RUMBO.



Fuente: Investigación de campo. 2015

4.2.9 Análisis Estructural

Al igual que gran parte del Complejo Chuacús, las unidades del área están polideformadas. El análisis estructural y la comparación de estructuras permiten definir los eventos deformacionales que han sufrido las rocas estudiadas.

Hay dos eventos estructurales evidentes en base a la compatibilidad geométrica de las estructuras: el primer evento se denominará a lo largo de este análisis como: Primer Dominio o Dominio Frágil y el segundo evento se denominará como: Segundo Dominio o Dominio Ductil.

Ambos dominios no discriminaron tipo de roca y se han realizado de manera general para las unidades de Gneis Biotítico (Gb), unidad de Mármoles y Esquistos (Me), unidad de Para-Anfibolitas (Pa). La excepción ha sido la Serpentinita (Sp), puesto a que solo se han utilizado los datos en los que la roca no está bajo la influencia de la zona de cizalla.

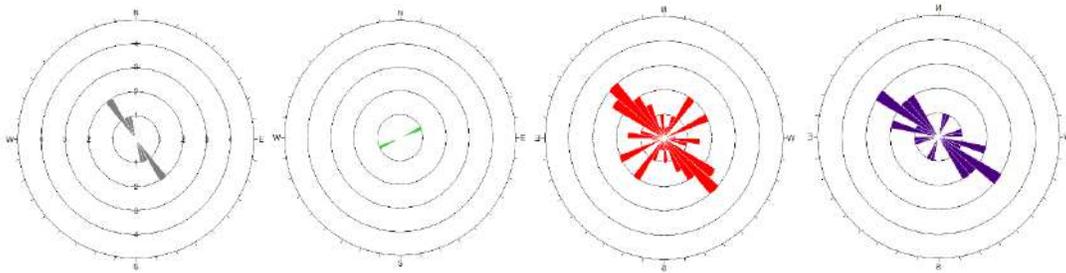
a. Primer Dominio ó Dominio Regional

El dominio regional representa las estructuras principales que, geométricamente, son compatibles entre sí. Este dominio fallas normales e inversas y las familias principales de diaclasas y grietas de tensión.

Las fallas normales poseen una orientación media de N324°, la cual varía levente, pero coincide con cuatro de las orientaciones de familias de fracturas y grietas de tensión respectivamente. Los planos de estas estructuras son paralelos.

Por su parte, las fallas inversas presentan una orientación media perpendicular o semiperpendicular a los planos de fallas normales, cumpliendo con el modelo regional (figura 20).

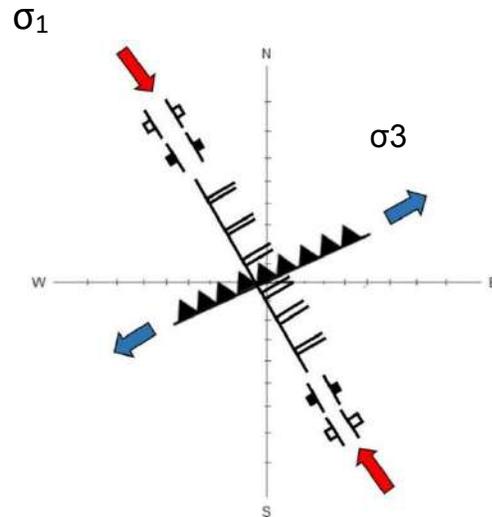
FIGURA 20
ROSETAS ILUSTRANDO EL RUMBO DE FALLAS
NORMALES (GRIS), FALLAS INVERSAS (VERDE),
DIACLASAS (ROJO) Y GRIETAS DE Tensión (VIOLETA).



Fuente: Investigación de campo. 2015

El esfuerzo compresivo (σ_1) para este dominio se encuentra NW-SE con una orientación de N325° y el esfuerzo distensivo (σ_3) se encuentra NE-SW con una orientación N65° (figura 21).

FIGURA 21
MODELO ESTRUCTURAL FRÁGIL PARA
EL PRIMER DOMINIO

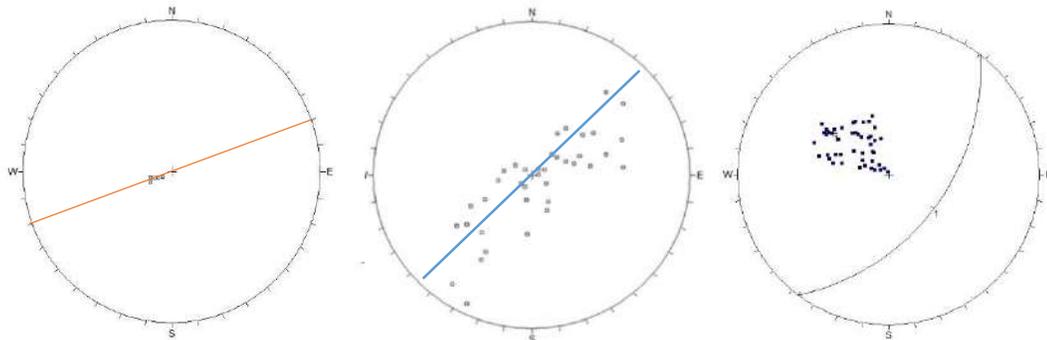


Fuente: Investigación de campo. 2015

b. Segundo Dominio ó Dominio Dúctil

Este dominio está definido por las trazas de ejes de boudines, traza de ejes de pliegue y la media de los planos de foliación S2. En estas estructuras, las trazas medias se mantienen NE-SW (figura 22).

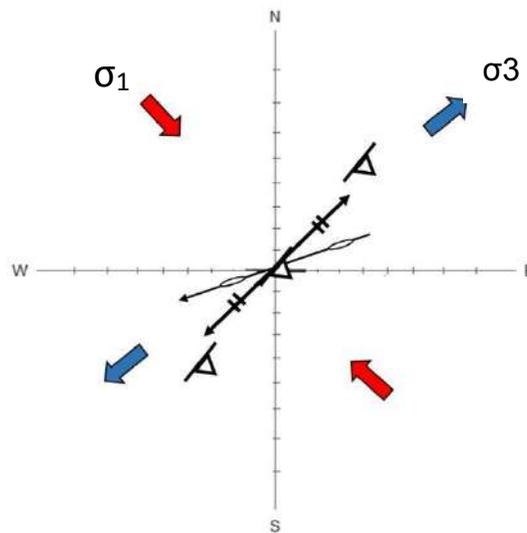
FIGURA 22
TRAZA DE EJES DE BOUDIN (NARANJA), TRAZA DE EJES DE
PLIEGUE (AZUL) Y PLANO MEDIO DE FOLIACIÓN S2 (NEGRO).



Fuente: Investigación de campo. 2015

Es evidente que, aunque la orientación de las trazas varía entre sí levemente, son estructuras compatibles entre sí. El esfuerzo compresivo (σ_1) para este dominio se encuentra NW-SE con una orientación de $N324^\circ$ y el esfuerzo distensivo (σ_3) se encuentra NE-SW con una orientación $N55^\circ$ (figura 23).

FIGURA 23
MODELO ESTRUCTURAL DUCTIL PARA EL
SEGUNDO DOMINIO



Fuente: Investigación de campo. 2015

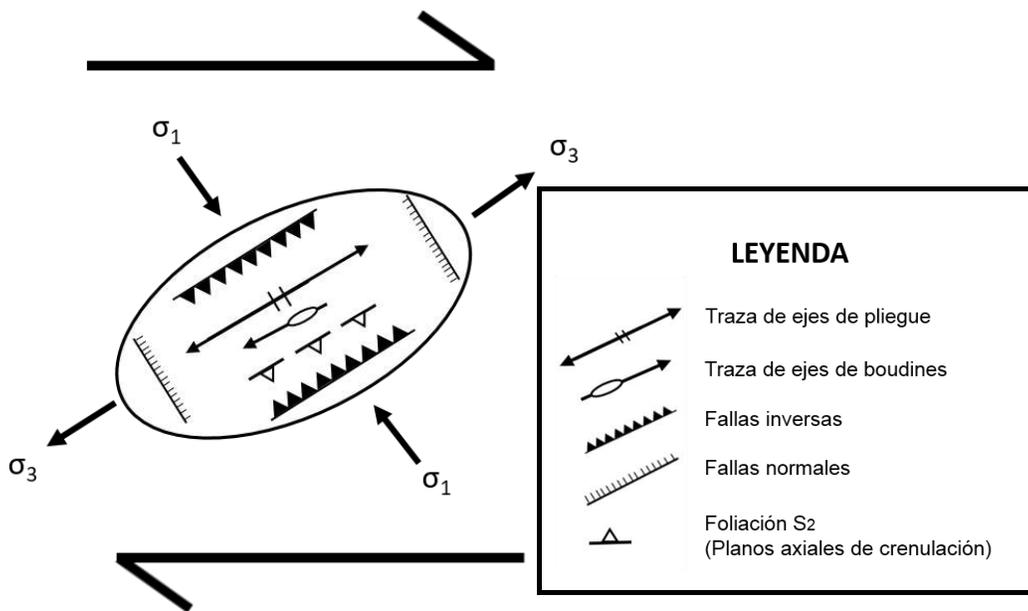
El análisis cinemático-dinámico de las estructuras de ambos dominios permite evidenciar una compatibilidad en la dirección de los esfuerzos que los han afectado, por lo que se concluye que ambos dominios fueron formados bajo el mismo régimen tectónico.

c. Modelo Estructural explicativo Los Jobos

Los dominios descritos con anterioridad pueden asociarse a un modelo dextral, como se ilustra en la figura 24, por lo que se puede concluir que las estructuras no son compatibles con el sistema de falla del Motagua.

El modelo dextral para el área de estudio engloba la geometría que se esperarían encontrar en las estructuras generadas bajo ambos dominios (figura 24).

FIGURA 24
MODELO ESTRUCTURAL DEXTRAL LOS
JOBOS PARA RÉGIMEN ESTRUCTURAL LOCAL.



Fuente: Investigación de campo. 2015

4.3 Geomorfología Local

4.3.1 Unidades Denudacionales

Son las unidades que originan los procesos meteóricos y erosivos. Estos son los principales modeladores de relieve y los principales procesos que afectan las rocas en el área.

a. Erosión Fluvial

Está asociada a las quebradas y ríos más grandes del área: Gavilanes, Lo de Reyes y Agua Sarca. Este tipo de erosión se evidencia por los bloques que han arrastrado las corrientes a su paso.

Los bloques pueden llegar a medir más de cinco metros en casos extremos. Pueden encontrarse clastos redondeados o subredondeados de menor tamaño usualmente de basaltos, anfibolitas, serpentinitas, gneises y esquistos (fotografía 33).

FOTOGRAFÍA 33 BLOQUES DE SERPENTINITAS DE GRAN TAMAÑO ARRASTRADOS POR LA CORRIENTE DEL RÍO GAVILANES. UTM: 773847, 1651035.



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

b. Erosión en Surcos

Se encuentra en la mayor parte del área, usualmente en laderas de material meteorizado y pendiente suave.

c. Erosión en Cárcavas

Se diferencian de los surcos porque poseen mayores dimensiones, usualmente se forman en laderas de pendientes moderadas y suelen desarrollarse por el paso de escorrentías efímeras (fotografía 34).

FOTOGRAFÍA 34

a. EROSIÓN EN SURCOS FORMADO EN UNA LOMA. UTM: 772318, 1648311. b. CÁRCAVA LOCALIZADA EN LAS COORDENADAS UTM: 772515, 1648953.



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

d. Laderas

Al sur del área las serpentinitas que están cubiertas por lavas basálticas llegan a presentar zonas de escarpe o laderas abruptas inclinadas hacia el río Motagua. Las laderas de pendiente moderada pueden encontrarse al centro del área en los alrededores de los Jobsos.

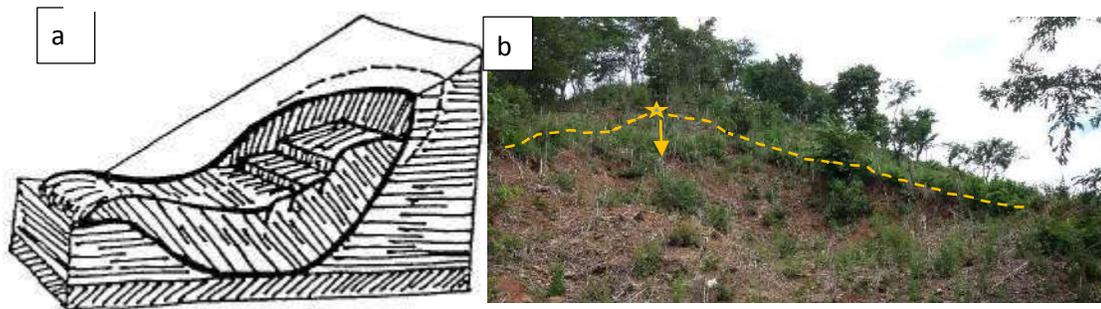
Finalmente, las laderas inclinadas y suaves se desarrollan al noreste, noroeste y sureste del área, un exponente claro de estas zonas de ladera son los cerros de El Tablón que atraviesan el área de norte a sur.

1) Deslizamientos Rotacionales

Estos movimientos se generan como flujos de roca y material meteorizado que se desplazan lentamente a lo largo de una superficie cilíndrica inferior. Suele producirse agrietamiento en la corona y abombamientos al pie del deslizamiento.

Se producen por el incremento de inclinación en un talud, la meteorización y las filtraciones de agua superficial en materiales poco permeables (fotografía 35).

FOTOGRAFÍA 35 DESLIZAMIENTO ROTACIONAL UBICADO EN LAS COORDENADAS UTM: 774358, 1650271.



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

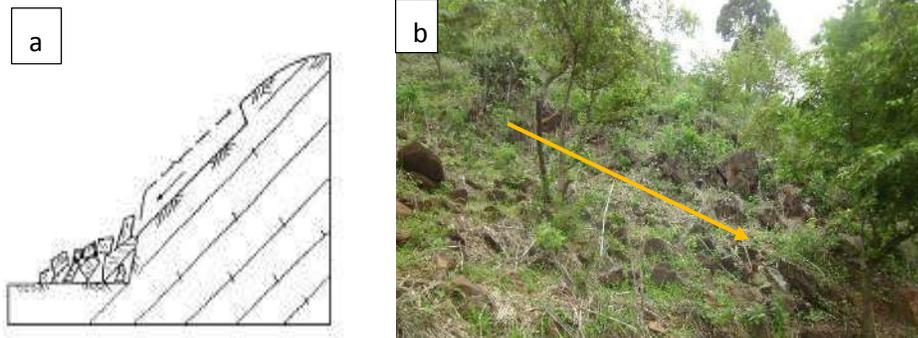
a. Modelo ideal para los deslizamientos rotacionales, b. Deslizamiento rotacional ubicado en las coordenadas UTM: 774358, 1650271

2) Deslizamientos planares (traslacionales)

Inicialmente se produce un desprendimiento de bloques que luego se desliza sobre una superficie relativamente plana. Hay pocos componentes de rotación o de volcadura. Pueden ser de desplazamiento lento o rápido.

Se producen por altos niveles de fracturamiento, meteorización y flujo de agua en los planos de fractura (fotografía 36).

FOTOGRAFÍA 36 DESLIZAMIENTO PLANAR DE BASALTOS EN EL TABLÓN, UBICADO EN LAS COORDENADAS UTM: 772728, 1650309.



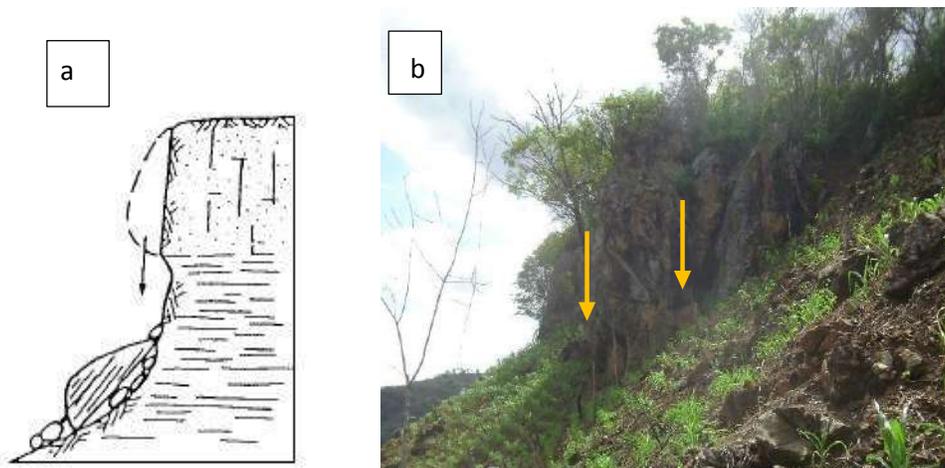
Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

a. Modelo ideal para los deslizamientos planares b. Deslizamiento planar de basaltos en El Tablón.

3) Desprendimiento de Bloques

Se identificaron dos casos de desprendimientos, la primera es por caída libre, que como su nombre lo indica, son caídas repentinas de bloques de roca o suelo que descienden en caída libre. Por carecer de una componente de movimiento horizontal, este tipo de desprendimientos se encuentra en la base del afloramiento o a una corta distancia del mismo (fotografía 37).

FOTOGRAFÍA 37 DESLIZAMIENTO POR CAÍDA LIBRE DE BLOQUES DE SERPENTINITAS UBICADO EN LAS COORDENADAS UTM: 772744, 1649355.

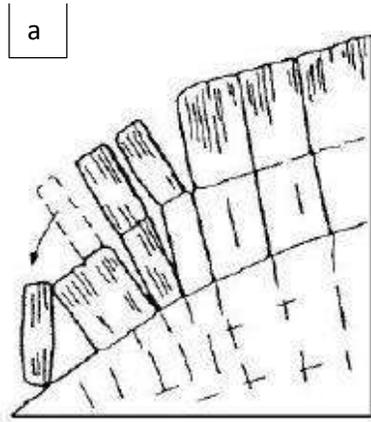


Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

- a. Modelo ideal para el desprendimiento de bloques por caída libre
- b. Deslizamiento por caída libre de bloques de serpentinitas ubicado en las coordenadas UTM: 772744, 1649355.

El segundo tipo de desprendimiento es por volcadura. A diferencia de los desprendimientos por caída, los bloques que caen encuentran un pivote que se ubica bajo su centro de gravedad, esto genera que se desplacen a una mayor distancia del afloramiento de origen (fotografía 38).

FOTOGRAFÍA 38
DESPRENDIMIENTO POR VOLCADURA DE SERPENTINITAS
UBICADO EN LAS COORDENADAS UTM: 773511, 1648592.



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

a. Modelo ideal para los desprendimientos por volcadura b. Desprendimiento por volcadura de serpentinitas ubicado en las coordenadas UTM: 773511, 1648592.

e. Valle Fluvial

Esta subunidad se desarrolla en dos sectores, al noreste, adyacente el Río Gavilanes y al sur, donde los límites del área colindan con el Río Motagua. Puede identificarse como un hundimiento producido por la acción erosiva de los ríos y está delimitado por dos laderas (fotografía 39).

FOTOGRAFÍA 39
VALLES FLUVIALES, A LA IZQUIERDA DEL RÍO GAVILANES Y A LA DERECHA DEL MOTAGUA.



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

Nótese en ambas fotografías que los números 1 y 2 identifican las laderas limitantes de los valles.

f. Lomas, Crestas y Cumbres

Esta subunidad geomorfológica es una de las de mayor incidencia en el área de estudio, presentan una red de drenaje de patrón dendrítico. Según su pendiente van desde suaves a moderadamente inclinadas. Por su forma pueden clasificarse como redondeadas a subredondeadas (fotografía 40).

FOTOGRAFÍA 40
CRESTAS, CUMBRES Y LOMAS EN LOS
CERROS DE EL TABLÓN. UTM: 772878, 1649600.



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

g. Escarpes

Son las subunidades con las pendientes de mayor inclinación, por esta razón se le considera parte del relieve escarpado. En el área hay dos zonas grandes de escarpe: al sur, escarpes de serpentinitas cubiertas por lavas basálticas que descienden hacia el Motagua y al oeste, donde se forman escarpes en el mármol Lo de Reyes (fotografía 41).

FOTOGRAFÍA 41
ESCARPE FORMADO EN MÁRMOL LO DE REYES,
CARRETERA HACIA OJO DE AGUA. UTM: 772057, 1648641.



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

h. Unidad Antrópica

Son las modificaciones del relieve por la acción humana. En el área hay relativamente poca acción antrópica en relación a la geomorfología: canteras, taludes y relleno, remoción de suelo, entre otros. Dos ejemplos son el campo de fútbol de Los Jobos y la cantera de serpentinita, de donde se obtiene balastro para las carreteras, ubicada en Lo de Reyes (fotografía 42).

FOTOGRAFÍA 42
CANTERA DE SERPENTINITA, LO DE REYES.
UTM: 772057, 1648641.



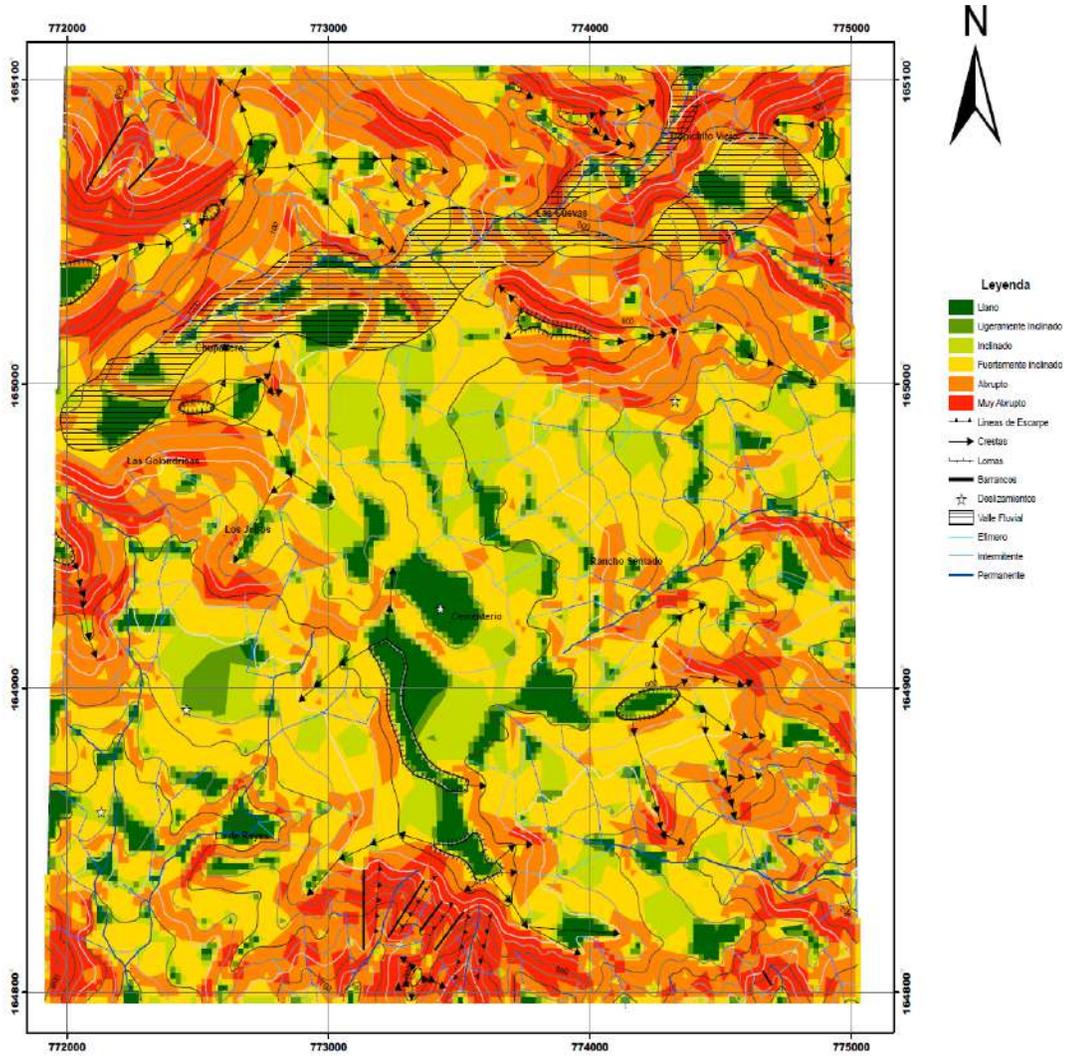
Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

El relieve actual en el área ha sido producido por los procesos erosivos y meteóricos principalmente. La erosión fluvial es uno de los principales modeladores del relieve. Las laderas tienden a ser suaves o planares debido a la cantidad de ríos que abarcan el área y marcan valles fluviales de poca extensión.

Las cuestas, crestas y lomas se concentran principalmente al oeste del área donde los basaltos no cubren en su totalidad el relieve en las cotas más altas.

La mayoría de los deslizamientos se producen en las zonas donde la pendiente es abrupta, principalmente en los cerros de El Tablón, donde los basaltos meteorizados facilitan el deslizamiento de material. La zona donde la pendiente tiende a ser más abrupta es al sur del área debido al relieve que marca la erosión del Motagua (mapa 5).

MAPA 5 MAPA GEOMORFOLÓGICO LOCAL.



Fuente: Investigación de campo. Software ArcGis. 2015

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Factibilidad de explotación de yacimientos de mármol

En este apartado se desarrollan los resultados del tema de investigación que pretende determinar cuál será el potencial de explotación del yacimiento de mármol según las características de las fracturas que afectan la roca.

La metodología utilizada es una modificación de la clasificación geomecánica *RMR* de Bienawski (1,989). Esta clasificación se ha adaptado para canteras, afloramientos y exposiciones de roca. Agrupa ocho parámetros: *RQD*+espaciado, continuidad, abertura, relleno, meteorización, rugosidad, dureza y condiciones hidrológicas.

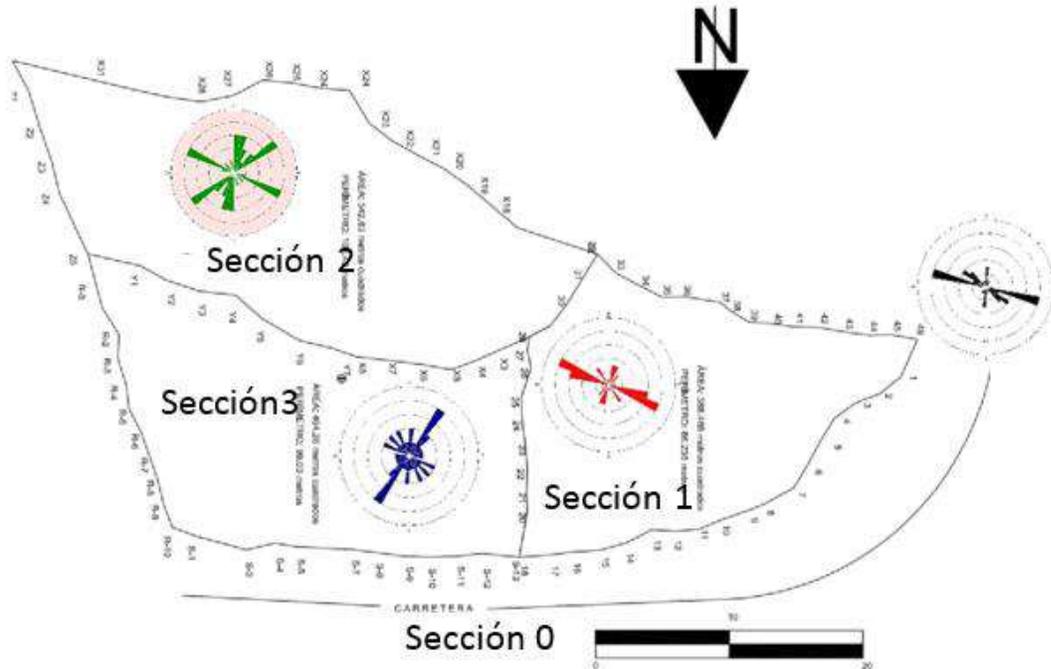
El blanco de explotación es un afloramiento de mármol ubicado al NE del área en la carretera hacia los Amates, localidad de Rancho Sentado, coordenadas UTM: 774248, 1650565 a 774213, 1650555.

Se consideró este yacimiento principalmente debido a que es el único punto del área donde aflora la variedad de mármol rosa. La extensión es considerable, la topografía suave y la exposición de la roca son otros criterios que se consideraron.

El blanco cuenta con un perímetro de 295,66 m y un área de 1 395,595 m². Posee un volumen de 2 655,709 m³. Consiste en parte de una capa que se extiende NW-SE y se encuentra buzando hacia el SW un promedio de 40° a 46°.

El yacimiento se ha dividido en cuatro secciones en donde se considera existen variaciones relevantes para la explotación (figura 25). La sección 0 (figura 25) corresponde a las exposiciones que se encuentran en la carretera hacia los Amates.

FIGURA 25
POLIGONO EVALUADO



Fuente: Investigación de campo. 2015

Vista de planta de yacimiento de mármol rosa ubicado en rancho sentado. Diagramas de roseta muestran las tendencias medias de las familias de fracturamiento.

Su contenido mineralógico consiste en 75% de carbonatos, en su mayoría calcita y en menor grado: moscovita en 5 %, bandas milimétricas de cuarzo en 15% y ocasionalmente grafito en un 5%

Aunque petrográficamente su contenido es homogéneo, macroscópicamente el mármol posee dos variaciones en el yacimiento:

mármol blanco o grisáceo, con una foliación marcada en bandas de grafito y ocasionalmente cuarzo. La otra variedad es el mármol rosa.

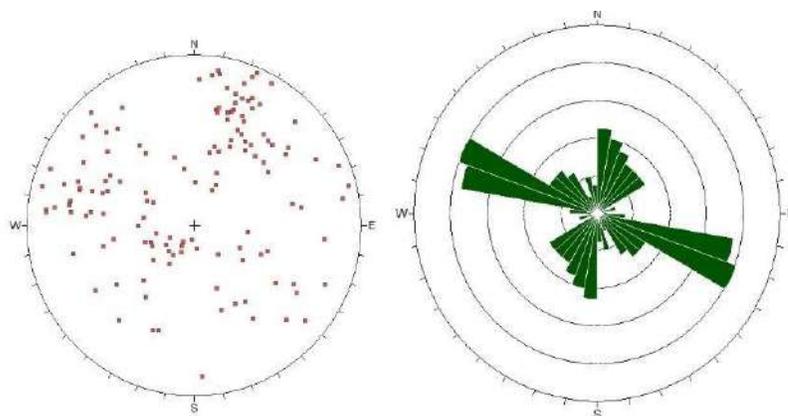
A continuación, se analizaron individualmente los parámetros indicadores que se midieron en las fracturas del afloramiento para luego contrastarlos en conjunto.

5.1.1 Familias y Orientación

El yacimiento está moderadamente afectado por el fracturamiento. Se consideran fracturas de familias distintas las que varíen en 15° . En general se han determinado 5 familias persistentes de fracturas: $N295^\circ$, $N280^\circ$, $N180^\circ$, $N195^\circ$, $N208^\circ$ (figura 26).

Por otro lado, existen otras 3 familias menos persistentes, cuya continuidad es menor a 1 m, orientadas en $N315^\circ$, $N332^\circ$ y $N350^\circ$ (figura 26).

FIGURA 26
DIAGRAMA DE POLOS Y ROSETA QUE MUESTRAN LAS
ORIENTACIONES PREFERENCIALES DE LAS 8 FAMILIAS DE
FRACTURAS EN EL YACIMIENTO DE MÁRMOL RANCHO
SENTADO.



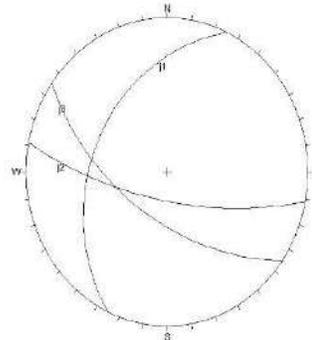
Fuente: Investigación de campo. 2015

A pesar de que el yacimiento no está afectado fuertemente por el fracturamiento es común observar que dos de las familias principales se dispongan perpendiculares entre sí y otra cortando ambas de manera diagonal.

La familia N295° es quizás la más importante. Se desarrolla en los planos de foliación S1 del mármol por lo que son las fracturas de mayor ocurrencia y mayor continuidad ($\geq 2-3$ m) de encontrar en el yacimiento.

En la figura 27 observamos un estereograma que grafica la relación de los planos de estas tres familias de fracturamiento mencionadas. (J1, J2, J3)

FIGURA 27 ESTEREOGRAMA QUE MUESTRA LA RELACIÓN ENTRE LOS PLANOS DE TRES FAMILIAS DE FRACTURAMIENTO



Fuente: Investigación de campo. Año 2015

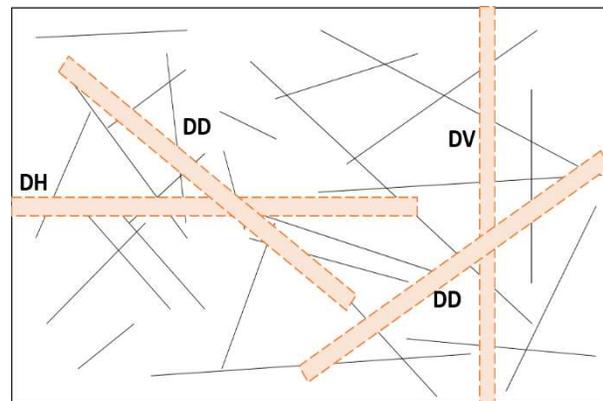
J1=N195°, J2=N280°, J3=N305°. A la izquierda un ejemplo de campo de la disposición de las fracturas.

5.1.2 Juntas por metro (Jv o Juntas x volumen)

El valor Jv es un promedio que define la cantidad de fracturas contenidas en un metro cúbico (figura 28). Para determinar este valor se enumeran las fracturas mayores a 10 cm que cortan un plano horizontal, vertical y diagonal de 1 m cada uno.

Se considera un yacimiento de mejor calidad mientras menos fracturas corten los planos, se busca siempre el menor porcentaje de fracturamiento. La media de fracturas que cortan el plano horizontal es de 7 en el vertical y 9 en el diagonal.

FIGURA 28 MEDICIÓN DEL VALOR JV (JUNTAS POR METRO) CON AYUDA DE UNA REGLA RÍGIDA.



Fuente: Investigación de campo. 2015

5.1.3 Espaciado

Es la distancia perpendicular entre fracturas de una misma familia medida en centímetros. El espaciado juega un papel fundamental para definir el tamaño de los bloques que podrán extraerse, por lo que en el caso del mármol se busca que el espaciado se mantenga mayor o igual a 1 m (fotografía 43).

El espaciado es variable, aunque raras veces llega a ser mayor a 1 m. El promedio de espaciado entre familias es de 17 cm.

FOTOGRAFÍA 43 EJEMPLO DE ESPACIADO ENTRE DOS FAMILIAS DE FRACTURAS



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

5.1.4 Continuidad

La continuidad es la longitud que se prolongan los planos de fracturamiento. Lo ideal es que las fracturas no presenten una continuidad mayor a 1 m, mientras menos se prolonguen y se junten con otras familias de fracturas es mejor.

En el yacimiento, el promedio es de 55 cm, en los mejores casos la continuidad se mantiene en longitudes menores a 1 m, raras veces la continuidad llega a ser mayor al metro. Las mayores continuidades en el yacimiento se dan a lo largo de planos de foliación S1 (fotografía 44).

FOTOGRAFÍA 44 CONTINUIDAD DE UNA FRACTURA MAYOR A 1 m DE LONGITUD.



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

5.1.5 Abertura

La abertura es la longitud perpendicular entre los de una fractura que indica cuánto se han separado entre sí. Es preferible que la longitud de la abertura sea lo menor posible debido a que mientras más se separan los planos existe el riesgo de que el macizo se fragmente al prolongarse las fracturas y afecte el tamaño de los bloques que se deseen extraer.

El promedio de la abertura en las fracturas es de 0,95 cm. La mayoría de veces la abertura se muestra casi ideal siendo menor a 1 mm.

TABLA 7
VALORES PROMEDIO DE ABERTURA EN CENTÍMETROS
PARA LAS 5 FAMILIAS PRINCIPALES DE FRACTURA EN EL
YACIMIENTO RANCHO SENTADO.

	Familias Principales	Abertura promedio (cm)
1	N295	1,26
2	N280	1,21
3	N208	0,78
4	N195	0,66
5	N180	0,47

Fuente: Investigación de campo. 2015

En la tabla 7 se muestran los valores promedio de abertura para cada una de las cinco familias principales de fracturamiento. Puede observarse que el valor de abertura más alto es la familia N295°, que como ya se ha mencionado, es el fracturamiento que se desarrolla paralelo y a lo largo de los planos de foliación S1. El valor más bajo pertenece a la familia N180°.

5.1.6 Relleno

Este valor se asigna según el material que rellena las fracturas. Idealmente se busca que las fracturas carezcan de relleno o posean un relleno blando de espesor pequeño para evitar que alteren la dureza homogénea de un yacimiento y compliquen la extracción de material.

Se encuentran dos tipos de relleno: cuarzo y calcita, clasificados como relleno duro y relleno blando respectivamente. Cuando existe relleno se determina el espesor que tienen las vetas, lo ideal es que las vetas sean del menor espesor posible.

En el yacimiento, la mayoría de fracturas rellenas posee espesores menores a 5 mm, en pocas ocasiones el relleno posee un espesor mayor, cuando lo hace puede llegar a medir desde 1 cm hasta 5 cm (fotografía 45).

FOTOGRAFÍA 45
FRACTURA DE 3 CM DE ESPESOR RELLENA DE
CUARZO, RELLENO DURO.



Tomada por: Luis Chavarría Noack. 2015

5.1.7 Meteorización

Es uno de los valores que más afecta la calidad del yacimiento. Se busca el menor grado de meteorización posible en la roca. La meteorización es química. Es variable en el afloramiento, se encuentra entre los rangos de ligeramente meteorizado, moderadamente meteorizado y altamente meteorizado en el peor de los casos.

5.1.8 Rugosidad

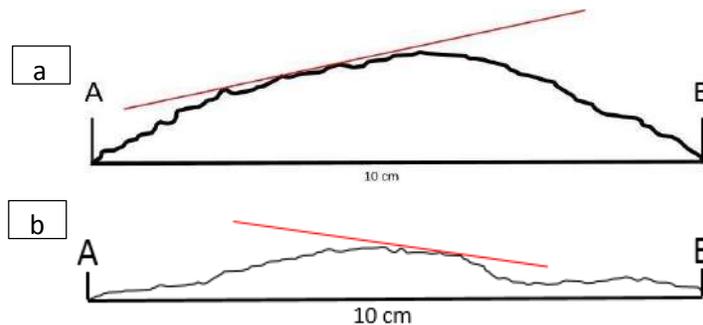
Este valor fue graficado mediante el perfilómetro trazado con el peine de Barton y se clasificó según el método de Barton y Hoek para rugosidad de discontinuidades.

En la figura 29 se observan los dos tipos de perfiles que resultaron en el yacimiento. El primer perfil se desarrolla principalmente en el mármol blanco y se clasifica como muy

rugoso a rugoso. Se trata de un perfil atípico en rocas metamórficas, tomado entre dos planos de foliación que puede observarse en la figura 29 como las partes más bajas.

El segundo perfil (figura 29) es típico del mármol rosa y se ha clasificado como ligeramente rugoso a liso. La sección se puede observar en la figura 29, abajo, de elevación más o menos homogénea, con una ligera elevación de altura, pero por lo general se mantiene una tendencia semi recta.

FIGURA 29
PERFIL DE RUGOSIDAD



Fuente: Investigación de campo. 2015

a. Perfil de rugosidad con un peine de Barton de 10 cm de las discontinuidades en mármol blanco. b. Perfil de rugosidad de discontinuidades en mármol rosa.

5.1.9 Dureza

Este es un valor aproximado basado en la estimación de la dureza en campo. Se asigna un valor entre 1 y 6 según se observe la resistencia de la roca con una navaja o un martillo. Dependiendo el producto final de explotación para un yacimiento, puede variar lo que se considera como ideal para este parámetro.

El promedio de valores del yacimiento se encuentra entre Roca medianamente resistente (25-50 Mpa) y roca fuerte (50-100

Mpa), aunque en casos extremos donde la meteorización ha afectado puede llegar a definirse como Roca débil (5-25 Mpa).

5.1.10 Condiciones Hidrológicas

Este valor se refiere a la circulación, flujos o presencia de agua freática en los planos de fracturamiento. Está fuertemente relacionado con el grado de meteorización y la rugosidad.

Idealmente se busca la ausencia de agua en los planos de fracturamiento, o en su defecto que el nivel de agua sea mínimo. Las condiciones del yacimiento varían en tres tipos: seco, ligeramente húmedo y húmedo.

El flujo no nace en el yacimiento, principalmente son flujos pluviales ocasionales. Al carecer de flujo activo en la época seca, se logró determinar este parámetro por la cantidad de vegetación que se ha desarrollado entre los planos de fracturamiento, principalmente musgos (*Bryophyta*), hongos y mohos.

5.2 RMR Básico

El formato utilizado para definir la calidad para la explotación del yacimiento evalúa los parámetros medidos y les asigna una puntuación preestablecida. El mayor puntaje que puede determinarse es de 100 al sumar los resultados de todos los parámetros anteriormente descritos.

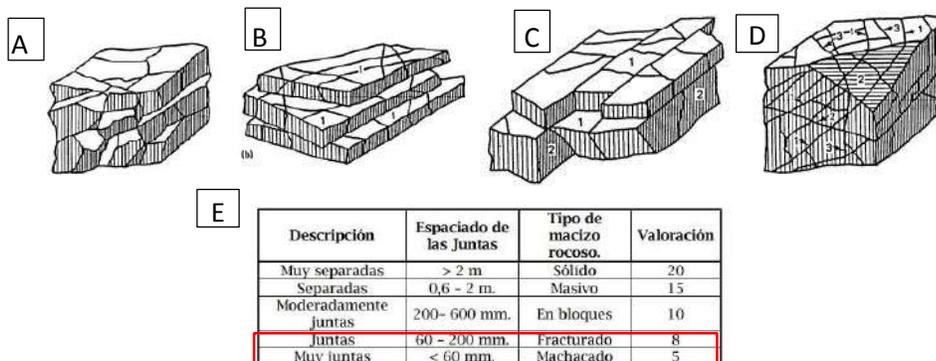
A continuación, se presenta el análisis de las puntuaciones obtenidas para cada parámetro.

5.2.1 Estructura, juntas por volumen (J_v), RQD y espaciado.

La estructura del yacimiento se define como en bloques y tabulares principalmente, aunque en zonas pueden encontrarse bloques romboidales y prismáticos. El espaciado y el valor J_v clasifican las fracturas como juntas a muy juntas lo que nos indica que el tipo de yacimiento se clasifica como muy fracturado.

En la figura 30 se observan los cuatro casos de estructura de macizo que forma la disposición de las diferentes familias de fracturamiento. La estructura varía debido a la poca persistencia o continuidad de algunas familias, lo que hace que el patrón de fracturamiento no sea uniforme.

FIGURA 30 BLOQUES FORMADOS POR FAMILIAS DE FRACTURAMIENTOS EN EL YACIMIENTO DE MÁRMOL



Fuente: Clasificación Geomecánica RMR de Bienawski, 1989

A. Bloques irregulares. B. Bloques tabulares con una familia predominante. C. Bloques prismáticos. D. Bloques romboidales con presencia de tres familias de ligera variación de orientación. E. Tabla de clasificación de espaciado.

El índice de calidad de roca (*RQD*) + espaciado, determinado según la cantidad de fracturas que cortan un metro cúbico (planos diagonales, horizontales y verticales), en promedio obtienen un puntaje de 23, siendo 29 el puntaje más alto y 17 el más bajo, lo que nos indica que el yacimiento en general posee un nivel de fracturamiento medio-alto hasta muy alto, por lo que la calidad basada en *RQD* y espaciado será regular a baja.

Los peores puntajes se obtienen en la sección 3 (figura 25), donde aflora el mármol blanco. La foliación penetrativa forma planos de debilidad donde la roca se fractura con facilidad.

Los planos de foliación muy rara vez presentan una distancia perpendicular entre ellos mayor a un par de centímetros por lo que el espaciado obtiene puntajes tan bajos y muchas fracturas cortan las mediciones.

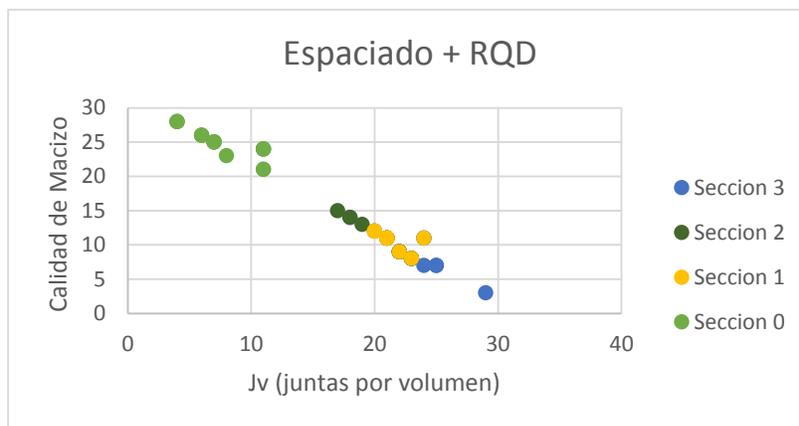
La sección 1 (figura 25) posee una calidad de regular a mala y un puntaje bajo. Esto se debe principalmente a la cantidad de fracturas dispuestas en 3 o 4 direcciones intersecantes y diferentes.

Los bloques de mayor calidad son los de la sección 0 (figura 25) y en menor grado de la sección 2 (figura 25). Ambos sectores son de mármol rosa que llega a carecer de la foliación S1 que afecta la calidad en el caso del mármol blanco.

Sin embargo, los bloques resultantes rara vez alcanzan las condiciones ideales de 1 m³, suelen ser bloques anchos, pero de poco espesor, entre 30 cm y 50 cm.

La tabla 8 es un gráfico estadístico de dispersión que representa la cantidad de fracturas en el eje horizontal contra la calidad del macizo (*rating*) que ilustra la calidad de las diferentes secciones en las que se dividió el yacimiento de mármol.

TABLA 8
GRÁFICO DE DISPERSIÓN PARA LOS VALORES DE RQD + ESPACIADO DEL YACIMIENTO RANCHO SENTADO.



Fuente: Investigación de campo. 2015

5.2.2 Continuidad

La continuidad se clasifica como de grado I y grado II, lo que define las fracturas como poco persistentes, de baja continuidad hasta muy baja continuidad. La puntuación en promedio que obtiene este valor es de 6, siendo 6 el valor más alto y 4 el más bajo.

La continuidad es mayor en las secciones 1 y 2 (figura 25), donde las fracturas más persistentes son las familias N295° y N195° que suelen prolongarse por metro o metro y medio antes de ser cortados por otras fracturas o cambias su orientación. En la sección 3 (figura 25) las fracturas no se prolongan más de 30 cm o 50 cm. La tabla 9 muestra el rango de grados que se le designan a la continuidad de las fracturas en el yacimiento.

TABLA 9
TABLA DE CLASIFICACIÓN DE CONTINUIDAD MOSTRANDO
EL RESULTADO DEL YACIMIENTO DE ESTUDIO.

Grado	Descripción	Continuidad	Valoración
1	Muy baja	< 1 m	6
2	baja	1 - 3 m	4
3	Media	3 - 10 m	2
4	Alta	10 - 20 m	1
5	Muy alta	> 20 m	0

Fuente: Clasificación Geomecánica *RMR* de Bienawski, 1989.

5.2.3 Abertura

Las aberturas se clasifican entre los grados I, II y III, lo que las define como cerradas, moderadamente abiertas y abiertas respectivamente. La puntuación promedio que se obtuvo es de 4, siendo 4 el valor más alto y 0 el más bajo. Usualmente dominan las aberturas cerradas (tabla 10).

TABLA 10
TABLA DE CLASIFICACIÓN DE ABERTURA.

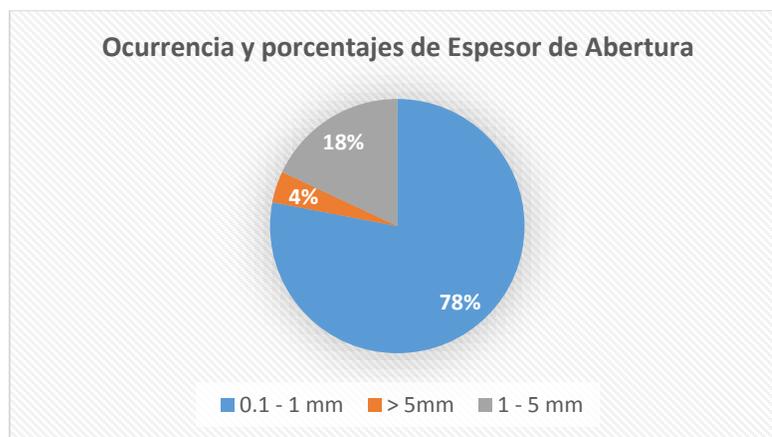
Grado	Descripción	Separación de las caras	Valoración
1	Abierta	> 5mm	0
2	Moderadamente abierta	1 - 5 mm	1
3	Cerrada	0,1 - 1 mm	4
4	Muy cerrada	< 0,1 mm	5
5	Ninguna	0	6

Fuente: Clasificación Geomecánica *RMR* de Bienawski, 1989.

La figura 31 muestra en porcentajes, como las aberturas principalmente dominantes son de grado III, entre 0,1 mm y 5 mm con un 78% del total de fracturas. El grado II abarca un 18% del total y se produce principalmente en zonas donde hay por lo menos 3 familias de fracturamiento relacionadas y genera aberturas entre 1 mm y 5 mm.

Finalmente, un 4% del total se clasifica de grado I y resulta de fracturas con abertura mayor a 5 mm y tiende a producirse en zonas del yacimiento brechificadas o donde se han desarrollado 5 o 6 familias de fracturamiento (figura 31).

FIGURA 31
GRAFICA DE PASTEL QUE DEMUESTRA EN
PROMEDIO EL TIPO DE ABERTURA QUE DOMINA
EN LAS FRACTURAS DEL YACIMIENTO.



Fuente: Investigación de campo. Año 2015

5.2.4 Relleno

Suele ser muy variable y presenta cierto grado de aleatoriedad, debido a que no se observa una sección en la que ocurra con mayor frecuencia un relleno de tipo determinado. El relleno se clasifica en grados I, II, III, IV y V, siendo relleno blando > 5 mm, relleno blando < 5 mm, relleno duro > 5 mm, relleno duro < 5 mm y sin relleno respectivamente.

Los rellenos blandos consisten básicamente en calcita y grafito, por otro lado, el relleno duro es exclusivamente de cuarzo. Lo más frecuente de encontrar en el yacimiento son fracturas sin relleno.

La puntuación obtenida en promedio es de 6, siendo 6 el valor obtenido más alto y 0 el valor más bajo (tabla 11).

TABLA 11
TABLA DE CLASIFICACIÓN Y PUNTUACIONES SEGÚN
EL TIPO DE MATERIAL DE RELLENO Y SU ESPESOR.

Grado	Descripción	Valoración
1	Blando > 5 mm	0
2	Blando < 5 mm	2
3	Duro > 5 mm.	2
4	Duro < 5 mm	4
5	Ninguno	6

Fuente: Clasificación Geomecánica RMR de Bienawski, 1989.

5.2.5 Meteorización

La meteorización afecta de forma variable el yacimiento, se ha clasificado como grados II, III y IV, definiéndose como Muy alterada, moderadamente alterada y ligeramente alterada respectivamente.

La puntuación obtenida es muy variable, el promedio es de 4, lo que significa que se mantiene entre material Moderadamente alterado y ligeramente alterado. La puntuación más alta es de 5 y la más baja de 1 (tabla 12).

TABLA 12
TABLA DE CLASIFICACIÓN Y PUNTUACIÓN SEGÚN
EL NIVEL DE METEORIZACIÓN DEL YACIMIENTO.

Grado	Descripción	Valoración
1	Descompuesta	0
2	Muy alterada	1
3	Moderadamente alterada	3
4	Ligeramente alterada	5
5	No alterada	6

Fuente: Clasificación Geomecánica RMR de Bienawski, 1989.

Tanto la sección 1 (figura 25) como la sección 3 (figura 25) suelen tener una parte fuertemente meteorizada debido al corte de la carretera hacia Los Amates, las partes superiores se mantienen en un grado ligeramente meteorizado.

La sección 3 (figura 25) es la que se ha definido como la más afectada por la meteorización debido a que afecta fuertemente la parte más sureste y suroeste del polígono. Por otro lado, la sección 2 (figura 25) presenta la tasa de meteorización más baja manteniendo valores de ligera meteorización.

5.2.6 Rugosidad

Este valor se mantiene uniforme según la variedad de mármol que aflore, esto se debe a que la rugosidad del mármol blanco es mayor a la del mármol rosa. La clasificación define las continuidades como grados II y III, rugosa y ligeramente rugosa respectivamente (tabla 13).

La puntuación que se obtiene en promedio es de 4, lo que indica que los valores se mantiene intermedios entre los dos grados de rugosidad ya descritos. El punteo más alto es de 5 y el menor es de 3.

La sección 3 (figura 25) es la que obtiene un mejor punteo debido a que aflora en su totalidad mármol blanco que posee la rugosidad más alta. Por otro lado, la sección 1 y 2 (figura 25) intercalan sus valores entre los dos tipos de rugosidad.

TABLA 13
TABLA DE CLASIFICACIÓN Y PUNTEO SEGÚN EL
ÍNDICE DE RUGOSIDAD. BARTON Y HOEK, MODIFICADO
POR BIENAWSKI.

Grado	Descripción	Valoración
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	5
3	Ligeramente rugosa	3
4	Lisa	1
5	Plana (espejo de falla)	0

Fuente: Clasificación Geomecánica RMR de Bienawski, 1989.

5.2.7 Dureza (Compresión Simple aproximada)

El yacimiento según su dureza se clasifica como Moderadamente dura y Dura, definiendo que los valores de compresión simple se mantienen entre 25 y 100 Mpa (tabla 14).

El punteo promedio es de 6, siendo el valor más alto 6 y el menor 2. Este valor varía debido a que la roca está variablemente afectada por la meteorización, las familias de fracturamiento cortan de formas distintas, los planos de foliación debilitan la estructura, etc.

TABLA 14
RESISTENCIA DE ROCAS

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (Mpa)	ENSAYO DE CARGA PUNTUAL (MPa)	VALORACIÓN
Extremadamente dura	>250	> 10	15
Muy dura	100 - 250	4 - 10	12
Dura	50 - 100	2 - 4	7
Moderadamente dura	25 - 50	1 - 2	4
Blanda	5 -25		2
Muy blanda	1 - 5	< 1	1
	< 1		0

Fuente: Clasificación Geomecánica RMR de Bienawski, 1989.

5.2.8 Condiciones Hidrológicas

La clasificación de las fracturas se encuentra entre los rangos de húmedo, ligeramente húmedo y seco. La puntuación promedio es de 10, siendo 15 el valor más alto y 7 el menor (tabla 15).

La sección 1 y 3 (figura 25) son las más afectadas por la humedad, evidenciado principalmente en la zona sur que está en el corte de la carretera, abundante material orgánico permite la humidificación por los planos de fractura de mayor apertura. La sección 2 (figura 25), por su parte presenta un índice seco debido al poco material orgánico que lo rodea y su posición topográfica, más alta que las otras dos secciones.

TABLA 15
GRADOS Y CLASIFICACIÓN DE CONDICIONES
HIDROLÓGICAS, BASADA EN LAS EVIDENCIAS DE
LA CANTIDAD DE AGUA FREÁTICA.

Descripción	Valoración
Seco	15
Ligeramente húmedo	10
Húmedo	7
Goteando	4
Fluyendo	0

Fuente: Clasificación Geomecánica RMR de Bienawski, 1989.

5.2.9 RMR básico, puntuación total y Calidad del Macizo

El promedio del punteo total después de sumar todos los parámetros es de 60, siendo el punteo más alto 69 y el más bajo 39.

Los parámetros de las fracturas indican que el yacimiento en promedio pertenece a la clase III, definiéndolo como un yacimiento de calidad regular.

TABLA 16
RMR BASICO
PUNTUACIÓN TOTAL Y CALIDAD DEL MACIZO

Rango de puntuación	Clase	Calidad
0-20	V	Muy Malo
21-40	IV	Malo
41-60	III	Regular
61-80	II	Bueno
81-100	I	Muy Bueno

Fuente: Investigación de campo. Año 2015

Los puntajes por sección muestran una clase II y III en la sección 1 (figura 25), ocupando un rango entre buena a regular. La sección 2 y 3 (figura 25) están clasificadas entre las clases III y IV, lo que las define como secciones de calidades regular a mala. Estos resultados demuestran que la sección 1 (figura 25) es la zona de mejor calidad del yacimiento.

5.2.10 Puntuación Alternativa

La puntuación alternativa para este método consistió en sumar los mismos puntajes, pero eliminando parámetros que se orientan más hacia el diseño y estabilidad de taludes tales como las condiciones hidrológicas, la rugosidad y la meteorización. En total se toman en cuenta solo cinco parámetros: las juntas por metro (J_v), la continuidad, relleno, abertura y dureza.

El resultado solamente considerando estos valores e igualando el puntaje a 100% es de 57%, siendo el valor más alto 69 y el menor 36. El macizo sigue perteneciendo a la clase III y la calidad se clasifica de igual manera como regular, aunque se ha reducido en 3% el resultado total.

Esta variante demuestra que enfocar el método en los parámetros estrictamente estructurales relativos a las fracturas no afecta el resultado final, la clase, ni la calidad del macizo.

5.3 Análisis de factibilidad de explotación

Los resultados totales demuestran que el yacimiento de mármol rosa Rancho Sentado no es apto para la explotación si se espera extraer bloques de 1 m³ de roca. La limitante principal resulta siendo la forma en que la orientación de las juntas afecta el tamaño de los bloques. Las familias se han dispuesto usualmente en juegos de juntas perpendiculares o diagonales entre sí, de tal manera que resulta casi imposible extraer un bloque intacto de 1 m³ o de dimensiones remotamente cercanas a las preestablecidas comercialmente.

Otro factor que disminuye la calidad de los bloques es el poco espaciado que hay entre las discontinuidades, esto como resultado a la disposición en que se encuentran los planos de foliación S₁, actuando como planos de debilidad que al final determinan la familia principal de fracturas en el yacimiento.

El yacimiento cuenta con otros factores secundarios que disminuyen su calidad: la meteorización llega a ser muy fuerte y en la sección 3 (figura 25), que afecta con mayor grado, se observan solamente pocos centímetros de roca entre suelo residual carbonatico.

El material orgánico es denso en la zona sur de las secciones 1 y 3 (figura 25), alcanzado un espesor mayor a 2 m, lo que generaría la necesidad de remoción de orgánicos y suelo lo que conllevaría a gastos adicionales que reducirían la factibilidad aún más.

El yacimiento podría destinarse a otros usos comerciales, como la ornamentación, en donde las cualidades petrográficas como la coloración rosa del mármol, la cual además de ser un color comúnmente cotizado y de escasa ocurrencia, tiene una gran demanda.

El alto porcentaje de calcita que se logró distinguir de las secciones delgadas pueden convertirlo en un potencial yacimiento de cal, árido para la construcción o un componente para mezcla de cemento y derivado.

Al tener en cuenta las dimensiones reducidas que presentarían los bloques y su poco espesor, el otro destino potencial podría ser derivado a los cerámicos, donde se aprovecharían las cualidades del color y pulido del mármol sin tener la restricción del tamaño de bloque que pueda extraerse.

La conclusión más evidente es que el yacimiento, a pesar de no estar afectado fuertemente por el fracturamiento, pierde calidad debido a la orientación de los planos de las familias de fracturamiento y por factores secundarios tales como la baja continuidad, que suele ser menor a 3 m, de planos de fractura desarrollados en la foliación S_1 , la meteorización y el poco espaciado entre familias.

Finalmente se contrasta que, aunque el yacimiento es de calidad regular según la puntuación total obtenida, la tendencia marca que al considerar la orientación de las fracturas la calidad disminuirá a mala.

5.4 Observaciones

La clasificación geomecánica *RMR* de Bienawski (1 989) es un método que cuenta con ventajas importantes. Es un método práctico de ejecución tanto en campo como en el análisis de datos en las etapas de gabinete. Su formato permite definir los parámetros más importantes de un macizo rocoso de forma precisa y rápida, un factor primordial cuando el trabajo de campo posee un límite de tiempo para ser concluido.

Una de las ventajas principales es que es un método económico y que permite desarrollar una visualización precisa cuando no se cuenta con el análisis de núcleos de perforación.

Las puntuaciones predefinidas y la sencillez de la clasificación son dos factores que pueden afectar tanto como beneficiar a la aplicación del método. En muchas ocasiones se encuentran casos en los que las puntuaciones no abarcan un rango que es medido en campo lo que lleva a la aproximación y posteriormente al aumento del error en el trabajo.

La clasificación es sencilla, pero debe ser ejecutada con precisión. Definir familias diferentes de fracturamiento puede resultar complejo para quien ejecute el método si no posee cierto grado de experiencia geológica básica. Como todo método que depende de la intervención humana, la falta de precisión en la aplicación aumentará el margen de error de los resultados.

El método se ha modificado de tal manera que se ha convertido en una herramienta más orientada a la estabilidad de taludes o túneles. Como ya se ha mencionado en el apartado de método alternativo; si se desea aplicar el método para la evaluación de una cantera deben ignorarse parámetros del formato como la rugosidad, las condiciones hidrológicas o la meteorización y se pierde aproximadamente 3% de precisión en los resultados, aunque parece una desventaja menor, la

precisión es lo más buscado cuando se evalúan yacimientos para explotación.

La desventaja más grande es sin duda el descuento de las orientaciones de los planos de fracturamiento en el *RMR* básico que puede llegar a un 5 o 10%. El yacimiento de mármol Rancho Sentado es el claro ejemplo de que la orientación de las familias de fracturas puede afectar la calidad a pesar de no reflejarse en el resultado.

CONCLUSIONES

Las unidades litológicas que afloran en el área, desde la más antigua a la más reciente, son: Gneis Biotítico (Gb), Mármoles y Esquistos (Me), Para-anfibolitas (Pa), Serpentinitas (Sp), Lavas Basálticas Terciarias (Tlb) y Coluviones Cuaternarios (Qcol). Las unidades de Gneis Biotítico, Mármoles y Esquistos Moscovíticos y Para-anfibolitas pertenecen a una secuencia sedimentaria metamorfizada de capas paralelas, con contactos graduales posiblemente asociada al Complejo Chuacús.

Los recursos indicados de mármol Rancho Sentado están afectados por 8 familias marcadas de fracturamiento, 5 familias persistentes de fracturas con orientaciones: N295°, N280°, N180°, N195°, N208° y familias menores orientadas en N315°, N332° y N350°. La disposición espacial de las familias más dominante de fracturamiento es el parámetro más importante al determinarse la calidad de los recursos de mármol, al generar bloques de dimensiones reducidas.

Los recursos indicados de mármol Rancho Sentado cuentan con un perímetro de 295,66 m y un área de 1 395,59 m². Posee un volumen de 2 655,71 m³. Se consideran un área y volumen de categoría media para la explotación. Este mármol puede destinarse, a los áridos de construcción, cal y componentes de cemento y/o a los cerámicos.

Los recursos indicados de mármol Rancho Sentado pertenecen a la clase III de la clasificación geomecánica *RMR* de Bienawski bajo los parámetros de juntas por volumen, espaciado, continuidad, dureza y relleno. Esta clase indica que el mármol posee una calidad regular.

La explotación de los recursos indicados de mármol Rancho Sentado no es factible para la extracción de bloques de 1 m^3 , considerando las orientaciones perpendiculares y diagonales que poseen las familias de fracturamiento y el corto espaciado que provocan las fracturas formadas a partir de la foliación S_1 .

La desventaja más grande es sin duda el descuento de las orientaciones de los planos de fracturamiento en el *RMR* básico que puede llegar a un 5 o 10%. El yacimiento de mármol Rancho Sentado es el claro ejemplo de que la orientación de las familias de fracturas puede afectar la calidad a pesar de no reflejarse en el resultado.

RECOMENDACIONES

De las tres zonas en el área: Zona de Clorita+Sericita, Zona de Granates y Zona de Biotita, se recomienda hacer estudios específicos, para delimitar las zonas minerales que poseen las unidades aflorantes en el área.

Los estudios de difracción de rayos X para las orto-anfibolitas del área serian una herramienta útil, para comprender su origen y definir con claridad las variedades de la familia de los anfíboles que la componen, por lo que se recomienda hacer un muestreo selectivo y pruebas geoquímicas en estas rocas.

Los alrededores de la aldea Lo de Reyes proporcionan puntos interesantes para estudios enfocados a alteraciones hidrotermales en las serpentinitas, por la presencia de alteraciones de silicificación y texturas tipo *boxwork*.

Se recomienda realizar más estudios de calidad de roca y factibilidad de explotación para otros blancos potenciales de mármol en áreas adyacentes, como el mármol Lo de Reyes.

Así mismo, es menester realizar una reclasificación más adecuada del método geo mecánico *RMR* de Bienawksi, con un enfoque hacia la evaluación de la calidad de roca en las canteras.

BIBLIOGRAFÍA

- Arévalo, G. *Cálculo volumétrico de reservas de un yacimiento del oriente ecuatoriano*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1973.
- Beccaluva, L. Et. Al. "The northwestern border of the Caribbean plate in Guatemala: new geological and petrological data on the Motagua ophiolitic belt". *Offioliti*. 20, 1. (Enero 1995): 1-15.
- . "El borde noreste de la placa caribeña en Guatemala". *Offioliti*. 19, 1. (Febrero 1994): 27-55.
- Bienawski, Z. T. *Clasificación RMR para la calidad de rocas*. Pennsylvania, Estados Unidos de América: Universidad Estatal de Pennsylvania, 1976.
- Bongiorno, F. *Índice de calidad de las rocas (RQD) y clasificaciones de los macizos rocosos*. Colombia: Universidad de los Andes, 2003.
- Bosc, E. *Geology of the San Agustín Acasaguastlán quadrangle and northeastern part of El Progreso quadrangle*. Tesis doctorado en filosofía. Texas, Estados Unidos de América: Universidad William Marsh Rice, 1971.
- Compton, R. *Geología de campo*. Nueva York, Estados Unidos de América: John Wiley & Sons, 1970.
- Cruz, Jorge René de la. *Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento*. Guatemala: Instituto Nacional Forestal, 1982.
- Dengo, G. *Problems of the tectonic relations between Central America and the Caribbean*. Texas, Estados Unidos: Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions. 29. (Diciembre 1969): 311-320.
- Donnelly, T. W., Et. Al. *Northern Central America: the Maya and Chortis blocks*. Estados Unidos de América: Sociedad Geológica de América, 1990.



- Farje, I. *Criterios para determinar los parámetros de perforación*. Tesis ingeniero de minas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Peru: Facultad de ingeniería geológica, minera, metalúrgica y geográfica, 2006.
- Fuentes, R. *Guía técnica del mármol blanco Macael*. España: Fundación Marca Macael, 2010.
- Guinta, G. Et.Al. *Geologic evolution of the Mayan Block*. Universidad Stanford. Estados Unidos de América: Departamento de Ciencias Geológicas y Ambientales, 2002.
- Gómez, J. *Metamorfismo*. Universidad de Zaragoza. Zaragoza, España: Departamento de Ciencias de la Tierra, 2002.
- Gumiel, P. *Aplicación del análisis geométrico de fracturas a la determinación de bloques en las canteras de granito de O Porriño*. España: Sociedad Geológica de España, 2006.
- Harlow, G. Et.Al. *The Guatemala suture zone*. Nueva York, Estados Unidos de América: The Scientific Board of the International Geoscience Programme, 2002.
- Huang, W. *Petrología*. México: Editorial Limusa, 1968.
- Hulburt, C. *Manual de mineralogía de Dana*. Barcelona, España: Editorial Reverte, 1981.
- Hurlimann, M. *Clasificación geo mecánica*. VIII Simposio nacional sobre taludes y laderas inestables. Mallorca, España: snt., 2013.
- Machorro, R. *Geology of the northeastern corner of the Granados quadrangle, Central America*. Tesis maestría en ciencias ambientales. Universidad de Texas en El Paso. Texas, Estados Unidos de América: Facultad de Geología, 1993.
- McBirney, A. *Geology of part the central Guatemala cordillera*. Universidad de California. Estados Unidos: Ciencias Geológicas, 1963.
- Mertens, U. Et.Al. *High pressure belts of Central Guatemala: the Motagua suture and the Chuacús Complex*. Universidad de Stanford. Estados Unidos de América: Departamento de Ciencias Geológicas y Ambientales, 2007.

- Milian, Felino. *Levantamiento geológico El Chol-Vega del Limón*. Trabajo final de campo. Técnico en geología. Centro Universitario del Norte- Universidad de San Carlos de Guatemala. Cobán, Alta Verapaz, Guatemala: Carrera de Geología, 1993.
- Newcomb, W. E. *Geología, estructuras y metamorfismo del Grupo Chuacús, cuadrángulo Río Hondo y vecindarios, Guatemala*. Nueva York, Estados Unidos de América: University Microfilms International, 1977.
- Simmons, Ch. Et.Al. *Clasificación y reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala*. Guatemala: José de Pineda Ibarra, 1959.
- Schwartz, D. Et.Al. *Quaternary faulting along the Caribbean and North American plate boundary in Central America*. Universidad Estatal de Nueva York. Nueva York, Estados Unidos de América: Departamento de Ciencias Geológicas, 1979.
- Sousa, L. *Granite fracture index to check suitability of granite outcrops for quarrying*. Universidad de Tras-os-Montes e Alto Duro. Vila Real, Portugal: Departamento de Geología, 2007.
- Torres Sam, Luis Osmundo. *Cartografía geológica y evaluación de yacimientos de mármol en la aldea Los Jobos, El Chol, Baja Verapaz*. Trabajo final de campo. Técnico en geología. Centro Universitario del Norte- Universidad de San Carlos de Guatemala. Cobán, Alta Verapaz, Guatemala: Carrera de Geología, 1996.
- Turner F. *Petrología ígnea y metamórfica*. Barcelona, España: Editorial Omega, 1963.
- Universidad de Chile. *Petrología de rocas metamórficas*. Chile: Departamento de Ciencias de la Tierra, 2005.
- Wadge, G. "Neogene Caribbean plate rotation and associated Central America tectonic evolution". *Tectonics*. 2. (Diciembre 1983): 633-643.
- Williams, H. Et.Al. *Petrografía*. Sao Pablo, Brasil: Editorial Polígono, 1970.
- Witold, S. Et.Al. *Tipos, grado y facies de metamorfismo*. Unión Internacional de Ciencias Geológicas. Noruega: Subcomisión sobre la Sistemática de Rocas Metamórficas, 2007.





VºBº
[Handwritten signature]

Adán García Véliz
Lic. En Pedagogía e Investigación Educativa
Bibliotecario

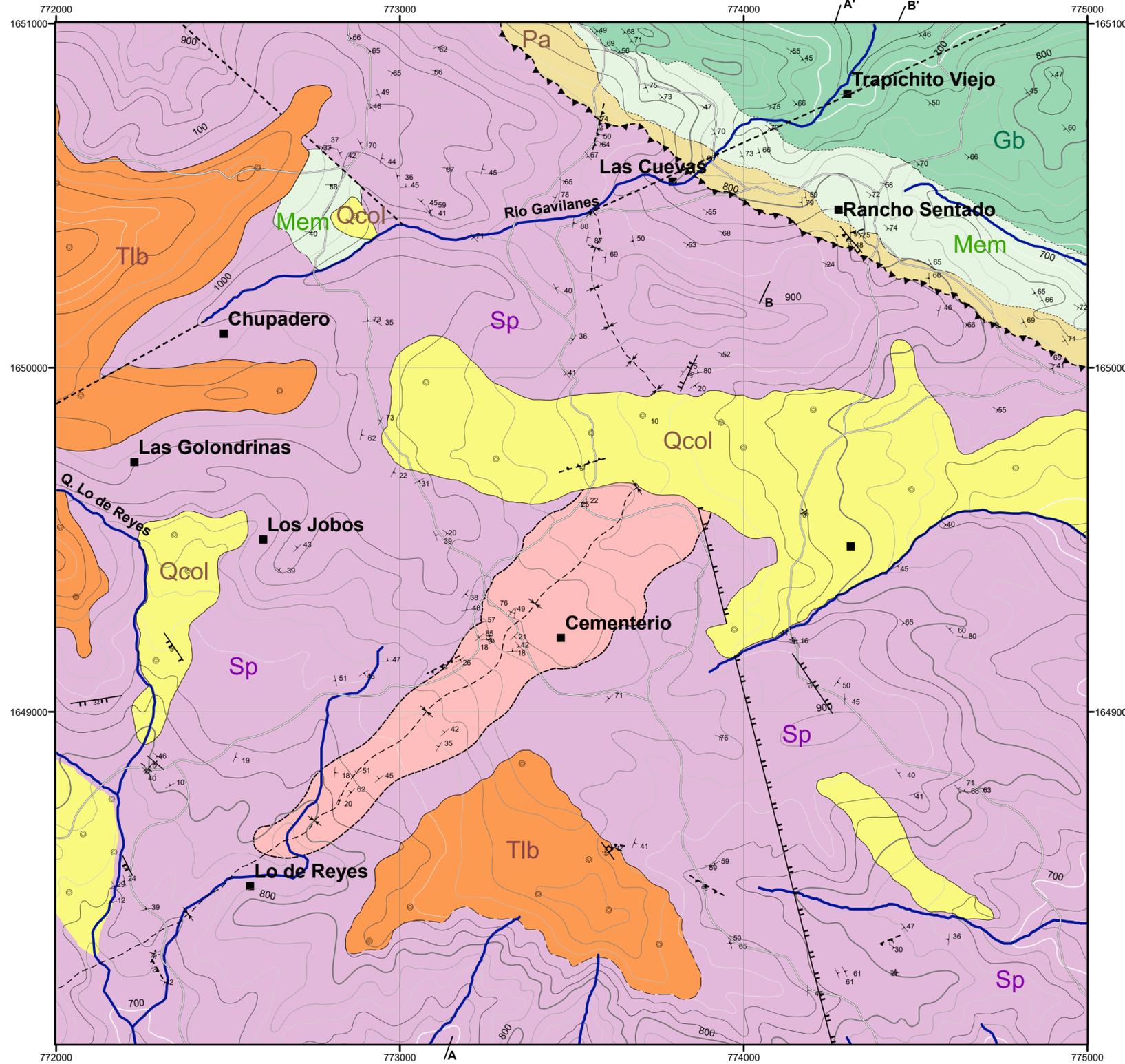


ANEXOS





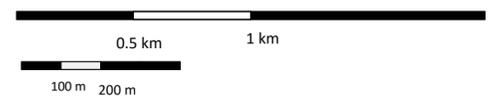
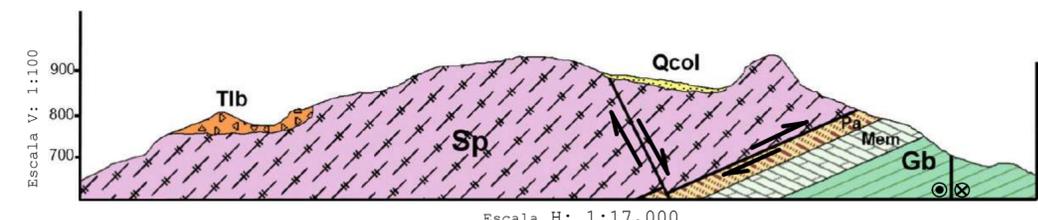
MAPA GEOLOGICO LOS JOBOS, STA. CRUZ EL CHOL, BV.



LEYENDA	
Qcol	Coluvion del Cuaternario
Tlb	Lavas Basalticas Terciarias
Sp	Serpentinitas
Pa	Para-anfibolita
Mem	Marmoles y Esquistos Moscoviticos
Gb	Gneises Biotiticos
SIMBOLOGÍA	
+	Foliación
⊙	Foliación Horizontal
— — —	Falla Normal
- - - — —	Falla Inversa
— — —	Pliegue Antiforme
- - - — —	Pliegue Antiforme Inferido
— — —	Pliegue Sinforme
- - - — —	Pliegue Sinforme Inferido
- - - - -	Fallas Inferidas
— — —	Zona de Cizalla
—▲—▲—	Cabalgamiento
—	Caminos
—	Ríos
■	Localidades
- - - - -	Contacto Aproximadamente Localizado
—	Contacto Definido
⋯	Contacto Inferido

*Colores en código RGB basados en la Tabla Cronoestratigráfica Internacional. Comisión Internacional de Estratigrafía. v.2015.

SECCIÓN GEOLOGICA A-A'

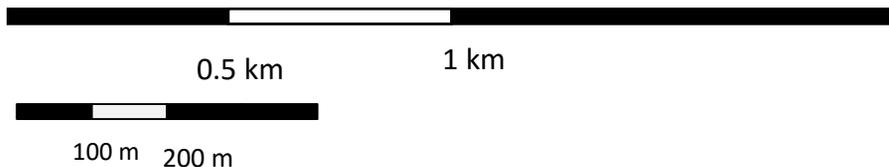
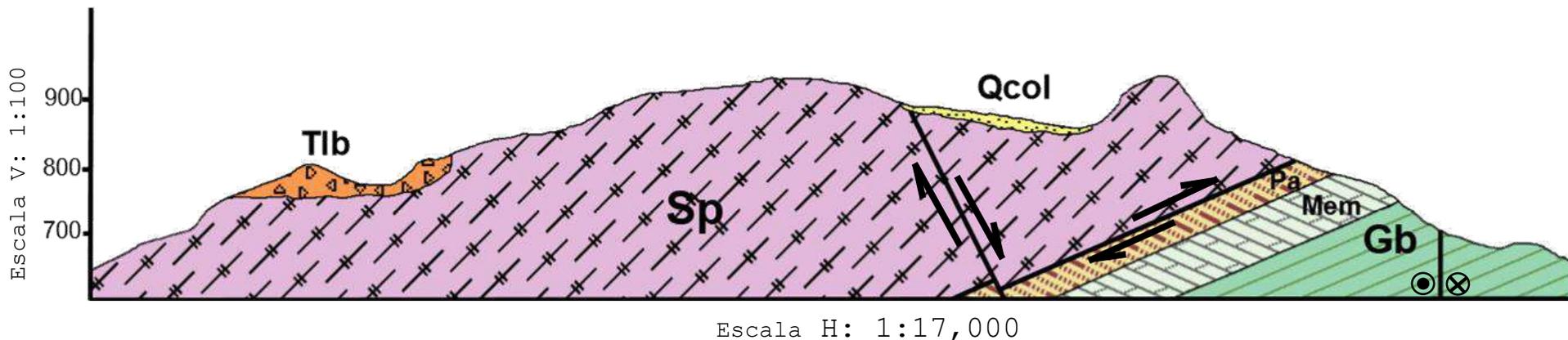


ÍNDICE DE HOJAS ADYACENTES

Cubulco 2061 II	Salamá 2161 III	San Jerónimo 2161 II
Granados 2060 I	El Chol 2160 IV	El Progreso 2160 I
San Juan Sacatepéquez 2060 II	San Pedro Ayampuc 2160 III	Sanarate 2160 II

 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE - CUNOR -		
Estudio Geológico en Baja Verapaz: "Análisis del fracturamiento para la evaluación de la factibilidad de explotación de mármol rosa"		
Estudio realizado por: Luis Erick Chavarría Noack Carnet: 2012 41144		
Referencia Espacial: WGS 84 Z15	Revisado por: Ing. Sergio Morán	Anexo 1

SECCIÓN GEOLOGICA A-A'



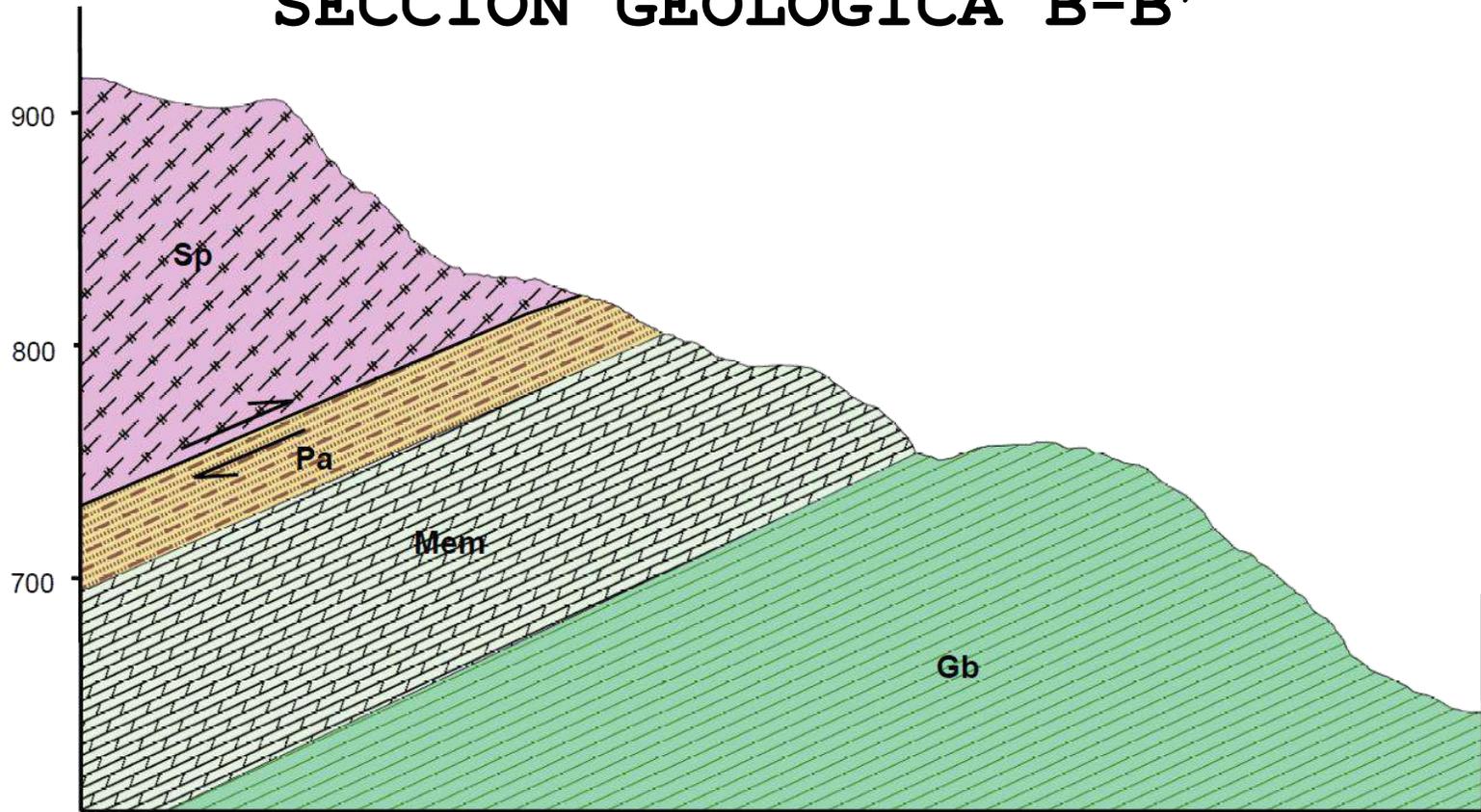
LEYENDA

-  Coluvión del Cuaternario
-  Lavas Basálticas
-  Serpentinitas
-  Para-anfibolitas
-  Mármoles y Esquistos Moscovíticos
-  Gneises Biotítico

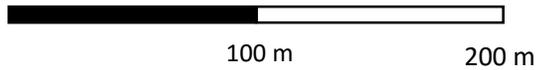
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE - CUNOR -		
Estudio Geológico en Baja Verapaz: "Análisis del fracturamiento para la evaluación de la factibilidad de explotación de mármol rosa"		
Estudio realizado por: Luis Erick Chavarría Noack Carnet: 2012 41144		
Referencia Espacial: WGS 84 Z15	Revisado por: Ing. Sergio Morán	Anexo 2

SECCIÓN GEOLOGICA B-B'

Escala V: 1:2930



Escala H: 1:540

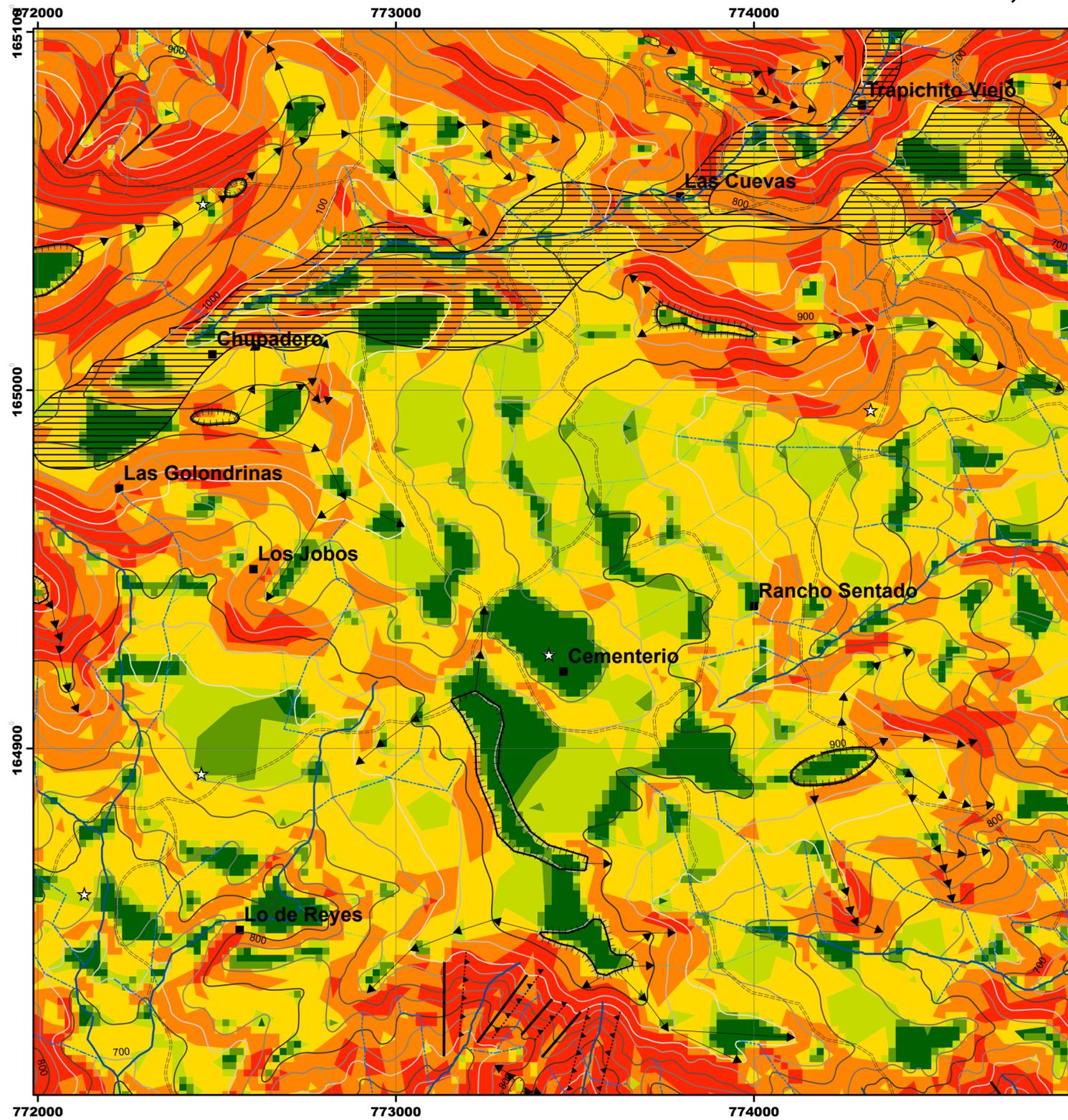


 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE - CUNOR -		
Estudio Geológico en Baja Verapaz: "Análisis del fracturamiento para la evaluación de la factibilidad de explotación de mármol rosa"		
Estudio realizado por: Luis Erick Chavarría Noack Carnet: 2012 41144		
Referencia Espacial: WGS 84 Z15	Revisado por: Ing. Sergio Morán	Anexo 3

LEYENDA

-  Sp Serpentinitas
-  Pa Para-anfibolitas
-  Mem Mármoles y Esquistos Moscovíticos
-  Gb Gneises Biotítico

MAPA GEOMORFOLÓGICO LOS JOBOS, STA. CRUZ EL CHOL, BV.



Leyenda	
Pendientes	
	Llano
	Ligeramente Inclinado
	Inclinado
	Fuertemente inclinado
	Abrupto
	Muy Abrupto
	Deslizamientos
	Lineas de Escarpe
	Crestas
	Lomas
	Cumbres
	Barrancos
	Valle Fluvial
	Efimero
	Intermitente
	Permanente
	Caminos
	Localidades



1:10,000

ÍNDICE DE HOJAS ADYACENTES

Cubulco 2061 II	Salamá 2161 III	San Jerónimo 2161 II
Granados 2060 I	El Chol 2160 IV	El Progreso 2160 I
San Juan Sacatepéquez 2060 II	San Pedro Ayampuc 2160 III	Sanarate 2160 II



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE - CUNOR -

Estudio Geológico en Baja Verapaz: "Análisis del fracturamiento para la evaluación de la factibilidad de explotación de mármol rosa"

Estudio realizado por: Luis Erick Chavarría Noack
Carnet: 2012 41144

Referencia Espacial:
WGS 84 Z15

Revisado por:

Ing. Sergio Morán

Anexo 4

FORMATO PARA LA DESCRIPCION DE MUESTRAS

DATOS GENERALES			
No. MUESTRA: LN-001-15		IDENTIFICACIÓN BASE DE DATOS (DATUM): WGS-84	
FECHA: 22-06-15		PROYECTO: Trabajo Final de Campo 2015	
UBICACIÓN: Rancho Sentado	UTM_Este: 773291	UTM_Norte: 1651078	UTM_Zona: 15
LOCALIDAD: Vereda cercana a a la carretera hacia Los Amates.			
HOJA TOPO/GEO.: 2160	Nombre: El Chol	Serie: IV	Escala: 1:50,000
ANÁLISIS Y MUESTREO: Luis Erick Chavarría Noack			

TIPO DE ROCA : Metamórfica
UNIDAD LITODEMICA Y/O ESTRATIGRAFICA: Unidad de Gneis Biotítico
CLASIFICACION UTILIZADA:

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO						
Tipo de exposición	Afloramiento Natural		Calicata		Corte de carretera	Otros
	In situ	Re-depositado	Código	Profundidad (m)		
	X					
<p>VARIABILIDAD Y/O ARREGLO LITO-ESTRATIGRAFICO: La unidad se encuentra como capas de regular espesor ubicadas en las cotas topográficas más bajas, foliadas y bandeadas composicionalmente. Puede llegar a variar su orientación en 10 o 20 grados, pero por lo general mantiene una relación rumbo/buzamiento hacia el NW/SE. Es la unidad más antigua en el área y la base de la secuencia metapelítica. Su textura varía ligeramente en relación al tamaño de grano, asemejándose a un esquisto en ocasiones; su contenido de micas también suele variar, principalmente el porcentaje de moscovita que presenta.</p>						
CARACTERIZACION ESTRUCTURAL: B= Buzamiento, DB= Dirección de buzamiento		(B)	(DB – pitch)	OTRAS OBSERVACIONES: (sistemas y/o familias, J1...). (I= inversa, N= normal, R= rumbo (S: sinistral, D: dextral), ID: Inversa dextral, IS: Inversa dextral, ND: Normal dextral, NS: Normal sinistral)		
Estratificación (So)						
Foliación (S1, S2.. etc):		50	228			
Lineaciones:		25	340			
Pliegues (eje):		56	74			
Fallas: (orientación, pitch y tipo) F1:		31	85 - 80SW (DN)	F2: 68/231 (N) F3: 38/295 (N)		
Diaclasas:	No persistente	Persistente				
J1	63/28					
J2	41/06					
J3	56/322					
J4						
Otras:						
Fotografía 001			Fotografía 002			
						

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA							
GRADO DE METEORIZACION:	I	II	III	IV	V	VI	COLOR (Munsell): Roca Fresca: Roca alterada:
		X	X				
TIPO DE CLIVAJE (types of cleavage):	Espaciado (Spaced) Foliación/Bandeamiento composicional					Continuo (Continuous)	
COMPOSICIÓN MINERALÓGICA							
Componentes mayores	Vol. %	Componentes menores		Vol. %	Accesorios	Vol. %	Otros
Biotita (Bt)	30	Cuarzo (Qz)		15			
Feldespato (Fd)	50	Moscovita (Ms)		5			
TEXTURAS: Granolepidoblástica, gnéisica, bandeada.							
TIPO DE ALTERACION: Ninguna							
OTROS DATOS: Las muestras de gneis suelen presentar una lineación mineral semiperpendicular a la foliación formada por biotita y moscovita. En ocasiones pueden observarse crenulaciones muy finas y poco desarrolladas formadas por moscovita. El porcentaje de feldespato suele ser más alto mientras más cerca de la base esté la muestra, en la parte superior el contenido de biotita aumenta y casi no se aprecia moscovita.							
<p align="center">Fotografía No 003</p> 				<p align="center">Fotografía No 004</p> 			

Otras observaciones complementarias:

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICO						
COMPOSICION MINERAL						MINERALES OPACOS:
Componentes mayores	Vol. %	Componentes menores	Vol. %	Accesorios	Vol. %	
Feldespato	55	Moscovita	10			
Biotita	25	Cuarzo	10			
DESCRIPCION CUALITATIVA (QUALITATIVE DESCRIPTION)				FORMA Y TAMAÑO DEL GRANO		
Microtextura: Granolepidoblástica, equigranular				Mineral	Forma	Tamaño (µm)
Microtexturas de deformación: Poligonización del cuarzo, pseudofoliación				Moscovita, biotita	Euhedral	100-200
Microestructuras: Pseudocrenulación asimétrica				Feldespato, cuarzo	Subhedral	100-150
Tipo de Alteración: Ninguna				Cuarzo	Anhedral	50-100
Geometría e indicadores cinemáticos: Se observa una ligera tendencia en la moscovita y biotita desarrollando una pseudocrenulación poco desarrollada, en algunas partes da la impresión de que esta crenulación se deforma de tal manera en que pareciera apreciarse una tendencia sinistral, aunque no es evidente. En ocasiones pueden observarse algunos granos de feldespato y cuarzo ligeramente rotados de manera sinistral, pero de igual manera, es poco evidente.				Resultado cinemático: Sinistral (debe comprobarse)		
Tipo de metamorfismo: Regional				Grado de Metamorfismo: Medio-Alto		
Zona Metamórfica: Zona de biotita				Roca original (protolito): Grauvacca		
CLASIFICACION Y/O NOMBRE DE LA ROCA: Gneis Feldespático con Biotita						
MICROFOTOGRAFIA DE RASGOS TÍPICOS EN SECCION DELGADA XPL				MICROFOTOGRAFIA DE RASGOS TÍPICOS EN SECCION DELGADA XPL		
<p>Microfotografía No. 001</p> 				<p>Microotografía No. 002</p> 		

Otras observaciones complementarias: **El contenido de micas, cuarzo y la abundancia del feldespato indican un claro origen sedimentario, esta unidad parece ser la base en el área de una secuencia metasedimentaria o metapelítica.**

Se agrupan a esta unidad las muestras LN-001-15, LN-002-15, LN-003-15, LN-018-15, LN-019-15 Y LN-022-15.

FORMATO PARA LA DESCRIPCION DE MUESTRAS

DATOS GENERALES			
No. MUESTRA: LN-004-15		IDENTIFICACIÓN BASE DE DATOS (DATUM): WGS-84	
FECHA: 22-06-15		PROYECTO: Trabajo Final de Campo 2015	
UBICACIÓN: Los Jobos	UTM_Este: 773709	UTM_Norte: 1650821	UTM_Zona: 15
LOCALIDAD: Quebrada Agua Sarca			
HOJA TOPO/GEO.: 2160	Nombre: El Chol	Serie: IV	Escala: 1:50,000
ANÁLISIS Y MUESTREO: Luis Erick Chavarría Noack			

TIPO DE ROCA : Metamórfica
UNIDAD LITODEMICA Y/O ESTRATIGRAFICA: Unidad de Mármoles y Esquistos
CLASIFICACION UTILIZADA:

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO						
Tipo de exposición	Afloramiento Natural		Calicata		Corte de carretera	Otros
	In situ	Re-depositado	Código	Profundidad (m)		
	X					

VARIABILIDAD Y/O ARREGLO LITO-ESTRATIGRAFICO: La unidad se encuentra como capas de espesor no identificado directamente sobre los gneises y esquistos biotíticos. La mayoría de afloramientos de mármol asemejan a un coluvión o a bloques rodados, sin embargo su foliación puede mostrar una orientación preferencial para identificarla. Su orientación varía poco y se mantiene hacia el NW-SE. El espaciado entre los planos de foliación llega a medir entre 30 a 50 centímetros y pueden llegar a estar rellenos de grafito y cuarzo; además estos planos suelen ser propicios para el fracturamiento de la roca. Se identifican como rocas blancas o grises con un patrón de foliación fuertemente marcado. Su mineralogía es sencilla y consiste únicamente en carbonatos (calcita y dolomita), moscovita, cuarzo y grafito. Se le observa intercalado con capas de esquistos moscovíticos de espesor raras veces con espesores mayores a 1 metro.

CARACTERIZACION ESTRUCTURAL: B= Buzamiento, DB= Dirección de buzamiento	(B)	(DB – pitch)	OTRAS OBSERVACIONES: (sistemas y/o familias, J1...). (I= inversa, N= normal, R= rumbo (S: sinistral, D: dextral), ID: Inversa dextral, IS: Inversa dextral, ND: Normal dextral, NS: Normal sinistral)
Estratificación (So)			
Foliación (S1, S2..etc):	47	240	
Lineaciones:	-	-	
Pliegues (eje):	-	-	
Fallas: (orientación, pitch y tipo) F1:	-	-	
Diaclasas:	No persistente	Persistente	
J1		39/305	
J2		79/242	
J3	45/164		
J4	70/57		
Otras:			

Fotografía 004



Fotografía 005



DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

GRADO DE METEORIZACION:	I	II	III	IV	V	VI	COLOR (Munsell): Roca Fresca: Roca alterada:
		X	X				
TIPO DE CLIVAJE (types of cleavage):	Espaciado (Spaced) Foliación					Continuo (Continuous)	

COMPOSICIÓN MINERALÓGICA

Componentes mayores	Vol. %	Componentes menores	Vol. %	Accesorios	Vol. %	Otros
Carbonatos	80	Cuarzo (Qz)	10			
		Moscovita (Ms)	5			
		Grafito	5			

TEXTURAS: Granoblástica

TIPO DE ALTERACION: Ninguna

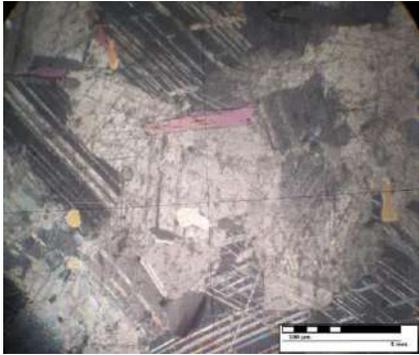
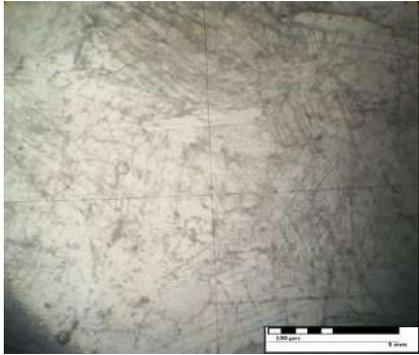
OTROS DATOS: Los planos de foliación pueden llegar a presentar grafito. En Rancho Sentado pueden observarse bandas de cuarzo de 3 milímetros a 5 centímetros que indican un límite próximo a la zona de precipitación de carbonatos. También pueden encontrarse rocas con una textura más granular lo que posiblemente indique la presencia de rocas originales bioclásticas que han sido recrystalizadas. La unidad varía levemente en su coloración, puede observarse con tonos rosas pero su mineralogía se mantiene igual.

Fotografía No 006



Fotografía No 007



DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICO						
COMPOSICION MINERAL						MINERALES OPACOS:
Componentes mayores	Vol. %	Componentes menores	Vol. %	Accesorios	Vol. %	
Dolomita	80	Moscovita	3			
Calcita	10	Cuarzo	7			
DESCRIPCION CUALITATIVA (QUALITATIVE DESCRIPTION)				FORMA Y TAMAÑO DEL GRANO		
Microtextura: Granoblástica				Mineral	Forma	Tamaño (µm)
Microtexturas de deformación: Ninguna				Moscovita	Euhedral	1000
Microestructuras: Ninguna				Dolomita, calcita	Subhedral	500-1000
Tipo de Alteración: Ninguna				Cuarzo	Anhedral	50-100
Geometría e indicadores cinemáticos: Ninguno				Resultado cinemático: Ninguno		
Tipo de metamorfismo: Regional				Grado de Metamorfismo: Bajo-Medio		
Zona Metamórfica: Ninguno				Roca original (protolito): Caliza/Dolomita		
CLASIFICACION Y/O NOMBRE DE LA ROCA: Mármol Dolomítico						
MICROFOTOGRAFIA DE RASGOS TÍPICOS EN SECCION DELGADA XPL				MICROFOTOGRAFIA DE RASGOS TÍPICOS EN SECCION DELGADA PPL		
<p>Microfotografía No. 003</p> 				<p>Microfotografía No. 004</p> 		

Observaciones: Las muestras que no presentan variaciones significantes y pertenecen a la misma unidad de Mármoles y Esquistos (Um) son LN-004-15, LN-012A-15, LN-025-15, LN-27-15, LN-28-15.

FORMATO PARA LA DESCRIPCION DE MUESTRAS

DATOS GENERALES			
No. MUESTRA: LN-018-15		IDENTIFICACIÓN BASE DE DATOS (DATUM): WGS-84	
FECHA: 25-06-15		PROYECTO: Trabajo Final de Campo 2015	
UBICACIÓN: Los Jobos	UTM_Este: 773390	UTM_Norte: 1650233	UTM_Zona: 15
LOCALIDAD: La colonia			
HOJA TOPO/GEO.: 2160	Nombre: El Chol	Serie: IV	Escala: 1:50,000
ANÁLISIS Y MUESTREO: Luis Erick Chavarría Noack			

TIPO DE ROCA : Metamórfica
UNIDAD LITODEMICA Y/O ESTRATIGRAFICA: Unidad de Mármoles y Esquistos
CLASIFICACION UTILIZADA:

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO						
Tipo de exposición	Afloramiento Natural		Calicata		Corte de carretera	Otros
	In situ	Re-depositado	Código	Profundidad (m)		
	X					
<p>VARIABILIDAD Y/O ARREGLO LITO-ESTRATIGRAFICO: Estas rocas se encuentran comúnmente intercaladas con los mármoles del área y rara vez en pequeños afloramientos distribuidos a lo largo del rumbo de los mármoles. Varían su orientación pero mantienen una dirección NW-SE. Se observan como rocas de textura esquistosa y grano fino, grises, plateadas y de tonos beige. Su foliación es penetrativa. Su contenido es básicamente de moscovita, cuarzo y feldespato. Rara vez se le encuentra con mariposita/fuchcita y clorita o biotita. Su mejor exponente se encuentra en la carretera hacia los Amates donde se intercala gradualmente con los mármoles.</p>						
CARACTERIZACION ESTRUCTURAL: B= Buzamiento, DB= Dirección de buzamiento		(B)	(DB – pitch)	OTRAS OBSERVACIONES: (sistemas y/o familias, J1...). (I= inversa, N= normal, R= rumbo (S: sinistral, D: dextral), ID: Inversa dextral, IS: Inversa dextral, ND: Normal dextral, NS: Normal sinistral)		
Estratificación (So)						
Foliación (S1, S2..etc):		38	220			
Lineaciones:						
Pliegues (eje):						
Fallas: (orientación, pitch y tipo) F1:						
Diaclasas:	No persistente	Persistente				
J1	40/304					
J2	35/284					
J3	69/119					
J4						
Otras:						

Fotografía 017



Fotografía 018



DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

GRADO DE METEORIZACION:	I	II	III	IV	V	VI	COLOR (Munsell): Roca Fresca: Roca alterada:
			X	X	X	X	
TIPO DE CLIVAJE (types of cleavage):	Espaciado (Spaced) Foliación					Continuo (Continuous)	

COMPOSICIÓN MINERALÓGICA

Componentes mayores	Vol. %	Componentes menores	Vol. %	Accesorios	Vol. %	Otros
Moscovita	75	Cuarzo (Qz)	10			
Feldespato (Fd)	15					

TEXTURAS: Lepidoblástica, esquistosa

TIPO DE ALTERACION: Ninguna

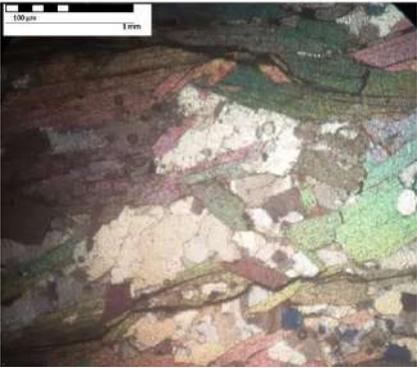
OTROS DATOS: El porcentaje de feldespato suele variar relativamente en las muestras, en ocasiones parece formar pórfidos con una ligera rotación pero no es evidente.

Fotografía No 019



Fotografía No 020



DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICO						
COMPOSICION MINERAL						MINERALES OPACOS:
Componentes mayores	Vol. %	Componentes menores	Vol. %	Accesorios	Vol. %	No identificados
Moscovita	65	Cuarzo	10	Opacos	3	
Biotita	15	Feldespato	7			
DESCRIPCION CUALITATIVA (QUALITATIVE DESCRIPTION)				FORMA Y TAMAÑO DEL GRANO		
Microtextura: Lepidoblástica Microtexturas de deformación: Poligonización del cuarzo, pseudofoliación Microestructuras: Pseudocrenulación asimétrica Tipo de Alteración: Ninguna				Mineral	Forma	Tamaño (µm)
				Moscovita, biotita	Euhedral	100-200
				Feldespato, cuarzo	Subhedral	100-150
				Cuarzo	Anhedral	50-100
Geometría e indicadores cinemáticos: Ninguno evidenciado en micro.				Resultado cinemático: No es evidente en esta muestra.		
Tipo de metamorfismo: Regional				Grado de Metamorfismo: Bajo-Medio		
Zona Metamórfica: Zona de biotita				Roca original (protolito): Areniscas o pelitas		
CLASIFICACION Y/O NOMBRE DE LA ROCA: Esquisto moscovítico con biotita						
MICROFOTOGRAFIA DE RASGOS TIPICOS EN SECCION DELGADA XPL				MICROFOTOGRAFIA DE RASGOS TIPICOS EN SECCION DELGADA XPL		
Microfotografía No. 009 				Microfotografía No. 010 		

Otras observaciones complementarias: **Las micas, cuarzo y la abundancia del feldespato indican un origen sedimentario.**

Se agrupan a esta unidad las muestras LN-014-15, LN-018-15.

FORMATO PARA LA DESCRIPCION DE MUESTRAS

DATOS GENERALES			
No. MUESTRA: LN-010-15		IDENTIFICACIÓN BASE DE DATOS (DATUM): WGS-84	
FECHA: 23-06-15		PROYECTO: Trabajo Final de Campo 2015	
UBICACIÓN: Los Jobos	UTM_Este: 774446	UTM_Norte: 1648388	UTM_Zona: 15
LOCALIDAD: Zona sur de los Jobos			
HOJA TOPO/GEO.: 2160	Nombre: El Chol	Serie: IV	Escala: 1:50,000
ANÁLISIS Y MUESTREO: Luis Erick Chavarría Noack			

TIPO DE ROCA : Metamórfica
UNIDAD LITODEMICA Y/O ESTRATIGRAFICA: Unidad de Serpentinitas
CLASIFICACION UTILIZADA:

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO						
Tipo de exposición	Afloramiento Natural		Calicata		Corte de carretera	Otros
	In situ	Re-depositado	Código	Profundidad (m)		
	X					

VARIABILIDAD Y/O ARREGLO LITO-ESTRATIGRAFICO: Esta roca se encuentra como lentes entre la serpentinita, posiblemente en un inicio eran diques basálticos que se han deformado. Su orientación varía pero generalmente su tendencia se mantiene NW-SE. Esta foliada aunque no es raro encontrarla sin foliación. Su mejor exponente son las rocas al N del área a la par de la carretera hacia Los Jobos donde se encuentran como un cuerpo entre serpentinita fuertemente fracturado y foliado. Su mineralogía consiste en hornblenda y anfíboles en su mayoría y al S del área desarrolla granates almandinos.

CARACTERIZACION ESTRUCTURAL: B= Buzamiento, DB= Dirección de buzamiento	(B)	(DB – pitch)	OTRAS OBSERVACIONES: (sistemas y/o familias, J1...). (I= inversa, N= normal, R= rumbo (S: sinestral, D: dextral), ID: Inversa dextral, IS: Inversa dextral, ND: Normal dextral, NS: Normal sinestral)
Estratificación (So)			
Foliación (S1, S2..etc):	79	202	
Lineaciones:	-	-	
Pliegues (eje):	43	242	
Fallas: (orientación, pitch y tipo) F1:	-	-	
Diaclasas:	No persistente	Persistente	
J1	53/5		
J2	50/340		
J3	60/148		
J4			
Otras:			

Fotografía 013

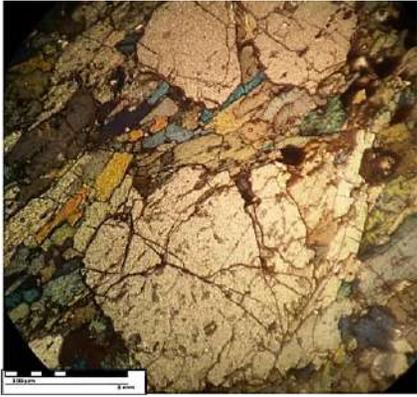


Fotografía 014



DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA							
GRADO DE METEORIZACION:	I	II	III	IV	V	VI	COLOR (Munsell): Roca Fresca: Roca alterada:
		X	X				
TIPO DE CLIVAJE (types of cleavage):	Espaciado (Spaced) Foliación					Continuo (Continuous)	
COMPOSICIÓN MINERALÓGICA							
Componentes mayores	Vol. %	Componentes menores		Vol. %	Accesorios	Vol. %	Otros
Hornblenda	50				Granates	15	
Otros anfíboles	35						
TEXTURAS: Nematoblástica							
TIPO DE ALTERACION: Ninguna							
OTROS DATOS: Las muestras de gneis suelen presentar una lineación mineral paralela a la foliación formada por las hornblendas. En ocasiones pueden observarse crenulaciones muy finas y poco desarrolladas.							
<p>Fotografía No 015</p> 				<p>Fotografía No 016</p> 			

Otras observaciones complementarias:

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICO						
COMPOSICION MINERAL						MINERALES OPACOS:
Componentes mayores	Vol. %	Componentes menores	Vol. %	Accesorios	Vol. %	Magnetita o titanita.
Hornblenda	30	Ortopiroxenos	15	Opacos	5	
Otros anfíboles	40	Granates	10			
DESCRIPCION CUALITATIVA (QUALITATIVE DESCRIPTION)				FORMA Y TAMAÑO DEL GRANO		
Microtextura: Nematoblástica, porfidonematoblástica				Mineral	Forma	Tamaño (µm)
Microtexturas de deformación: Foliación, lineación mineral				Anfíboles, Granates	Euhedral	≥ 500 y > 1000
Microestructuras: Pseudocrenulación asimétrica				Opacos, piroxenos	Subhedral	≥ 500
Tipo de Alteración: Ninguna					Anhedral	
Geometría e indicadores cinemáticos: Ninguno				Resultado cinemático: No es evidente en la muestra.		
Tipo de metamorfismo: Regional				Grado de Metamorfismo: Alto		
Zona Metamórfica: Zona de granate				Roca original (protolito): Hornblendita, diques basálticos		
CLASIFICACION Y/O NOMBRE DE LA ROCA: Anfibolita con granates						
MICROFOTOGRAFIA DE RASGOS TIPICOS EN SECCION DELGADA XPL				MICROFOTOGRAFIA DE RASGOS TIPICOS EN SECCION DELGADA XPL		
<p>Microfotografía No. 007</p> 				<p>Microotografía No. 008</p> 		

Otras observaciones complementarias: **Se agrupan a esta unidad las muestras LN-005-15, LN-008-15, LN-010-15**

FORMATO PARA LA DESCRIPCION DE MUESTRAS

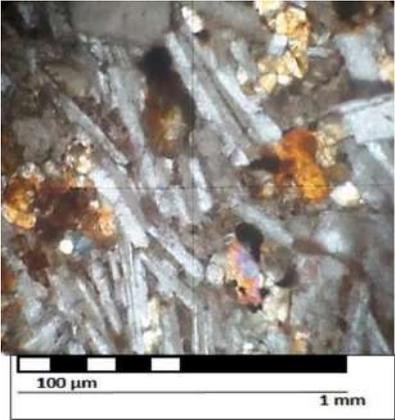
DATOS GENERALES			
No. MUESTRA: LN-006-15		IDENTIFICACIÓN BASE DE DATOS (DATUM): WGS-84	
FECHA: 23-06-15		PROYECTO: Trabajo Final de Campo 2015	
UBICACIÓN: Los Jobos	UTM_Este: 773554	UTM_Norte: 1648598	UTM_Zona: 15
LOCALIDAD: Alrededores de La colonia			
HOJA TOPO/GEO.: 2160	Nombre: El Chol	Serie: IV	Escala: 1:50,000
ANÁLISIS Y MUESTREO: Luis Erick Chavarría Noack			

TIPO DE ROCA : Ígnea extrusiva
UNIDAD LITODEMICA Y/O ESTRATIGRAFICA: Unidad de Lavas Basálticas
CLASIFICACION UTILIZADA:

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO						
Tipo de exposición	Afloramiento Natural		Calicata		Corte de carretera	Otros
	In situ	Re-depositado	Código	Profundidad (m)		
	X	X				
<p>VARIABILIDAD Y/O ARREGLO LITO-ESTRATIGRAFICO: La unidad se encuentra como bloques y pequeños afloramientos dispersas al NW y SW del área dispersos en capas horizontales sobre la serpentinita y mármoles. No posee ninguna orientación preferencial. Se observa como rocas grises, café o rojizas de grano muy fino. Solo pueden distinguirse olivinos oxidados en muestras de mano. Suele presentar una textura vesicular en las partes más altas que desaparece en los sectores donde se le observa sobre la serpentinita y en la base de la unidad se le observa como brechas basálticas.</p>						
CARACTERIZACION ESTRUCTURAL: B= Buzamiento, DB= Dirección de buzamiento		(B)	(DB – pitch)	OTRAS OBSERVACIONES: (sistemas y/o familias, J1...). (I= inversa, N= normal, R= rumbo (S: sinestral, D: dextral), ID: Inversa dextral, IS: Inversa dextral, ND: Normal dextral, NS: Normal sinestral)		
Estratificación (So)						
Foliación (S1, S2..etc):						
Lineaciones:						
Pliegues (eje):						
Fallas: (orientación, pitch y tipo) F1:						
Diaclasas:	No persistente	Persistente				
J1	62/311					
J2	60/301					
J3						
J4						
Otras:						
<p>Fotografía 009</p> 			<p>Fotografía 010</p> 			

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA							
GRADO DE METEORIZACION:	I	II	III	IV	V	VI	COLOR (Munsell): Roca Fresca: Roca alterada:
		X	X	X	X		
TIPO DE CLIVAJE (types of cleavage):	Espaciado (Spaced)					Continuo (Continuous)	
COMPOSICIÓN MINERALÓGICA							
Componentes mayores	Vol. %	Componentes menores		Vol. %	Accesorios	Vol. %	Otros
Matriz	42						
Olivinos	55						
TEXTURAS: Vesicular							
TIPO DE ALTERACION: Ninguna							
OTROS DATOS: Las vesículas de los basaltos no están rellenas. En muestra de mano solo logra distinguirse la matriz de grano muy fino y olivinos.							
<p>Fotografía No 011</p> 				<p>Fotografía No 012</p> 			

Otras observaciones complementarias:

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICO						
COMPOSICION MINERAL						MINERALES OPACOS:
Componentes mayores	Vol. %	Componentes menores	Vol. %	Accesorios	Vol. %	
Plagioclasas	42	Opacos	3			
Olivinos	55					
DESCRIPCION CUALITATIVA (QUALITATIVE DESCRIPTION)				FORMA Y TAMAÑO DEL GRANO		
Microtextura: Fluidal, porfídica				Mineral	Forma	Tamaño (µm)
Microtexturas de deformación: Ninguna				Bytownita, Labradorita, Olivinos	Euhedral	≥ 300
Microestructuras: Ninguna				Opacos	Subhedral	100-150
Tipo de Alteración: Ninguna					Anhedral	
Geometría e indicadores cinemáticos: Ninguno				Resultado cinemático: No está evidenciada		
Magma: Básico				Serie ígnea: Alcalina		
Zona Metamórfica: Ninguna				Origen: Lavas basálticas		
CLASIFICACION Y/O NOMBRE DE LA ROCA: Basalto olivínico						
MICROFOTOGRAFIA DE RASGOS TIPICOS EN SECCION DELGADA XPL				MICROFOTOGRAFIA DE RASGOS TIPICOS EN SECCION DELGADA XPL		
<p>Micofotografía No. 005</p> 				<p>Micofotografía No. 006</p> 		

Otras observaciones complementarias: En esta unidad se agrupan las muestras LN-006-15, LN-015-15, LN-016-15.

No. 056-2017

**USAC
CUNOR**

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario del Norte



El Director del Centro Universitario del Norte de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer los dictámenes de la Comisión de Trabajos de Graduación de la carrera de:

TÉCNICO EN GEOLOGIA

Al trabajo titulado:

ESTUDIO GEOLÓGICO EN BAJA VERAPAZ: "ANÁLISIS DEL FRACTURAMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE EXPLOTACIÓN DE MÁRMOL ROSA, EN UN ÁREA DE 9 km² EN LA ALDEA LOS JOBOS DEL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ EL CHOL"

Presentado por el (la) estudiante:

LUIS ERICK CHAVARRIA NOACK

Autoriza el

IMPRIMASE

Cobán, Alta Verapaz 22 de Marzo de 2017.


Lic. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales
DIRECTOR

