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

TRABAJO FINAL DE CAMPO



INFORME DE TRABAJO FINAL DE CAMPO MAPEO GEOLÓGICO EN SAN MARCOS: ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y LITOLÓGICO AL SUROESTE DE LA MINA MARLIN EN EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL IXTAHUACÁN A ESCALA 1:5 000

FRANCISCO JAVIER JUÁREZ CACAO

COBÁN, ALTA VERAPAZ, MARZO DE 2015

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

TRABAJO FINAL DE CAMPO

INFORME DE TRABAJO FINAL DE CAMPO MAPEO GEOLÓGICO EN SAN MARCOS: ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y LITOLÓGICO AL SUROESTE DE LA MINA MARLIN EN EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL IXTAHUACÁN A ESCALA 1:5 000

PRESENTADO AL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

POR

FRANCISCO JAVIER JUÁREZ CACAO 200840298

COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR AL TÍTULO DE TÉCNICO EN GEOLOGÍA

COBÁN, ALTA VERAPAZ, MARZO DE 2015

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR MAGNÍFICO

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

CONSEJO DIRECTIVO

PRESIDENTE:

Lic. Zoot. M.A. Fredy Giovani Macz Choc

SECRETARIA:

Licda. T.S. Floricelda Chiquín Yoj

REPRESENTANTE DE DOCENTES: Ing. Geol. César Fernando Monterroso Rey

REPRESENTANTE EGRESADOS: Ing. Agr. Julio Oswaldo Méndez Morales

REPRESENTANTES ESTUDIANTILES: PEM. Hugo Francisco Ruano Rivera

Br. Marco Tulio Medina Perez

COORDINADOR ACADÉMICO

Lic. Zoot. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales

COORDINADOR DE LA CARRERA

Ing. Geol. Sergio David Morán Ical

COMISIÓN DE TRABAJO FINAL DE CAMPO

COORDINADOR:

Ing. Geol. Sergio David Morán Ical

SECRETARIO:

Ing. Geol. César Fernando Monterroso Rey

VOCAL:

Ing. Geol. Luis Gustavo Chiquín Marroquín

REVISOR DE REDACCIÓN Y ESTILO

Inga. Quim. Verónica Beatriz Juárez Jiménez

REVISOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Ing. Geol. César Fernando Monterroso Rey

ASESOR

Inga. Geol. Silvia Frine Cortez Bendfeldt

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE – CUNOR – CARRERA GEOLOGÍA Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz Telefax: 7952-1064 y 7956-6600 Ext. 209 Guatemala, C. A. E-mail: geologiausac@gmail.com

Señores Comisión Trabajos de Graduación Nivel Intermedio, Carrera Geología CUNOR

Respetables Señores:

Por este medio informo a ustedes que he procedido a la revisión del informe final del Trabajo de Graduación del nivel técnico, del estudiante FRANCISCO JAVIER JUÁREZ CACAO, carné No. 200840398, titulado: "MAPEO GEOLÓGICO EN SAN MARCOS: ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y LITOLÓGICO AL SUROESTE DE LA MINA MARLIN EN EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL IXTAHUACÁN A ESCALA 1:5 000", el cual someto a consideración de ustedes, para su aprobación.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Inga. Sílvia Frine Cortez Bendfeldt Docente Asesor Carrera Geología CUNOR



c.c. archivo

Ref. 15-CG-257/2014 10 de septiembre de 2014 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Ref. 15-CG-62/2015 18 de febrero 2015.

CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE – CUNOR – CARRERA GEOLOGÍA Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz Telefax: 7952-1064 y 7956-6600 Ext. 209 Guatemala, C. A. E-mail: 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 **FRANCISCO** JAVIER JUÁREZ CACAO, carné No. 200840398, titulado: "MAPEO GEOLÓGICO EN SAN MARCOS: ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y LITOLÓGICO AL SUROESTE DE LA MINA MARLIN EN EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL IXTAHUACÁN A ESCALA 1:5 000", el cual someto a consideración de ustedes, para su aprobación.

Atentamente

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Montentro

Ing. Geol. César Fernando Monterroso Rey Docente Revisor Carrera Geología CUNOR



c.c. archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Ref. 15-CG-79/2015 13 de marzo de 2015

CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE – CUNOR – CARRERA GEOLOGÍA Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz Telefax: 7952-1064 y 7956-6600 Ext. 209 Guatemala, C. A. E-mail: geologiausac@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: "MAPEO GEOLÓGICO EN SAN MARCOS: ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y LITOLÓGICO AL SUROESTE DE LA MINA MARLIN EN EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL IXTAHUACÁN A ESCALA 1:5 000", del estudiante FRANCISCO JAVIER JUÁREZ CACAO, carné No. 200840398, 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

PALL COBAN, AN. 31 BY

Ing. Químico Verónica Beatriz Juárez Jiménez Docente Carrera Geología CUNØR

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: INFORME DE TRABAJO FINAL DE CAMPO MAPEO GEOLÓGICO EN SAN MARCOS: análisis estructural y litológico al suroeste de la mina marlín en el municipio de san miguel Ixtahuacán a escala 1:5 000, como requisito previo a optar al título profesional de Técnico en Geología.

Francisco Javier Juárez Cacao 200840398

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.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS. Por brindarme la sabiduría en la realización de este proyecto, sin su cobertura y bendición no hubiese sido posible.

A MIS PADRES. Hilda Violeta Cacao Caal por su apoyo incondicional, dándome ánimos para seguir luchando ante las adversidades que se me presentaron, a Francisco Ovidio Juárez Cajbon por su paciencia y apoyo.

A MIS ABUELOS. Matilde, Delfina y Roberto por sus buenos consejos.

A MIS HERMANOS Y PRIMA Emylsa, Pablo y Ana por apoyarme y animarme.

A LA EMPRESA MONTANA EXPLORADORA DE GUATEMALA Y AL PERSONAL DEL DEPARTAMENTO DE EXPLORACIÓN. Por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto. En especial al Ing. Carlos E. Chiquin Y. por su apoyo y sus conocimientos brindados.

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y AL CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE. Por abrirme las puertas a la máxima casa de estudios superiores y poderme desarrollar académicamente para obtener el título de Técnico en Geología

A LOS INGENIEROS DE LA CARRERA DE GEOLOGÍA. Por la enseñanzas brindadas.

A MIS AMIGOS. Viviana, Lilian y Julisa por estar siempre conmigo, Alejandra, Karen, Dulce, Guayo, Maco, Renato, Antón, Eliud, Armando, Isaías, Alex, Otto, Pablo, Alfredo, por todas las experiencias compartidas y esos momentos de amistad y compañerismo vividos.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	xi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

1.1 El problema	3
1.1.1 Antecedentes	3
1.1.2 Planteamiento del problema	5
1.1.3 Justificación	6
1.1.4 Alcances y límites	6
a. Alcances	6
b. Límites	6
1.1.5 Delimitación: espacial y temporal	7
a. Localización y extensión del área, accesos	7
 b. Duración y lapso de tiempo de la investigación 	10
1.1.6 Objetivos	11
a. General	11
b. Específicos	11
1.1.7 Marco metodológico	11
 a. Etapa de recopilación y análisis bibliográfico 	12
b. Etapa de campo	12
c. Etapa de laboratorio	13
d. Etapa de gabinete	13

CAPÍTULO 2 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

2.1 Clima y vegetación	15
2.2 Meteorización	16
2.3 Suelos	16

2.4 Drenaje fluvial	17
2.5 Erosión	19
2.6 Relieve	20
2.7 Mapa fisiográfico	20

CAPÍTULO 3 TECTÓNICA REGIONAL

3.1 Falla Cuilco-Chixoy-Polochic	23
3.2 Falla Motagua-Chamelecón	24
3.3 Mapa tectónico regional	25

CAPÍTULO 4 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL

4.1 Estratigrafía del Paleozoico	27
4.2 Estratigrafía del Cenozoico	27
4.2.1 El Terciario y Cuaternario en Guatemala	27
4.2.2 Rocas volcánicas	28
4.2.3 Unidades Pre-Ignimbritas	28
4.2.4 Ignimbritas del Mioceno	29
4.2.5 Unidades Post-Ignimbritas	29
4.3 Columna estratigráfica regional	30

CAPÍTULO 5 LITOESTRATIGRAFÍA LOCAL

5.1 Unidades litoestratigráficas	31
5.1.1 Unidad de Siliciclásticos (Slc)	32
5.1.2 Unidad de Andesita (And)	44
5.1.3 Unidad de Latita (Li)	55
5.1.4 Unidad de Diques Andesíticos (Da)	57
5.1.5 Unidad de Dique Latítico (DI)	65
5.1.6 Unidad de Brecha de Fragmentos Andesiticos (Ba)	67
5.1.7 Unidad de Coluvión (Col)	70
5.1.8 Unidad de Aluvión (Al)	72
5.2 Columna lito-estratigráfica local	75

CAPÍTULO 6 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

6.1 Dominios estructurales	77
6.1.1 Dominio frágil	78
6.2 Fallas	78
6.2.1 Fallas normales	79
a. Fallas normales puras	81
b. Fallas normales dextrales y dextrales normales	83
c. Fallas normales sinextrales y sinextrales normales	85
6.2.2 Fallas inversas	87
a. Fallas inversas puras	89
b. Fallas inversas dextrales y dextrales inversas	90
c. Fallas inversas sinextrales	92
6.3 Fracturas	94
6.3.1 Fracturas en andesita y latita	95
6.3.2 Fracturas en diques andesíticos y latíticos	96
6.4 Diques	97
6.4.1 Direcciones de diques Andesíticos	98
6.4.2 Dirección de diques Latítico	99
6.5 Vetas	100
6.6 Zona de stockwork	106
6.7 Análisis Estructural	108
6.7.1 Modelo Sinextral	108
6.8 Elipse de deformación local	111

CAPÍTULO 7 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

7.1 Fisiografía	113
7.2 Unidades geomorfológicas	114
7.1.1 Unidad de origen denudacional	115
a. Elemento de Laderas y Cuestas (Elc)	115
b. Elemento de Carcavas (Ecar)	117
c. Elemento de Cimas y Lomas (Ecl)	118
d. Elemento de Deslizamientos y Derrumbes (Edd)	119
e. Elemento de Escarpes (Ee)	120
7.1.2 Unidad de origen agradacional	121
a. Elemento de Cañones (Eca)	122
b. Elemento de Saltos de Agua (Esa)	124

c. Elemento de Planicies Aluviales (Epa)	126
d. Elemento de Terrazas (Et)	127
e. Elemento de Coluviones (Ecol)	129
7.3 Mapa geomorfológico local	
CAPÍTULO 8 GEOLOGÍA HISTÓRICA LOCAL	
8.1 Historia geológica local y relieve actual	133
CAPITULO 9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
Conclusiones generales	137
Conclusiones específicas	137
Recomendaciones	
BIBLIOGRAFÍA	141 145
Anexo I. Mapa geológico	143
Anexo II. Corte geológico A – A´	149
Anexo III. Corte geológico B – Bí	150
Anexo IV. Mapa de muestras	151
Anexo V. Análisis petrográfico	153
Anexo VI. Abreviaturas Anexo VII. Tabla de meteorización	169
Anexo VIII Diagramas	173
Anexo IX. Base de datos	175

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

No.

01	Área de estudio	09
02	Vías de acceso para llegar al área	10
03	Elipse de deformación sinestral teórica (modelo teórico de la falla	
	Cuilco-Chixoy-Polochic)	24
04	Mapa diagramático tectónico del Bloque Chortis: ZFM = Zona de	
	Falla Motagua, FP = Falla Polochic	25

05	Columna estratigráfica, de las unidades más antiguas a las recientes	30
06	Secuencia idealizada de los siliciclásticos	32
07	Modelo de abanico aluvial que se acopla a las características de	
•	los siliciclásticos del área	43
08	Columna lito-estratigráfica local	75
09	Bloques esquemáticos de fallas normales (a) e inversas (b)	78
10	Roseta que muestra la dirección preferencial de las fallas	
	normales	81
11	Roseta que muestra la dirección preferencial de las fallas	
	normales puras	82
12	Modelo estereográfico de planos para fallas normales puras	83
13	Roseta que muestra la dirección preferencial de las fallas	
	normales dextrales y dextrales normales.	84
14	Modelo estereográfico de planos para fallas dextrales normales	
	(a) y normales dextrales (b)	85
15	Roseta que muestra la dirección preferencial de las fallas	
	normales sinextrales y sinextrales normales	86
16	Modelo estereográfico de planos para fallas normales	
47	sinextrales (a) y sinextrales normales (b)	87
17	Roseta que muestra la dirección preferencial de las fallas inversas	88
18	Roseta que muestra la dirección preferencial de las fallas	
	inversas puras	89
19	Modelo estereográfico de planos para las fallas inversas puras	90
20	Roseta que muestra la dirección preferencial de las fallas	
	inversas dextrales y dextrales inversas	91
21	Modelo estereográfico de planos para fallas inversas dextrales	
	(a) y dextrales inversas (b)	92
22	Roseta que muestra la dirección preferencial de las fallas	
	inversas sinextrales	93
23	Modelo estereográfico de planos para fallas inversas sinextrales	93
24	Roseta que muestra la dirección preferencial de las fracturas en	
	la andesita	95
25	Roseta que muestra la dirección preferencial de las fracturas en	
~ ~	la latita	95
26	Roseta que muestra la dirección preferencial de las fracturas en	
07	ios aiques andesiticos	96
27	Roseta que muestra la dirección preferencial de las fracturas en	00
	alques latiticos	96

28	Roseta que muestra la dirección preferencial de los diques	
	andesíticos	99
29	Roseta que muestra la dirección preferencial de los diques	
	latíticos	100
30	Roseta que muestra la dirección preferencial de las vetas	104
31	Roseta que muestra la dirección preferencial las venas	105
32	Estilo y geometría de los depósitos epitermales	106
33	Roseta que muestra la dirección preferencial las vetias o venas	
	de la zona de stockwork	108
34	Diagrama que muestra los esfuerzos principales de fallas	
	normales e inversas del modelo sinextral, siendo σ 1 N066/40 y	
	σ3 N325/12	109
35	Representación de direcciones de diques para el modelo	
	sinextral	110
36	Representación de direcciones de vetas para el modelo sinextral	110
37	Modelo estructural de la elipse de deformación sinextral local	111
38	Secuencia de fragmentos en el río Tzalá	129

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Pág.

No.

1	Estratificación intercalada que varía de fino, grueso, medio y fino	33
2	Laminación ondulada en sedimentos finos, presente en la unidad	
	de siliciclásticos	34
3	Clastos angulosos y sub-angulosos de esquistos y gneis en la	
	unidad de siliciclásticos	35
4	Estratificación paralela en la unidad de siliciclásticos	35
5	Fragmentos líticos en la parte media y en la parte inferior los	
	fragmentos de cuarzo lechoso	36
6	Brecha de grano medio con intercalaciones de grano fino con	
	laminación ondulada presente en la unidad de siliciclásticos	37
7	Afloramiento de la arenisca de grano fino	38
8	Cuarzo y fragmentos líticos en la matriz (xpl)	39
9	Minerales de cuarzo, opacos y líticos, la matríz es de grano fino	
	(ppl)	40
10	Afloramiento de andesita en la vía de acceso a Westvero	44

11	Roca andesita alterada en una loma con variaciones en su coloración por la hematita	45	
12	Afloramiento de la brecha andesítica (los fragmentos son de andesita)		
13	Afloramiento de andesita argilizada, ubicado en la carretera que	70	
-	se dirige hacia Sipacapa	48	
14	Andesita con alteración propilítica con una coloración verdosa,		
	encontrándose pirita en la roca	50	
15	Afloramiento de andesita sobre una quebrada, se observa la		
	alteración cuarzo-sericita	51	
16	Afloramiento de andesita donde se observa la silicificación, la		
	roca esta fracturada pero aun así la dureza es alta	52	
17	Minerales opacos (pirita), plagioclasa, epidota y matriz		
	cloritizada (xpl)	54	
18	Foliación en la latita con dirección de inclinación N290/56	55	
19	Plagioclasas, opacos (xpl)	57	
20	Dique andesítico en la vía Westvero con dirección de inclinación		
	N328/62	58	
21	Intrusión andesítica que se encuentra en el río Tzalá con		
	dirección de inclinación N315/65	59	
22	Dique andesítico atravesado por el rio Tzalá	60	
23	Contacto fallado, se observa el gouge y cuarzo	60	
24	Gradación de meteorización baja (a) y alta (b)		
25	Estructura en forma de cebolla producida por meteorización de		
	origen hidrotermal	62	
26	Relicto de plagioclasas, magnetita, matríz cloritizada, ppl	63	
27	Las abundancia de plagioclasas es visible, xpl	64	
28	Dique latítico con fracturas N200/54, orientación N338/75 (datos		
	en dirección de inclinación)	65	
29	Se muestran clorita, plagioclasas y opacos en ppl	67	
30	Fragmentos de andesita angulosos y subangulosos de 3 a 10 cm	68	
31	Fragmentos de andesita angulosos y subangulosos son de 10 a		
	30 cm	69	
32	Clastos de andesita argilizados (rojo) clastos de andesita cuarzo-	-	
<u> </u>	sericita (amarilio), aumento 10x	70	
33	Coluvion que se encuentra en la parte sur este del area donde	74	
0.4	se observa la mala clasificación de los clastos	71	
34	Fragmentos de andesita de 10 a 40 centimetros, sobre una	70	
25		72	
33		13	

36	Terraza aluvial que muestra una secuencia de clastos variables	74
37	Evidencia de estrillas y gradas en un plano de falla que reflejan	
	un movimiento normal	79
38	Falla con gouge en las orillas del rio Tzalá	80
39	Falla en una quebrada con dirección de inclinación N350/75,	
	pitch 62SW	88
40	Fracturas en la andesita	94
41	Dique andesítico con orientación de inclinación N345/31	97
42	Veta de cuarzo-calcita, en el centro se encuentra cuarzo y a las	
	orillas calcita	101
43	Veta de cuarzo lechoso que se encuentra en el rio Tzalá	102
44	Veta de cuarzo lechoso en andesita argilizada	103
45	Vetias de cuarzo lechoso en andesita con direcciones hacia el	
	NE-SW	104
46	Afloramiento en el río Tzalá con vetias de cuarzo características	
	de la zona de stockwork, orientadas NE-SW	107
47	Pendientes de gran pronunciación mayor a 50º	116
48	Ladera de poca pronunciación menor a 30º que se encuentra al	
	oeste del área	116
49	Cárcavas en la andesita, su dirección es hacia el norte	117
50	Con vista hacia el sur se observa una loma, hacia el oeste se	
	encuentran las cimas	118
51	Deslizamiento con dirección N070	119
52	Derrumbe a las orillas del río Tzalá de 15 metros de ancho por	
	45 de alto	120
53	Escarpe ubicado al nor-oeste del área en la quebrada Pox	121
54	Geoforma de cañón en el río Tzalá	123
55	Dique andesítico que tiene una geoforma de cañón	124
56	Salto de agua en la latita al oeste del área, a proximidades del	
	río Tzalá	125
57	Salto de agua ubicado al sur oeste del área sobre la unidad de	
	dique andesítico	126
58	Aporte de fragmentos de roca que ha dejado el río Tzalá, al	
	fondo una terraza aluvial	127
59	Terraza a orillas del río Tzalá, se encuentra sobre la andesita,	
	los clastos son variables	128
60	Fragmentos de roca de diferentes tamaños, distintas formas, no	-
	se presenta una orientación definida	130
	•	

ÍNDICE DE MAPAS

No.

1	Patrón de drenaje sub dendrítico	18
2	Cuencas hidrográficas, vertiente del Golfo de México	19
3	Mapa fisiográfico de Guatemala donde se indica el lugar del estudio	21
4	Mapa hipsométrico que muestra las pendientes del área	114
5	Mapa geomorfológico local	131

ÍNDICE DE TABLAS

No.

		Pág.
1	Vértices del área a estudiar, coordenadas UTM	7
2	Porcentaje de minerales en las secciones analizadas con el microscopio petrográfico	39
3	Tipos de facies con sus respectivos códigos, las estructuras sedimentarias y su interpretación, según Miall A.	42
4	Porcentaje de minerales en la sección analizada con el microscopio petrográfico	53
5	Porcentaje de minerales en la sección delgada analizada con el	
~	microscopio petrográfico	56
6	Porcentaje de minerales en las secciones analizadas con el	60
7	Porcentaje de minerales en las secciones analizadas con el	03
1	microsconio petrográfico	66
8	Porcentaie de clastos y matriz de la muestra	69
9	Fallas normales puras sin evidencia de pitch	82
10	Fallas normales dextrales v dextrales normales	84
11	Fallas normales sinextrales y sinextrales normales	86
12	Fallas inversas puras sin evidencia de pitch	89
13	Fallas inversas dextrales y dextrales inversas	91
14	Fallas inversas sinextrales	92
15	Base de datos de diques andesíticos	98
16	Base de datos de dique latítico	99
17	Temperatura de cristalización de cuarzo y calcita	100
18	Base de datos de dirección de vetas	103

19	Dirección de venas menores a 5 centímetros	105
20	Dirección de vetas en la zona de stockwork	107
21	Esfuerzos de las estructuras que representa las fallas con	
	cinemática sinextral	111

RESUMEN

El trabajo de investigación realizado se basa en el análisis estructural, litológico y geomorfológico, el cual implica un mapeo cartográfico de un área que comprende 7 km² al suroeste de la mina Marlin en el municipio de San Miguel Ixtahuacán a una escala 1:5 000.

Se identificaron ocho unidades litológicas en el área en función de sus características texturales y mineralógicas, siendo las siguientes: Unidad de Siliciclásticos (SIc) Unidad de Andesita (And) Unidad de Latita (Li) Unidad de Diques Latíticos (DI) Unidad de Diques Andesíticos (Da) Unidad de Brecha de Fragmentos Andesíticos (Ba) Unidad de Coluvión (Col) Unidad de Aluvión (Al).

La distribución de las unidades litológicas en el área es, al este los siliciclásticos, los cuales son de un ambiente sedimentarios de abanico aluvial, la variación de estos inicia en la base con arcosas líticas, brecha de clastos metamórficos, brecha de grano medio y arenisca lítica en el techo. Tienen un buzamiento hacia el noroeste de 10 a 15°.

La andesita abarca gran parte del área, los diques se encuentran dispersos en ella y al oeste del área se encuentra la latita. La mineralogía de las rocas es compleja debido a que muchos de los minerales se encuentran alterados hidrotermalmente dando lugar al reemplazo de minerales como clorita, caolín y sericita. Las alteraciones presentes son: propilítica, silicificación, cuarzo-sericita y agilización, estas pertenecen a un sistema hidrotermal de baja sulfuración. Existe una cantidad de diques andesíticos (en su mayoría) y latíticos de distintos espesores, estos varían de 3-12 metros de espesor y con longitudes de 5-10 metros, su dirección preferencial es hacia el noreste-suroeste lo que indica que están sometidos a un patrón estructural en dicha dirección.

Estructuralmente el área se encuentra dentro del dominio frágil debido a la gran cantidad de fracturas, fallas, diques y grietas de tensión (vetas), todas estas tienen un patrón preferencial hacia el noreste-suroeste. La elipse de deformación local indica un modelo estructural que tiene sus sigmas en la siguiente dirección: σ 1 N066/40 y σ 3 N325/12, por lo que se propone un modelo estructural con cinemática sinextral.

Las unidades geomorfológicas se dividen en dos grupos, el primero, de origen denudacional, refiriéndose a las que están dominadas por el relieve como las laderas, escarpes, cárcavas, cimas y lomas, así mismo por aquellas que son de remoción de masas como los deslizamientos y derrumbes. El segundo grupo es de origen agradacional, que se encuentra dominado por el agente fluvial, siendo los cañones, saltos de agua, así como coluviones, terrazas y planicies aluviales.

La distintas unidades geomorfológicas están sujetadas a accidentes generados por la tectónica como las quebradas, escarpes de fallas y un patrón de drenaje sub dendrítico, así también por acción de origen pluvial, formando cárcavas por donde la escorrentía desciende hacia lugares más bajos, principalmente las quebradas, donde se unen a corrientes fluviales alimentando el río Tzalá, siendo el río el agente erosivo más fuerte y continuo presente en el área.

xii

INTRODUCCIÓN

Como parte de la investigación MAPEO GEOLÓGICO EN SAN MARCOS. Análisis estructural y litológico al suroeste de la mina Marlin en el municipio de San Miguel Ixtahuacán a escala 1:5 000, se llevó a cabo un mapeo donde se determinó la litología, las estructuras geológicas y la geomorfología en el área.

Al realizarse las tres etapas de la investigación (etapa de recopilación bibliográfica, etapa de campo y etapa de laboratorio) se obtuvo la información necesaria para realizar el trabajo y con la última etapa (gabinete) interpretar los datos estructurales, litológicos y geomorfológicos.

En el capítulo I se expone el problema de investigación, los antecedentes, el planteamiento del problema y su justificación, los alcances y límites de la investigación, su delimitación espacial y temporal, el objetivo general y los específicos basados en el planteamiento del problema, así como la metodología que se utilizó durante la investigación.

En el capítulo II se expone la geomorfología regional y los aspectos que afectan el área de estudio tales como el clima, la vegetación, la meteorización, los suelos, el drenaje fluvial, la erosión, el relieve. Se presenta el mapa de las provincias fisiográficas de Guatemala.

En el capítulo III se expone la tectónica regional, según la influencia de esfuerzos, el área se ve afectada directamente por la falla Cuilco-Chixoy-Polochic, y en cierta parte por la falla Motagua-Chamelecon, estas fallas regionales se muestran en el mapa tectónico regional.

En el capítulo IV se expone la estratigrafía regional tanto del paleozoico, mesozoico y cenozoico enfocándose en la actividad volcánica que sucedió durante el terciario y cuaternario, aquí se incluye la columna estratigráfica regional.

En el capítulo V se expone la lito-estratigrafía local basada en las unidades litológicas identificadas en el campo, como es que se representan espacialmente, el análisis de los datos tomados en los afloramientos y la descripción de las unidades de roca por medio de un análisis petrográfico de las secciones delgadas.

En el capítulo VI se exponen los rasgos estructurales que afectan el área como lo son fallas, fracturas, intrusiones, grietas de tensión, estas se analizaron para así obtener la elipse de deformación local que indica la dinámica y cinemática de las estructuras geológicas.

En el capítulo VII se expone la geomorfología local, las formas que se observaron en el campo son descritas según sus características de origen y explican eventos denudacionales y agradacionales.

En el capítulo VIII se expone la historia geología y el relieve actual que es el análisis en conjunto de los procesos estructurales, litológicos y geomorfológicos, la ocurrencia secuencial de estos se ve reflejado actualmente en el área.

En el capítulo IX se presentan las conclusiones de la investigación resolviendo los objetivos planteados y algunos otros resultados obtenidos, se presentan las recomendaciones geológicas para que sean tomadas a consideración en proyectos geológicos a futuro y proyectos comunitarios.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

1.1 EL PROBLEMA

1.1.1. Antecedentes

Según indica Carlos Gonzáles (2005), en el Proyecto Marlin de Montana Exploradora de Guatemala:

"Se han realizado estudios por geólogos que determinarón las características geológicas del yacimiento de la Mina Marlín estableciéndola como epitermal Au-Ag de Baja Sulfuración, el yacimiento posee las características siguientes:

- a. Veta de Qz, Stockwovil, Bx con Au, Ag, Electrum, Argentina y trazas de esfalerita, Calcopirita y Galena.
- b. Generalmente estos depósitos presentan espacios abiertos.
- c. Abundante presencia de depósitos de edad Terciaria.
- d. Estos depósitos están asociados a rocas volcánicas, predominantemente andesitas calcoalcalinas, rocas intrusivas, clastos y sedimentos, fragmentos de estructuras de depresión.
 Los depósitos son típicamente localizados en estructuras lo

Los depositos son tipicamente localizados en estructuras lo que le da la forma a estos depósitos. Un alto número de estos depósitos están formados en zonas de dilatación, plegamientos y fallas.

e. Texturas: Espacios abiertos rellenos, Crustiforme y Coloforme".¹

¹ Geología-open pit-subterraneo, Guatemala 2005.pdf

También describe la litología del Proyecto Marlin, la cual está dada por las siguientes unidades:

- a. Andesitas Masivas y fragmentadas.
- b. Diques intrusivos de Andesita: Diques Andesíticos relacionados al sistema de fallas N70E, los cuales generalmente son de baja ley.
- c. Diques intrusivos de Feldespato y Latita
- d. Conglomerados de Vulcanoclásticos, Unidad Vulcanoclásticos, la mayor parte de esta unidad es estéril, la mineralización se encuentra relacionada a la zona de falla Virginia.
- e. Vulcanosedimentos.
- f. Vetas de cuarzo-calcita".²

Selvin Chiquín (2008), en su Trabajo Final de Campo, dice lo siguiente:

"En base a los resultados obtenidos y el análisis de todos los datos obtenidos en el campo, se logró establecer un patrón NE-SW muy característico en toda la zona. Todas las estructuras (fallas, lineamientos, fracturas y vetas de cuarzo) encontradas se caracterizan por dicha orientación. Asimismo se denota dicha orientación también por el río. Este conjunto de fallas podría estar asociado al sistema de fallas Cuilco-Chixoy-Polochic".³

Gabriela Coronado (2008) en su Trabajo Final de Campo, dice lo siguiente:

"Entre los tipos de estructuras presentes en el área, encontramos fallas las cuales presentan una orientación preferencial NE-SW, asimismo se encontraron fracturas, vetas mineralizadas y lineamientos que corresponden a la misma

² ibíd.

³ Chiquín, Selvin. MAPEO GEOLÓGICO EN EL DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS, GUATEMALA: "Cartografiado geológico de superficie en el suroeste de la mina Marlin, San Miguel Ixtahuacán". Trabajo Final de Campo. Cobán, Alta Verapaz. 2008. pág. 66

orientación, dando a conocer el control estructural del área que tiene una relación posible con el sistema de falla Cuilco-Chixoy-Polochic".⁴

María José Klug (2008) en su Trabajo Final de Campo, dice lo siguiente:

"Como estudio preliminar se puede definir que los eventos de mineralización tienen una fuerte relación con la actividad tectónica regional y local del país. También que la roca caja, como lo es la andesita es ideal para almacenamiento de grandes depósitos minerales que posean rentabilidad económica".⁵

1.1.2. Planteamiento del problema

Con el fin de obtener resultados de la disposición, las características de las unidades litológicas y las estructuras geológicas en el área, es relevante realizar el mapeo geológico y ampliar la información que ya se tiene para determinar posibles relaciones mineralógicas que se encuentren en el área.

El mapeo se realizó en base a lo anterior, de esta manera se plantea el problema:

¿Qué influencia tienen las estructuras geológicas en la litología y cuál es la relación espacial entre ellas?

⁴ Coronado, Gabriela. MAPEO GEOLOGICO EN EL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL IXTAHUACAN, DEPARTAMENTO DE SAN MARCOS: "Caracterización de las Zonas de Alteración dentro del Proyecto Marlin, de la Empresa Montana Exploradora de Guatemala, S.A." Trabajo Final de Campo, Cobán, Alta Verapaz. 2009. pág,61

⁵ Klug, María José. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA EN SAN MARCOS: "Caracterización de las zonas de alteración de Proyecto Marlin, San Miguel Ixtahuacán". Trabajo Final de Campo. Cobán, Alta Verapaz, 2009. pág. 52

1.1.3. Justificación

En los alrededores de la mina Marlin se realizan diferentes tipos de estudios geológicos para determinar las zonas de interés minero. Es de importancia describir la litología y los factores estructurales presente en el área para determinar la existencia de zonas de riesgo, tanto de caídas de roca como de deslizamientos ya que la topografía es muy quebrada.

Uno de los aportes científicos de la investigación es describir la historia geológica del área y con ello describir los sucesos que actuaron y han dado forma al terreno. Mediante un mapeo geológico se establecen las características de los modelos estructurales, litológicos y geomorfológicos locales, los cuales pueden ser representados y ser acoplados a los regionales y tener un aporte tanto a la sociedad como para el interés mismo de la mina Marlin de la empresa Montana Exploradora de Guatemala S.A.

1.1.4 Alcances y límites

a. Alcances

Se realizará un estudio descriptivo y explicativo de las unidades litológicas, esto por medio de una columna estratigráfica local, la geología estructural en el área y los rasgos geomorfológicos.

b. Límites

La investigación está limitada primeramente a la datación de las unidades litológicas ya que las rocas presentes en el área no se definirán con una edad específica. Seguidamente se limita en el tema de yacimientos, la mineralización no se estudiará a fondo ya que no se cuenta con análisis químicos que permitan determinar el potencial minero. Y por último la complejidad de las alteraciones las cuales serán únicamente mencionadas ya que se observan en el campo y se necesita de un estudio más a detalle para determinar las condiciones de su comportamiento.

1.1.5. Delimitación: espacial y temporal

a. Localización y extensión del área, accesos

El área estudiada está ubicada al oeste de Guatemala, en el departamento de San Marcos. Al suroeste de la mina Marlin (figura 1). Entre los municipios de San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, corresponde a una extensión de 7 km² en la hoja topográfica Santa Bárbara.

TABLA 1

VÉRTICES DEL ÁREA A ESTUDIAR, COORDENADAS UTM

VÉRTICE	NORTE (Y)	ESTE (X)
Α	1684000	636000
В	1684000	639500
С	1682000	636000
D	1682000	639500

Fuente: Investigación de campo. 2 012

Existen cinco vías de acceso, de las cuales dos son las principales, que llegan hasta Cuatro Caminos. (Figura 2)

De Cobán a la Ciudad de Guatemala son: 206 km De la Ciudad de Guatemala a Cuatro Caminos son: 186 km

"La primera: por la carretera Interamericana que conduce de la ciudad Capital al departamento de Huehuetenango y la Mesilla en el km 288,5 cruzar a la izquierda y a 25 km en carretera de terracería se llega a San Miguel.

La segunda: al llegar a Cuatro Caminos dirigirse hacia la cabecera departamental de San Marcos que está a 52 km y posteriormente hacia San Miguel Ixtahuacán que se encuentra a una distancia de 64 km[°].⁶

Existen dos vías de acceso dentro del área de estudio que no se observan en la hoja topográfica Santa Bárbara, estas se han editado y en el mapa digitalizado de la figura 1 están las vías que se encuentran en el área descritas de la siguiente manera:

Al noreste se encuentran una carretera que conduce hacia Sipacapa así como en la parte norte un pequeño tramo de la ruta que se dirige hacia San Miguel Ixtahuacán, también existe una vía de acceso propia de la empresa Montana Exploradora de Guatemala S.A. esta se encuentra en la parte noreste central del área llamada Westvero.

⁶ San Miguel Ixtahuacán; http://es.wikipedia.org/wiki/San_Miguel_Ixtahuac%C3%A1n (12/04/2 012)



FIGURA 1 ÁREA DE ESTUDIO

9

Fuente: Investigación de campo. 2 012





Fuente: Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0044_ C.pdf (23/04/2 012)

b. Duración y lapso de tiempo de la investigación

La práctica se llevó a cabo desde el 1 de febrero del 2012 al 30 de enero del 2013.

(El tiempo estipulado para la realización de toda la investigación a través de cada una de las etapas es de un año).

Se plantearon los objetivos de la investigación tanto general como los específicos los cuales se detallan a continuación.

a. General

 Analizar la geología local en las cercanías de la aldea Cancil, San Miguel Ixtahuacán y Sipacapa, San Marcos en una extensión de 7 km² a escala 1:5 000.

b. Específicos

- Determinar las orientaciones preferenciales de las estructuras geológicas en el área.
- Analizar las estructuras geológicas y la presencia de alteraciones en el área.
- Describir las unidades litológicas y los rasgos geomorfológicos presentes.

1.1.7. Marco metodológico

Se realizó la investigación por medio de cuatro fases que están distribuidas a modo de que cada una aporte para que se obtengan los resultados esperados.

a. Etapa de recopilación y análisis bibliográfico

En esta etapa se recolecto la información relacionada con el área de estudio, consultando trabajos finales de campo, libros, páginas web, mapas geológicos que se han hecho con anterioridad, fotos aéreas para obtener los lineamientos.

b. Etapa de campo

En esta etapa se llevó a cabo la visita al área de estudio que consistió en un lapso de cuarenta y cinco días, durante los cuales se realizó el mapeo geológico, los métodos utilizados fueron los de: por afloramientos y caminamiento. La escala de mapeo utilizada es 1:5 000.

Se identificaron los tipos de litología que afloran en distintas partes del área, se observaron las características mineralógicas a nivel macroscópico con diferentes muestras de mano.

Se midieron datos estructurales en los afloramientos, se tomaron los planos de las fallas, la existencia de estrías para indicar movimientos de las mismas, los planos de fracturas, estratos, vetas y zonas de *stockwork*, orientación de diques, etc.

Se determinaron rasgos geomorfológicos a partir de sus formas, rasgos y características observadas, algunos otros por su disposición, principalmente los agradacionales.

c. Etapa de laboratorio

Esta etapa consiste en el análisis de las diferentes muestras que se recolectaron en la etapa de campo.

Se analizó una muestra en el estéreomicroscopio debido a que era una brecha y los clastos son >1cm, se analizaron siete secciones delgadas de las diferentes unidades de rocas en el microscopio petrográfico.

El análisis de cada sección delgada consta de la descripción mineralógica de la roca, esto se realizó identificando los minerales esenciales y secundarios según sus características ópticas, posteriormente se determinan los porcentajes de minerales para darle un nombre específico a las unidades de roca.

d. Etapa de gabinete

Consiste en la síntesis de las etapas anteriores para poder elaborar el mapa geológico a una escala 1:5 000 donde se plasmaron las características litológicas y estructurales sobresalientes, según la escala de trabajo.

Se realizó el mapa geomorfológico según las formas observadas y la ubicación de las mismas delimitándolas según las características que presentan.

La elaboración de los mapas geológico, geomorfológico así como los perfiles se realizaron en el programa *ArcGis*® 10.1 y el análisis de los datos

estructurales es representado por medio de diagramas de roseta con el programa *Rockware* 2.0, estereogramas con los programas *Geoplot* y *Win Tensor*.

CAPÍTULO II

GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

2.1. CLIMA Y VEGETACIÓN

"El clima en el departamento es variado, frío seco en las regiones de las montañas volcánicas y altiplanicie central. La precipitación pluvial varía desde los 1 000 mm a 1 500 mm".⁷

El terreno posee diversidad de climas y por ende sus zonas de vida son diversas, se identifican tres zonas de vida bien definidas:

"bh-MB Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical

La mayor parte de su topografía es plana y se utiliza mucho para actividades agrícolas. Las alturas que se presentan pueden variar de 1 500 a 2 400 msnm. Presenta una biotemperatura que oscila entre los 15 y 23 °C.

bmh-MB Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical

Presenta una topografía bastante accidentada. Tiene elevaciones desde 1 800 a 3 000 msnm. Presenta una biotemperatura de 12,5 a 18,6 °C.

⁷ Diagnóstico del Departamento de San Marcos; http://www.mecapal.org/ (12/04/2012).
bmh-M Bosque Muy Húmedo Montano Subtropical.

Esta Zona de Vida es muy importante, dada su diversidad arbórea poco conocida. Su biotemperatura anual promedio es cercana a los 12 °C".⁸

"Las condiciones orográficas y climatológicas de San Marcos, determinan una vegetación de bosque boreal constituido por grandes árboles, como robles, encinas, coníferas y también varias especies de lauráceas".⁹

2.2. METEORIZACIÓN

El área se ve afectada directamente por la meteorización física, principalmente por el agente hídrico, el agua se introduce en la roca fracturada y que en ocasiones suele ser muy porosa, esto hace que se debilite la roca, de esta manera las andesitas argilizadas suelen tener un grado de meteorización arriba de III.

"Generalmente se encuentran rocas ígneas intrusivas que se hallan teñidas con óxidos y con un grado de meteorización III a V, descompuesto in situ, pero aún se puede reconocer la estructura de la roca original".¹⁰

2.3. SUELOS

Los suelos que se encuentran en el área son poco profundos y no existe horizonte de materia orgánica (A) como tal, los suelos son principalmente del horizonte B los cuales contienen algunas raíces y el

⁸ Zonas de vida vegetal; http://es.scribd.com/doc/62439423/35/Bosque-muy-humedo-montano-Subtropical (12/04/2012).

⁹ Carlos Gispert, *Atlas Geográfico Universal y de Guatemala*. España: Océano, 2002.

¹⁰ Klug, María José. *CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA EN SAN MARCOS: "Caracterización de las zonas de alteración de Proyecto Marlin, San Miguel Ixtahuacán"*. Trabajo Final de Campo. Cobán, Alta Verapaz, 2009. pág.18.

suelo es de color café oscuro y sus granos son homogéneos, las profundidades son de aproximadamente 40-50 centímetros.

"Se puede decir que existe en la región heterogeneidad de climas, materiales geológicos y subyacentes que conforman un mosaico de tipos de suelos; principalmente de la Clase II, que agrupan las subclases:

A) Suelos profundos sobre materiales volcánicos, en relieve inclinado a escarpado, de las Series Patzité y Sinaché;

B) Suelos poco profundos desarrollados sobre roca, Serie Sacapulas".¹¹

2.4. DRENAJE FLUVIAL

El área de estudio es atravesada por el río Tzalá que vierte su caudal al río Cuilco, el tipo de red de drenaje es sub dendrítico, a diferencia del tipo dendrítico, este se característica por el control estructural que afecta directamente el río, como se reflejado en el mapa 1 donde se observa en algunos meandros y corrientes ángulos casi de 90°.

¹¹ Suelos ; http://www.fundacionsierramadre.org/pdf/PROPUESTA_PROYECTOS_PRODUC TIVOS.pdf (13/04/2012).



Fuente: Investigación de campo. 2012

El drenaje fluvial pertenece a la cuenca del río Cuilco (mapa 2), esta corresponde a la vertiente del Golfo de México.

"La cuenca es compartida por los departamentos Quetzaltenango y San Marcos, la precipitación media anual varía entre 800 a 2 000 mm. La elevación máxima es de 3 500 msnm y la mínima 96 metros. El caudal medio anual es de 18 m/s en la estación Cuilco 1 603 km², la pendiente del cauce es de 1,64 por ciento, la elevación media de la cuenca es de 860 msnm".¹²

¹² Diagnóstico del Departamento de San Marcos; http://www.mecapal.org/ (12/04/2012).



CUENCAS HIDROGRÁFICAS, VERTIENTE DEL GOLFO DE MÉXICO

Fuente: Cuencas hidrográficas: http://www.sia.marn.gob.gt/ documentos/cuencashidrograficas.pdf

2.5. EROSIÓN

"Erosión es una serie de procesos naturales de naturaleza física y química que desgastan y destruyen los suelos y rocas de la corteza de un planeta". $^{\rm 13}$

¹³ *Erosión;* http://www.astromia.com/tierraluna/erosion.htm (12/04/2012).

Los tipos de erosión que existen son los siguientes: fluvial, pluvial, eólica, glacial, marina, biológica y antrópica.

El área estudiada se ve afectada por la erosión fluvial y pluvial. La primera por aguas de ríos y quebradas, la segunda por agua de las lluvias que precipitan con gran intensidad.

2.6. RELIEVE

El área estudiada presenta fuertes pendientes que varían de 40 a 60 grados de inclinación, haciendo un relieve quebrado, las curvas de nivel van de la más baja que es 1960 hasta 2380 msnm.

"El primer territorio que aparece sobre la Cordillera Volcánica es el departamento de San Marcos, presenta una cadena montañosa, es el único en abarcar una sección transversal completa, desde el límite de la placa del Caribe en el valle del Río Cuilco hasta la orilla misma del mar".¹⁴

2.7. MAPA FISIOGRÁFICO

Según el ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Guatemala se divide en siete regiones naturales o provincias fisiográficas. El área estudiada está localizada en la provincia Tierras altas o cadena volcánica, la cual se describe a continuación:

"Tierras altas o Cadenas Volcánica: Los numerosos conos volcánicos de esta área, algunos de reciente formación, están compuestos predominantemente por Andesita.

¹⁴ *Relieve*; http://www.viajeaguatemala.com/San_Marcos/105820292941.htm (12/04/2012).

En las tierras altas volcánicas, las pendientes de las laderas llegan a tener hasta un 40% de inclinación. Existen algunos valles que han sido formados por ceniza poméz cuaternaria".¹⁵

MAPA 3

MAPA FISIOGRÁFICO DE GUATEMALA DONDE SE INDICA EL LUGAR DEL ESTUDIO.



Fuente: Regiones fisiográficas: Informe Ambiental del Estado de Guatemala GEO Guatemala 2009. Pdf

¹⁵ *Tierras altas o cadena volcánica*; http://ide.segeplan.gob.gt/tablas/tablas_municipal/pdfs/ 11_Tablas_Ret alhuleu/tabla_43_11.pdf (12/04/2012).

CAPÍTULO III

TECTÓNICA REGIONAL

3.1. FALLA CUILCO-CHIXOY-POLOCHIC

"La falla de Chixoy-Polochic, también conocido como falla de Cuilco-Chixoy-Polochic, es una de las principales zonas de falla en Guatemala. Revela en un ligero arco desde la costa este de Guatemala hasta Chiapas en el suroeste de México, siguiendo los profundos valles de los ríos Polochic, Chixoy y Cuilco.

La falla de Chixoy-Polochic corre paralela a la falla de Motagua situado unos 80 km al sur. Ambas zonas de fallas son extensiones terrestres de la fosa de las Caimán en el mar Caribe, que marca el límite tectónico entre la placa del Caribe y la placa Norteamericana.

La falla de Chixoy-Polochic forma también la separación geológica entre las rocas cristalinas de la sierra de Chuacús y la sierra de las Minas al sur, y las rocas sedimentarias de la sierra de los Cuchumatanes y la sierra de Chamá al norte. La falla de Chixoy-Polochic fue especialmente activa durante la orogenia Laramide que se produjó durante el Terciario temprano.

Si bien la actividad sísmica reciente es más prominente en la falla de Motagua, algunos estudios sugieren que la falla de Chixoy-Polochic es todavía capaz de producir terremotos mayores, como por ejemplo el terremoto de 1 816 con una magnitud estimada de 7,5 a 7,8 M_w."¹⁴

¹⁴ Falla Cuilco-Chixoy-Polochic; http://es.wikipedia.org/wiki/Falla_de_Chixoy-Polochic (13-04-

FIGURA 3

ELIPSE DE DEFORMACIÓN SINESTRAL TEÓRICA (MODELO TEÓRICO DE LA FALLA CUILCO-CHIXOY-POLOCHIC)



Fuente: Modelo propuesto por Juan Ricardo Tiu Castro, Cartografía Geológica en los alrededores de la Finca Las Camelias en el límite sur de San Miguel Tucurú, A.V. y Norte de Purulhá B.V.

3.2. FALLA MOTAGUA-CHAMELECÓN

"La falla de Motagua es una falla transformante en Guatemala, que sigue el curso del río Motagua desde la costa del mar Caribe hasta Chichicastenango en el departamento El Quiché. Tiene un movimiento de sinestral este parte del sistema de fallas que forman el límite entre la placa Norteamericana y la placa del Caribe.

Esta falla divide dos terrenos muy diferentes: el Bloque Maya al Norte y el Bloque Chortí al Sur. Cinemática: "El desplazamiento de rumbo total a lo largo de la falla de Chixoy-Polochic es cercano a los 130 km (Burkart, 1 978), y ha ocurrido en los últimos 10,3 millones de años. Con base en estos valores, esta falla tiene una tasa de desplazamiento (promedio sobre largo período) de 13 mm por año. Poco se conoce sobre el desplazamiento de la falla de Motagua, sin embargo, el desplazamiento de depósitos sedimentarios recientes sugiere un desplazamiento entre 6 y 10 mm por año".¹⁷

¹⁷ *Falla de Motagua*; http://es.wikipedia.org/wiki/Falla_de_Motagua (13-04-12).

FIGURA 4

MAPA DIAGRAMÁTICO TECTÓNICO DEL BLOQUE CHORTIS: ZFM = ZONA DE FALLA MOTAGUA, FP = FALLA POLOCHIC.



Fuente: Modificado de: Northern Central America; The Maya and Chortis Blocks, T.W. Donnelly, G.S. Horne, y Otros, 1 985.

CAPÍTULO IV

ESTRATIGRAFÍA REGIONAL

4.1. ESTRATIGRAFÍA DEL PALEOZOICO

"Según la teoría geológica, el basamento está conformado por las rocas más antiguas en un lugar, generalmente por una asociación de rocas cristalinas que están cubiertas por sedimentos no metamorfizados en un contacto discordante.

Al norte, a partir de unos 6 km del área minera, afloran rocas cristalinas (metamórficas e ígneas) como filitas, esquistos, gneises y varios intrusivos, conocidos como Granito Siete Caminos y Granito Malacatancito".¹⁸

4.2. ESTRATIGRAFÍA CENOZOICO

4.2.1. El terciario y cuaternario en Guatemala

"En Guatemala, el Terciario se caracteriza por una intensa actividad ígnea que está representada en las grandes cantidades de material volcánico que ha sido expulsado de fisuras y focos eruptivos.

La actividad volcánica, en gran parte resultado de la subducción de la Placa de Cocos debajo de la Placa del Caribe, se estima que inició durante el Eoceno.

¹⁸ INFORME DE LA GEOLOGÍA LOCAL Área de la Zona de Voladuras y las Comunidades Vecinas a la Mina; Marlinhttp://www.comision-transparencia.info/wp-content/uploads/2011/10 /Geologia-LOCAL.pdf (12-04-2 012)

Se formaron valles intramontanos donde se depositaron rocas sedimentarias con predominancia de clastos volcánicos, ya que las cuencas estaban formadas en parte por rocas que resultaron de la actividad ígnea del Terciario. También afloraban rocas más antiguas.

La actividad ígnea ha continuado durante el Cuaternario hasta la fecha, evidenciada actualmente por la cadena volcánica. Ha predominado la actividad volcánica que forma un lineamiento paralelo a la Fosa Mesoamericana en una dirección O-NO.

Los productos volcánicos que se manifiestan como resultado del volcanismo del Cuaternario son principalmente cenizas, pómez, tobas, coladas de andesitas y basaltos. Cerca del área del Informe se encuentra el volcán Tacaná que se considera activo e hizo erupción a mediados del siglo XX, y el volcán Tajumulco que se considera un volcán durmiente".¹⁹

4.2.2. Rocas volcánicas

"La estratigrafía volcánica del bloque Chortís ha sido revisada ampliamente por Reynolds (1 971, 1 980). Esta es compleja y consiste en unidades biogénicas menores (lignitos, calizas de agua fresca, diatomitas). Estos estratos yacen con discordancia angular y relieve erosional profundo sobre las otras unidades más antiguas. Reconstrucciones de la história geológica del oeste del bloque Chortís (Dupré, 1 970) enfatizan que superficies de tierra contemporáneas estaban más controladas en el terciario temprano, lo que se originaron unidades estratigráficas más extensas durante el tiempo".²⁰

4.2.3. Unidades pre-ignimbritas

"En la mayoría de sus ocurrencias, los materiales volcánicos primarios (dominantemente andesiticos) son más

¹⁹ Donnelly, T;Home, GS; Finch, RC;Ramos, EI. 1990. *Northem Central America; The Maya and Crhortis Blocks*. US. Trad. Chiquin, M The Geological of America.

abundantes que detritus volcánicos epiclasticos. En muchas partes ha sido alterada hidrotermalmente".²¹

4.2.4. Ignimbritas del mioceno

"Las ignimbritas del mioceno del bloque Chortis oeste cubren la mayor parte de Guatemala sur, oeste de Honduras, norte de El Salvador, y el centro de Nicaragua, una area de al menos 10 000 kilometros cuadrados, estudios estratigráficos por Burkart y otros (1 973) definieron y describieron el Grupo Padre Miguel del sureste de Guatemala; el nombre ha sido posteriormente extendido a la secuencia de Honduras y quizás sigue siendo el único nombre usado para toda la secuencia. Sin embargo, un problema nomenclatural es la inclusión original dentro del Grupo Padre Miguel de la sobreyacente Formación San Jacinto. Considerando lo que Reynolds (1 977, 1 980) señalo, que esta última es distintamente más joven, el uso del nombre Padre Miguel quizás restringirse a la porción ignimbritica de la secuencia".²²

4.2.5. Unidades post-ignimbritas

"Las unidades ignimbriticas del Oeste del bloque chortis están cubiertas por una secuencia altamente variable de unidades sedimentarias fluviales, lacustres, y volcánicas de arenas y gravas, depósitos lahariticos, capas de cenizas, flujos basálticos y menos lignitos, caliza de agua fresca, y capas dolomíticas. No existe una información de edad confiable para estas unidades, y se les han asignado varios nombres.

Williams (1 960) describió unidades post-ignimbriticas en el altiplano de Guatemala como heterogéneas, pero dominantemente volcánicas".²³

- ²¹ Ibíd.
- 22 Ibíd.

29

²³ Ibíd.

4.3. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA REGIONAL

FIGURA 5

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA, DE LAS UNIDADES MÁS ANTIGUAS A LAS RECIENTES.

ERA	PERIODO	LITOLOGIA			
CENOZOICO	CUATER- NARIO	ALUVIONES, COLUVIONES, CENIZAS etc. Q			
	TERCIARIO	RIOLITAS, TOBAS LÍTICAS			
		diques Tai SEDIMENTOS VOLCANOCLÁSTICOS TV			
MESOZOICO		HIATUS			
PALEOZOICO		x x x x x x x x x x x x			

Fuente: Columna estratigráfica: http://www.comision-transparencia.info/ wp-content/uploads/2011/10/Geologia-LOCAL.pdf

CAPÍTULO V

LITO-ESTRATIGRAFÍA LOCAL

Este capítulo contiene las características de las unidades litológicas que se encuentran en el área.

Las unidades se definieron según las muestras de mano observadas en el campo, reconociendo algunos minerales visibles, así como por medio de las secciones delgadas haciendo el reconocimiento de minerales microscópicamente, según los porcentajes de estos se determinó el tipo de roca.

Mediante la columna estratigráfica local se determinó la relación que tiene cada una de las unidades litológicas definidas.

5.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

A continuación se describe cada una de las unidades litológicas que se encuentran en el área, siendo estas de la más antigua a la más joven de la siguiente manera:

Unidad de Siliciclásticos (SIc) Unidad de Andesita (And) Unidad de Latita (Li) Unidad de Diques Latíticos (DI) Unidad de Diques Andesíticos (Da) Unidad de Brecha de Fragmentos Andesíticos (Ba) Unidad de Coluvión (Col) Unidad de Aluvión (AI).

5.1.1. Unidad de siliciclásticos (SIc)

Esta unidad se encuentra al noreste del área, tiene una extensión de aproximadamente 0,15 kilómetros cuadrados (ver mapa geológico, anexo I)

Se encuentra en la parte baja del área, en las cercanías del río Tzalá, la cubierta vegetal es variada lo que impide observar con claridad los afloramientos en las laderas, siendo apreciables de una mejor manera en las orillas del río Tzalá.

Existen diferentes sedimentos depositados que varían según su coloración, tamaño y tipo de grano, la secuencia idealizada se puede observar en la figura 6.

FIGURA 6

SECUENCIA IDEALIZADA DE LOS SILICICLÁSTICOS.



Areno- limosa de grano fino menores a 1 mm sin estructuras sedimentarias.

Clastos de grano medio, de 1 mm-5 cm, de fragmentos líticos, cuarzos mal clasificados, se observa laminación ondulada.

Brecha Clastos metamórficos (gneis, esquistos) mal clasificados no mayores a 1 m, se observa estratificación paralela en la parte superior.

Areno-limosa en intercalaciones que varían de medio, fino, grueso, de 1mm-5 mm, se observa laminación ondulada.

Fuente: Investigación de campo. 2012

Según la secuencia de la figura 6, a continuación se describe cada una de estas, de A (base) hacia B (techo).

Al este del área se encuentra "A", se observa en un afloramiento de 10 m de alto por 25 m de ancho en las cercanías del río Tzalá. Tiene una variación vertical en la que se observa una serie de estratos cuya granulometría va de grueso a fino (fotografía 1), la meteorización para los finos es de III y para los medios-gruesos es de II, esto determinado según la tabla de meteorización del anexo VII.

FOTOGRAFÍA 1 ESTRATIFICACIÓN INTERCALADA QUE VARÍA DE FINO, GRUESO, MEDIO Y FINO.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

Los estratos son sub horizontales con una dirección de inclinación que varía aproximadamente entre N325-N340.

Una de las estructuras sedimentarias que se encuentra en la estratificación de "A" es laminación ondulada, esta se genera en ambientes donde la corriente fluvial no tuvo tanta fuerza (Fotografía 2).

FOTOGRAFÍA 2

LAMINACIÓN ONDULADA EN SEDIMENTOS FINOS, PRESENTE EN LA UNIDAD DE SILICICLÁSTICOS.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

Posteriormente se encuentra una brecha con clastos metamórficos, dominada por esquistos y gneis en una matriz de grano medio, estos clastos varían de 10 cm a < 1 m, no se encuentra estratificada, los clastos están mal clasificados y van de angulosos a sub angulosos (fotografía 3).

FOTOGRAFÍA 3

CLASTOS ANGULOSOS Y SUB-ANGULOSOS DE ESQUISTOS Y GNEIS EN LA UNIDAD DE SILICICLÁSTICOS.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

FOTOGRAFÍA 4

ESTRATIFICACIÓN PARALELA EN LA UNIDAD DE SILICICLÁSTICOS.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

Una de las estructuras sedimentarias que se encuentran en la transición de la brecha de clastos metamórficos y la brecha de grano medio es la estratificación paralela (fotografía 4), esta estratificación se forma debido a una intensidad media de las corrientes, buzan en dirección N65/26.

Seguidamente se encuentra una brecha de grano medio, contiene fragmentos líticos y cuarzos en una matriz soportada, mal clasificados sin ninguna dirección preferencial, su tamaño varía de 1 mm - 5 cm son sub-angulosos y sub-redondeados (fotografía 5).

FOTOGRAFÍA 5

FRAGMENTOS LÍTICOS EN LA PARTE MEDIA Y EN LA PARTE INFERIOR LOS FRAGMENTOS DE CUARZO LECHOSO.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

Otra estructura sedimentaria presente es laminación ondulitica/ondulada, estas se producen por la variación significativa

de las corrientes que pueden ser fuertes y lentas, repitiéndose cíclicamente (fotografía 6).

FOTOGRAFÍA 6

BRECHA DE GRANO MEDIO CON INTERCALACIONES DE GRANO FINO Y LAMINACIÓN ONDULADA.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

Según la figura 6 en A (techo) se encuentra una arenisca de grano fino, color café, con grado de meteorización II, no está estratificada, existe la presencia de venitas de cuarzo paralelas a las fracturas (fracturas en la dirección N52/58).

De esta arenisca se encuentran dos afloramientos, uno de aproximadamente 50 metros de alto por 25 metros de ancho y otro de 10 metros de alto, 15 metros de ancho (fotografía 7).

FOTOGRAFÍA 7 AFLORAMIENTO DE LA ARENISCA DE GRANO FINO.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

El contacto de los siliciclásticos con la andesita es discordante, dicho contacto se determinó por medio de afloramientos que se encuentran en las quebradas. En superficie se tomó el criterio de la topografía ya que la cubierta vegetal en ocasiones dificulta el reconocimiento del cambio litológico.

Para el análisis microscópico de la unidad de siliciclásticos se realizaron dos secciones delgadas, una de la muestra PJ005 (A) y otra de la muestra PJ040 (D), describiendo cada una de las secciones de la siguiente manera.

TABLA 2

PORCENTAJE DE MINERALES EN LAS SECCIONES ANALIZADAS CON EL MICROSCOPIO PETROGRÁFICO.

Sección delgada	% Cuarzo	% Calcita	% Líticos	% Opacos	% Feldespato	% Matriz
PJ005	50		2	2	26	20
PJ040	10	5	35	5		45

Fuente: Investigación de campo. 2 012

FOTOGRAFÍA 8

CUARZO Y FRAGMENTOS LÍTICOS EN LA MATRIZ (XPL).



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

Microscópicamente se observó la mineralogía de la roca, con lo cual se obtuvieron los porcentajes de la tabla 3, se utilizó el triángulo de Pettijhon (anexo VIII) para determinar el tipo de arenisca a la que corresponde, siendo esta una **arcosa lítica**, en la fotografía 8 se muestran los minerales esenciales de la muestra PJ005, se observa un alto porcentaje de cuarzos, algunos se presentan en forma cristalina, así como un menor aporte de feldespatos, los granos son sub redondeados, la matríz es arenosa.

En la fotografía 9 de la muestra PJ040 es difícil apreciar los minerales ya que la roca se encuentra alterada. Con los porcentajes de la tabla 3 se utilizó el triángulo de Pettijhon (anexo VIII) para determinar el tipo de arenisca a la que corresponde, siendo una **arenisca lítica de grano fino**.

FOTOGRAFÍA 9

MINERALES DE CUARZO, OPACOS Y LÍTICOS, LA MATRÍZ ES DE GRANO FINO (PPL).



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

El modelo sedimentario de los siliciclásticos se determinó basado en las características de tamaño de grano, matriz, forma de clastos, maduréz textural y estructuras sedimentarias.

Para la base de los siliciclásticos se tiene una roca que corresponde a una arcosa lítica (según el triángulo de Pettijhon)

posteriormente una brecha de fragmentos metamórficos gneis y esquistos no mayores a 1 metro, seguidamente de una brecha de fragmentos de cuarzo y líticos de grano medio menores a 5 centímetros, finalmente en el techo se tiene una roca que corresponde a una arenisca lítica de grano fino (según el triángulo de Pettijhon).

Teniendo claro lo descrito anteriormente y las estructuras sedimentarias presentes se determinaron las litofacies, Reading. (1996) se refiere a las litofacies de la siguiente manera:

"un cuerpo de rocas (sedimentos) con características específicas. Puede ser una simple capa o un grupo de ellas. Idealmente, ésta debería ser una roca distintiva que se formó bajo ciertas condiciones de sedimentación, reflejando procesos particulares, set de condiciones o ambientes".²⁴

Miall A. (1996) determino códigos de cada una de las facies que se encuentran en los sistemas fluviales como se indica a continuación y de esta manera obtener las litofacies.

- Letra mayúscula (G = grava, S = arena, F = facies finas, incluyendo arena muy fina, limo y fango) indica el tamaño de grano dominante.
- Letra minúscula indica la textura o estructura de las litofacies.
- La segunda letra minúscula (c, m) indica si las facies son clastosoportado (c) o matriz soportado (m).

En la tabla 3 se señalan los códigos para las estructuras sedimentarias que se encontraron en el área:

²⁴ Reading, H. 1996. *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. Blackwell Science eds. Pág 688.

TABLA 3

TIPOS DE FACIES CON SUS RESPECTIVOS CÓDIGOS, LAS ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS Y SU INTERPRETACIÓN, SEGÚN MIALL A.

Тіро	Código de facie	Facie	Estructura sedimentaria	Interpretación
Arenisca Lítica	FI	Arena, limo, fango	Laminación fina, ondulitas muy pequeñas	Llanura de inundación, canales abandonados o depósitos de inundación en su etapa final
Brecha grano medio	Gmg	Grava matriz soportada	Gradación inversa a normal	Flujo de detritos pseudoplástico (baja resistencia, viscos)
Brecha clastos metamórficos	Gmm	Grava masiva, matriz soportada	Gradación pobre	Flujo de detritos plásticos (alta resistencia, viscos)
Arcosa lítica	Sr	Arena, fina a muy gruesa	Estratificación cruzada con ondulitas	Ondulitas (régimen de flujo bajo)

Fuente: modificado de Miall A. (1996) página 79.

Con la descripción de facies se ha tomado un modelo ya preestablecido (figura 7) en el cual encajen cada una de las facies encontradas en el área, según el código que le corresponde.

Si bien es cierto la secuencia no se encuentra de una forma ideal como se muestra en los libros. En el área de estudio existe una variación de: intermedia, proximal a intermedia-distal, esta secuencia se ha depositado en periodos de tiempo considerables, debido a corrientes de alta energía como las brechas y de menor energía como las arenas.

FIGURA 7

MODELO DE ABANICO ALUVIAL QUE SE ACOPLA A LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS SILICICLÁSTICOS DEL ÁREA.



Fuente: modificado de Gerhard Einsele 1992, página 38.

Por lo tanto se determinó que los siliciclásticos pertenecen a un ambiente sedimentario de abanico aluvial, cabe recordar que un abanico aluvial está formado por sedimentos al pie de las montañas, principalmente en los valles, donde flujos son transportados de distintos lugares y dispersados hacia las planicies.

5.1.2 Unidad de andesita (And)

Esta unidad abarca la mayor parte del área con una extensión de 6,5 kilómetros cuadrados.

Las andesitas se observan en diferentes locaciones, siendo estas: en quebradas, el río Tzalá, la carretera que conduce hacia Sipacapa, la carretera de terracería que se encuentra al noroeste que va a la comunidad Agel, la que se dirige hacia la aldea Chininguitz. También se observa sobre la vía de acceso de la mina Marlin que conduce hacia la chimenea Westvero. En algunos de estos trayectos se observan intrusiones de la unidad de diques andesíticos (Da). En los afloramientos es notoria la presencia de alteraciones hidrotermales, estas se describirán más adelante

FOTOGRAFÍA 10

AFLORAMIENTO DE ANDESITA EN LA VÍA DE ACCESO A WESTVERO.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

Los afloramientos donde mejor se aprecia la andesita son los cortes que se encuentran en las carreteras y vías de acceso como se observa en la fotografía 10.

Existen dos tipos de andesita: foliada y masiva, la andesita foliada se observa en la parte norte central del área con dirección de inclinación N129/34, la andesita masiva se observa en la parte sur. Tiene fracturamiento que varía entre moderado a intenso, en algunos afloramientos se observan hasta cuatro familias de fracturas.

FOTOGRAFÍA 11 ROCA ANDESITA ALTERADA EN UNA LOMA CON VARIACIONES EN SU COLORACIÓN POR LA HEMATITA.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

La coloración de la andesita sana suele ser verdosa, sin embargo en el área se observa en tonalidades naranja, rojiza y morada, esto debido a que la alteración hidrotermal produce que los sulfuros se oxiden, dando como resultado la hematita en esa gama de coloraciones. (Fotografía 11).

Dentro de la unidad de andesita se tomó en cuenta la andesita brechada, esta se encuentra en la parte sureste del área en las cercanías de la aldea Nueva Victoria, es apreciable en algunas laderas y en el riachuelo Cancil, los clastos tienden a estar orientados hacia el noroeste (fotografía 12), en la parte norte central se presenta en forma de lentes y los afloramientos no superan los 5 metros.

FOTOGRAFÍA 12 AFLORAMIENTO DE LA BRECHA ANDESÍTICA (LOS FRAGMENTOS SON DE ANDESITA).



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

El contacto de la andesita con respecto a la unidad de siliciclásticos es discordante, se delimitó en las quebradas y en la parte superficial los suelos, la cubierta vegetal dificulta el reconocimiento del contacto, utilizándose métodos como topografía y regla de la V para definir con exactitud dicho contacto litológico.

El contacto con los diques es fallado (fallas normales), esto se aprecia principalmente en la vía de acceso Westvero, dichas fallas forman una apertura de 1 cm hasta algunas de 20 cm donde se observa el gouge (arcilla fina de relleno en la apertura de una falla).

En general las rocas del área y las andesitas se encuentran alteradas, sin embargo existe una ocurrencia mayor de dichas alteraciones en las andesitas, es por ello que en esta sección se describen las alteraciones hidrotermales existentes en el área.

Las alteraciones hidrotermales son un factor que afecta considerablemente las rocas, se encontró cuatro tipos de alteración las cuales corresponden a un sistema hidrotermal de baja sulfuración, debido a la mineralogía de reemplazamiento que presentan y su textura, estas son: argilización, propilitización, cuarzo-sericita y silicificación características de este sistema de hidrotermalismo, estas alteraciones se describen a continuación:

Agilización: esta alteración tiene una gran extensión dentro del área de estudio, encontrándose en lomas, quebradas y en cortes de carretera, su definición es la siguiente:

"Predominan caolinita y montmorillonita, aunque algunas arcillas amorfas pueden localmente ser importantes. El feldespato potásico y la biotita, parcialmente recristalizada a clorita, están a veces presentes. Zonalmente grada a una alteración propilítica hacia la roca fresca y a sericítica en dirección de la mineralización, con predominio de montmorillonita en la franja externa y de caolinita en el sector interno".²⁵

Su identificación se basa en las características que presenta la roca, su cambio composicional, el cual se ve reemplazado por arcillas (principalmente caolinita) y su alta meteorización IV y V disgregándose con la mano y en algunas ocasiones formando parte del suelo (Fotografía 13).

FOTOGRAFÍA 13

AFLORAMIENTO DE ANDESITA ARGILIZADA, UBICADO EN LA CARRETERA QUE SE DIRIGE HACIA SIPACAPA.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

Propilitización: Su extensión es poca, encontrándose en unas quebradas en la parte central del área, en la quebrada Pox y en el rio Tzalá donde en ocasiones afecta a los diques, su definición es la siguiente:

²⁵ Alteración argílica; http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/geofoto/geo_html/informacion/ .pdf/ (22-10-2 012)

"Involucra epidota (zoicita, clinozoicita), albita, clorita, leucoxeno y carbonato, además sericita, pirita, arsenopirita y óxidos de hierro y menos frecuentemente zeolitas o montmorillonita. Esta alteración ha sido caracterizada por las siguientes asociaciones:

- Clorita-calcita-caolinita
- Clorita-calcita-talco
- Clorita-epidota-calcita
- Clorita-epidota

Esta alteración puede penetrar grandes volúmenes de rocas y no estar directamente relacionada con los depósitos minerales epigenéticos".²⁶

En el área la propilitización se identificó según la asociación clorita-epidota y ocasionalmente pirita, otro factor importante para su identificación fue su coloración verdosa como se observa en la fotografía 14.

La roca propilitizada a simple vista se puede confundir con los diques ya que los dos son de coloración verdosa, una característica para diferenciarlos en muestras de mano es el tamaño de grano, los diques son de grano fino y la andesita es de grano medio.

FOTOGRAFÍA 14

ANDESITA CON ALTERACIÓN PROPILÍTICA CON UNA COLORACIÓN VERDOSA, ENCONTRÁNDOSE PIRITA EN LA ROCA.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

Cuarzo-Sericita: Esta alteración predomina en la parte norte y sur del área, se encuentra aproximadamente a 2 150 msnm, su definición es la siguiente:

"Sus minerales predominantes son sericita, cuarzo y pirita, la sericitización de los silicatos da como resultado un mosaico de cuarzo y sericita, que a veces destruye la textura original de la roca".²⁷

FOTOGRAFÍA 15

AFLORAMIENTO DE ANDESITA SOBRE UNA QUEBRADA, SE OBSERVA LA ALTERACIÓN CUARZO-SERICITA.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

Su identificación en los afloramientos se debe a la presencia de sericita que ha reemplazado los feldespatos, al rayar la muestra de mano con una navaja se observa una marca de coloración blancuzca con textura parecida a la cera, siendo esta una de las propiedades de la sericita.

En la mayor parte de afloramientos se ha borrado evidencia de minerales (en algunas ocasiones solo se encuentran relictos y se ven estos orificios donde estuvieron los minerales).

Silicificación: Esta alteración se encuentra en la parte central del área, es muy escasa, se observa en afloramientos no mayores a 10 metros y se identifica por su dureza y su coloración que es café y regularmente se encuentra oxidada, su definición es la siguiente:
"Involucra un aumento de sílice, con el desarrollo de cuarzo secundario, jaspe, calcedonia, chert, ópalo u otras variedades silíceas en las rocas de caja de depósitos epigénicos. La química de esta alteración es variada y depende esencialmente del tipo de roca afectada. En materiales carbonáticos hay generalmente una mayor introducción de sílice y una gran remoción de Ca, Mg, Fe, CO₂ entre otros constituyentes. En rocas silicatadas, la sílice puede ser redistribuída entre las rocas de caja. Se asocia a la depositación de sulfuros principalmente".²⁸

FOTOGRAFÍA 16

AFLORAMIENTO DE ANDESITA DONDE SE OBSERVA LA SILICIFICACIÓN, LA ROCA ESTA FRACTURADA PERO AUN ASÍ LA DUREZA ES ALTA.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

Esta alteración es de importancia ya que se encuentra relacionada con yacimientos de minerales importantes como el oro o plata, sin embargo en el área no se encontró en abundancia.

Para observar mejor las rocas se obtuvieron muestras de mano de puntos específicos ya que por las alteraciones, la meteorización y erosión fue difícil encontrar afloramientos con muestras sanas. De las muestras recolectadas se observan minerales como feldespatos, clorita, pirita (en ocasiones la pirita ha emigrado dejando agujeros en forma cúbica), el tamaño de grano suele ser homogéneo, su textura es fanerítica.

Para el análisis microscópico se realizaron dos secciones delgadas, las muestras PJ001 y PJ032, siendo descrita solo la segunda, ya que la PJ001 se encuentra alterada (cuarzo-sericita) y no se pudo observar su mineralogía. Los porcentajes de minerales y matriz se muestran en la tabla 4.

TABLA 4

PORCENTAJE DE MINERALES EN LA SECCIÓN ANALIZADA CON EL MICROSCOPIO PETROGRÁFICO.

Sección	%	%	%	%	%
delgada	Plagioclasas	Clorita	Epidota	Opacos	Matriz
PJ032	30	5	10	5	50

Fuente: Investigación de campo. 2012

En la sección delgada PJ032 de la muestra de andesita propilitizada se observan principalmente plagioclasas (en algunas no es posible determinar con claridad su ángulo de extinción ya que por la alteración el maclado ha sido borrado considerablemente).

Otro mineral que se observa es la epidota, este es un mineral de alteración de los feldespatos y es por ello que se encuentra en esta muestra, se presenta de coloración verdosa al igual que la clorita, la epidota se presenta en cristales prismáticos y la clorita es laminar (fotografía 17). En la sección se observaron minerales opacos, siendo estos pirita por la forma cúbica y con luz reflejada presenta una coloración amarillenta.

FOTOGRAFÍA 17 MINERALES OPACOS (PIRITA), PLAGIOCLASA, EPIDOTA Y MATRIZ CLORITIZADA (XPL).



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

5.1.3 Unidad latita (Li)

Esta unidad tiene una extensión de 0,05 kilómetros cuadrados.

Se localiza en la parte oeste del área, en el río Tzalá, aflorando en dos quebradas que llegan a este río, en zanjones y en algunas laderas.

El afloramiento donde se observa con mayor claridad la roca es un salto de agua (fotografía 56), en la fotografía 18 se observan planos paralelos entre sí, denominados como foliación, las fracturas son semiparalelas a la dirección de la foliación.

FOTOGRAFÍA 18 FOLIACIÓN EN LA LATITA CON DIRECCIÓN DE INCLINACIÓN N290/56



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

A partir de la foliación se identificó hacia donde corresponde la dirección del flujo de la latita, siendo hacia el este (fotografía 18), la foliación se encuentra en forma de capas que varían de 5 a 40 centímetros de grosor.

Es un flujo fisural, por lo tanto su contacto con la andesita es fallado, la coloración de la roca es morado pálido y su mineralogía consta principalmente de granos de feldespatos cristalinos, la alteración de la roca por medio de hidrotermalismo es mínima.

El contacto se identificó en el rio Tzalá, en la superficie es difícil de apreciar por lo cual se utilizó el criterio de la regla de la V.

La muestra de mano presenta una textura fanerítica, con algunos fenocristales de feldespatos, también se observan en ella hornblenda y minerales opacos, su grado de meteorización es II.

Para su análisis petrográfico se realizó una sección delgada de la muestra PJ068 descrita de la siguiente manera:

TABLA 5

PORCENTAJE DE MINERALES EN LA SECCIÓN DELGADA ANALIZADA CON EL MICROSCOPIO PETROGRÁFICO.

Sección	%	%	%	%	%
delgada	Plagioclasas	Hornblenda	Biotita	Opacos	Matriz
PJ068	45	5	5	20	25

Fuente: Investigación de campo. 2 012

En la fotografía 19 se logra apreciar algunas plagioclasas, estas plagioclasas en la muestra PJ068 regularmente se presentan como fenocristales, también algunos fenocristales de hornblenda. En una matriz de grano fino.

FOTOGRAFÍA 19 PLAGIOCLASAS Y HORNBLENDA (XPL)



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

5.1.4 Unidad de diques andesíticos (Da)

Al ser intrusiones, los diques se encuentran dispersos en el área de estudio, abarcando en conjunto una extensión de 0,8 kilómetros cuadrados.

Se encuentran como estructuras tabulares, son intrusivos que afloran principalmente en las andesitas. Se observan de mejor manera en la vía de acceso de Westvero, algunos otros en la carretera que dirige hacia Sipacapa, sobre el río Tzalá y en algunas quebradas. Los diques más grandes son de 12 metros de espesor. En la vía de acceso de Westvero se observan diques de espesores variados, entre 3 a 12 metros, en algunas quebradas las intrusiones tienen una longitud de 5 hasta unos 20 metros aproximadamente, con espesores de 5 a 10 metros.

Se encuentran sub-verticales, el patrón predominante de la dirección de los diques es hacia el NE/SW, el fracturamiento de estos se presenta hacia el NE.

FOTOGRAFÍA 20 DIQUE ANDESÍTICO EN LA VÍA WESTVERO CON DIRECCIÓN DE INCLINACIÓN N328/62.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

En el río Tzalá se encuentran expuestos de manera clara ya que el agua ha desgastado la roca y se logran apreciar los contactos con la roca caja (fotografía 21).

FOTOGRAFÍA 21

INTRUSIÓN ANDESÍTICA QUE SE ENCUENTRA EN EL RÍO TZALÁ CON DIRECCIÓN DE INCLINACIÓN N315/65.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

En la parte central del área, en el cauce del río Tzalá se encuentra una serie de diques (enjambre) que abarca 200 metros de largo aproximadamente, en la fotografía 22 se observa la terminación de dicho enjambre.

En la fotografía 23 se observa con claridad un contacto entre el dique y la andesita que presenta mineralización de cuarzo, este se puede encontrar cristalino y lechoso, en ocasiones el cuarzo se encuentra carbonizado, esto se debe al ascenso de flujos hidrotermales a altas temperaturas.

FOTOGRAFÍA 22 DIQUE ANDESÍTICO ATRAVESADO POR EL RIO TZALÁ.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

.FOTOGRAFÍA 23

CONTACTO FALLADO, SE OBSERVA EL GOUGE Y CUARZO.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

En su mayoría los diques no están completamente sanos, en la fotografía 24 se observa que en la parte del contacto tienen una meteorización de III (*a*) y al centro una meteorización de II (*b*).

FOTOGRAFÍA 24 GRADACIÓN DE METEORIZACIÓN BAJA (A) Y ALTA (B).



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

Debido a las altas temperaturas y flujos hidrotermales que se han hecho presentes en el área, existe un tipo de meteorización denominada capas de cebolla, esta no es más que el cambio de temperatura en la roca, al estar caliente se ensancha y al enfriarse se contrae haciendo que se rompa en forma de capas, generando este tipo de meteorización común en los diques influenciados por hidrotermalismo.

FOTOGRAFÍA 25

ESTRUCTURA EN FORMA DE CEBOLLA PRODUCIDA POR METEORIZACIÓN DE ORIGEN HIDROTERMAL.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

En general la meteorización en algunos afloramientos es II denominándose roca sana, en otros varia de III-IV siendo roca que se quiebra con dos o tres golpes con el martillo.

Macroscópicamente las muestras de mano tienen coloraciones verde y verde oscuro, no se reconocen minerales debido al tipo de grano que es afanítico, algunos diques se observan verde a café-verdoso y de grano medio (fanerítica), en estos es apreciable los feldespatos de color blanco y los minerales opacos de coloración negra.

En el análisis microscópico se realizaron dos secciones delgadas, una de la muestra PJ028 y PJ043, describiéndolas de la siguiente manera.

TABLA 6

PORCENTAJE DE MINERALES EN LAS SECCIONES ANALIZADAS CON EL MICROSCOPIO PETROGRÁFICO.

Sección delgada	% Plagioclasas	% Opacos	% Matriz Clorita	
PJ028	40	5	55	
Sección delgada.	% Plagioclasas	% Opacos	% Clorita	% Matriz
PJ043	60	10	10	20

Fuente: Investigación de campo. 2 012

Las dos muestras presentan similitud en sus componentes minerales, la muestra PJ028 está muy alterada lo cual hace difícil medir el ángulo de extinción de las plagioclasas. Los opacos son magnetita ya que la muestra presenta magnetismo, la matríz se encuentra cloritizada lo que indica que esta alterada (fotografía 26).

FOTOGRAFÍA 26

RELICTO DE PLAGIOCLASAS, MAGNETITA, MATRÍZ CLORITIZADA, PPL.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

Las características principales de la muestra PJ043 en el análisis microscópico es la abundancia de las plagioclasas (fotografía 27).

FOTOGRAFÍA 27 LAS ABUNDANCIA DE PLAGIOCLASAS ES VISIBLE, XPL.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

5.1.5 Unidad de dique latítico (DI)

Esta unidad se encuentra al noroeste del área de estudio abarcando una extensión aproximada 0.002 kilómetros cuadrados.

Al ser intrusivo se encuentra como estructuras tabulares subverticales que atraviesan la andesita, se encuentra en dos afloramientos, uno en un camino que conduce hacia el río Tzalá y otro en una quebrada, extendiéndose hacia una vía abandonada donde se aprecia en los cortes hechos por maquinaria.

FOTOGRAFÍA 28 DIQUE LATÍTICO CON ORIENTACIÓN N338/75, FRACTURAS N200/54 (DATOS EN DIRECCIÓN DE INCLINACIÓN).



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

El afloramiento en el que se observa con mayor claridad es el que se encuentra en la vía abandonada (paralela a la carretera que conduce hacia Sipacapa), las dimensiones del dique varían de 10 metros de alto hasta uno 45 metros sobre la vía antes mencionada, la roca se encuentra fracturada, tiene una meteorización de II a III (fotografía 28).

Este intrusivo ha penetrado en la zonas de debilidad de la roca caja, presentan un contacto fallado, según la colunma litológica dichos diques atravesando los siliciclásticos en profundidad, posteriormente la andesita hasta llegar a aflorar en la superficie.

Se presenta de color café a café-claro, se observan plagioclasas de 1 y 2 milimetros, su textura es fanerítica con una matriz de grano fino-medio.

Físicamente se diferencia del dique andesítico por no presentar magnetismo y su coloración café.

Según el análisis microscópico la sección delgada de la muestra PJ076, la cual se describe de la siguiente manera.

TABLA 7

PORCENTAJE DE MINERALES EN LAS SECCIONES ANALIZADAS CON EL MICROSCOPIO PETROGRÁFICO.

Sección	%	%	%	%	%
delgada	Plagioclasas	Clorita	Opacos	Biotita	Matriz
PJ076	30	22	15	5	28

Fuente: Investigación de campo. 2 012

Las plagioclasas corresponden a labradorita y anortita, también se observa biotita La asociación de las plagioclasas indica que el dique es de composición latítica (ver anexo VI)

FOTOGRAFÍA 29 SE MUESTRAN CLORITA, PLAGIOCLASAS Y OPACOS EN PPL.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

5.1.6 Unidad de brecha de fragmentos andesíticos (Ba)

Esta unidad se encuentra en una extensión de 0,005 kilómetros cuadrados, está ubicada al noroeste del área en el cauce del riachuelo Pox.

Esta es una brecha de formación tectónica, la evidencia es que esta se encuentra dentro de una falla (riachuelo Pox).

Tiene una extensión de 400 metros intercalados por andesita, es una brecha que contiene un gran aporte de clastos de rocas ígneas, los clastos varían considerablemente de tamaño, de 1 a 30 centímetros, no presenta estratificación ni fracturamiento (fotografías 30 y 31).

FOTOGRAFÍA 30 FRAGMENTOS DE ANDESITA ANGULOSOS Y SUBANGULOSOS DE 3 A 10 CM



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

La coloración varía en su matriz siendo en algunas partes rojiza y a orillas del riachuelo gris-beige, ocasionalmente se encuentra carbonizada, esto indica la existencia de altas presiones y fluidos hidrotermales en la zona.

Contiene fragmentos de andesita, algunos con alteración cuarzo-sericita y argilización. Tiene clastos sub angulosos y angulosos estos varían de 1 a 30 centímetros en una matriz grano soportado, dicha matriz tiene una coloración anaranjada-rojiza, en ocasiones la matriz se encuentra carbonizada.

FOTOGRAFÍA 31

FRAGMENTOS DE ANDESITA ANGULOSOS Y SUBANGULOSOS SON DE 10 A 30 CM



Fuente: foto propia tomada en el campo, julio 2012

Se hizo un análisis con el estéreomicroscopio, debido a las características de la muestra que se han mencionado anteriormente, con esto se obtuvo el porcentaje de clastos, así como la cantidad de matriz que contiene (tabla 8).

TABLA 8

PORCENTAJE DE CLASTOS Y MATRIZ DE LA MUESTRA

Componentes	Porcentaje %	
Clastos andesíticos	80	
Matriz	20	

Fuente: Investigación de campo. 2 012

Los clastos son de andesita y se observa con claridad que están alterados (fotografía 32).

FOTOGRAFÍA 32

CLASTOS DE ANDESITA ARGILIZADOS (ROJO) CLASTOS DE ANDESITA CUARZO-SERICITA (AMARILLO), AUMENTO 10X.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

5.1.7 Unidad de coluvión (Col)

Esta unidad se encuentra dispersa en el área de estudio abarcando una extensión aproximada 0,1 kilómetros cuadrados.

Dos coluviones de dimensiones considerables (decenas de metros) se observaron en la parte sureste, estos consisten en lahares de rocas y lodo que al depositarse los materiales presentes se encuentran revueltos y sin una disposición preferencial, también se encuentran otros en las laderas que se encuentran a orillas del río Tzalá.

FOTOGRAFÍA 33

COLUVIÓN QUE SE ENCUENTRA EN LA PARTE SUR ESTE DEL ÁREA DONDE SE OBSERVA MALA CLASIFICACIÓN DE CLASTOS.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

En el coluvión se observan principalmente clastos de rocas que varía entre 10 centímetros hasta unos mayores a 1 metro, siendo sub-angulosos y angulosos, esto debido al desprendimiento que han tenido del su lugar de origen y su poco arrastre.

Son depósitos que pueden generarse en lapsos de tiempo cortos y en ocasiones suelen estar dispersos en las laderas suaves de pronunciación que varía entre 20-30º (fotografía 34).

FOTOGRAFÍA 34 FRAGMENTOS DE ANDESITA DE 10 A 40 CENTÍMETROS, SOBRE UNA LADERA.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

5.1.8 Unidad de aluvión (Al)

Esta unidad se encuentra dispersa en el área de estudio abarcando una extensión aproximada de 0,7 kilómetros cuadrados, dependiendo de las condiciones hidrológicas que se presenten en la parte alta del río.

Es apreciable principalmente a orillas río Tzalá en las planicies de inundación, así como en algunos riachuelos (Pox y Cancil), las corrientes de agua transportan los materiales río abajo y se van depositando en la parte interna de los meandros y va formando terrazas aluviales.

En el río Tzalá los clastos transportados tienen tamaños de 0,01-5 milímetros (limos) 1-5 centímetros (arenas) a 0,10-2,00 metros (clastos), esto indica que el río tiene un gran transporte de materiales incluyendo clastos de diferentes tipos de rocas ígneas (andesitas y basaltos), rocas metamórficas (esquistos y gneis), como se muestra en la fotografía 35.

FOTOGRAFÍA 35 ALUVIÓN EN EL RÍO TZALÁ.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

En las orillas del rio se aprecia la sedimentación de distintos fragmentos que se encuentra a orillas del río Tzalá denominadas terrazas aluviales de aproximadamente 5 metros de alto, en las terrazas los clastos imbricados tienen una orientación que varía entre N80 a N120, indicando que el cauce el río es hacia el este, también se observan paleocanales, en dichos paleocanales los granos son muy finos indicando lapsos en que el caudal del río fue pasivo y transportaba muy pocas particulas (fotografía 36).

FOTOGRAFÍA 36

TERRAZA ALUVIAL QUE MUESTRA UNA SECUENCIA DE CLASTOS VARIABLES.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

5.2 COLUMNA LITO-ESTRATIGRÁFICA LOCAL

Según las unidades litológicas descritas con anterioridad se realizó la columna lito-estratigráfica (figura 8) con las unidades identificadas en el área, clasificadas según la disposición en el campo utilizando el principio de correlación de capas y los últimos eventos que han formado el coluvión y el aluvión.



COLUMNA LITO-ESTRATIGRÁFICA LOCAL.

FIGURA 8

Fuente: Investigación de campo. 2 012

CAPÍTULO VI

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

Este capítulo trata sobre la geología estructural, como las variaciones de los esfuerzos principales han generado deformaciones dando como resultado fallas normales e inversas, fracturamiento en las distintas unidades principalmente hacia el NE-SW y un esfuerzo débil hacia el NW-SE, esto podría corresponder al fallamiento regional de la falla Cuilco-Chixoy-Polochic.

Los flujos de latita, andesita e intrusiones de magma han atravesado zonas de debilidad como las fallas normales y fracturas hasta llegar a la superficie siendo visibles en quebradas y carreteras. También se evidencian flujos hidrotermales que se alojan en estas zonas y minerales cristalizan en formas de vetas formando zonas de *stockwork* que son importantes para el estudio de prospección e identificación de zonas potenciales de minerales.

6.1 DOMINIOS ESTRUCTURALES

Existen dos tipos de dominios estructurales siendo estos el dominio dúctil y el dominio frágil, el área se encuentra bajo la influencia del dominio frágil, el cual se describe a continuación:

6.1.1. Dominio frágil

Representado por las fracturas y fracturas con movimiento (fallas) cuando estas se han roto por esfuerzos que sufre la roca, a partir de ellas se genera un modelo estructural mostrado más adelante.

6.2 FALLAS

Las fallas son aquellas fracturas que tienen movimiento, el cual es generado por compresión y distención, estas varían dependiendo la forma en que se disponga el plano de la ruptura de dos bloques, generando de esta manera fallas normales (distensivas) fallas inversas (compresivas) como se observa en la figura 9.

FIGURA 9 BLOQUES ESQUEMÁTICOS DE FALLAS NORMALES (A) E INVERSAS (B)



Fuete: editado de: http://skyalertblog.blogspot.com/2013_10_01_archive.html

La evidencia de que ha existido un movimiento (cinemática) se debe a las estrías y gradas (fotografía 37), el salto de fracturas y el gouge que se presenta en ellas. Las fallas se encuentran en las unidades de siliciclásticos, latita, andesita, y diques.

FOTOGRAFÍA 37

EVIDENCIA DE ESTRÍAS Y GRADAS EN UN ESPEJO DE FALLA QUE REFLEJAN UN MOVIMIENTO NORMAL.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

6.2.1 Fallas normales

Las fallas normales son de distensión generando una apertura en el plano de falla donde los bloques se mueven normalmente a la vertical, en esta zona se forman estrías, tectoglifos y gouge (arcilla) debido al esfuerzo que realiza cuando un bloque baja y el otro sube (ver figura 9 a)

Estas fallas suelen permitir el paso a fluidos hidrotermales e intrusiones que logran escapar hacia la superficie, en la fotografía 38 se observa una falla que contiene gouge, su apertura es de 30 centímetros y se observa un desplazamiento en las fracturas tanto del bloque superior como el bloque inferior siendo este otro indicador que ha existido un movimiento.

FOTOGRAFÍA 38 FALLA CON GOUGE EN LAS ORILLAS DEL RIO TZALÁ.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

Los criterios para determinar que son fallas normales son los siguientes: primeramente las estrías, la apertura entre los bloques, característico de las fallas normales y el salto de fracturas que en algunos casos es evidente.

Los datos tomados en el campo han definido que existe un fallamiento con una dirección preferencial en sentido NE-SW (familia de fallas 1, 2 y 3), también se representa un leve fallamiento en dirección NW-SE (familia de fallas 4), esto representado en la figura que se observa a continuación.

FIGURA 10

ROSETA QUE MUESTRA LA DIRECCIÓN PREFERENCIAL DE LAS FALLAS NORMALES.



Fuente: Investigación de campo. 2 012

La roseta muestra una dirección preferencial las fallas hacia el N60E (1) también se observa que las familias 2 y 3 se encuentran el a dirección N70E-N50E respectivamente.

a. Fallas normales puras

Estas son fallas que tienen un *pitch* mayor a 80° y un movimiento normal a la vertical, se tomaron en cuenta aquellas que contienen estrillas, gouge y una apertura entre el plano de los bloques que se están moviendo.

Según el modelo de rosa que se muestra en la figura 11 existe un patrón preferencial en dirección NE-SW siendo esta N50E-N60E (1) y otro de menor influencia en dirección N70W (2).

TABLA 9

FALLAS NORMALES PURAS SIN EVIDENCIA DE PITCH

DIR BUZ	BUZ	DIR BUZ	BUZ	DIR BUZ	BUZ
N 318	54°	N 123	62°	N 343	54°
N 119	67°	N 147	44°	N 104	82°
N 306	47°	N 320	62°	N 104	70°
N 114	32°	N 313	68°	N 012	85°
N 041	40°	N 008	60°	N 209	82°
N 330	75°	N 088	49°	N 132	77°
N 174	20°	N 026	36°	N 334	67°
N 345	33°	N 215	51°	N 357	36°
N 345	48°	N 352	74°	N 040	57°
N 267	57°	N 327	43°	N 024	17°
N 045	57°	N 139	86°	N 319	70°
N 030	60°	N 004	64°	N 143	51°
N 342	48°	N 149	84°	N 025	74°
N 091	30°	N 346	33°	N 302	72°
N 158	83°	N 026	46°	N 003	64°
N 152	82°	N 121	70°		

Fuente: Investigación de campo. 2012

FIGURA 11

ROSETA QUE MUESTRA LA DIRECCIÓN PREFERENCIAL DE LAS FALLAS NORMALES PURAS.



Fuente: Investigación de campo. 2 012

En la figura 12 se representa el modelo estereográfico de fallas, el cual tiene una orientación preferencial del sigma 1 hacia el NE-SW y sigma 3 hacia el NW-SE.

FIGURA 12 MODELO ESTEREOGRÁFICO DE PLANOS PARA FALLAS NORMALES PURAS.



Fuente: Investigación de campo. 2 012

b. Fallas normales dextrales y dextrales normales

Estas son fallas con *pitch*, el bloque que baja tiene un movimiento en sentido normal a la vertical y dextral a la horizontal. Las dextrales normales (DN) tienen un ángulo de 0°-45° y las normales dextrales (ND) un ángulo de 45°-80°.

Según el modelo de rosa que se muestra en la figura 13 la existencia de un patrón preferencial que en dirección NE-SW siendo esta N30E (1).

TABLA 10

FALLAS NORMALES DEXTRALES Y DEXTRALES NORMALES.

DIR BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	PITCH	SENTIDO	TIPO
N 015	74°	30°	E	DN
N 320	62°	20°	NE	DN
N 338	57°	30°	NE	DN
N 265	48°	40°	NW	DN
N 290	69°	30°	NE	DN
N 296	67°	40°	NE	DN
N 254	74°	28°	NW	DN
N 107	76°	35°	S	DN
N 314	65°	60°	NE	ND
N 115	79°	60°	SW	ND
N 350	52°	70°	NE	ND
N 338	59°	60°	NE	ND
N 109	61°	56°	Ē	ND

Fuente: Investigación de campo. 2 012

FIGURA 13

ROSETA QUE MUESTRA LA DIRECCIÓN PREFERENCIAL DE LAS FALLAS NORMALES DEXTRALES Y DEXTRALES NORMALES.



Fuente: Investigación de campo. 2 012

En la figura 14 se representan los modelos estereográficos de fallas, los cuales tiene una orientación preferencial del sigma 1 hacia el NE-SW representado por una gran cantidad de fallas en direcciones que van en dirección

N350E - N45E (a) y N20E - N80E (b) y sigma 3 hacia el NW-SE.

FIGURA 14





Fuente: Investigación de campo. 2 012

c. Fallas normales sinextrales y sinextrales normales

Estas son fallas con *pitch*, el bloque que baja tiene un movimiento en sentido normal a la vertical y sinextral a la horizontal. Las sinextrales normales (SN) tienen un ángulo de 00°-45° y las normales sinextrales (NS) un ángulo de 45°-80°

Según el modelo de rosa que se muestra en la figura 15 existe un patrón dominante hacia el NE-SW en direcciones N30E (1) y N60E (2).

TABLA 11

FALLAS NORMALES SINEXTRALES Y SINEXTRALES NORMALES.

DIRECCIÓN BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	РІТСН	SENTIDO	TIPO
N 220	77°	40°	SE	SN
N 255	78°	30°	SE	SN
N 111	76°	38°	NE	SN
N 324	57°	40°	SW	SN
N 339	44°	30°	SW	SN
N 174	64°	30°	NE	SN
N 113	77°	60°	NE	NS
N 325	62°	60°	SW	NS
N 203	8 <mark>1°</mark>	45°	SE	NS

Fuente: Investigación de campo. 2012

FIGURA 15

ROSETA QUE MUESTRA LA DIRECCIÓN PREFERENCIAL DE LAS FALLAS NORMALES SINEXTRALES Y SINEXTRALES NORMALES.



Fuente: Investigación de campo. 2 012

En la figura 16 se representan los modelos estereográficos de fallas, existe la presencia de fallas conjugadas en ambos modelos, lo cual confirma una orientación preferencial del sigma 1 hacia el NE-SW.



6.2.2 Fallas inversas

Las fallas inversas son compresivas lo cual indica que estas cierran cavidades, se podría decir que son de sello.

En el área existen pocas fallas inversas, los criterios para determinar este tipo de falla es que existe muy poca abertura o ninguna en los bloques que se mueven (figura 9b). En la fotografía 39 se observa que los bloques sufren compresión, las estrías son indicadores del movimiento así como el salto de fracturas.

El modelo de rosa que se muestra en la figura 17 las fallas inversas tienen una orientación preferencia NW-SE, tanto en dirección N50W (1) así como en dirección N10W (2).
FOTOGRAFÍA 39

FALLA EN UNA QUEBRADA CON DIRECCIÓN DE INCLINACIÓN N350/75, PITCH 62SW.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

FIGURA 17

ROSETA QUE MUESTRA LA DIRECCIÓN PREFERENCIAL DE LAS FALLAS INVERSAS.



n=11

Fuente: Investigación de campo. 2 012

Estas son fallas que tienen un *pitch* mayor a 80° y un movimiento inverso a la vertical, se tomaron en cuenta aquellas que tienen estrías y tectoglifos, así como las que presentan salto de fracturas.

TABLA 12

FALLAS INVERSAS PURAS SIN EVIDENCIA DE PITCH.

DIRECCIÓN BUZAMIENTO	BUZAMIENTO
N 262	86°
N 162	76°
N 221	70°
E () () /	1 0.040

Fuente: Investigación de campo. 2012

Según el modelo de rosa que se muestra en la figura 18 existe un patrón preferencial de las fallas en dirección NW-SE siendo esta hacia N50W (1) y N10W (2).

FIGURA 18

ROSETA QUE MUESTRA LA DIRECCIÓN PREFERENCIAL DE LAS FALLAS INVERSAS PURAS.



Fuente: Investigación de campo. 2012

En la figura 19 se representa el modelo estereográfico de fallas inversas puras, se encuentran fallas conjugadas las cuales tiene una orientación preferencial del sigma 3 hacia el NW-SE.

FIGURA 19

MODELO ESTEREOGRÁFICO DE PLANOS PARA LAS FALLAS INVERSAS PURAS.



Fuente: Investigación de campo. 2 012

b. Fallas inversas dextrales y dextrales inversas

Estas son fallas con *pitch*, el bloque que sube tiene un movimiento en sentido inverso a la vertical y dextral a la horizontal. Las dextrales inversas (DI) tienen un ángulo de 0°-45° y las inversas dextrales (ID) un ángulo de 45°-80°

Según el modelo de rosa que se muestra en la figura 20 existe un patrón preferencial en dirección NW-SE siendo esta N55-60W (1).

TABLA 13

FALLAS INVERSAS DEXTRALES Y DEXTRALES INVERSAS.

DIRECCIÓN BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	РІТСН	SENTIDO	TIPO
N 220	77°	40°	SE	DI
N 148	65°	50°	NE	ID
N 210	84°	70°	SE	ID
N 265	80°	62°	SE	ID
N 350	75°	62°	SW	ID

Fuente: Investigación de campo. 2012

FIGURA 20

ROSETA QUE MUESTRA LA DIRECCIÓN PREFERENCIAL DE LAS FALLAS INVERSAS DEXTRALES Y DEXTRALES INVERSAS.



Fuente: Investigación de campo. 2 012

En la figura 21 se representan los modelos estereográficos de las fallas, los cuales tienen una orientación preferencial del sigma 3 hacia el NW-SE.



c. Fallas inversas sinextrales

Estas son fallas con *pitch*, el bloque que sube tiene un movimiento en sentido inverso a la vertical y sinextral a la horizontal. Las inversas sinextrales (IS) tienen un ángulo de 45°-80°

TABLA 14

FALLAS INVERSAS SINEXTRALES.

DIRECCIÓN BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	РІТСН	SENTIDO	TIPO
N 157	84°	70°	SW	IS
N 249	54°	75°	NW	IS
N 76	77°	50°	SE	IS

Fuente: Investigación de campo. 2012

Según el modelo de rosa que se muestra en la figura 22 existe un patrón en dirección NW-SE, siendo en N20-30W (1).

FIGURA 22

ROSETA QUE MUESTRA LA DIRECCIÓN PREFERENCIAL DE LAS FALLAS INVERSAS SINEXTRALES.



Fuente: Investigación de campo. 2 012

En la figura 23 se representa el modelo estereográfico, el cual tiene una orientación preferencial del sigma 3 hacia el NW-SE, representado las fallas conjugadas.

FIGURA 23

MODELO ESTEREOGRÁFICO DE PLANOS PARA FALLAS INVERSAS SINEXTRALES.



Fuente: Investigación de campo. 2 012

6.3 FRACTURAS

Las fracturas son planos de ruptura de la roca, en ellas puede fluir aguas tanto de lluvia que se infiltran y erosionan la roca, así como aguas hidrotermales que ascienden a la superficie generando alteraciones en la roca, esta es una característica del área.

En la fotografía 40 se muestra el fracturamiento de la andesita en dos direcciones siendo hacia el NW (1) y otra con menor influencia hacia el NNW (2).

FOTOGRAFÍA 40 FRACTURAS EN LA ANDESITA.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

6.3.1 Fracturas en andesita y latita

En la figura 24 se representan las fracturas de las andesitas con una dirección preferencial N60E (1) N70E (2) y una tercera en dirección N10W (3). En la figura 25 se representan las fracturas en la latita con una dirección preferencial N30E (1) (base de datos, anexo IX)

FIGURA 24

ROSETA QUE MUESTRA LA DIRECCIÓN PREFERENCIAL DE LAS FRACTURAS EN LA ANDESITA.



n=236

Fuente: Investigación de campo. 2 012

FIGURA 25

ROSETA QUE MUESTRA LA DIRECCIÓN PREFERENCIAL DE LAS FRACTURAS EN LA LATITA.



Fuente: Investigación de campo. 2012

6.3.2 Fracturas en diques andesíticos y latíticos

Las fracturas en los diques andesíticos se representan con una dirección hacia N60E-N90E (1) y N80W-N90E (2) (figura 26). Las fracturas en los diques latíticos se representan con una dirección preferencial N70W (1) y unas en la dirección N30E (2) (figura 27) (base de datos, anexo IX)

FIGURA 26

ROSETA QUE MUESTRA LA DIRECCIÓN PREFERENCIAL DE LAS FRACTURAS EN LOS DIQUES ANDESÍTICOS.



Fuente: Investigación de campo. 2 012

FIGURA 27

ROSETA QUE MUESTRA LA DIRECCIÓN PREFERENCIAL DE LAS FRACTURAS EN DIQUES LATÍTICOS.



Fuente: Investigación de campo. 2012

Los diques son estructuras formadas por magma que han ascendido hacia la superficie por grietas (fracturas o fallas) y se orientan en la dirección de dichas grietas.

En el área se presentan varios diques y algunos de ellos se encuentran en segmentos menores a 100 metros y con distancias de separación de menos de 10 metros por lo que suele llamarse enjambres de diques.

Los diques son formas tabulares como se muestra en la fotografía 41, este es de 10 metros de ancho, se encuentra en la vía de acceso Westvero, la meteorización ha afectado considerablemente el dique ya que se observa que existen desprendimientos de roca.

FOTOGRAFÍA 41

DIQUE ANDESÍTICO CON DIRECCIÓN DE INCLINACIÓN N345/31.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

6.4.1 Direcciones de diques andesíticos

Los diques regularmente siguen un patrón estructural que se encuentra definido por las fallas, en este caso los diques andesíticos se encuentran orientados hacia el NE-SW.

TABLA 15

DIRECCIÓN BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN BUZAMIENTO	BUZAMIENTO
N 320	73°	N 306	74°
N 325	70°	N 315	65°
N 329	63°	N 345	75°
N 284	66°	N 100	50°
N 176	86°	N 047	75°
N 328	62°	N 345	60°
N 205	54°	N 044	24°
N 184	65°	N 285	34°
N 194	75°	N 345	31°

BASE DE DATOS DE DIQUES ANDESÍTICOS.

Fuente: Investigación de campo. 2012

Según los datos de la tabla 15 de la dirección de los diques se realizó un diagrama de rosa como se muestra en la figura 28, teniendo una dirección preferencial hacia el NE-SW siendo N60E (1) y N20E (2), así como la existencia de unos en dirección N50E (3).

FIGURA 28

ROSETA QUE MUESTRA LA DIRECCIÓN PREFERENCIAL DE LOS DIQUES ANDESÍTICOS.



Fuente: Investigación de campo. 2 012

6.4.2 Dirección de diques latíticos

Los diques latíticos siguen un patrón estructural que dominante en el área, el cual esta orientado hacia el NE-SW.

TABLA 16

BASE DE DATOS DE DIQUE LATÍTICO

DIRECCIÓN BUZAMIENTO	BUZAMIENTO
N 335	45°
N 310	50°
	0.040

Fuente: Investigación de campo. 2 012

Según la base de datos de la tabla 16 se realizó un diagrama de rosa como se muestra en la figura 29, teniendo una dirección NE-SW, siendo N50E y N70E (1).

FIGURA 29

ROSETA QUE MUESTRA LA DIRECCIÓN PREFERENCIAL DE LOS DIQUES LATÍTICOS.



Fuente: Investigación de campo. 2012

6.5 VETAS

Las vetas son indicadores de aperturas dentro de la roca en la cual han subido fluidos los cuales cristalizan y recristalizan el cuarzo para de esta forma se obtengan minerales de interés económico.

En el área de estudio se observaron gran cantidad de vetas principalmente de cuarzo y algunas otras de cuarzo-calcita, en la tabla 17 se describe la temperatura de cristalización de estos minerales cuando se ven afectados por hidrotermalismo.

TABLA 17

TEMPERATURA DE CRISTALIZACIÓN DE CUARZO Y CALCITA.

MINERAL	TEMPERATURA DE CRISTALIZACIÓN
Cuarzo SiO ₂	180°-200° C
Calcita CaCO ₃	120°-140° C

Fuente: Investigación de campo. 2012

"La característica esencial de la alteración hidrotermal es la conversión de un conjunto mineral inicial en una nueva asociación de minerales más estable bajo las condiciones hidrotermales de temperatura, presión y sobre todo de composición de fluidos. La textura original de la roca puede ser modificada ligeramente o completamente obliterada por la alteración hidrotermal".²⁹

Según lo anterior al no existir una recristalización por completo se produce una veta de cuarzo con calcita (fotografía 42), que por lo general no contienen minerales importantes.

FOTOGRAFÍA 42

VETA DE CUARZO-CALCITA, EN EL CENTRO SE ENCUENTRA CUARZO Y A LAS ORILLAS CALCITA.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

Las vetas se encuentran en quebradas, el rio Tzalá y en las lomas donde la andesita esta argilizada al norte-noreste y sur-sureste.

²⁹ Alteración hidrotermal; http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/ALTERACION.pdf (13/10/2012).

Las vetas pueden tener diferentes tamaños, en la fotografía 43 se observa una veta de 50 centímetros de espesor a orillas del río Tzalá, su dirección de inclinación N167/49, en la fotografía 44 se observa la veta (N216/54) en una loma, la cual se encuentra erosionada, sin embargo por la dureza del cuarzo se puede seguir en la superficie, estas pueden llegar a tener varios metros de largo.

FOTOGRAFÍA 43 VETA DE CUARZO LECHOSO QUE SE ENCUENTRA EN EL RIO TZALÁ.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

FOTOGRAFÍA 44 VETA DE CUARZO LECHOSO EN ANDESITA ARGILIZADA.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

TABLA 18

BASE DE DATOS DE DIRECCIÓN DE VETAS.

DIRECCIÓN BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN BUZAMIENTO	BUZAMIENTO
N 327	81°	N 302	45°
N 172	64°	N 339	73°
N 350	72°	N 041	44°
N 060	64°	N 016	66°
N 175	61°	N 167	49°
N 200	42°	N 130	74°
N 035	75°	N 345	65°
N 136	64°	N 344	24°
N 135	80°	N 005	54°
N 216	54°	N 358	24°
N 341	82°	N 345	34°
N 004	86°		

Fuente: Investigación de campo. 2 012

Se utilizaron los datos de la tabla 18 para hacer el modelo de rosa, se tiene una dirección hacia el NE-SW, siendo N80E (1).

FIGURA 30

ROSETA QUE MUESTRA LA DIRECCIÓN PREFERENCIAL DE LAS VETAS.



Fuente: Investigación de campo. 2 012

También se encontraron venas de cuarzo de menos de cinco centímetros como se muestra en la fotografía 45.

FOTOGRAFÍA 45

VENAS DE CUARZO LECHOSO EN ANDESITA CON DIRECCIONES HACIA EL NE-SW.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

TABLA 19

DIRECCIÓN BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN BUZAMIENTO	BUZAMIENTO
N 256	71°	N 120	68°
N 341	81°	N 141	50°
N 341	80°	N 205	54°
N 072	71°	N 098	78°
N 344	39°	N 134	79°
N 345	45°	N 234	58°
N 299	84°	N 221	85°
N 305	65°	N 184	87°
N 326	37°	N 340	86°
N 314	27°	N 336	79°
N 065	66°	N 324	82°
N 321	86°	N 344	52°

DIRECCIÓN DE VENAS MENORES A 5 CENTÍMETROS.

Fuente: Investigación de campo. 2012

Se utilizaron los datos de la tabla 19 para hacer el modelo de rosa, como se muestra en la figura 31, teniendo una dirección NE-SW, siendo N80E (1).

FIGURA 31

ROSETA QUE MUESTRA LA DIRECCIÓN PREFERENCIAL LAS VENAS.



n=24

Fuente: Investigación de campo. 2012

6.6 ZONA DE STOCKWORK

Una zona de *stockwork* se define como:

"Series de fisuras dicotómicas y ramificadas a gran escala, llenas de materia mineral". ³⁰

"Los depósitos epitermales muestran una gran variedad de formas y estilos de mineralización, que incluyen vetas, cuerpos de brechas hidrotermales, "stockworks" y diseminaciones o reemplazamientos".³¹

En el área la zona de *stockwork* tiene una dimensión en superficie de 50 metros sobre el río Tzalá que contiene venas, vetias y vetas sin una orientación específica. En la figura 32 se observa la geometría de los depósitos epitermales, principalmente la zona de *stockwork*.

FIGURA 32

ESTILO Y GEOMETRÍA DE LOS DEPÓSITOS EPITERMALES



Fuente: Características principales de los depósitos epitermales en el noroeste de México, un análisis y comparación.pdf

³⁰ Stockwork; http://glosarios.servidor-alicante.com/geologia/stockwork (12/10/2012).

³¹ Características principales de los depósitos epitermales en el noroeste de México, un análisis y comparación.pdf

TABLA 20

DIRECCIÓN DE VETAS EN LA ZONA DE STOCKWORK.

DIRECCIÓN BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN BUZAMIENTO	BUZAMIENTO
N310	67°	N017	82°
N102	81°	N347	82°
N115	86°	N162	78°
N171	84°	N037	76°
N155	81°	N035	81°
N160	66°	N007	72°
N174	65°	N012	84°
N155	80°	N325	80°
N151	85°	N198	64°
N160	72°	N151	74°
N335	51°	N073	69°
N334	87°		

Fuente: Investigación de campo. 2012

FOTOGRAFÍA 46

AFLORAMIENTO EN EL RÍO TZALÁ CON VETIAS DE CUARZO CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE STOCKWORK, ORIENTADAS NE-SW.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

Según los datos de la de la tabla 20 se realizó un diagrama de rosa como se muestra en la figura 33, dando como resultado una dirección preferencial hacia el NE-SW, siendo N70E (1) y otra en dirección NW-SE en N80W (2)

FIGURA 33 ROSETA QUE MUESTRA LA DIRECCIÓN PREFERENCIAL LAS VETIAS O VENAS DE LA ZONA DE *STOCKWORK*.

Fuente: Investigación de campo. 2 012

1

n=23

6.7 ANÁLIS ESTRUCTURAL

Al observar cómo se comportan en conjunto las fallas, los diques y las vetas, se asume que estas fueron generadas por un evento con una cinemática sinextral el cual se analiza a continuación.

6.7.1 Modelo sinextral

El área se encuentra muy cercana a una de las fallas principales de Guatemala, la falla Cuilco-Chixoy-Polochic, específicamente a 4 km hacia el noreste. La falla Cuilco tiene una cinemática sinextral, por lo que las estructuras presentes en el área tienen una relación angular al régimen tectónico de la falla antes mencionada. Los esfuerzos principales del modelo local están establecidos por el dominio frágil ya que la incidencia de fallas es destacable así como diques y vetas, los cuales ascienden a la superficie a través de las grietas generadas por fracturas y fallas.

Para el análisis estructural del evento estructural local se tomó a consideración el modelo estereográfico de la figura 34 que representa las fallas normales e inversas que tienen *pitch*, del resultado se obtiene una dinámica de los sigmas σ 1 en dirección NW-SE y σ 3 en dirección NE-SW.

FIGURA 34

ESFUERZOS PRINCIPALES DE FALLAS NORMALES E INVERSAS DEL MODELO SINEXTRAL, SIENDO: σ 1 N066/40 Y σ 3 N325/12.



Fuente: Investigación de campo. 2012

También es de importancia tomar en cuenta la dirección de los diques los cuales han avanzado debido a las distenciones que se generan en el área, las familias 1 y 2 tienen una dirección hacia el NE-SW (figura 35). Las vetas que son grietas de tensión y se ven afectadas por la distensión, estas están orientadas hacia el NE-SW principalmente hacia el N80E y N60E (figura 36), ambas características de una cinemática sinextral.

FIGURA 35

REPRESENTACIÓN DE DIRECCIONES DE DIQUES PARA EL MODELO SINEXTRAL.



Fuente: Investigación de campo. 2012

FIGURA 36

REPRESENTACIÓN DE DIRECCIONES DE VETAS PARA EL MODELO SINEXTRAL.



Fuente: Investigación de campo. 2 012

6.8 ELIPSE DE DEFORMACIÓN LOCAL

El modelo del evento sinextral se generó a través de la cinemática y dinámica de los modelos estructurales descritos en las figuras 34, 35 y 36, las cuales tienen una orientación hacia el NE-SW.

TABLA 21

ESFUERZOS DE LAS ESTRUCTURAS QUE REPRESENTA LAS FALLAS CON CINEMÁTICA SINEXTRAL.

MODELO ESTRUCTURAL SINEXTRAL	SIGMA 1 azimut	SIGMA 3 azimut
Fallas Normales e inversas	N 066	N 325
Diques	N 055	N 145
Vetas (grietas de tensión)	N 070	N 160
Vetas (grietas de tensión)	N 070	N 160

Fuente: Investigación de campo. 2012

FIGURA 37

MODELO ESTRUCTURAL DE LA ELIPSE DE DEFORMACIÓN SINEXTRAL LOCAL.



Fuente: Investigación de campo. 2 012

CAPÍTULO VII

GEOMORFOLOGÍA LOCAL

En el siguiente capítulo se encuentran descritas las características de las unidades geomorfológicas, estas unidades han variado con el transcurso del tiempo y el principal influyente para que esto suceda ha sido la erosión tanto de aguas fluviales (ríos y quebradas) como de aguas pluviales (carcavas), otro factor que influye es la gravedad, debido a que el área cuenta con pendientes muy abruptas provocando caídas de rocas.

La altura tiene una variabilidad en metros que va desde 1960 hasta los 2380 msnm con pendientes suaves de 20º hasta abruptas de 60º.

7.1 FISIOGRAFÍA

La fisiografía del área se ve afectada por la provincia fisiográfica "tierras altas o cadena volcánica" como se expuso en el capítulo II, donde se menciona una predominancia de andesita y que las pendientes tienen un 40% de inclinación.

En el mapa 4 se observa que existen pendientes abruptas que sobrepasan los 50° de inclinación, las partes más altas se encuentran al noroeste y al sur, la parte más baja se encuentra al este.

MAPA 4

MAPA HIPSOMÉTRICO QUE MUESTRA LAS PENDIENTES DEL ÁREA.



Fuente: Investigación de campo. 2012

7.2 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Las unidades geomorfológicas que se encuentran dentro del área de estudio son las siguientes:

- Unidades de origen denudacional: elemento de laderas y cuestas, elemento de cárcavas, elemento de cimas y lomas, elemento de deslizamientos y derrumbes, elemento de escarpes.
- Unidades de origen agradacional: elemento de cañones, elemento de saltos de agua, elemento de planicies aluviales, elemento de terrazas, elemento de coluviones.

7.1.1. Unidad de origen denudacional

Denudacional se define de la siguiente manera:

"Es el proceso de remodelado y reducción de los relieves iniciales por meteorización de las rocas (desintegración y descomposición); remoción en masas (desplazamiento o transposición más o menos rápida y localizada de volúmenes variables de partículas y agregados del suelo); y la erosión, ocasionada por desprendimiento y transporte de productos de la meteorización por agentes como el agua y el viento".³²

Las características físicas del área como se mostró en el mapa 4, permite que se generen estas formas siendo su mayor agente erosivo el agua pluvial, que afecta principalmente la andesita.

a. Elemento de laderas y cuestas (Elc)

Este elemento ocupa un 60% del área abarcando todas las unidades litológicas, las laderas tienden a ser suaves (fotografía 48), si son abruptas se denominan cuestas y la pendiente forman un ángulo con respecto a la horizontal >50° (fotografía 47).

³² Fisiografía, Esquema de Ordenamiento Territorial Municipio de Miranda – Cauca Diagnóstico Territorial.pdf

FOTOGRAFÍA 47 PENDIENTES DE GRAN PRONUNCIACIÓN MAYOR A 50º.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

FOTOGRAFÍA 48

LADERA DE POCA PRONUNCIACIÓN MENOR A 30º QUE SE ENCUENTRA AL OESTE DEL ÁREA.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

b. Elemento de cárcavas (Ecar)

Las cárcavas son originadas por corrientes de agua pluvial, las lluvias caen en las cimas y buscan las partes bajas desgastando el suelo y la andesita argilizada, de esta manera forman una gran cantidad de zanjas, en la fotografía 49 se observa una cárcava, las dimensiones de estas en ocasiones sobrepasan los 50 metros (se puede tomar como escala los árboles), se encuentran con mayor abundancia hacia el norte y sur del área, en las laderas, lomas y cimas.

FOTOGRAFÍA 49 CÁRCAVAS EN LA ANDESITA, SU DIRECCIÓN ES HACIA EL NORTE.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

En ellas se encontraron algunas vetas ya que el agua desgasta la roca argilizada y el cuarzo por poseer una dureza mayor quedo expuesto en la superficie.

c. Elemento de cimas y lomas (Ecl)

Esta unidad se encuentra tanto en el norte como en el sur del área. Las cimas son aquellas que se encuentran en la parte más alta de los cerros y montañas, las lomas se representan como semiplanicies en las partes altas que tienen cierto grado de inclinación con respecto a la horizontal.

Las cimas y lomas también llamadas parte aguas son aquellas que delimitan la escorrentía pluvial en las partes altas.

FOTOGRAFÍA 50 CON VISTA HACIA EL SUR SE OBSERVA UNA LOMA, HACIA EL OESTE SE ENCUENTRAN LAS CIMAS.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

d. Elemento de deslizamientos y derrumbes (Edd)

Los deslizamientos son formados por agentes exógenos, estos pueden ser por la infiltración de las aguas en los suelos haciendo que el terreno sea inestable, afectando aquellas pendientes mayores a 40º de materiales plásticos y aquellos materiales inconsolidados que se debilitan y caen debido a la gravedad.

En la fotografía 51 se observa un deslizamiento que se encuentra al este del área de aproximadamente 15 metros de ancho y 30 de largo (pendiente abajo), el suelo que es muy dúctil y permeable, los árboles y helechos muestran el movimiento de masa generando un cambio en la vertical de estos.

FOTOGRAFÍA 51 DESLIZAMIENTO CON DIRECCIÓN N070



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

Las pendientes abruptas, los materiales inconsolidados (rocas y suelo) y el agua hacen que el terreno sea vulnerable a movimientos masales como derrumbes (fotografía 52).

FOTOGRAFÍA 52 DERRUMBE A LAS ORILLAS DEL RÍO TZALÁ DE 15 METROS DE ANCHO POR 45 DE ALTO.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

e. Elemento de escarpes (Ee)

Los escarpes son formas que principalmente están en función de factores estructurales como las fallas, las cuales al desplazarse dejan paredes de roca que sobresalen de la superficie, también se forman por caídas de roca dejando expuesta la roca sana como cortes verticales.

Se encuentran localizados en la parte noroeste y algunas otras en las riveras del Tzalá.

En la fotografía 53 se muestra un escarpe de aproximadamente 20 metros de alto en una quebrada.

FOTOGRAFÍA 53 ESCARPE UBICADO AL NOROESTE DEL ÁREA, EN LA QUEBRADA POX.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

7.1.2. Unidad de origen agradacional

Agradacional se define de la siguiente manera:

"Corresponde a procesos de sedimentación coluvial, es decir, depositación o acumulación de materiales heterogéneos y de variado tamaño (partículas y fragmentos de suelo) sobre rellenos y bases de laderas de montañas y colinas, y, sedimentación aluvial, en donde el agua impulsada por la gravedad en forma de corrientes fluviales (agua de escorrentía) es el agente de transporte y de depositación". ³³

³³ Fisiografia, Esquema de Ordenamiento Territorial Municipio de Miranda – Cauca Diagnóstico Territorial.pdf

Esta unidad es de origen reciente, son los materiales que transporta el río dejando a sus riveras y los procesos gravitacionales que hacen caer materiales de las partes altas y se depositan en lugares cercanos a los ríos o planicies.

A lo largo del río se generan zonas aluviales ya que cuando ocurren crecidas, la corriente es violenta en la mayoría partes del trayecto dejando clastos de diferentes tamaños a sus orillas y cuando ocurren sequias el río baja observándose arenas muy finas. La erosión es muy rápida dejando en evidencia canales y cañones.

a. Elemento de cañones (Eca)

Se encontraron tres cañones en el río Tzalá, dos en la parte oeste y una en la parte este, estos son generados por la fuerte erosión del agua cuando busca su camino río abajo, la formación de estos es de cientos de años, desgastando la roca lentamente hasta llegar a lo que observamos hoy en día.

Los cañones tienen las dimensiones siguientes: el primero de 5 metros de ancho, 35 de largo y 12 de alto; el segundo de 3 metros de ancho, 25 de largo y 15 de alto y el tercero de 5 metros de ancho, 250 de largo y 8 de alto. Se encuentran en andesita, el dique andesítico y los siliciclásticos respectivamente.

En la fotografía 54 se observa un cañon, el agua del rio Tzalá ha desgastado la andesita siguiendo con el curso de su cauce, sus dimensiones son de aproximadamente 5 x 12 metros, se encuentra en la parte oeste del area.





Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

El rio Tzalá ha contribuido para desgastar el dique andesítico y permitir que la corriente de agua lo atraviese, las paredes son muy abruptas de aproximadamente 3 x 15 metros (fotografía 55).
FOTOGRAFÍA 55 DIQUE ANDESÍTICO QUE TIENE UNA GEOFORMA DE CAÑÓN.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

b. Elemento de saltos de agua (Esa)

Los saltos de agua se observan en las unidades de andesita, latita y diques, se presentan en la mayoría de quebradas y varían de 5 hasta 20 metros de alto.

Se encuentran en rocas sanas de grado de meteorización I, estas no se desgastan con facilidad lo que hace que existan paredes verticales o semi verticlas donde corre el agua.

FOTOGRAFÍA 56 SALTO DE AGUA EN LA LATITA AL OESTE DEL ÁREA, A PROXIMIDADES DEL RÍO TZALÁ.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

En la fotografía 56 se observa un salto de agua de 25 metros de alto en la unidad de latita, esta agua aporta su cauce al río Tzalá. En la fotografía 57 se observa un salto de agua el cual se encuentra en el riachuelo Cancil, se observa que la andesita se encuentra alterada por propilitización.

FOTOGRAFÍA 57 SALTO DE AGUA UBICADO AL SUR OESTE DEL ÁREA SOBRE LA UNIDAD DE DIQUE ANDESÍTICO.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

c. Elemento de planicies aluviales (Epa)

Representada en algunos segmentos a lo largo del río Tzalá, en planicies donde el rio se desborda y en meandros ya que en la zona deposicional (en la parte interna del meandro) genera depósitos de material arcilloso principalmente.

En la fotografía 58 se muestra con claridad el río Tzalá y los clastos que son transportados por su corriente, en un nivel superior se observa material depositado en las orillas del mismo perteneciente a clastos que anteriormente fueron arrastrados y se depositaron en esta planicie (los clastos no son homogéneos ya que tienen una variación de milímetros (arenas y limos) hasta >1 metro sub redondeados y algunos otros redondeados.

FOTOGRAFÍA 58

APORTE DE FRAGMENTOS DE ROCA QUE HA DEJADO EL RÍO TZALÁ, AL FONDO UNA TERRAZA ALUVIAL.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2012

d. Elemento de terrazas (Et)

"Terrazas: Se trata de paisajes formados en primera instancia por un rápido relleno con potentes flujos de lodo relativamente fluidos de tramos de valles intramontanos erosiónales en forma de V y la posterior incisión y remoción parcial de los diluvios por acción de la corriente madre que deja sin embargo algunos remanentes en los recodos del río, o sea las terrazas". ³⁴

³⁴ *Terrazas*: http://www.crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/POT/silvia/POT%20fisiograf% C3%ADa.pdf (14/10/12).

En las orillas del río se aprecia la deposición de fragmentos en una secuencia que mezcla clastos, arenas y arcillas denominadas terrazas aluviales (fotografía 59) los clastos imbricados tienen una orientación que varía entre N108 a N119

FOTOGRAFÍA 59 TERRAZA A ORILLAS DEL RÍO TZALÁ, SE ENCUENTRA SOBRE LA ANDESITA, LOS CLASTOS SON VARIABLES.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

En la figura 37 se observa como varía el tamaño de los clastos que en su momento arrastro el río y dejó depositados a sus orillas, esta es evidencia de la fuerza de arrastre que tenía el río. En el nivel A el arrastre fue muy poco, en B y C no existió gran arrastre y la corriente del río fue leve, en el nivel D la corriente aumento y en el nivel E los granos gruesos indican mayor transporte y una corriente fuerte del río.



Fuente: Investigación de campo. 2012

e. Elemento de coluviones (Ecol)

Representada principalmente en las partes bajas de las laderas, en las cuales una mezcla de todo tipo de fragmentos de roca, arcillas y lodos se han acumulado y depositado en forma caótica en un lapso de tiempo corto, mediante avalanchas, deslizamientos o deslaves.

En el área se observan coluviones, en la parte sureste con fragmentos no mayores a cincuenta centímetros (fotografía 60), así también a orillas del Tzalá encontrándose fragmentos de roca de pocos centímetros hasta unos bloques de más de un metro.

FOTOGRAFÍA 60 FRAGMENTOS DE ROCA DE DIFERENTES TAMAÑOS, DISTINTAS FORMAS, NO SE PRESENTA UNA ORIENTACIÓN DEFINIDA.



Tomada por: Francisco J. Juárez C. 2 012

7.3 MAPA GEOMORFOLÓGICO LOCAL

El mapa geomorfológico es la conclusión de este capítulo, en el cual se plasman las unidades y elementos geomorfológicos mencionados con anterioridad mostrando su ubicación en el área (mapa 5).



MAPA GEOMORFOLÓGICO

CAPÍTULO VIII

GEOLOGÍA HISTÓRICA LOCAL

8.1 HISTORIA GEOLÓGICA LOCAL Y RELIEVE ACTUAL

El estudio realizado abarca lo litológico, estructural y geomorfológico, estos han tenido su ocurrencia a través del tiempo geológico, la relación que existe entre ellos le da un sentido a lo observado en el campo y se describe de la siguiente manera.

En el área existen ocho unidades litológicas, las cuales están comprendidas en diferentes eventos de formación, según la columna litoestratigráfica la base se encuentra constituida por los siliciclásticos que son de origen sedimentario, estos abarcan una secuencia de varios metros de longitud en el río Tzalá con la siguiente variabilidad: arcosas líticas y limos (corrientes leves), brechas de clastos metamórficos (corrientes fuertes), brecha de grano medio (corrientes moderada-fuerte), litoarenitas de grano fino (corrientes suaves). Todo esto corresponde a una alternancia de sedimentos que va de arenitas a brechas, característicos de un ambiente de abanico aluvial en una transición de facie proximal a facie media, acoplándose al modelo que propuso Miall A. (1996).

Posterior a los siliciclásticos en el área ocurrieron dos etapas de vulcanismo, la primera genero rocas extrusivas como andesita y latita, la segunda genero intrusiones de diques.

La primera etapa de este vulcanismo se produjo por flujos de lavas de andesitas, apreciable en la parte norte del área, la foliación es la evidencia de la dirección de los flujos, siendo hacia el sur-este. En ciertas partes se logra observar materiales (rocas) arrastrados por el avance de flujos, estos se denominan autoclásticos.

La extrusión de las andesitas continuo, hacia el sur las andesitas se encuentran masivas y sin dirección de flujos, al sureste del área se observa una brecha de fragmentos andesíticos con una dirección preferencial hacia el nor-oeste.

A esta actividad Donelly denomino como unidades pre-inimbriticas ya que existe una predominancia de materiales volcánicos primarios andesíticos.

Los flujos de lava continuaron y al oeste del área se encuentra la unidad de latita que constituye un cuerpo volcánico extrusivo que avanzó por fisuras hasta llegar a la superficie, la foliación demuestra la dirección del flujo del lava siendo hacia el noroeste.

Posterior a esta actividad volcánica ocurrieron esfuerzos estructurales sobre el área, generados principalmente por la falla regional Cuilco-Chixoy-Polochic que tiene un movimiento lateral hacia la izquierda.

Al existir una falla regional que genera grandes esfuerzos, el área se ve directamente afectada por dichos esfuerzos ocasionando fallas normales y grietas de tensión en dirección NE-SW, fallas inversas en dirección NW-SE. En la segunda etapa de vulcanismo, intrusiones atravesaron las zonas de debilidad que se habían formado por el fallamiento generando diques de composición latítica y andesítica los cuales están orientados hacia el NE-SW, reflejando de esta manera un patrón estructural bien definido que se acopla a un modelo sinextral.

La actividad volcánica no cesó y de la corteza emanaron fluidos hidrotermales que se abrieron paso por las grietas de tensión donde se alojaron vetas de cuarzo, cuarzo-calcita y una zona de *stockwork* con una orientación preferencial de las vetas y venas hacia el NE-SW, es esta dirección en la que generalmente ocurre mineralización. El avance de estos fluidos formaron una zona de alteraciones hidrotermales que corresponde a un sistema hidrotermal de baja sulfuración debido a que en el área se encuentran las alteraciones: silicificación, propilitización, cuarzo-sericita y argilización media.

Emanaciones recientes que afectaron el área se observan en el piso del río Tzalá las cuales han subido a la superficie por medio de grietas y la andesita se observa con una coloración amarillenta.

La tectónica influye considerablemente en el área, esto es evidente en los elementos geomorfológicos ya que se ven afectados, originando grandes escarpes, así como un patrón de drenaje subdendrítico en el río Tzalá.

Dos factores que condicionan la geomorfología son los agentes hídricos pluvial y fluvial, las aguas de lluvia desgastan la roca en las partes altas generando cárcavas, posteriormente el agua se dirige hacia las quebradas, a diferencia del agua fluvial, que se encuentra por medio de mantos freáticos drenando el agua de los riachuelos al río Tzalá contribuyen para que este río sea el agente erosivo principal en los últimos años, en su cauce hay cañones, clastos de rocas de distintos tamaños y arenas, en sus riveras existen terrazas aluviales lo que indica que el cauce del rio ha variado en el transcurso del tiempo, no solo de curso sino que en altura, encontrándose cada vez más abajo.

Es de esta manera que la geología ha afectado el área de estudio a través del tiempo y llegar a lo que es hoy en día.

CAPÍTULO IX

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusión general

El área de investigación consta de una geología compleja, la cual tiene unidades litológicas de origen sedimentario como los siliciclásticos y de origen volcánico como la andesita, latita y diques, a ello se suma una serie de fallas normales y grietas de tensión, las segundas representadas como vetas en dirección hacia el noreste, estas vetas son generadas por fluidos hidrotermales característicos de la zona.

Conclusiones específicas

Con un análisis macroscópico y microscópico se logró describir y determinar las unidades litológicas, las cuales son: Unidad de Siliciclásticos (SIc) Unidad de Andesita (And) Unidad de Latita (Li) Unidad de Dique Latítico (DI) Unidad de Dique Andesítico (Da) Unidad de Brecha de Fragmentos Andesíticos (Ba) Unidad de Coluvión (Col) Unidad de Aluvión (AI).

El modelo estructural local presentado tiene sus sigmas en las direcciones: σ 1 N066 y σ 3 N325, así como grietas de tensión semi-paralelas al σ 1 en dirección N070 y los diques orientados en dirección N055, en conjunto evidencian la presencia de un patrón estructural bien definido, generado a partir de la falla regional Cuilco-Chixoy-Polochic la cual tiene una cinemática sinextral.

En el área de estudio se determinó la presencia de hidrotermalismo de baja sulfuración según dos factores: la zona de *stockwork* y la presencia de alteraciones tales como propilitización, silicificación, cuarzo-sericita y argilización media características de este tipo de hidrotermalismo.

Los flujos hidrotermales avanzaron por medio de las grietas de tensión, fracturas y fallas normales dando origen a vetas de cuarzo y algunas otras de cuarzo-calcita en dirección NE-SW, así como mineralización de cuarzo lechoso y algunas veces cristalino en las fallas conjunto al gouge.

El comportamiento tabular de los diques está en función del agrietamiento de las rocas tanto en los siliciclásticos como en la andesita los cuales varían de pocos metros de ancho hasta algunos de 15 metros, estos con una dirección preferencial hacia el NE-SW, esto hace referencia a la ruptura de las rocas cuando actuó sobre el área la compresión.

Las estructuras geológicas tienen una gran influencia sobre el área, esto se ve reflejado con una orientación preferencial de las estructuras hacia el NE-SW refiriéndose a fallas, grietas de tensión, lineamientos y diques.

En gran parte del área las alteraciones cuarzo-sericita y la argílica han hecho un reemplazamiento de los minerales esenciales de la andesita a minerales arcillosos como sericita y caolín respectivamente.

Según lo observado en el campo, los factores geomorfológicos están relacionados con la litología, esto se marca en la topografía donde se encuentran laderas formadas por procesos denudacionales que han actuado desgastando con mayor rapidez las rocas débiles (siliciclásticos y andesitas alteradas) no así con los diques que son de poco desgaste erosivo debido a su dureza, permitiendo un moldeado leve en estas partes.

Recomendaciones

Realizar estudios de isotopos radioactivos para determinar la edad cronológica de la unidad de siliciclásticos y relacionar los procesos de formación de estos, así como de donde proviene su aporte.

Realizar estudios geotécnicos con el fin de determinar la capacidad de infiltración del agua, debilidad y el grado de meteorización de la roca y los suelos que se encuentran en los taludes de los cortes de carretera para estabilizarlos y que no sucedan desprendimientos de roca, deslaves y deslizamientos, así también para cuando se deseen hacer cortes para futuras carreteras indicar los puntos vulnerables y enfatizar en una infraestructura y así minimizar en gastos de reparación de carreteras.

Realizar estudios químicos para determinar el potencial mineral en partes por millón que existe en las vetas y zonas de *stockwork* ya que al existir una asociación de cristalización de cuarzo-calcita, como se observó, se estima que la mineralización de minerales como oro y plata no se hayan dado por completo, esto elevaría los costos de extracción y procesamiento de algún mineral presente en el área.

BIBLIOGRAFÍA

- Chiquín Paau, Selvin Obdulio. Mapeo geológico en el departamento de San Marcos, Guatemala: Cartografiado geológico de superficie en el suroeste de la mina Marlin, San Miguel Ixtahuacán. Trabajo Final de Campo. Técnico en geología. Centro Universitario del Norte. Universidad de San Carlos de Guatemala. Cobán, Alta Verapaz, Guatemala: Carrera de Geología, 2 008.
- *Concepto de alteraciones*. http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/geofoto/geo _html/informacion/.pdf/ (22 de abril de 2 012).
- *Concepto de erosión.* http://www.astromia.com/tierraluna/erosion.htm (12 de abril de 2 012).
- *Concepto de* fallas. http://skyalertblog.blogspot.com/2013_10_01_archive.html (18 de octubre de 2 012).
- *Concepto de stockwork*. http://glosarios.servidor-alicante.com/geologia/sto ckwork (12 de octubre de 2 012).
- *Concepto de terrazas*. http://www.crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/P OT/silvia/POT%20fisiograf% C3%ADa.pdf (14 de octubre de 2 012).
- Coronado Urrutia, Gabriela Alejandra. *Mapeo geológico en el municipio de San Miguel Ixtahuacán, departamento de San Marcos: Caracterización de las Zonas de Alteración dentro del Proyecto Marlin, de la Empresa Montana Exploradora de Guatemala, S.A.* Trabajo Final de Campo. Técnico en geología. Centro Universitario del Norte. Universidad de San Carlos de Guatemala. Cobán, Alta Verapaz, Guatemala: Carrera de Geología, 2 009.
- Cruz S., Jorge René de la, clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala: Instituto Nacional Forestal, 1 982.
- Definición de alteración hidrotermal. http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/AL TERACION.pdf (13 de octubre de 2 012).
- Definición de denudacional. http://es.scribd.com/doc/51654956/METODOLOGI A-FISIOGRAFIAMIRANDA-CAUCA (15 de octubre de 2 012)

- Definición de relieve. http://www.viajeaguatemala.com/San_Marcos/105820 292941.htm (12 de abril de 2 012).
- Definición de suelos. http://www.fundacionsierramadre.org/pdf/PROPUESTA_ PROYECTOS_PRODUC TIVOS.pdf (13 de abril de 2 012).
- Definición de tierras altas o cadena volcánica. http://ide.segeplan.gob.gt/tablas /tablas_municipal/pdfs/ (12 de abril de 2 012).
- *Diagnóstico del Departamento de San Marcos*; Hidrografía, Clima y Vegetación http://www.Mecapal.org (12 de abril de 2 012).
- Donnelly, T W. Northern Central America; The Maya and Chortis Blocks. United States of America: The geological society of America, 1 990.
- Einsele, Gerhard. Sedimentary basins: evolution, facies and sediment budget. Alemania: Springer-Verlageds, 1 992.
- *Falla Cuilco-Chixoy-Polochic*. http://es.wikipedia.org/wiki/Falla_de _Chixoy-Polochic (13 de abril de 2 012).
- *Falla del Motagua*. http://es.wikipedia.org/wiki/Falla_de_Motagua (13 de abril de 2 012).
- Gispert, Carlos, Atlas geográfico universal y de Guatemala. España: Editorial Océano, 2 002.
- González, Carlos. *Geología-open pit-subterraneo*. *Mina Marlin*, San Miguel Ixtahuacán; San Marcos, Guatemala: Montana Exploradora, 2 005.
- González, Omar. Características principales de los depósitos epitermales en el noroeste de México, un análisis y comparación. http://es.scribd.com/doc/87042012/Epitarmes-de-Baja-Media-y-Alta-Sulfuracion (20 de octubre de 2 012).
- Informe de la geología local, área de la zona de voladuras y las comunidades vecinas a la mina Marlin. http://www.comision-transparencia.info/wp content/uploads/2011/10/ Geologia-LOCAL.pdf (12 de abril de 2 012).
- Klug Aguilar, María José. Cartografía geológica en San Marcos: Caracterización de las zonas de alteración de Proyecto Marlin, San Miguel Ixtahuacán.
 Trabajo Final de Campo. Técnico en geología. Centro Universitario del Norte. Universidad de San Carlos de Guatemala. Cobán, Alta Verapaz, Guatemala: Carrera de Geología, 2 009.

- Miall, A. The Geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology. Alemania: Springer-Verlageds, 1 996.
- Reading, H. Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy. Blackwell. Alemania: Springer-Verlageds, 1 996.

SITA B BIBLIOTECA Adán Garcia Véliz Licenciado en Pedagogía e Investigación Educativa BIBLIOTECARIO

ANEXOS







MAPA DE MUESTRAS



ANEXO V ANÁLISIS PETROGRÁFICO

DATOS GENERALES			
No. De muestra: 1 Identificación base de datos: PJ005		le datos: PJ005	
Fecha: Julio 2012Proyecto: Trabajo Final de Campo		nal de Campo	
Ubicación:	UTM (Este): 639484	UTM (Norte): 1683571	UTM zona: 15
Localidad: cercanías del rio Tzalá			
Hoja topo/geo:Nombre:Serie:Escala:Topográfica 1861 ISanta BárbaraE7541:50 000			
Análisis o/y Muestreo: Francisco Javier Juárez Cacao			

Tipo de roca: sedimentaria Nombre de la roca: arcosa lítica Clasificación usada: triángulo de Pettijonh

DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO

Disposición: insituo, a orillas del rio Tzalá **Litología:** siliciclásticos

Estructuras: estratificación intercalada, laminación ondulada

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA		
Grado de meteorización: II-III	Imagen:	
Color: Blancuzca	A Cart	
Composición mineralógica: Feldespato, cuarzo, líticos, opacos		
Observaciones: granos sub redondeados de 5mm-3cm		

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA		
	Mineral	Porcentaje
Minerales	Cuarzo	50
	Feldespatos	26
Lítioos	Fragmentos	Porcentaje
LITICOS	No apreciables	2
000000	Mineral	Porcentaje
Opacos	No apreciables	2
Matria	Тіро	Porcentaje
Widthz	Grano fino	20

FOTOGRAFÍAS

a) FENOCRISTAL DE CUARZO Y A SUS ALREDEDORES FELDESPATOS Y ALGUNOS CUARZOS, XPL b) UNOS FRAGMENTOS LÍTICOS, XPL



FOTOGRAFÍAS

a) FELDESPATOS, CUARZOS Y LÍTICOS XPL b) MATRIZ, LÍTICOS, FELDESPATOS PPL





DATOS GENERALES				
No. De muestra: 2 Identificación base de datos: P.		de datos: PJ040		
Fecha: Julio 2012Proy		Proyecto: Trabajo Fi	Proyecto: Trabajo Final de Campo	
Ubicación:	UTM (Este): 638762	UTM (Norte):UTM zona:168328815		
Localidad: cercanías del rio Tzalá				
Hoja topo/geo:Nombre:Serie:Escala:Topográfica 1861 ISanta BárbaraE7541:50 000				
Análisis o/y Muestreo: Francisco Javier Juárez Cacao				

Tipo de roca: sedimentaria	
Nombre de la roca: arenisca lítica de grano fino	
Clasificación usada: triángulo de Pettijonh	

DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO

Disposición: insituo, a orillas del rio Tzalá Litología: siliciclásticos

Estructuras: vetias de calcita

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA		
Grado de meteorización: Il	Imagen:	
Color: Café	Start Manual Starting	
Composición mineralógica: Feldespato, calcita en venitas, grano fino		
Observaciones: granos sub redondeados de <1mm		

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA		
	Mineral	Porcentaje
Minerales	Cuarzo	10
	Calcita	5
Lítione	Fragmentos	Porcentaje
LITICOS	Andesita??	35
00000	Mineral	Porcentaje
Opacos	Hematita	5
Motrie	Tipo	Porcentaje
	Grano fino	45

FOTOGRAFÍAS

a) CUARZOS PEQUEÑOS Y OPACOS PPL b) FRAGMENTOS LÍTICOS DENTRO DE LA MATRIZ.



FOTOGRAFÍAS a) CALCITA XPL b) CUARZO, LÍTICOS PPL



DATOS GENERALES				
No. De muestra: 3 Identificación base de datos: PJ068		de datos: PJ068		
Fecha: Julio 2012Proyecto: Trabajo Final de Campo		nal de Campo		
Ubicación:	UTM (Este): 636308	UTM (Norte): 1682536	UTM zona: 15	
Localidad: cercanías del rio Tzalá				
Hoja topo/geo:Nombre:Serie:Escala:Topográfica 1861 ISanta BárbaraE7541:50 000				
Análisis o/v Muestreo: Francisco Javier Juárez Cacao				

Tipo de roca: ígnea, volcánica	
Nombre de la roca: Latita	
Clasificación usada: Streckeisen	

DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO

Disposición: insituo, en el rio Tzalá al oeste

Litología: Latita Estructuras: fracturas

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA		
Grado de meteorización: II-III	Imagen:	
Color: morada		
Composición mineralógica: Feldespato, cuarzo, opacos		
Observaciones: granos medios con presencia de algunos fenocristales.		

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA		
	Mineral	%
Minerales	Plagioclasas (oligoclasa)	50
	Hornblenda	5
	Biotita	5
0	Mineral	%
Opacos	Pirita??	15
Matriz	Тіро	%
		25

DESCRIPCIÓN DE LA SECCIÓN		
Forma de cristales Hipidioformos		
Textura Intergranular		
Grado de cristalización Hipocristalina		
Tamaño de grano	Medio (1-3mm y algunos >3mm)	
Matriz Fanerítica		

FOTOGRAFÍAS

a) PLAGIOCLASA ZONADA XPL b) BIOTITA ALTERADA YA QUE PRESENTA RELIEVE ALTO XPL



FOTOGRAFÍA

HORNBLENDA ALTERADA DISTINGUIÉNDOSE SU FORMA TABULAR, FELDESPATOS PPL



DATOS GENERALES			
No. De muestra: 4 Identificación base de datos:		le datos: PJ032	
Fecha: Julio 2012		Proyecto: Trabajo Final de Campo	
Ubicación:	UTM (Este): 638775	UTM (Norte): 1683428	UTM zona: 15
Localidad: vereda que conduce al rio Tzalá desde carretera Westvero			
Hoja topo/geo: Topográfica 1861 I	Nombre: Santa Bárbara	Serie: E754	Escala: 1:50 000
Análisis o/v Muestreo: Francisco Javier Juárez Cacao			

Tipo de roca: ígnea, volcánica	
Nombre de la roca: Andesita	
Clasificación usada: en base a su textura	

DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO

Disposición: insituo Litología: Andesita Estructuras: fracturas

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA		
Grado de meteorización: Il	Imagen:	
Color: Verdosa		
Composición mineralógica: Feldespato, opacos, clorita		
Observaciones : Alteración propilítica, fracturada		

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA		
	Mineral	%
Minerales	Plagioclasas (Andesita, Bytownita)	30
	Epidota	10
	Clorita	5
Onacco	Mineral	%
Opacos	Pirita	5
Matriz	Тіро	%
	Cloritizada	50

DESCRIPCIÓN DE LA SECCIÓN		
Forma de cristales Hipidioformo		
Textura	Porfídica	
Grado de cristalización	Hipocristalina	
Tamaño de grano	Medio (1-3mm)	
Estructura	Equigranular	
Matriz	Fanerítica	

FOTOGRAFÍA a) PLAGIOCLASA, MATRIZ CLORITIZADA PPL b) EPIDOTA XPL



FOTOGRAFÍA

PLAGIOCLASAS, PIRITA XPL



DATOS GENERALES				
No. De muestra: 5 Identificación base de datos: F		se de datos: PJ028		
Fecha: Julio 2012		Proyecto: Trabajo	Proyecto: Trabajo Final de Campo	
Ubicación:	UTM (Este): 639473	UTM (Norte): 1683948	UTM zona: 15	
Localidad: carretera Westvero				
Hoja topo/geo: Topográfica 1861 I	Nombre: Santa Bárbara	Serie: E754	Escala: 1:50 000	
Análisis o/y Muestreo: Francisco Javier Juárez Cacao				

Tipo de roca: ígnea, intrusiva (dique) Nombre de la roca: andesitico Clasificación usada: en base a su textura

DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO

Disposición: insituo

Litología: dique andesítico

Estructuras: fracturas, orientación del dique

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA		
Grado de meteorización: Il	Imagen:	
Color: verde oscuro		
Composición mineralógica: Feldespato, opacos		
Observaciones: se encuentra alterado, físicamente presenta magnetismo		

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA		
Minerales	Mineral	%
	Plagioclasas	
	(Andesita,	40
	Bytownita)	
Opacos	Mineral	%
	Magnetita	5
Matriz	Тіро	%
	Cloritizada	55

DESCRIPCIÓN DE LA SECCIÓN		
Forma de cristales Hipidioformo		
Textura	Intergranular	
Grado de cristalización	Hipocristalina	
Tamaño de grano	Medio (<1mm)	
Matriz	Afanítica	
FOTOGRAFÍAS

a) PLAGIOCLASAS, MATRIZ CLORITIZADA, MAGNETITA XPL b) PLAGIOCLASAS Y LA MATRIZ CLORITIZADA XPL



DATOS GENERALES			
No. De muestra: 6		Identificación base de datos: PJ043	
Fecha: Julio 2012		Proyecto: Trabajo Final de Campo	
Ubicación:	UTM (Este): 637914	UTM (Norte): 1682933	UTM zona: 15
Localidad: en el rio Tzalá			
Hoja topo/geo: Topográfica 1861 I	Nombre: Santa Bárbara	Serie: E754	Escala: 1:50 000
Análisis o/y Muestreo: Francisco Javier Juárez Cacao			

Tipo de roca: ígnea, intrusiva (dique)	
Nombre de la roca: andesítico	
Clasificación usada: en base a su textura	

DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO	
Disposición: insituo, en el rio Tzalá	
Litología: Dique andesítico	
Estructuras: fracturas	

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA		
Grado de meteorización: Il	Imagen:	
Color: verde oscuro		
Composición mineralógica: Feldespato, magnetita		
Observaciones: se encuentra alterado, físicamente presenta magnetismo.		

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA		
	Mineral	%
Minerales	Plagioclasas (Andesita, Labradorita, Bytownita)	60
	Clorita	10
010000	Mineral	%
Opacos	Magnetita	10
Matriz	Тіро	%
		20

DESCRIPCIÓN DE LA SECCIÓN		
Forma de cristales Hipidioformos		
Textura	Intergranular	
Grado de cristalización	Hipocristalina	
Tamaño de grano	Fino (< 1 mm)	
Matriz	Afanítica	

FOTOGRAFÍAS a) PLAGIOCLASAS XPL b) CLORITA, MAGNETITA XPL



DATOS GENERALES			
No. De muestra: 7		Identificación base de datos: PJ076	
Fecha: Julio 2012		Proyecto: Trabajo Final de Campo	
Ubicación:	UTM (Este): 639167	UTM (Norte): 1683686	UTM zona: 15
Localidad: en una vereda de la empresa paralela a la ruta hacia Sipacapa			
Hoja topo/geo: Topográfica 1861 I	Nombre: Santa Bárbara	Serie: E754	Escala: 1:50 000
Análisis o/v Muestreo: Francisco Javier Juárez Cacao			

Tipo de roca: ígnea, intrusiva (dique)	
Nombre de la roca: Latítico	
Clasificación usada: en base a su textura	

Disposición: insituo Litología: Dique Latítico Estructuras: fracturas

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA		
Grado de meteorización: II-III	Imagen:	
Color: café		
Composición mineralógica: Feldespato, opacos.		
Observaciones: se encuentra alterado		

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA		
Minerales	Mineral	%
	Plagioclasas (labradorita, Anortita)	30
	Clorita	22
	Biotita	5
000000	Mineral	%
Opacos	Pirita	15
Matriz	Тіро	%
		28

DESCRIPCIÓN DE LA SECCIÓN		
Forma de cristales Hipidioformos		
Textura	Intergranular	
Grado de cristalización	Hipocristalina	
Tamaño de grano	Medio (1-2mm)	
Matriz	Fanerítica	

FOTOGRAFÍAS

a) BIOTITA ALTERADA (REEMPLAZAMIENTO POR CLORITIZACION) PPL b) PLAGIOCLASAS, CLORITA PIRITA XPL



FOTOGRAFÍA PLAGIOCLASA, OPACOS (PIRITA) MATRIZ PPL



DATOS GENERALES						
No. De muestra: 8Identificación base de datos: PJ050						
Fecha: Julio 2012Proyecto: Trabajo Final de Campo						
Ubicación:	UTM (Este): 636728	UTM (Norte): UTM zona: 1683512 15				
Localidad: sobre la q	uebrada Pox					
Hoja topo/geo:Nombre:Serie:Escala:Topográfica 1861 ISanta BárbaraE7541:50 000						
Análisis o/v Muestreo: Francisco Javier Juárez Cacao						

Tipo d	le roca:	
--------	----------	--

Nombre de la roca: Brecha

Clasificación usada: en base a sus características y fragmentos

DESCRIPCIÓN DEL AFLORAMIENTO

Disposición: insituo

Litología: Brecha de fragmentos andesíticos

Estructuras: ----

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA						
Grado de meteorización: III-IV	Imagen:					
Color: café-rojiza						
Composición: se observan fragmentos de andesita						
Observaciones: se encuentra quemada, sin orientación de clastos.						

DESCRIPCIÓN ESTÉREOMICROSCOPIO				
Componentes %				
Clastos andesíticos	80			
Matriz	20			

DESCRIPCIÓN MUESTRA DE MANO			
Fragmentos Andesíticos			
Tamaño de clastos De 1-40cm			
Clastos	Angulosos		
Tamaño de grano Medio (1-3mi			
Matriz	Fina rojiza		

Esta muestra se analizó con el estéreomicroscopio ya que los fragmentos son visibles al ojo humano

FOTOGRAFÍAS

a) FRAGMENTOS ANDESÍTICOS, LA MATRIZ, AUMENTO DE 10X b) FRAGMENTO ANDESÍTICO CON ALTERACIÓN CUARZO-SERICITA, AUMENTO 10X





FOTOGRAFÍA

MATRIZ CARBONIZADA (NEGRUZCA) AUMENTO 30X



ANEXO VI ABREVIATURAS

ABREVIATURAS DE LAS UNIDADES LITOLÓGICAS

SIC	Unidad de Siliciclásticos
And	Unidad de Andesita
Li	Unidad de Latita
DI	Unidad de dique Latítico
Da	Unidad de dique Andesítico
Ва	Unidad de brecha de fragmentos Andesíticos
AI	Unidad de Coluvión
Col	Unidad de Aluvión

ABREVIATURAS DE LAS SUB UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Et	Elemento de terrazas
Ера	Elemento de planicies aluviales
Esa	Elemento de saltos de agua
Eca	Elemento de cañones
Ee	Elemento de escarpes
Edd	Elemento de deslizamientos y derrumbes
Ecl	Elemento de cimas y lomas
Ecar	Elemento de cárcavas
Elc	Elemento de laderas y cuestas

ABREVIATURAS DE LOS MINERALES EN SECCIÓN DELGADA

- Qtz Cuarzo
- **Fsp** Feldespato
- PI Plagioclasas
- **Ep** Epidota
- Chl Clorita
- Bt Biotita
- **Py** Pirita
- Hbl Hornblenda
- Mag Magnetita
- Lit Líticos
- **Op** Opacos
- Aar Andesita argilizada
- Aqz-sr Andesita alterada cuarzo-sericita

ANEXO VII TABLA DE METEORIZACIÓN

Grado	Denominación	Criterio de reconocimiento
I	Roca sana o fresca	La roca no presenta signos visibles de meteorización, pueden existir ligeras pérdidas de color o pequeñas manchas de óxidos en los planos de discontinuidad
II	Roca ligeramente meteorizada	La roca y los planos de discontinuidad presentan signos de decoloración. La roca puede estar decolorada en la pared de las juntas pero no es notorio que la pared sea más débil que la roca sana
111	Roca moderadamente meteorizada	La roca está decolorada en la pared. La meteorización empieza a penetrar hacia el interior de la roca desde las discontinuidades. El material es notablemente más débil en la pared que en la roca sana. Material débil <50% del total
IV	Roca meteorizada o muy meteorizada	Más de la mitad del material está descompuesto a suelo. Aparece roca sana o ligeramente meteorizada de forma discontinua
V	Roca completamente meteorizada	Todo el material está descompuesto a un suelo. La estructura original de la roca se mantiene intacta
VI	Suelo residual	La roca está totalmente descompuesta en un suelo y no puede reconocerse ni la textura ni la estructura original. El material permanece "in situ" y existe un cambio de volumen importante

Fuente: ISRM: Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas

ANEXO VIII DIAGRAMAS

TRIANGULO DE PETTIJOHN



CLASIFICACIÓN DE LAS PLAGIOCLASAS SEGÚN SU ANGULO DE EXTINCIÓN



DETERMINACIÓN DE LA PLAGIOCLASA SEGÚN PORCENTAJES

Tipo de plagioclasa	Albita (Ab) en %	Anortita en %
Albita	100 - 90	0 - 10
Oligoclasa	90 - 70	10 - 30
Andesina	70 - 50	30 - 50
Labradorita	50 - 30	50 - 70
Bytownita	30 - 10	70 - 90
Anortita	10 - 0	90 - 100

TRIANGULO DE STRECKEISEN



Clasificación de las rocas ígneas volcánicas Según Streckeisen (1979)

M menor de 90% M = 100 - (Q + A + P + F)

1: Riolita de feldespato alcalino

- 2: Riolita 3: Dacita
- 4: Traquitas de feldespato alcalino
- 4a: Cuarzo traquita de feldespato alcalino
- 4a: Cuarzo traquita de feldespato alca
- 4b: Traquita de feldespato alcalino4c: Traquita de feldespato alcalino con feldespatoides
- 4c: Traquita de feidespato alcalino con feidesp
- 5: Traquitas
 - 5a: Cuarzo traquita
 - 5b: Traquita 5c: Traquita con feldespatoides
- 6: Lacitas ó Latitas
- 6a: Cuarzo lacita
- 6b: Lacita
- 6b: Lacita con feldespatoides
- 7: Andesitas y Basaltos (M mayor a 35%)
 - 7a: Andesita calcoalcalina
 - 7b: Basalto toleítico
 - 7c: Mugearita
 - 7d: Basalto calcoalcalino rico en Al 7e: Mugearita
 - 7f: Basalto alcalino y Hawaiita

Q: Cuarzo

- A: Feldespato potásico ó feldespato alcalino
- P: Feldespato sódico (Plagioclasa)
- F: Feldespatoide
- M: Minerales máficos

8: Fonolita

- 9: Fonolita tefritica
- 10: Tefrita fonolítica (Basanita si Ol es mayor de 10%)
- 11: Tefrita (Basanita si Ol es mayor de 10%)
- 12: Foidita
 - 12a: Foidita fonolítica 12b: Foidita tefrítica
 - 12c: Foidita

Si M es mayor de 90%: Ultramafita

ANEXO IX BASE DE DATOS

TABLAS DE DATOS EN BASE A LOS DATOS RECOLECTADOS EN EL CAMPO JULIO-AGOSTO 2012

Base de datos de fracturas en la andesita.

DIR BUZ	BUZ						
N 315	67°	N 340	70°	N 334	35°	N 180	64°
N 309	54°	N 338	60°	N 144	45°	N 191	50°
N 340	77°	N 330	60°	N 325	60°	N 180	77°
N 330	79°	N 335	63°	N 326	37°	N 190	52°
N 304	55°	N 345	68°	N 314	27°	N 074	84°
N 310	67°	N 335	64°	N 320	66°	N 072	84°
N 317	79°	N 325	70°	N 340	67°	N 070	80°
N 290	74°	N 342	69°	N 092	36°	N 074	82°
N 280	74°	N 327	60°	N 172	71°	N 075	82°
N 324	63°	N 355	65°	N 132	70°	N 080	81°
N 126	45°	N 345	68°	N 095	54°	N 072	83°
N 129	30°	N 170	26°	N 330	86°	N 073	82°
N 137	26°	N 149	27°	N 304	42°	N 074	82°
N 133	44°	N 150	30°	N 137	62°	N 076	86°
N 312	69°	N 155	30°	N 313	44°	N 072	84°
N 318	44°	N 170	25°	N 161	44°	N 075	83°
N 148	71°	N 145	28°	N 157	66°	N 070	80°
N 129	79°	N 148	27°	N 137	37°	N 082	85°
N 274	65°	N 152	30°	N 309	24°	N 075	86°
N 278	51°	N 176	77°	N 146	49°	N 066	80°
N 292	07°	N 178	75°	N 178	62°	N 069	81°
N 284	83°	N 175	72°	N 127	54°	N 021	46°
N 286	06°	N 177	75°	N 331	72°	N 020	49°
N 288	04°	N 094	59°	N 143	74°	N 025	40°
N 290	74°	N 105	72°	N 291	34°	N 024	46°
N 301	84°	N 105	76°	N 334	47°	N 023	45°
N 304	77°	N 096	86°	N 075	24°	N 010	69°
N 276	58°	N 319	53°	N 265	87°	N 007	79°
N 276	55°	N 352	52°	N 007	56°	N 019	24°
N 294	33°	N 351	61°	N 015	60°	N 079	62°
N 273	31°	N 365	64°	N 010	59°	N 055	79°

N 286	26°	N 336	81°	N 262	49°	N 255	43°
N 277	35°	N 340	74°	N 036	66°	N 253	79°
N 285	61°	N 146	28°	N 024	67°	N 225	72°
N 290	56°	N 171	12°	N 045	70°	N 015	84°
N 283	65°	N 347	34°	N 014	78°	N 007	72°
N 293	75°	N 330	60°	N 068	46°	N 198	50°
N 322	61°	N 339	82°	N 051	74°	N 260	68°
N 305	66°	N 338	79°	N 071	81°	N 015	59°
N 304	62°	N 321	83°	N 088	52°	N 008	13°
N 300	61°	N 342	57°	N 240	74°	N 162	83°
N 294	70°	N 319	54°	N 229	33°	N 064	60°
N 298	71°	N 107	84°	N 217	33°	N 062	71°
N 330	43°	N 145	52°	N 259	55°	N 044	65°
N 335	56°	N 158	85°	N 194	69°	N 030	80°
N 340	48°	N 115	64°	N 210	75°	N 044	49°
N 347	24°	N 356	78°	N 205	76°	N 200	75°
N 360	18°	N 320	68°	N 189	66°	N 074	56°
N 320	66°	N 152	66°	N 210	81°	N 184	87°
N 338	72°	N 175	48°	N 225	64°	N 248	21°
N 308	81°	N 275	50°	N 198	72°	N 006	59°
N 332	67°	N 282	49°	N 187	64°	N 025	75°
N 352	71°	N 342	54°	N 227	79°	N 019	42°
N 354	62°	N 308	54°	N 038	86°	N 215	46°
N 144	30°	N 299	25°	N 045	32°	N 028	66°
N 138	30°	N 339	64°	N 192	52°	N 005	62°
N 328	69°	N 304	85°	N 185	60°	N 047	53°
N 332	69°	N 146	76°	N 188	60°	N 187	64°
N 346	64°	N 322	50°	N 190	55°	N 208	23°

Fuente: Investigación de campo. 2 012

Base de datos de fracturas en la latita.

DIRECCIÓN BUZAMIENTO	BUZAMIENTO DIRECCIÓN BUZAMIENTO		BUZAMIENTO
N 285	61°	N 298	71°
N 290	56°	N 194	69°
N 283	65°	N 210	75°
N 293	75°	N 205	76°
N 322	61°	N 189	66°
N 305	66°	N 210	81°

N 304	62°	N 225	64°
N 300	61°	N 198	72°
N 294	70°		

Fuente: Investigación de campo. 2 012

Base de datos de fracturas en diques andesíticos.

DIRECCIÓN BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN BUZAMIENTO	BUZAMIENTO
N 174	59°	N 341	53°
N 162	52°	N 091	78°
N 170	86°	N 341	78°
N 174	88°	N 336	79°
N 154	88°	N 324	82°
N 174	79°	N 328	80°
N 152	52°	N 093	11°
N 180	79°	N 104	84°
N 325	66°	N 190	83°
N 304	44°	N 203	59°
N 350	48°	N 004	61°
N 332	55°	N 005	54°
N 340	47°	N 007	49°
N 328	49°	N 011	40°
N 290	80°	N 008	54°
N 302	79°	N 198	85°
N 287	67°	N 211	84°
N 281	62°	N 217	66°
N 311	79°	N 245	71°
N 345	59°	N 186	25°
N 297	67°	N 196	60°
N 306	77°	N 086	38°
N 116	64°	N 011	82°
N 274	62°	N 020	71°
N 152	35°	N 011	74°

Fuente Investigación de campo. 2 012

Base de datos de fracturas en dique latítico.

DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO	BUZAMIENTO
N 200	25°
N 189	45°
N 194	50°
N 203	51°
N 113	70°
N 110	60°

Fuente: Investigación de campo. 2 012





El Director del Centro Universitario del Norte de la Universidad de San Carlos, luego de conocer el dictamen de la Comisión de Trabajos de Graduación de la carrera de:

Técnico en Geología

Al trabajo titulado:

"Mapeo geológico en San Marcos: Análisis estructural y litológico al suroeste de la Mina Marlin en el municipio de San Miguel Ixtahuacán a escala 1:5 000"

Presentado por el (la) estudiante:

Francisco Javier Juárez Cacao

Autoriza el



"Id y enseñad a todos"



Fredy Giovani Macz Choc Lic. Zoot. M.A. DIRECTOR

Cobán, Alta Verapaz marzo del 2015