

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN



ANÁLISIS GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN EL
DESARROLLO DE LAS RAMPAS DE ACCESO PRINCIPAL Y SU
RELACIÓN CON LA ESTRUCTURA MINERALIZADA, PROYECTO
EL ESCOBAL, SAN RAFAEL LAS FLORES, SANTA ROSA.

LEONARDO MICHAEL CHEN CU

COBÁN, ALTA VERAPAZ, SEPTIEMBRE DE 2015

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN

ANÁLISIS GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN EL
DESARROLLO DE LAS RAMPAS DE ACCESO PRINCIPAL Y SU
RELACIÓN CON LA ESTRUCTURA MINERALIZADA, PROYECTO
EL ESCOBAL, SAN RAFAEL LAS FLORES, SANTA ROSA.

PRESENTADO AL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO DEL
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

POR

LEONARDO MICHAEL CHEN CU
CARNÉ: 200740101

COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO

COBÁN ALTA VERAPAZ, SEPTIEMBRE DE 2015

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR MAGNÍFICO

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

CONSEJO DIRECTIVO

PRESIDENTE: Lic. Zoot. M.A. Fredy Giovani Macz Choc
SECRETARIA: Lcda. T.S. Floricelda Chiquín Yoj
REPRESENTANTE DE DOCENTES: Ing. Geol. César Fernando Monterroso Rey
REPRESENTANTE EGRESADOS: Ing. Agr. Julio Oswaldo Méndez Morales
REPRESENTANTES ESTUDIANTILES: Br. Fredy Enrique Gereda Milián
PEM. César Oswaldo Bol Cú

COORDINADOR ACADÉMICO

Lic. Zoot. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales

COORDINADOR DE LA CARRERA

Ing. Geol. Sergio David Morán Ical

COMISIÓN DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

COORDINADOR: Ing. MSc. Bernie Gamaliel Castillo Moeschler
SECRETARIA: Inga. Geol. Silvia Friné Cortéz Bendfeldt
VOCAL: Ing. Geol. Osmín Jared Vásquez Hernández

REVISOR DE REDACCIÓN Y ESTILO

Ing. MSc. Julio Enrique Reynosa Mejía

REVISOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Ing. MSc. Bernie Gamaliel Castillo Moeschler

ASESOR

Ing. Geol. Sergio David Morán Ical

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



15 de abril 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
Comisión Trabajos de Graduación
Carrera Geología
CUNOR

Respetables Señores:

Por este medio informo a ustedes que he procedido a la **ASESORÍA** del informe final de Trabajo de Graduación del **T.U. GEOL. LEONARDO MICHAEL CHEN CU**, carné No. **200740101**, titulado: **“ANÁLISIS GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN EL DESARROLLO DE LAS RAMPAS DE ACCESO PRINCIPAL Y SU RELACIÓN CON LA ESTRUCTURA MINERALIZADA, PROYECTO EL ESCOBAL, SAN RAFAEL LAS FLORES, SANTA ROSA”**, el cual considero llena los requisitos establecidos para su aprobación, por lo que someto a consideración de ustedes dicho informe.

Atentamente

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Geol. Sergio David Morán Icaal
Docente Asesor
Carrera Geología, CUNOR



c.c. archivo

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: geologiausaci@gmail.com

Ref. 15-CG-271/2015
13 de agosto de 2015.


Señores
Comisión Trabajos de Graduación
Carrera Geología
CUNOR

Respetables Señores:

Por este medio informo a ustedes que he procedido a la **REVISIÓN** del informe final de Trabajo de Graduación del T.U. **GEOL. LEONARDO MICHAEL CHEN CU**, carné No. **200740101**, titulado: **"ANÁLISIS GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN EL DESARROLLO DE LAS RAMPAS DE ACCESO PRINCIPAL Y SU RELACIÓN CON LA ESTRUCTURA MINERALIZADA, PROYECTO EL ESCOBAL, SAN RAFAEL LAS FLORES, SANTA ROSA"**, el cual considero llena los requisitos establecidos para su aprobación, por lo que someto a consideración de ustedes dicho informe.

Atentamente

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


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



c.c. archivo

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

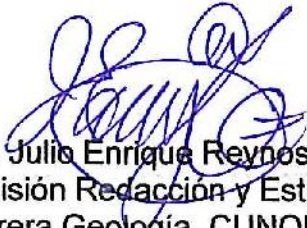
Ref. 15-CG-305/2015
02 de septiembre de 2015.

Señores
Comisión Trabajos de Graduación
Carrera Geología
CUNOR

Respetables Señores:

Por este medio remito el informe Final de Trabajo de Graduación a nivel de grado titulado: **“ANÁLISIS GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN EL DESARROLLO DE LAS RAMPAS DE ACCESO PRINCIPAL Y SU RELACIÓN CON LA ESTRUCTURA MINERALIZADA, PROYECTO EL ESCOBAL, SAN RAFAEL LAS FLORES, SANTA ROSA”**, realizado por el (la) T.U. GEOL. LEONARDO MICHAEL CHEN CU, carné No. **200740101**, el cual ya fue revisado por la **COMISIÓN DE REDACCIÓN Y ESTILO** de la Carrera de Geología, quienes consideramos llena los requisitos establecidos para su aprobación.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. M.Sc. Julio Enrique Reynosa Mejía
Comisión Redacción y Estilo
Carrera Geología, CUNOR



c.c. archivo

HONORABLE COMITÉ EXAMINADOR

En cumplimiento a lo establecido por los estatutos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a consideración de ustedes el trabajo de graduación titulado: ANÁLISIS GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN EL DESARROLLO DE LAS RAMPAS DE ACCESO PRINCIPAL Y SU RELACIÓN CON LA ESTRUCTURA MINERALIZADA, PROYECTO EL ESCOBAL, SAN RAFAEL LAS FLORES, SANTA ROSA, como requisito previo a optar al título profesional de Ingeniero Geólogo.



T.U. Leonardo Michael Chén Cú
Carné: 200740101

RESPONSABILIDAD

“La responsabilidad del contenido de los trabajos de graduación es: Del estudiante que opta al título, del asesor y 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 las bendiciones derramadas hacia mi persona y la sabiduría brindada para poder culminar con éxito esta etapa de preparación personal y profesional.

A mi madre; Marta Amalia, por el amor, comprensión y apoyo brindado en cada momento, por ser un ejemplo de lucha continua y superación, madre muchas gracias.

A mis hermanos y hermanas; Azucena, Gustavo, Emilton, Mariela y Lupita, por su cariño y apoyo incondicional en todo momento.

A mi familia, en especial: América, Alicia, Fredy e Imer, personas a quienes agradezco el apoyo brindado durante mi preparación académica.

A mis amigos, compañeros de estudio y de trabajo; con quienes he compartido momentos alegres y difíciles durante este tiempo de conocerlos.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala y al Centro Universitario del Norte; por darme la oportunidad de formar una carrera profesional en esta casa de estudios.

A mi asesor; Ing. Sergio Moran por el apoyo y consejos compartidos para la finalización de este proyecto de investigación y al grupo de docentes de la carrera de Geología por el apoyo brindado durante los años de estudio.

A la empresa Minera San Rafael S.A.; por darme la oportunidad de realizar este proyecto con la cual, hoy cierro un ciclo de formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

Índice de contenidos	i
Índice de tablas	iii
Índice de fotografías	iv
Índice de figuras	v
Resumen	vii

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

1.1	Planteamiento del problema	1
1.2	El problema	1
1.3	Justificación	1
1.4	Hipótesis	2
1.5	Antecedentes	2
1.6	Objetivos	3
	a. General	3
	b. Específicos	3
1.7	Limite y alcances de la investigación	3
1.8	Localización y extensión	4
1.9	Accesos	6
1.10	Marco geológico regional	8
	1.10.1 Estratigrafía	8
	a) Grupo Valle de Ángeles	8
	b) Grupo Nueva Santa Rosa	9
	c) Unidades Volcánicas Terciarias Cuilapa	11
	1.10.2 Geología estructural	13

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

2.1	Generalidades	17
2.2	Diseño y perfil de la obra subterránea	17
	2.2.1 Altura de Piso	18
	2.2.2 Altura de hombros de la obra	18
	2.2.3 Altura de cielo de la obra	19
2.3	Altura de levantamiento geológico	21
	2.3.1 Levantamiento a la altura del cielo de la obra	21
	2.3.2 Levantamiento a la altura del hombro de la obra	22
2.4	Procedimiento del levantamiento Geológico	23
	2.4.1 Punto de control	23
	2.4.2 Colocación de cinta y brújula	25
	2.4.3 Medicion topográfica	26
	2.4.4 Levantamiento a cielo u hombros	28
	2.4.5 Medicion de inclinación de estructuras	31
	2.4.6 Ploteo de datos en mapa de planta	32
	2.4.7 Obtención de datos geo mecánicos	34
2.5	Metodología para la determinación de dominios estructurales	36
	2.5.1 Selección del área de evaluación	38
	2.5.2 Determinación de subdominios estructurales por niveles	40
	2.5.3 Correlación de subdominios entre niveles	40
	2.5.4 Modelo de dominios estructurales	41

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1	Generalidades	43
3.2	Geología local	43
	3.2.1 Unidad de Capas Rojas (Cr)	44
	3.2.2 Andesita Porfiritica (Ap)	46
	3.2.3 Dique Andesitico (Ad)	47
3.3	Zonación de Alteración Hidrotermal	49
	3.3.1 Alteración argilica fuerte (ArF)	50
	3.3.2 Alteración argilica leve (ArL)	51
	3.3.3 Propilitizacion leve-moderada (PLM)	52
	3.3.4 Alteración silica (ASil)	53
3.4	Dominios Estructurales	56
	a) Dominio I	56
	b) Dominio II	56
	b) Dominio III	57
	c) Dominio IV	57

3.5	Dominios estructurales por niveles de desarrollo	60
3.5.1	Dominios estructurales nivel 1 340 msnm	60
3.5.2	Dominios estructurales nivel 1 315 msnm	65
3.5.3	Dominios estructurales nivel 1 290 msnm	71
3.5.4	Dominios estructurales nivel 1 265 msnm	77
3.6	Correlación de dominios estructurales entre niveles	83
3.7	Modelo de estructuras mayores entre niveles	87
3.7.1	Geometría entre estructuras	89
3.7.2	Modelo tridimensional de las estructuras mayores	90

CONCLUSIONES

3.7	Conclusiones generales	93
3.8	Conclusiones específicas	94

RECOMENDACIONES

97

BIBLIOGRAFÍA

99

ANEXOS

I	Mapa geológico vista planta, nivel 1 340 msnm	103
II	Mapa geológico vista planta, nivel 1 315 msnm	105
III	Mapa geológico vista planta, nivel 1 290 msnm	107
IV	Mapa geológico vista planta, nivel 1 265 msnm	109
V	Modelo de dominios estructurales, vista de planta	111
VI	Modelo de dominios estructurales, vista isométrica 1	113
VII	Modelo de dominios estructurales, vista isométrica 2	115

ÍNDICE DE TABLAS

1	Coordenadas <i>UTM</i> del área de estudio	4
----------	--	---

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

1	Estructuras visualizadas a la altura del cielo de la obra	22
2	Estructuras cartografiadas a la altura del hombro de la obra	23
3	Ejemplar de un punto de control o laser	25
4	Ilustración sobre la colocación de cinta y brújula	26
5	Medición topográfica en un frente de avance	27
6	Levantamiento geológico a la altura de cielo de la obra	29
7	Levantamiento geológico a la altura de hombros (vista lateral izquierda de la obra)	30
8	Medición de inclinación de las estructuras geológicas	31
9	Unidad de Capas Rojas	45
10	Unidad de Andesita Porfírica	46
11	Unidad de Dique Andesítico	48
12	Argilización fuerte en Unidad de Andesita Porfírica	50
13	Argilización Leve	51
14	Alteración Propilitica	53
15	Alteración Silica	54

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Localización geográfica del área de investigación	5
2	Vías de acceso al área de investigación	7
3	Distribución regional de unidades litológicas	13
4	Lineamientos principales del Bloque Chorti	14
5	Sección esquemática de la parte septentrional del Bloque Chorti y la zona de sutura del Motagua	15
6	Esquema de la sección tipo de las obras subterráneas	18
7	Elementos que constituyen el diseño de la obra subterránea	20
8	Lámina de control topográfico (Vista de planta)	24
9	Mapa geológico de campo (Vista de planta)	33
10	Parámetros medidos en la caracterización geo mecánica de Bienawski	35
11	Relación entre las tres clases principales de Ontología	36
12	Sección longitudinal del diseño de las obras subterráneas (línea de referencia 1601375, vista hacia el norte)	39
13	Secuencia de unidades litológicas	13
14	Columna lito-estratigráfica general	49
15	Zonificación de los tipos de alteración hidrotermal (sección longitudinal, referencia 1601375, vista al norte)	55
16	Jerarquía de clases de la estructura geológica	59
17	Diagrama de roseta y estéreo falsilla para el dominio <i>E-W</i>	60
18	Diagrama de roseta y estéreo falsilla para el dominio <i>N20°W</i>	61
19	Diagrama de roseta y estéreo falsilla para el dominio <i>N45°E</i>	62
20	Planta nivel 1 340 msnm	63
21	Diagrama de roseta y estéreo falsilla para el dominio I	65
22	Diagrama de roseta y estéreo falsilla para el dominio II	66
23	Diagrama de roseta y estéreo falsilla para el dominio III	67
24	Grietas de cuarzo <i>vrs</i> grietas de cuarzo-calcita	68
25	Planta nivel 1 315 msnm	69
26	Diagrama de roseta y estéreo falsilla para el dominio I	71
27	Diagrama de roseta y estéreo falsilla para el dominio <i>N45°E</i>	72
28	Sistema <i>E-W vrs</i> sistema <i>N45°E</i>	73
29	Diagrama de roseta y estéreo falsilla para el dominio <i>N-S</i>	74
30	Planta nivel 1 290 msnm	75
31	Diagrama de roseta y estéreo falsilla para el dominio II	78
32	Diagrama de roseta y estéreo falsilla para el dominio <i>N-S</i>	79
33	Dominio <i>N-S vrs</i> dominio <i>N45°E</i>	80
34	Planta nivel 1 265 msnm	81
35	Estructuras regionales y mecanismos focales para Guatemala	84
36	Modelo de elipse de deformación dextral, asociado a la zona de falla Jalpatagua	85
37	Modelo de cremalleras o <i>zipper</i> (triple unión de fallas)	87
38	Geometría entre estructuras principales (Modelo 2D)	90

RESUMEN

La investigación titulada análisis geológico estructural en el desarrollo de las rampas de acceso principal y su relación con la estructura mineralizada, proyecto El Escobal, San Rafael las Flores, Santa Rosa, abarca 700 m de largo, por una distancia vertical de 80 m, el cual brinda datos sobre el comportamiento estructural en cuatro subniveles de desarrollo subterráneo, de dicho proyecto.

Se identificó en el área de estudio tres unidades litológicas las cuales en su orden lito-estratigráfico desde la base al techo son: Unidad de Capas Rojas, Unidad de Andesita Porfírica y Dique Andesítico. Las andesitas se ubican discordantemente sobre las Capas Rojas, mientras que el Dique es un cuerpo intrusivo que corta ambas unidades.

Dentro de los cuatro niveles de desarrollo (1 340 msnm a 1 265 msnm) analizados, se definieron cuatro dominios estructurales en base a estructuras mayores como fallas con milonita, zonas de cizalla asociadas a la mineralización y sistemas de fracturamiento conjugado. Las orientaciones predominantes son: Dominio I; *E-W*, Dominio II *N50°E*, Dominio III *N20°W* y Dominio IV *N-S*.

El nivel 1 340 msnm se encuentra influenciado principalmente por los dominios estructurales I y III. Un sistema de fallas con orientación media *E-W* es la de mayor incidencia en este nivel, un segundo orden de fallamiento es *N30°W* asociado a fallas con espesores promedios de 0,60 m a 1,50 m con relleno de milonita.

En el nivel 1 315 msnm predomina el dominio estructural III cuya orientación media es $N25^{\circ}W$, un segundo orden de comportamiento es hacia el noreste con orientaciones promedio $N20^{\circ}E$ a $N50^{\circ}E$. El dominio NE se relaciona con un sistema de vetas con la misma orientación las cuales se asocian a la estructura mineralizada mayor (orientada $E-W$).

Los niveles 1 290 msnm y 1 265 msnm guardan una estrecha relación, en ambos el dominio estructural predominante es el II, con orientación media $N50^{\circ}E$. El dominio III con orientación promedio $N20^{\circ}W$ es de menor incidencia en ambos niveles. Las dos orientaciones permiten visualizar un sistema conjugado de fallas mayores y zonas de fracturamiento asociados a éstas.

De acuerdo al arreglo geométrico existente entre los tres dominios estructurales, se define que la zona de tensión para el área de investigación se encuentra orientada al $N70^{\circ}E$ y una compresión en general al NW , las mismas que guardan una relación con el marco tectónico regional a nivel superficial.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Existe limitada información técnica, explicativa y descriptiva en cuanto a la caracterización del levantamiento geológico-estructural en el desarrollo de una obra minera a nivel subterráneo, puesto que la mayor parte de la explotación de los recursos mineros en Guatemala se realiza a cielo abierto.

Un dominio estructural se establece en función de la geometría, dinámica y cinemática que guardan las estructuras, sin limitar la interpretación únicamente a las variaciones laterales; por lo cual es necesario considerar las variaciones verticales existentes.

El comportamiento de los dominios estructurales refleja la dinámica que tiene un sistema tectónico regional en una zona determinada.

1.2 El problema

¿Cómo se relaciona la tectónica regional del sureste de Guatemala con los dominios estructurales del sistema mineralizado El Escobal, en el área de San Rafael Las Flores, Santa Rosa?

1.3 Justificación

La importancia de la investigación surgió como un aporte al conocimiento sobre las actividades que se desarrollan en los proyectos

mineros y específicamente en minería subterránea, para correlacionar la información existente a nivel superficial con lo que se genera a nivel del subsuelo.

De acuerdo a la identificación de los dominios estructurales en el área subterránea del proyecto El Escobal, se explica el comportamiento lateral y vertical de las zonas compresivas y distensivas que afectan el desarrollo de las rampas de acceso principal a la zona de mineralización.

La determinación de los dominios estructurales permitió identificar las relaciones entre comportamiento estructural local con respecto a los modelos teóricos propuestos del marco tectónico regional del sureste de Guatemala.

1.4 Hipótesis

Los dominios estructurales persistentes en el sistema de mineralización El Escobal, son el resultado de los componentes distensivos y compresivos asociados a la zona de falla de Jalpatagua y la zona de grabens de la ciudad de Guatemala.

1.5 Antecedentes

Para el área específica de San Rafael Las Flores, no se tiene un registro previo acerca de una correlación de la geológica estructural entre el subsuelo y los rasgos estructurales que se aprecian en superficie.

Únicamente se tienen las descripciones realizadas por el departamento de geología de exploración del proyecto El Escobal, las cuales describen las principales tendencias estructurales a nivel superficial relacionadas al área investigación.

1.6 Objetivos

a. Generales

Analizar el comportamiento geológico-estructural en el desarrollo de las rampas de acceso principal del proyecto El Escobal y determinar su correlación con la estructura mineralizada; en una longitud de 700 m a escala 1:250, en San Rafael las Flores, Santa Rosa.

b. Específicos

- a) Describir e ilustrar el proceso de levantamiento geológico a detalle (escala 1:250) en una longitud de 700 m de desarrollo de la rampa de acceso principal.
- b) Identificar la variación lateral y vertical del tipo de alteración hidrotermal que predomina en la estructura mineralizada.
- c) Analizar el comportamiento estructural a lo largo del desarrollo de las rampas de acceso principal, mediante la identificación de dominios estructurales.
- d) Contrastar la dinámica de la zona de cizalla local del sistema de mineralización El Escobal, con el modelo tectónico regional del sureste de Guatemala (sistema de falla Jalpatagua).

1.7 Límite y alcances de la investigación

Mediante el análisis y la interpretación sobre la geometría, dinámica y cinemática que guardan las principales estructuras asociadas al sistema de mineralización el Escobal, se estableció los dominios estructurales que afectan de manera local al área de investigación.

La investigación se limita a 700 m de extensión lateral y 80 m de profundidad vertical. Se analizó el comportamiento estructural de cuatro subniveles desarrollados en el área subterránea (1 340, 1 315, 1 290 y 1 265) todos referidos a la elevación sobre el nivel del mar (msnm).

1.8 Localización y extensión

El proyecto El Escobal se ubica al suroeste del país, en el departamento de Santa Rosa, y en específico; el área de interés está en los alrededores del municipio de San Rafael Las Flores. (Figura 1).

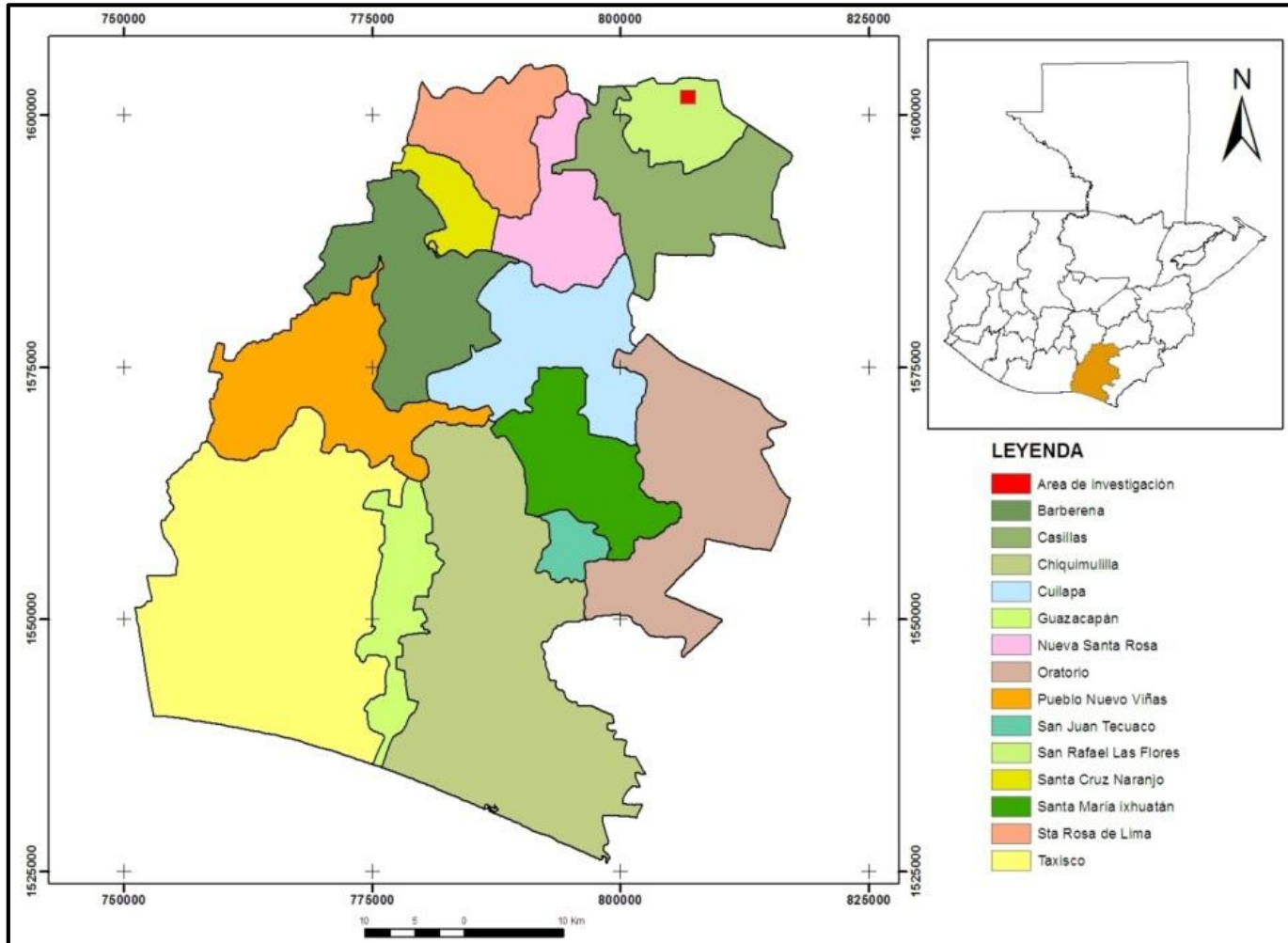
La extensión del área de investigación se especifica mediante una longitud de 700 m de extensión lateral y 80 m de profundidad vertical. Las coordenadas *UTM* (*Universal transverse Mercator*, sistema de coordenadas universal transversal de Mercator) del área de incidencia se enlistan en la tabla siguiente.

TABLA 1
COORDENADAS *UTM* DEL ÁREA DE ESTUDIO

VÉRTICE	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE
A	806300	1601500
B	807000	1601500
C	806300	1601350
D	807000	1601350

Fuente: Investigación de campo. Año 2 013.

FIGURA 1
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN



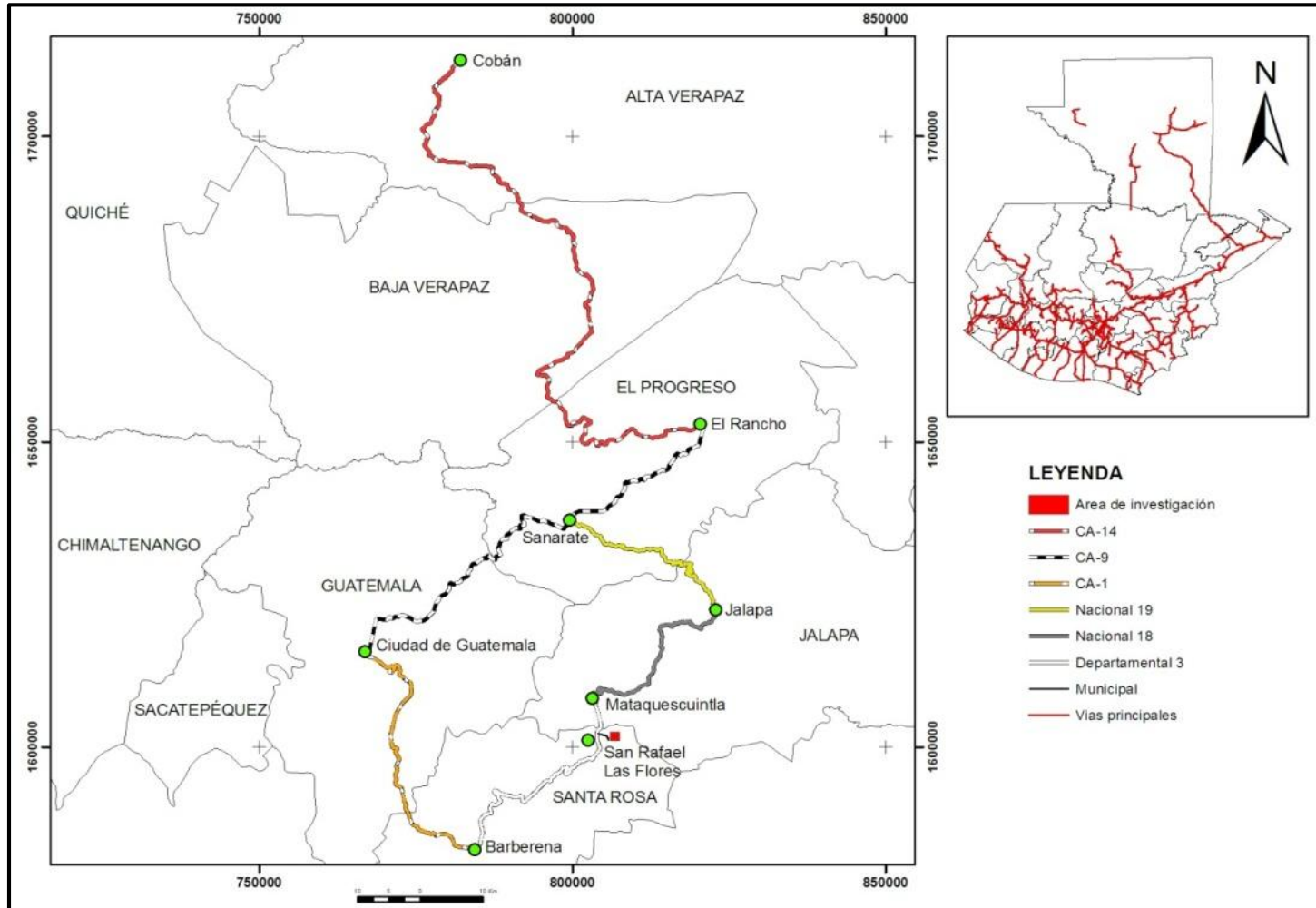
Fuente: Investigación de campo. Año 2 013.

1.9 Accesos

El área de estudio dista 97 km de la ciudad capital sobre la carretera nacional CA-1, (en su totalidad asfaltada). De la ciudad capital se debe conducir hacia Barberena, Santa Rosa y luego buscar la ruta hacia Mataquescuintla que conduce directamente a San Rafael Las Flores.

De Cobán al área de estudio existen 240 km, inicialmente se conduce sobre la carretera CA-14 hasta llegar al Rancho, El Progreso, luego se transita sobre la CA-9 con destino al cruce de Sanarate y posteriormente dirigirse hacia el departamento de Jalapa sobre la ruta nacional 19. Al llegar a la entrada de Jalapa se debe ubicar la carretera nacional 18 la cual bordea el municipio de Mataquescuintla y finalmente llegar a San Rafael Las Flores (Figura 2).

FIGURA 2
VÍAS DE ACCESO AL ÁREA DE INVESTIGACIÓN



Fuente: Investigación de campo. Año 2 013.

1.10 Marco geológico regional

En el siguiente apartado se hace mención de los aspectos generales relacionados a las unidades litológicas circundantes al área de investigación y los rasgos estructurales que se evidencian a nivel superficial.

1.10.1 Estratigrafía

Regionalmente y desde el punto de vista estratigráfico; las unidades sedimentarias denominadas Grupo Valle de Ángeles, Grupo Nueva Santa Rosa y las unidades volcánicas terciarias de Cuilapa, todas pertenecientes al Bloque Chorti, se encuentran relacionadas con las unidades litológicas que afloran en las cercanías de San Rafael Las Flores (Figura 3).

a) Grupo Valle de Ángeles

Originalmente investigadas y descritas por Mills Et. Al. 1967, la cual adjudican su localidad tipo en Valle de Ángeles, parte central de Honduras.

Pérez Bol¹ acerca de la litología de este grupo describe: “Esta compuesta predominantemente por capas rojas; conglomerado, areniscas y lutitas, y en menor proporción, caliza. El grupo se ha dividido en tres unidades principales: a) conglomerados y capas rojas inferiores de grano grueso, concordantes con rocas carbonáticas del Cretácico inferior del Grupo Yojoa. b) Secuencias carbonáticas de posición media de edad Cenomaniana y c) capas rojas superiores de grano fino que son localmente yesíferas”.

¹ Edgar Rolando Pérez Bol, *Léxico Estratigráfico del Bloque Chortí en Guatemala*, Tesis de Grado, (Guatemala: Usac/Cunor, Marzo 2 000), 49.

Pérez Bol continúa con la descripción de estas unidades inferior y superior de Capas Rojas, indica que: las Capas Rojas inferiores se distinguen del bloque superior por las características texturales, grano más grueso, más conglomeráticas y de colores más variables. Las areniscas varían localmente de composición de cuarzosa a feldespática y líticas con granos pelíticos; las estructuras sedimentarias primarias sugieren condiciones fluviales.

Al respecto de las capas rojas superiores Pérez Bol² en el año 2000 indica: “La secuencia de capas rojas superior del Grupo Valle de Los Ángeles es generalmente de grano más fino y más uniformemente roja que las secuencia inferior. Típicamente consiste de arenisca fina, limolita, lutita y arcillita de color rojo ladrillo, parduzco a marrón, y localmente tiene capas de conglomerado de guijones-guijarros de caliza redondeada en una matriz arenosa cuarzosa roja”.

Con respecto a la edad establece que el grupo está limitado por la edad Cenomaniana de las rocas carbonáticas subyacentes y la probable edad Oligocena de las rocas volcánicas más antiguas superyacentes.

b) Grupo Nueva Santa Rosa

Descritas inicialmente por Reynolds Et, Al, 1977, sin tener definida una localidad tipo para este grupo, indica que incluye unidades volcánicas que afloran en los cuadrángulos Nueva Santa Rosa, San José Pinula y Cuilapa (Figura 3).

² Ibid., 49.

Pérez Bol ³ en el año 2000 respecto a la litología de este grupo especifica: “las rocas volcánicas Terciarias del cuadrángulo Nueva Santa Rosa son predominantemente tobas soldadas, flujos de lava y sedimentos volcánicos. Estos se depositaron de forma subaérea, excepto los sedimentos volcánicos que se depositaron en cuerpos lacustres locales”.

Dentro de las principales unidades que Pérez Bol en el año 2000 especifica para este grupo se encuentran: Toba soldada de riolacita y riolita, puede ser dividida en miembros inferior y superior, separados por una sección de sedimentos tobáceos bien estratificados. Los afloramientos sanos presentan rocas duras, tobas riolíticas y flujos, bien diaclasados de color gris a rojo y masivas, las alineaciones de fragmentos de pómez son comunes.

Sedimentos volcánicos: en general, los sedimentos volcánicos son sedimentos de baja energía, inmaduros, pobremente seleccionados. La subunidad de grawaca es una arenisca volcánica pobremente estratificada y seleccionada, bastante endurecida. Los lahares de El Chupadero consisten de grandes guijarros andesíticos en una matriz de líticos más pequeños y lodo. Otros tipos de roca en esta unidad son paraconglomerados, y repeticiones cíclicas de lodositas y pómez de grano grueso.

Las Andesitas y Basaltos no diferenciados varían de color desde rojo a gris oscuro y negro. Los especímenes sanos muestran fenocristales de plagioclasas de grano fino a medio en una matriz de grano fino de color rojo a negro.

³ Ibid., 82.

Finalmente Pérez Bol⁴ sobre las Tobas Pomáceas endurecidas indica que la superficie sana de la variedad de grano fino es un material afanítico de color blanco o bronceado o gris. Mezclado con el material fino hay fragmentos oscuros igualmente finos. También hay algo de biotita. La variedad tobácea tiene fragmentos líticos de composición basáltica y dacítica principalmente. Estos están en una matriz de pómez granulada y astillas pomáceas aplastadas. Hay cristales de biotita esparcidos uniformemente en la matriz.

La edad atribuida para este grupo es Terciario; pre-Mioceno medio, una determinación radiométrica en biotita de un granito que intruye las capas volcánicas más antiguas del cuadrángulo Nueva Santa Rosa dio una edad de 15,7 Ma (millones de años).

c) Unidades volcánicas terciarias Cuilapa

Descritas inicialmente por Dobson y otros en 1977. Se especifica la localidad tipo en el cuadrángulo Cuilapa, relacionado con los volcánicos Ixhuatán, Santa María Ixhuatán, esquina sureste del cuadrángulo Cuilapa.

Pérez Bol⁵ acerca de la litología indica: presencia de Toba riolítica soldada; roca blanca a rosada con bandeamiento paralelo debido a astillas de vidrio soldadas fácilmente visibles. Hay fenocristales de biotita de hasta 1 mm de largo. La toba riolítica es cristalina, de grano fino, porfirítica con fenocristales euhedrales o quebrados.

⁴ Ibid., 84-85.

⁵ Ibid., 89-90.

Andesitas sin dividir: cuando están sanas, son de color gris a gris oscuro y mayormente porfiríticos. Frecuentemente muestran textura de flujo y también desarrollan fuerte diaclasamiento horizontal, hojoso.

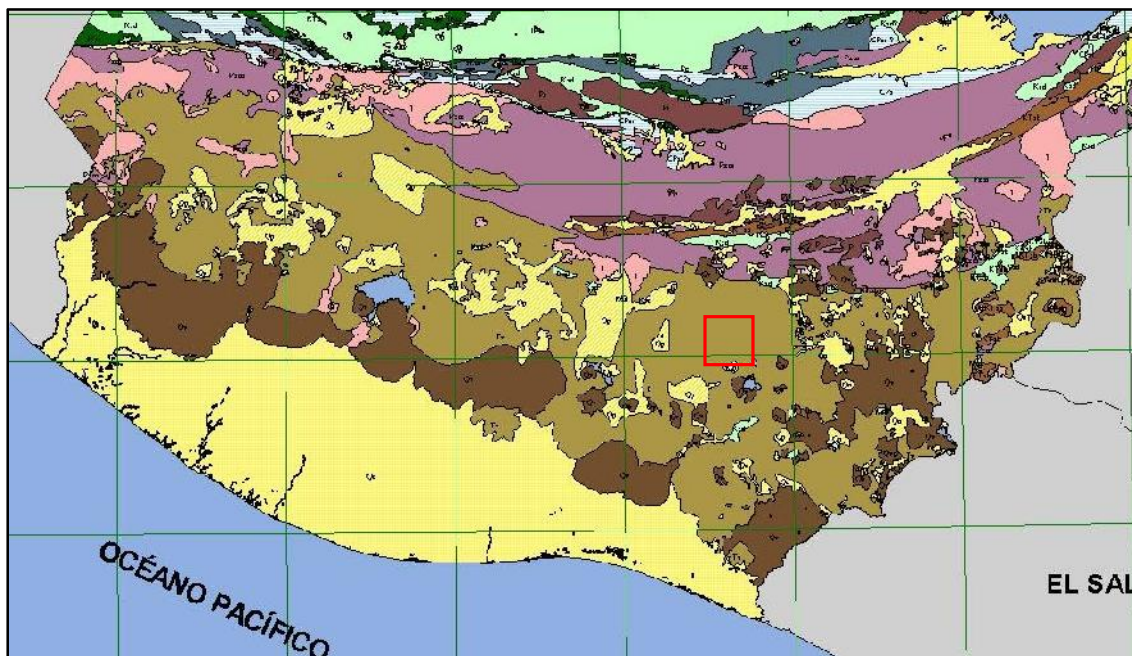
Andesitas, basaltos y brechas: está compuesto de numerosos flujos que muestran solo ligeras diferencias. Los basaltos más ampliamente distribuidos son de una variedad de augita afaníticos a porfiríticos seriados. El color generalmente es gris oscuro, pero en muchos afloramientos parecen grises claro a casi blancas debido a la meteorización.

Las capas de ceniza tienen grano fino de coloración clara con inclusiones líticas desde 2 cm en las capas más delgadas hasta 2 m en los depósitos más gruesos. Las inclusiones líticas son 100 % basálticas con fragmentos alargadas con rumbo y cabeceo generalmente hacia el *NW*. La mayor parte de la ceniza expuesta ha sido meteorizada con coloración bronceada o gris.

Con respecto a la edad Bol⁶ indica que se le adjudica edad Terciario superior o en el límite Terciario-Cuaternario para la unidad de Andesitas y Basaltos más jóvenes, mientras que los productos eruptivos pueden ser dados principalmente como Plioceno, únicamente sobre la base de unas pocas floras diatomáceas.

⁶ Ibid., 92.

FIGURA 3
DISTRIBUCIÓN REGIONAL DE UNIDADES LITOLÓGICAS



Fuente: Tomado del mapa geológico de Guatemala, MAGA, 2 001.

1.10.2 Geología estructural

El área de influencia se encuentra a nivel regional dentro del Bloque Chortí de Guatemala, éste consiste en un bloque alóctono que se encuentra dentro de la placa del Caribe y colinda con el Bloque de Norte América por medio del sistema de fallas Motagua, Jocotan Chamelcón y su relación con la falla Chixoy-Polochic.

Perez Bol⁷ en el año 2000, acerca del marco tectónico regional indica: “El bloque Chortí forma parte de la placa del caribe, una unidad litosférica independiente entre las grandes placas de Norteamérica y de Sudamérica. En su configuración tectónica regional el bloque Chortí limita con el bloque Maya al NW, con el bloque Chorotega al SE y con la Placa de Cocos, al Sur”.

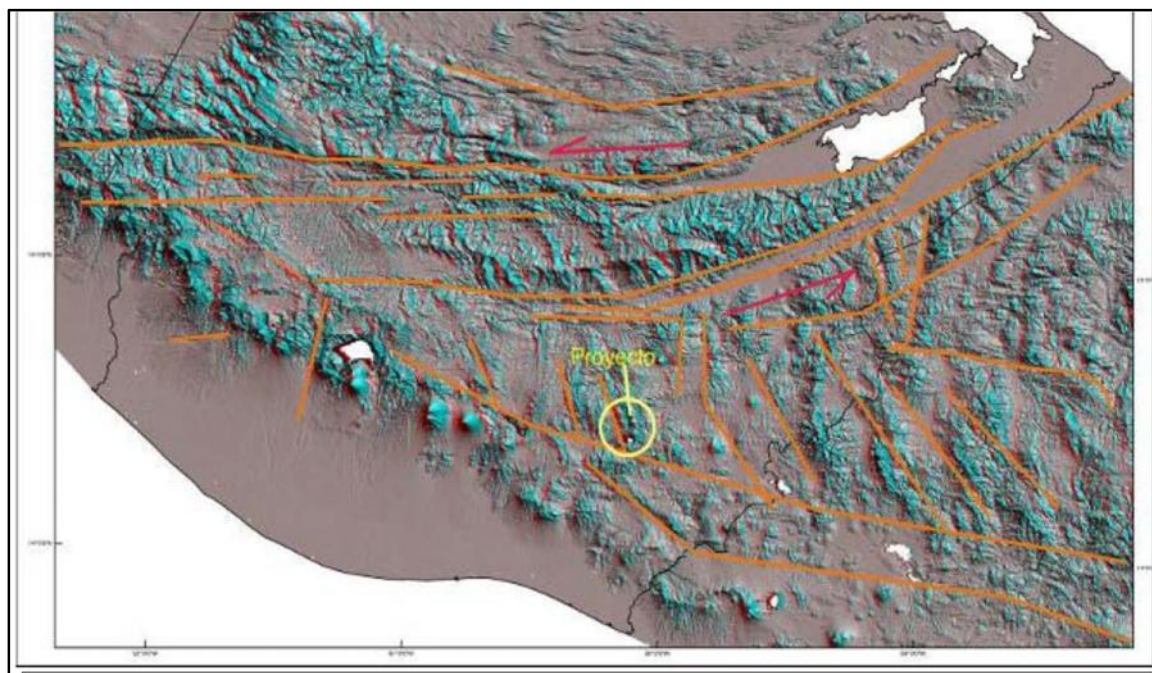
⁷ Ibid., 6.

La interacción de las placas produce dos localidades de triple unión e intensa actividad tectónica, principalmente en las zonas de falla y la cadena volcánica asociada a la Fosa Mesoamericana.

La influencia de los sistemas de falla regionales Jocotan-Chamelcón y Motagua, se aprecian en el área de investigación, la cual define la región como una zona estructuralmente débil y que a lo largo de la evolución tectónica se han desarrollado estructuras regionales como, grabens, calderas y la evolución de conos volcánicos. (Figura 4)

Hacia la parte sur la presencia del sistema de falla Jalpatagua (de rumbo dextral), que por su cercanía puede tener influencia significativa para el área de estudio.

FIGURA 4
LINEAMIENTOS PRINCIPALES DEL BLOQUE CHORTI

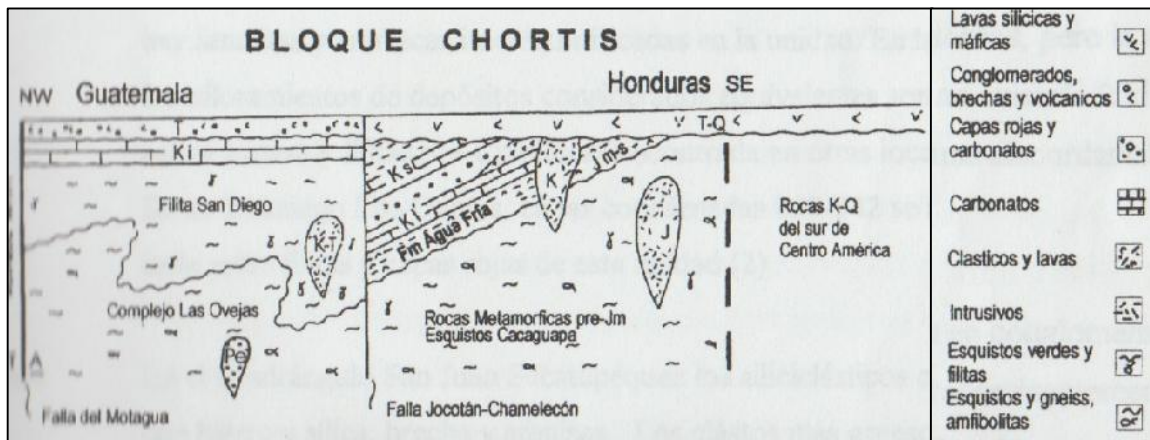


Fuente: Estudio hidrogeológico del proyecto de exploración, Minera San Rafael, Santa Rosa. Año 2 010.

Acerca del bloque Chorti, Pérez Bol en el año 2000 indica que las rocas volcánicas Cuaternarias dentro del bloque, caen en dos grupos, aquellas paralelas a la costa del Pacífico y que son parte de la cadena volcánica centroamericana, y las asociadas con fallas y grabens de tendencia *N-S* en el occidente de El Salvador-sureste de Guatemala y la parte central de Honduras (Figura 5).

El vulcanismo cuaternario a lo largo del Pacífico es de tipo calco-alcalino, mientras que algunas de las rocas volcánicas asociadas con el fallamiento normal pertenecen a un conjunto alcalino. A continuación se presenta un esquema de la parte septentrional del Bloque Chortí en la cual se ejemplifica la sección de la zona de sutura del Motagua.

FIGURA 5
SECCIÓN ESQUEMÁTICA DE LA PARTE SEPTENTRIONAL DEL BLOQUE CHORTÍ Y LA ZONA DE SUTURA DEL MOTAGUA



Fuente: Léxico Estratigráfico del bloque Chorti en Guatemala. Tesis de grado. Edgar Rolando Perez Bol. Año 2 000.

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1 Generalidades

La cartografía geológica conlleva a la recopilación de datos litológicos, estructurales y tipos de alteración dentro de una determinada área de interés económico desde el punto de vista de recursos minerales. A continuación se detalla la metodología para el levantamiento geológico en obras subterráneas y determinación de dominios estructurales para el proyecto El Escobal, Santa Rosa, Guatemala.

2.2 Diseño y perfil de la obra subterránea

Previo a indicar cuál es el procedimiento para el levantamiento geológico en desarrollo subterráneo es pertinente indicar y especificar las dimensiones *standard* de las obras, para comprender cierta terminología a utilizar en la descripción del método.

La obra subterránea tiene una sección de 5 m de ancho x 6 m de altura, con un diseño de bóveda en la parte más alta de la infraestructura (figura 6), la cual le permite realizar una distribución uniforme de los esfuerzos litostáticos a las cuales se encuentra sometida la excavación en los diferentes niveles. En la siguiente figura se ejemplifica la sección tipo de las obras dentro del proyecto El Escobal.

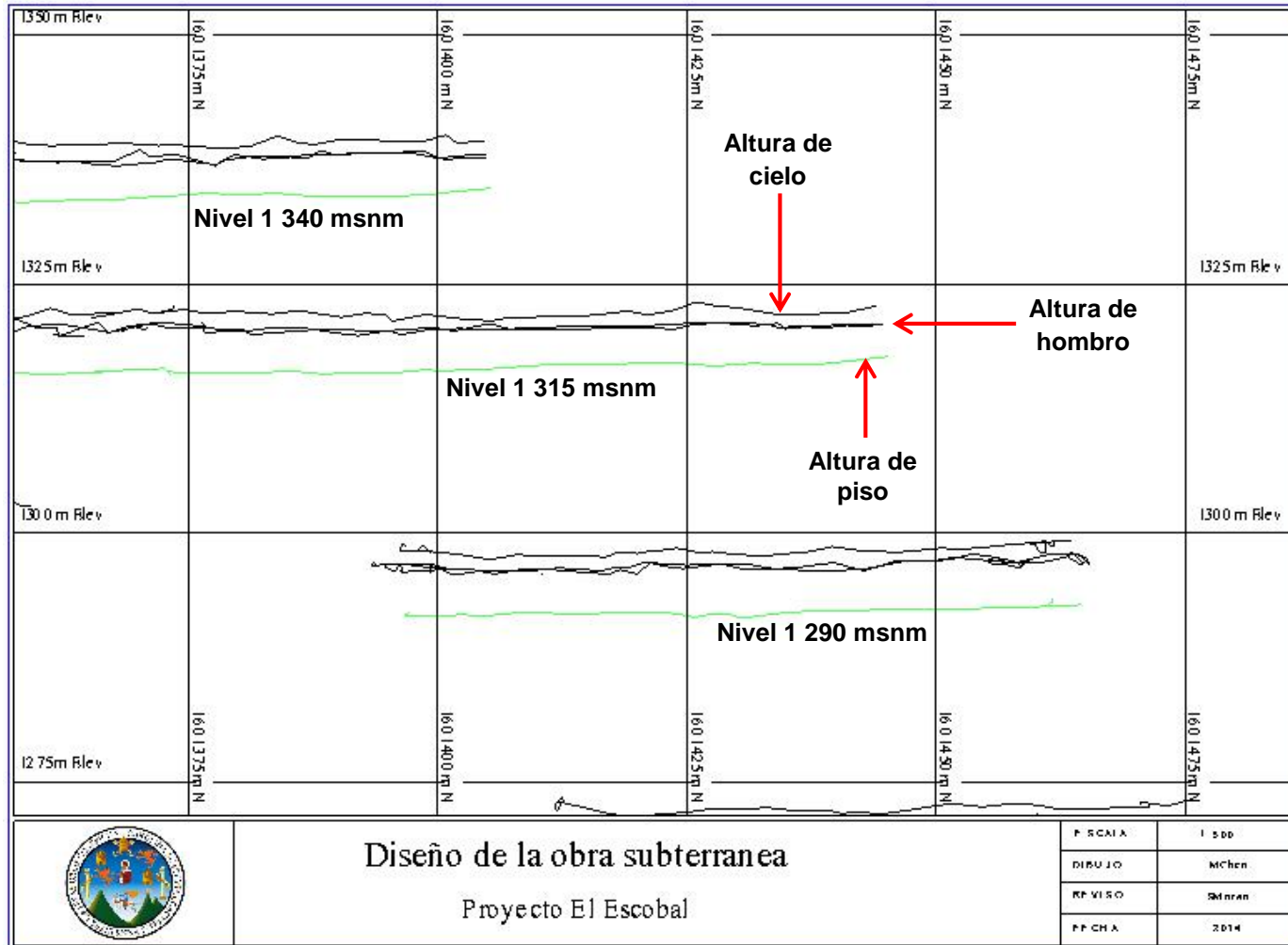
el punto de división entre la bóveda y las paredes netamente verticales del túnel.

2.2.3 Altura de cielo de la obra

Es generalmente la parte más alta en el diseño de las obras. Es importante resaltar que dentro del levantamiento geológico, la altura de cielo comprende toda el área que se encuentra inmersa dentro la bóveda que forma el diseño de la obra.

En la siguiente figura se muestra una sección longitudinal en la cual se observan tres subniveles desarrollados en los cuales se indican las partes del diseño de las obras, de acuerdo a los términos indicados anteriormente (Figura 7).

FIGURA 7
ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL DISEÑO DE LA OBRA SUBTERRÁNEA (VISTA DE PERFIL Z-Y)



Fuente: Investigación de campo. Año 2 014.

2.3 Altura de levantamiento geológico

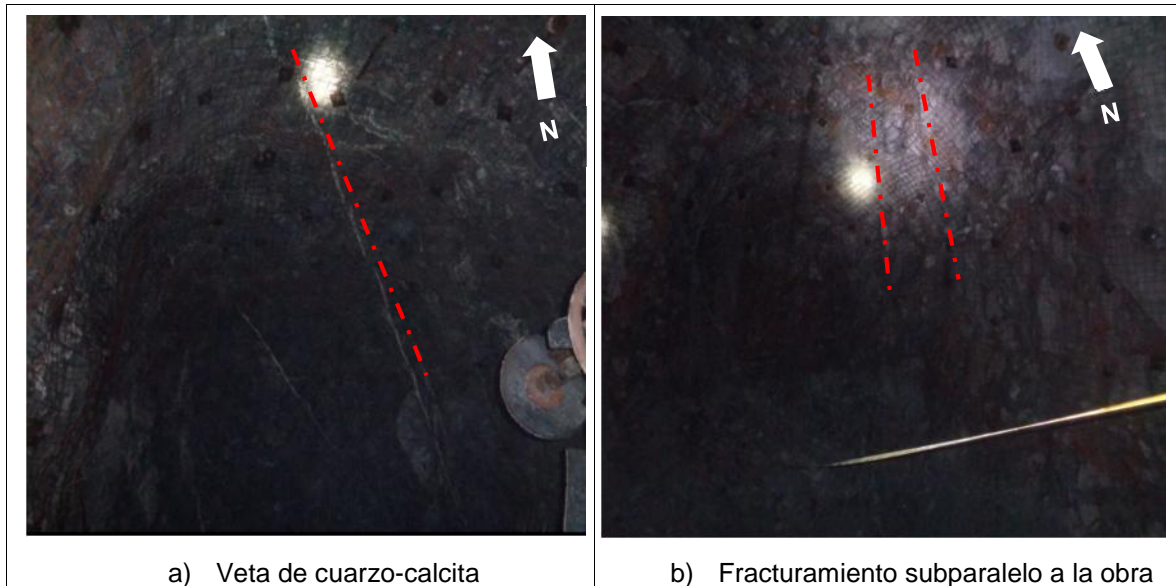
De acuerdo al orden y la forma como se visualizan las estructuras geológicas que se miden en el campo, se determina si el levantamiento de dichas estructuras se realiza a la altura de cielo u hombro de la obra.

2.3.1 Levantamiento a la altura del cielo de la obra

Una determinada estructura (fractura, falla, estratificación, veta) que se observe en toda su persistencia y extensión, únicamente en los puntos altos (cielo de la obra) de la sección del túnel; es considerada como un levantamiento a la altura del cielo.

Para un correcto levantamiento es importante mantener la misma altura en los puntos medidos para luego ser dibujados en el mapa geológico de planta. Para realizar la medición se debe indicar un punto de inicio y otro final en donde es visible la estructura, para que pueda ser representada en el mapa de planta (Fotografía 1).

FOTOGRAFÍA 1
ESTRUCTURAS VISUALIZADAS A LA ALTURA DEL CIELO DE LA OBRA



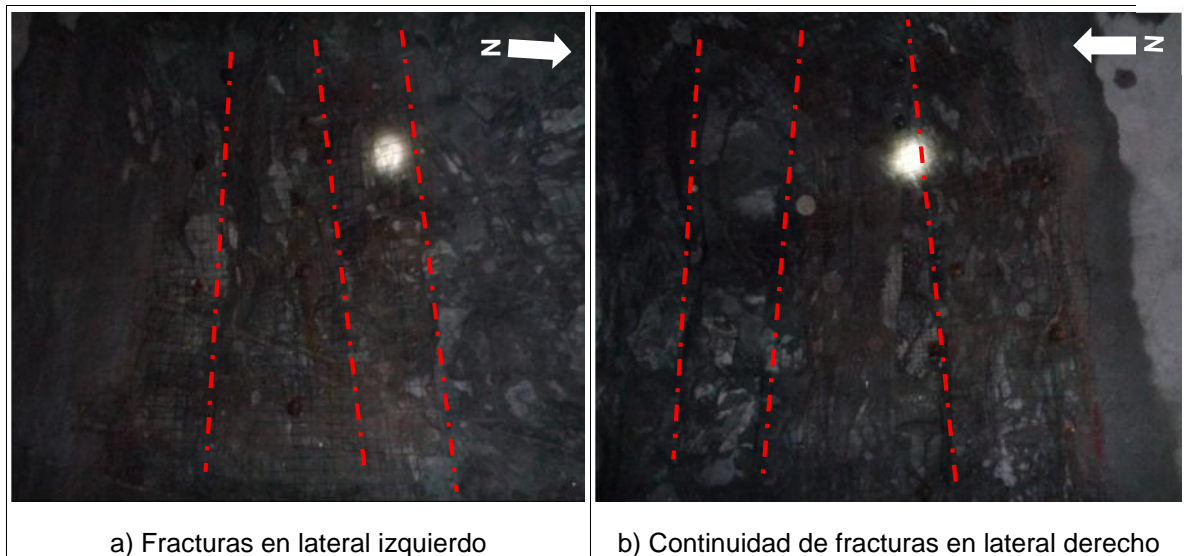
Tomada por: Michael Chen. Año 2 014.

Generalmente las estructuras que se miden bajo esta metodología, son aquellas que se encuentran subparalelas o bien al rumbo de la dirección de desarrollo de la obra.

2.3.2 Levantamiento a la altura del hombro de la obra

Esta metodología de levantamiento geológico, hace referencia a las estructuras que atraviesan de forma transversal o diagonal la sección de la obra, las cuales son medidas bajo un punto de referencia en ambos laterales de la obra. Por lo consiguiente el punto a considerar para este tipo de estructuras es en el inicio de la bóveda del diseño (Fotografía 2).

FOTOGRAFÍA 2
ESTRUCTURAS CARTOGRAFIADAS A LA ALTURA DEL HOMBRO DE LA
OBRA



Tomada por: Michael Chen. Año 2 014.

Estas estructuras pueden llegar a presentar en ocasiones inclinaciones de muy bajo ángulo, las cuales deben de analizarse con el debido cuidado, para determinar si la altura a la cual se medirá la estructura es la más adecuada.

2.4 Procedimiento del levantamiento geológico

En el proceso del levantamiento geológico en obras subterráneas, es importante considerar los siguientes siete aspectos que conllevan a un correcto ejercicio sobre la obtención de los datos litológicos y estructurales.

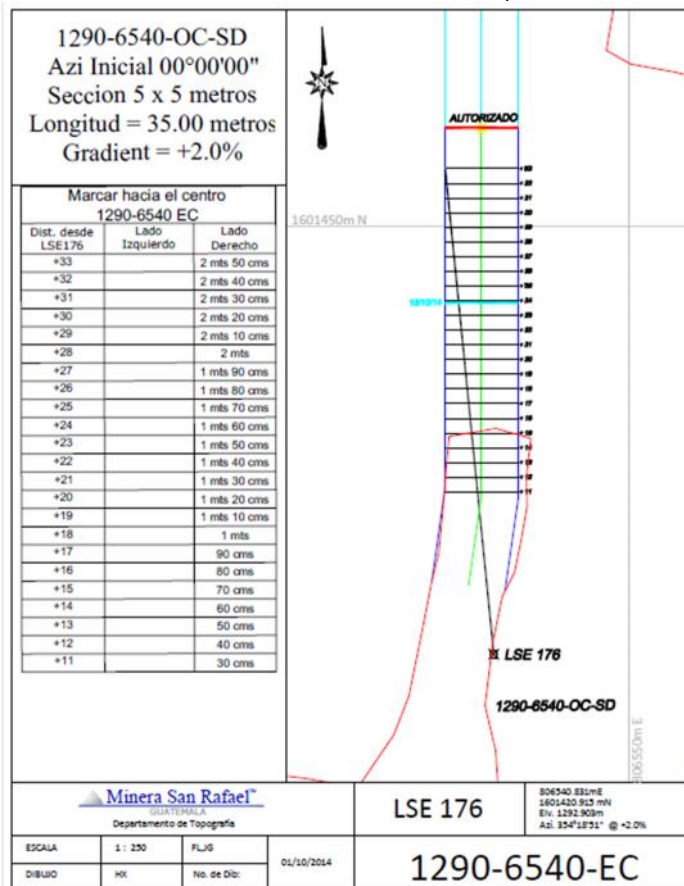
2.4.1 Punto de control

Se refiere a un punto de referencia que se encuentra ubicado espacialmente, es decir tiene adjudicado valores en las tres coordenadas (X, Y, Z). Bajo este punto de referencia se realiza el levantamiento geológico, ya que a partir del mismo se hace la medición hacia el tope de la obra.

El punto de control es llamado “Laser”, debido a que es un accesorio en forma de pequeño cilindro que se instala en las paredes laterales de la obra, orientado hacia los frentes de avance de las distintas obras subterráneas. Este *laser* o punto de control es de alta utilidad para los mineros ya que a partir de él miden cuanto distancia existe hacia el frente de trabajo.

Una vez determinada la distancia; se usa una tabla de referencia topográfica (figura 8), en donde se especifica cuanto deben medir hacia la derecha e izquierda respectivamente en el tope de la obra de acuerdo a la distancia obtenida, con la finalidad de guardar el ancho de la sección tipo del túnel.

FIGURA 8
LÁMINA DE CONTROL TOPOGRÁFICO (VISTA DE PLANTA)



Fuente: Base de datos topográficos. Proyecto El Escobal. Año 2 014.

Los puntos de control generalmente tienen una amplitud de utilidad de 30 m de desarrollo. Una vez finalizada esta distancia es reemplazado y colocado uno nuevo lo más cercano posible a los frentes de trabajo.

FOTOGRAFÍA 3
EJEMPLAR DE UN PUNTO DE CONTROL O LASER



Tomada por: Michael Chen. Año 2 014.

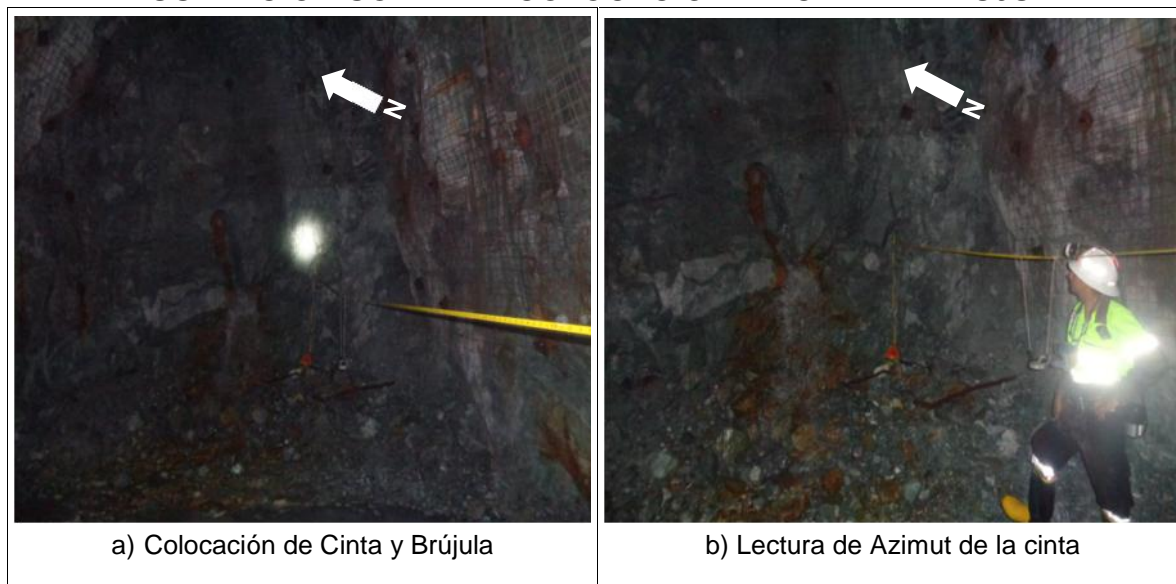
Los *laser* generalmente son ubicados a una altura de 1,50 m con respecto al nivel del piso en las diferentes obras de trabajo. Estos llevan una nomenclatura correlativa de acuerdo a los diferentes niveles de desarrollo, denominados bajo una letra que hace referencia al nivel y un número correlativo.

2.4.2 Colocación de cinta y brújula

El segundo procedimiento básico dentro de las actividades de un levantamiento geológico es la colocación de cinta métrica y la medición de la orientación o rumbo de la misma. Esta actividad es realizada luego de ubicar el punto *laser* bajo el cual se lleva el control del mapeo geológico en las distintas obras.

En la colocación de la cinta y medición del rumbo cabe resaltar dos aspectos importantes; el primero es evaluar las condiciones del área de trabajo y el frente en donde se lleva a cabo el levantamiento geológico. El segundo aspecto es identificar si la obra se encuentra con el soporte adecuado en su totalidad para decidir si la cinta puede colocarse hasta el tope de la obra o será necesario llegar únicamente dos o tres metros antes del último tope de avance (Fotografía 4).

FOTOGRAFÍA 4
ILUSTRACIÓN SOBRE LA COLOCACIÓN DE CINTA Y BRÚJULA



Tomada por: Michael Chen. Año 2 014.

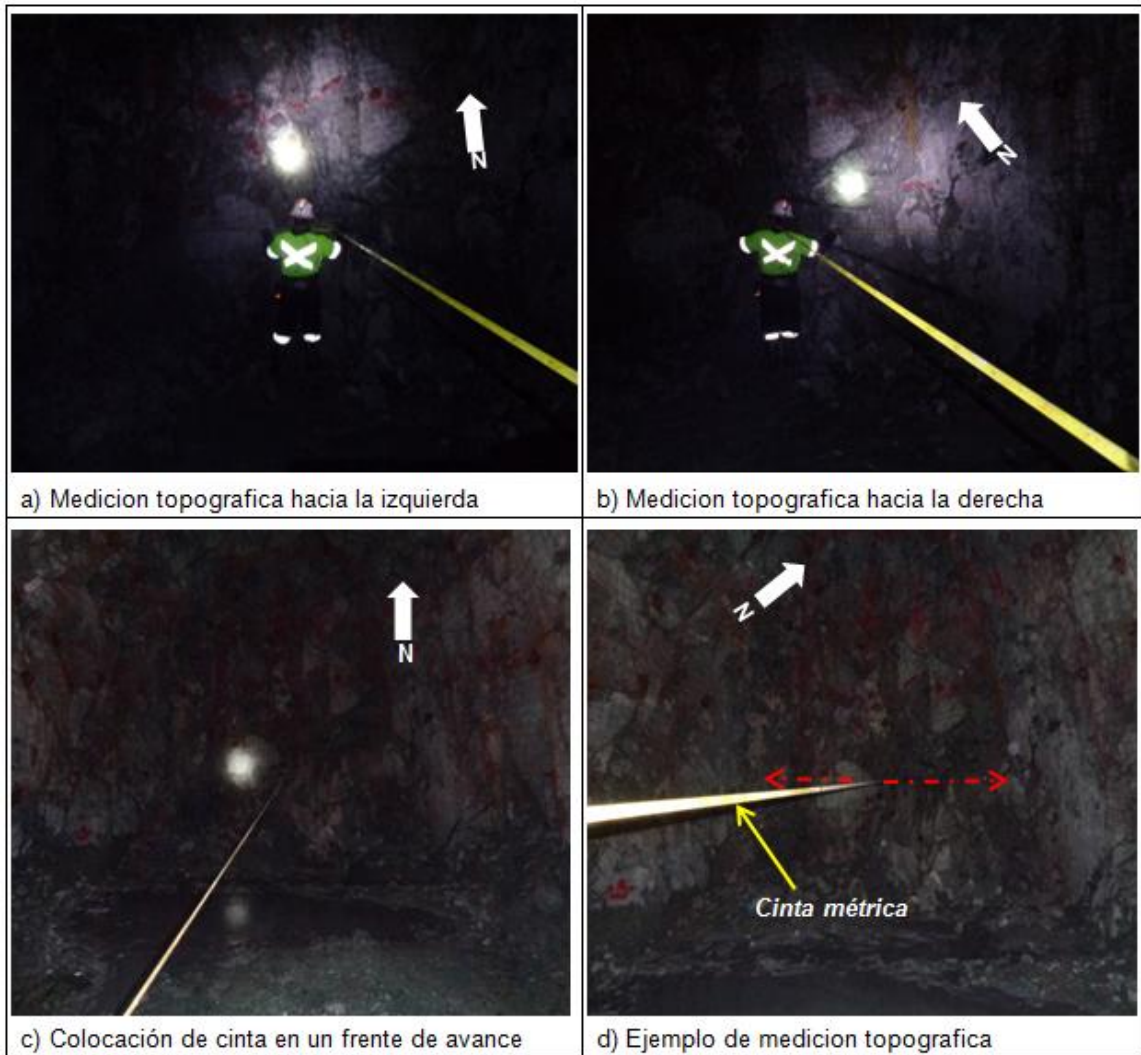
La distancia medida con la cinta desde el punto de control y la orientación de la misma, son datos que se plotean en el mapa de campo para luego dibujar las diferentes estructuras identificadas.

2.4.3 Medición topográfica

Luego de la colocación de la cinta y la medición del rumbo, debe medirse en el tope de la obra, la distancia que existe hacia la derecha e izquierda, con el uso de la cinta métrica de mano (Fotografía 5).

Un dato importante a considerar dentro de las mediciones es; la cinta es un eje de referencia bajo el cual se realizan todas las medidas (topografía y datos geológicos). Razón por la cual todo dato referido a la cinta métrica debe ser medido en forma perpendicular a la misma para una efectiva obtención de datos.

FOTOGRAFÍA 5
MEDICIÓN TOPOGRÁFICA EN UN FRENTE DE AVANCE



Tomada por: Michael Chen. Año 2 014.

La medición topográfica puede variar según sea el caso en particular y dependerá de cuántos avances están pendientes para el levantamiento geológico.

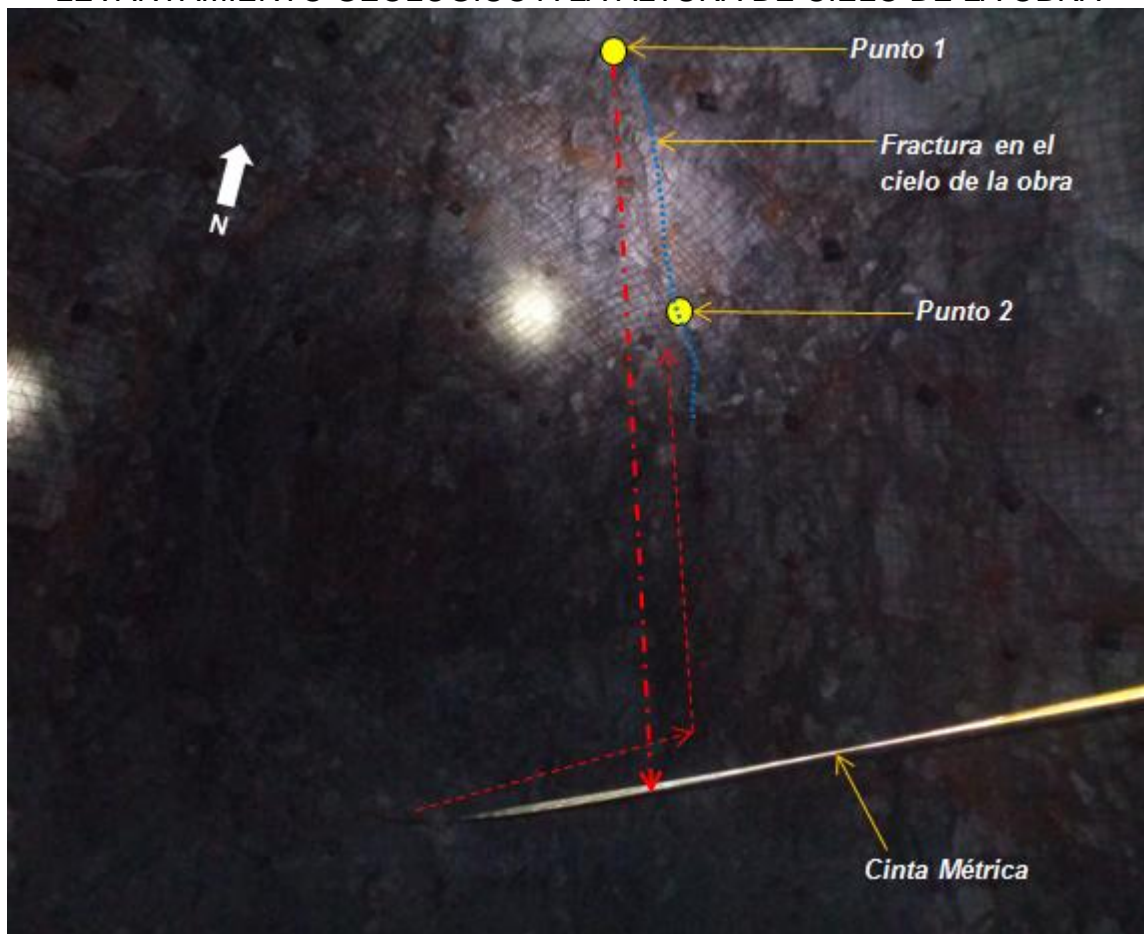
2.4.4 Levantamiento a cielo u hombros

El proceso o método seleccionado para la medición de las estructuras que se observan en las obras, depende de su persistencia y orientación con respecto a la infraestructura.

Estructuras que por su persistencia y ubicación en las obras subterráneas se encuentren dentro del área de influencia de la bóveda (cielo de la infraestructura), son medidas bajo la técnica de levantamiento a cielo de la obra. Esto se debe a que un levantamiento correcto conlleva a que los puntos indicados de las estructuras deben estar ubicados bajo el mismo nivel (Fotografía 6).

La medición de las estructuras se realiza bajo dos puntos de referencia, este se basa en la continuidad de las estructuras, por lo tanto ambos hacen referencia al inicio y final de la estructura respectivamente.

FOTOGRAFÍA 6
LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO A LA ALTURA DE CIELO DE LA OBRA



Tomada por: Michael Chen. Año 2 014.

Como se indicó anteriormente, todo punto medido debe estar referido a la cinta métrica la cual es considerada como un eje principal para el mapeo geológico, razón por la cual los datos deben ser medidos lo más perpendicularmente posible a la cinta métrica.

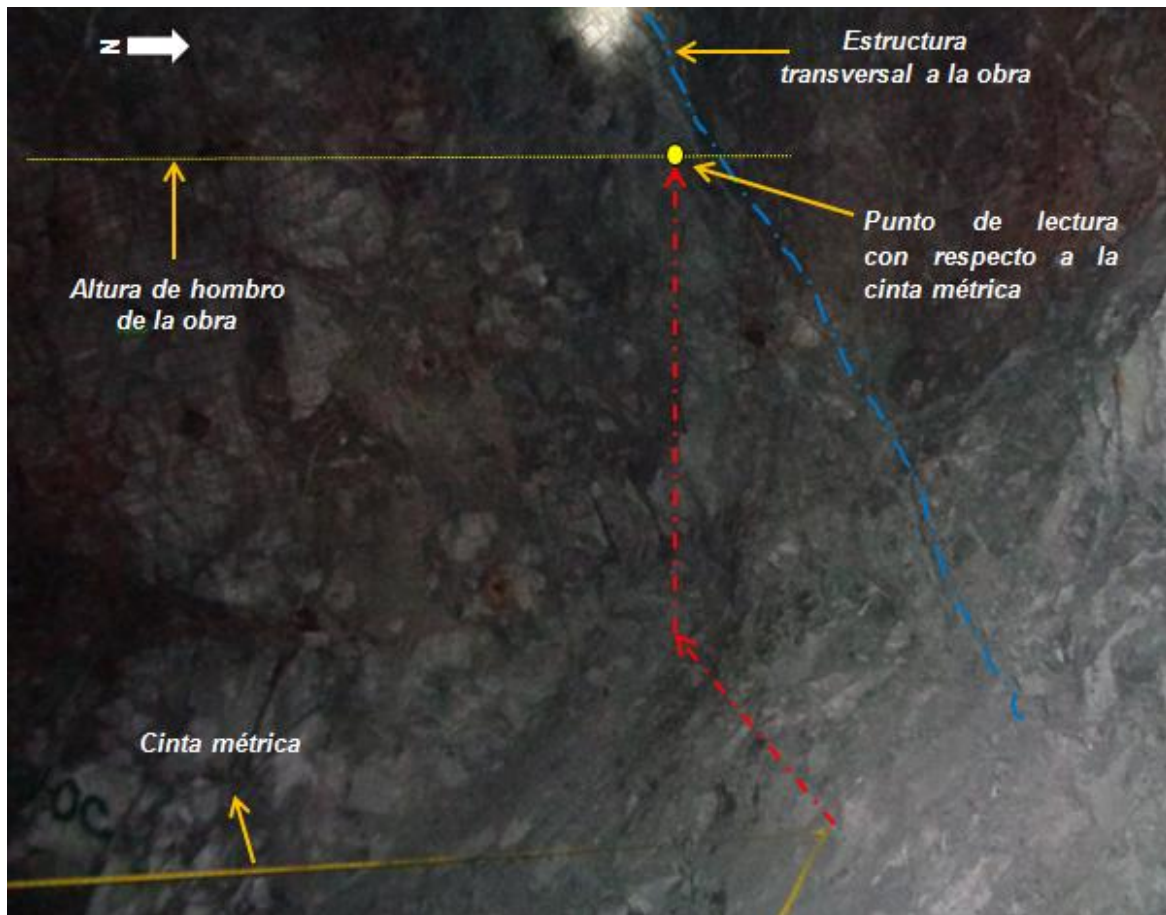
La segunda técnica o método para el levantamiento estructural es la medición a la altura de hombros de la obra.

Consiste principalmente en identificar aquellas estructuras que atraviesan o se visualizan de forma perpendicular al desarrollo de las obras, ya que estas por lo general son vistas en ambos laterales, por

su posible continuidad hacia los extremos o bien hacia los niveles superiores o inferiores (Fotografía 7).

Los datos medidos bajo este método se obtienen en el punto de curvatura del diseño en ambos laterales y de forma perpendicular a la cinta métrica. La persona que realiza las mediciones debe ubicarse paralelo a la cinta para buscar la perpendicularidad que se necesita entre la misma cinta y el punto a medir en los laterales de la infraestructura.

FOTOGRAFÍA 7
LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO A LA ALTURA DE HOMBROS (VISTA LATERAL IZQUIERDA DE LA OBRA)



Tomada por: Michael Chen. Año 2 014.

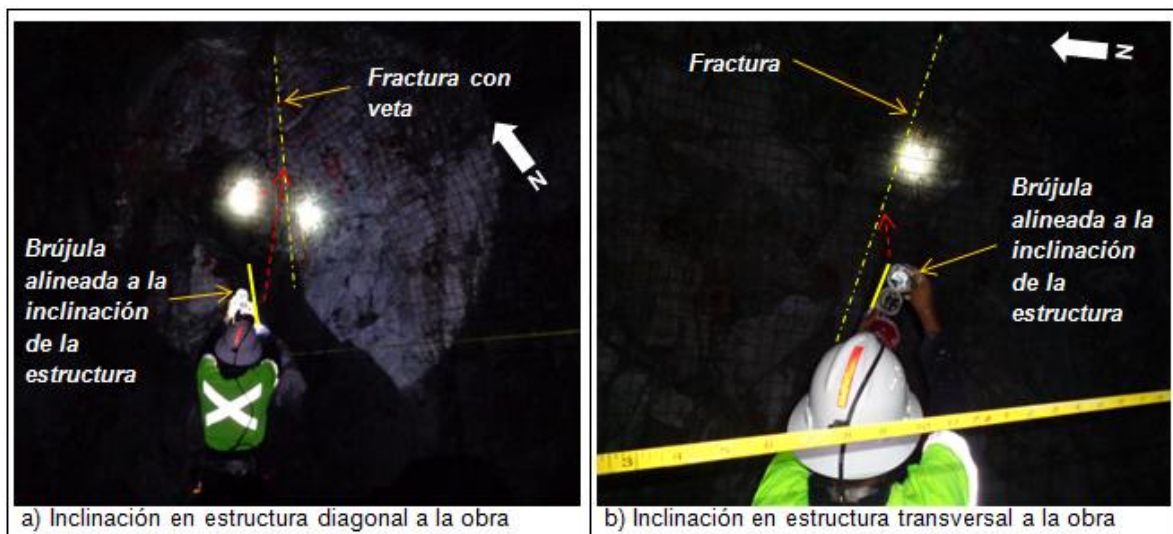
Generalmente se emplea esta metodología con las estructuras que se visualizan de forma transversal y en sentido diagonal con respecto a la obra subterránea, ya que estas pueden cruzar en su totalidad de lado a lado.

2.4.5 Medición de inclinación de estructuras

Para la medición de la inclinación de las estructuras se debe alinear al rumbo de la estructura para buscar una perpendicularidad con la inclinación y en ese punto realizar la lectura (Fotografía 8).

En esta metodología, la brújula no se posiciona directamente sobre la estructura, por lo consiguiente la alineación de la misma debe hacerse de la mejor manera posible para obtener la inclinación real y no una lectura aparente de la estructura. Las caras o superficies externas de ambas tapas de la brújula deben ser alineadas a la inclinación real de la estructura.

FOTOGRAFÍA 8
MEDICIÓN DE INCLINACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS



Tomada por: Michael Chen. Año 2 014.

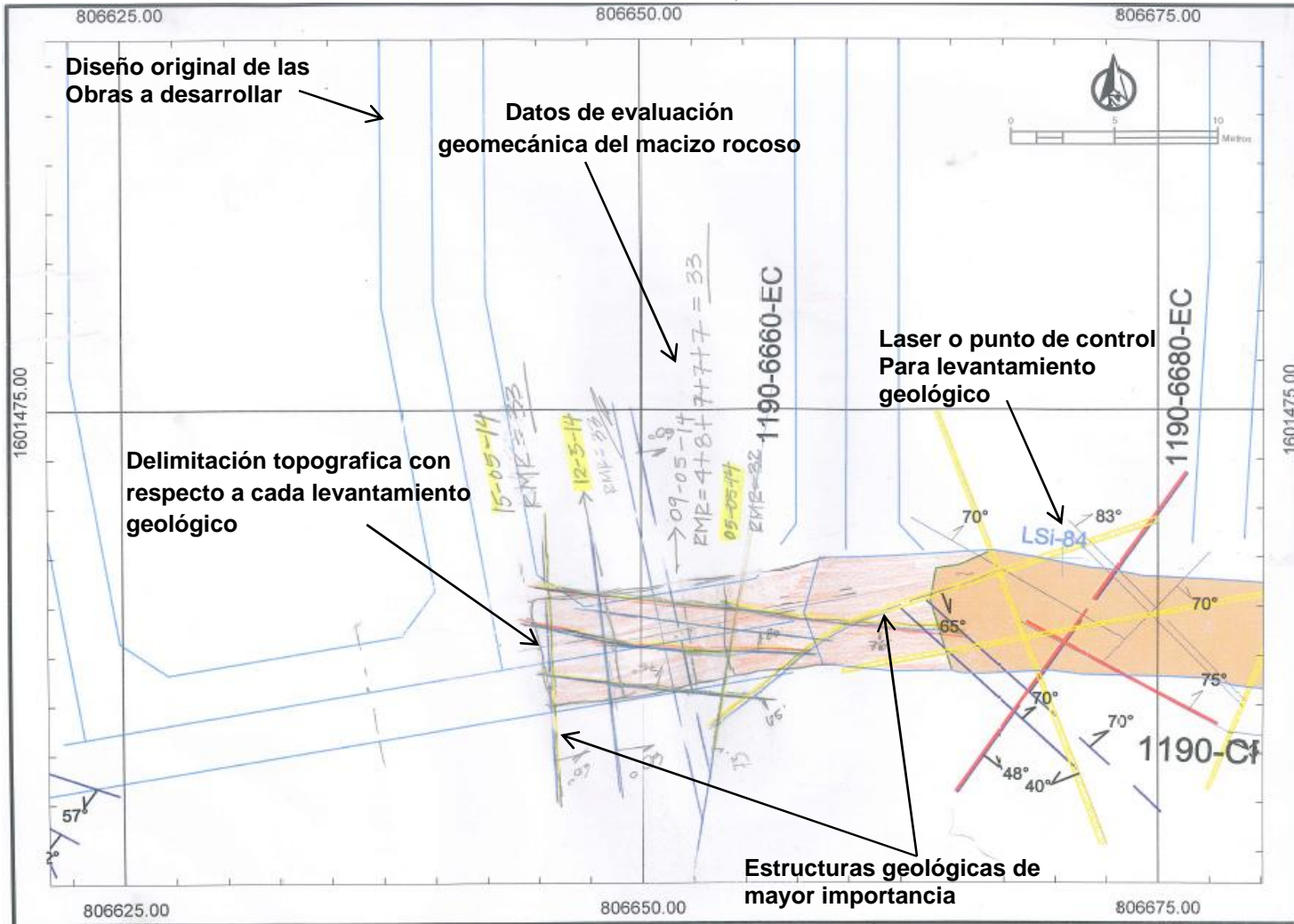
Las estructuras sub horizontales ubicadas en el cielo de la obra se tornan difíciles medir su inclinación real, por lo cual es necesario e importante buscar la mejor ubicación posible para obtener un dato preciso.

2.4.6 Ploteo de datos en mapa de planta

El mapa de campo se utiliza a una escala 1:250, el cual permite llevar un buen detalle de los datos litológicos y estructurales en un levantamiento geológico. El mapa está configurado en una hoja tamaño carta para tener mayor facilidad para su manipulación en campo.

Todos los datos que constituyen el levantamiento geológico son ubicados en el mapa de planta, según el orden descrito para el mapeo geológico (Fotografía 9).

FIGURA 9
 MAPA GEOLÓGICO DE CAMPO, VISTA DE PLANTA



Fuente: Investigación de campo. Año 2 014.

2.4.7 Obtención de datos geomecánicos

Una vez finalizado el levantamiento geológico y detallar el tipo de litología en el que se desarrolla la obra, se procede a obtener los datos geo mecánicos del frente de avance.

Se realiza bajo la metodología de Bieniawski, el cual emplea el *RMR* (*Rock mass rating* o calidad del macizo rocoso). Se determinan seis parámetros principales para realizar dicha caracterización, son estos: a) la resistencia a la compresión simple de la roca, b) *RQD* (*rock quality designation* o índice de calidad de la roca), c) espaciamiento entre fracturas, d) condición de las fracturas, e) presencia de agua, f) corrección por orientación de fracturas.

A cada parámetro se le asigna una ponderación de acuerdo a las condiciones de la roca, cada ponderación es sumada para obtener un dato puntual y con ello determinar la clasificación del macizo rocoso, desde roca de muy mala calidad hasta un rango de roca de buena calidad (Figura 10).

FIGURA 10
PARÁMETROS MEDIDOS EN LA CARACTERIZACIÓN GEO MECÁNICA DE BIENIAWSKI

No.	PARAMETRO		RANGO DE VALORES						
1	RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA	INDICE DE RESITENCIA DE CARGA PUNTUAL	> 8 MPa	8 - 4 MPa	4 - 2 MPa	2 - 1 MPa	Para este rango de valores es preferible utilizar el test de compresión uniaxial		
		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL	> 200 Mpa	200 - 100 Mpa	100 - 50 Mpa	50 - 25 Mpa	25 - 10 Mpa	10 - 3 Mpa	3 - 1 Mpa
	CATEGORÍA		15	12	7	4	2	1	0
2	CALIDAD DE BARRENO DE DIAMANTINA RQD		100% - 90%	90% - 75%	75% - 50%	50% - 25%	< 25%		
	CATEGORÍA		20	17	13	8	3		
3	ESPACIAMIENTO DE FRACTURAS		> 3 m	3 - 1 m	1 - 0,3 m	300 - 50 mm	< 50 mm		
	CATEGORÍA		30	25	20	10	5		
4	CONDICIONES DE LAS FRACTURAS		Superficies muy rugosas Fracturas no continuas Fracturas sin separación Caras de las fracturas duras	Superficies medianamente rugosas Separación < 1 mm Caras de las fracturas con superficies duras	Superficies medianamente rugosas Separación < 1 mm Caras de las fracturas con superficies suaves	Superficies cizalladas o con salbanda <5 mm de grosor o fracturas abiertas 1 - 5 mm Fracturas continuas	Salbanda blanda > 5 mm de grosor o fracturas continuas y abiertas > 5 mm de abertura		
	CATEGORÍA		25	20	12	6	0		
5	RESISTENCIA DE AGUA EN LA ROCA	Flujo de agua por cada 10 m de excavación	No hay flujo		<25 litros/seg	25 - 125 lt/s	> 125 lt/s		
		Presión de agua Esfuerzo principal mayor	0		0 - 0,2	0,2 - 0,5	>0,5		
	Condición General	Completamente seco		Solo humedad	Agua a baja presion	Problemas severos de agua			
	CATEGORÍA		10		7	4	0		

Fuente: Clasificación geo-mecánica de Bieniawski. Año 1 979, modificado por Michael Chen, 2 015.

Con el dato de *RMR* (*Rock mass rating*; calidad del macizo rocoso), obtenido se hace la sugerencia del tipo de soporte a instalar en las diferentes obras evaluadas y con ello guardar la estabilidad en las diferentes áreas de trabajo.

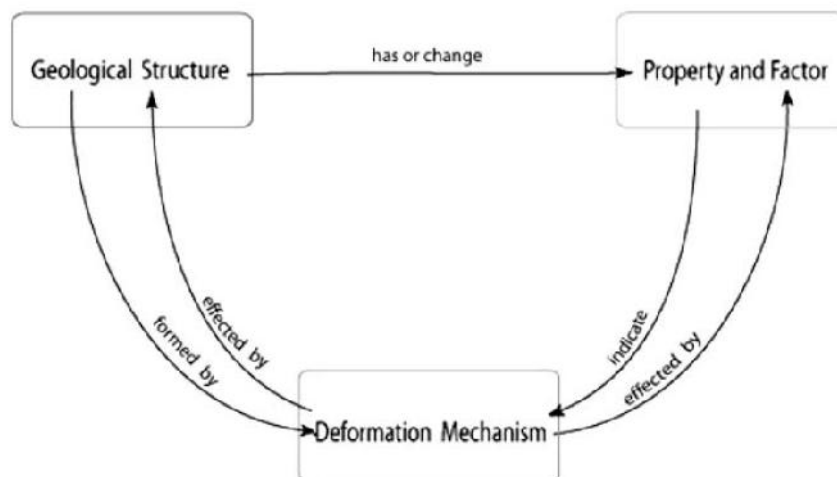
2.5 Metodología para la determinación de dominios estructurales

La interpretación y determinación de dominios estructurales en el proyecto El Escobal aplicado al desarrollo de obras subterráneas, surge como un aporte importante al conocimiento del yacimiento desde el punto de vista geológico-estructural, con el cual se indica la tendencia en el comportamiento lateral y vertical de las estructuras presentes en el área de interés.

El análisis estructural realizado está basado en la metodología utilizada por el departamento de ciencias geológicas y ambientales de la universidad de *Stanford*, de los Estados Unidos de Norte América, a través de una publicación denominada Ontología de fracturas, realizada en una revista de geología estructural de la misma universidad en el año 2009.

La metodología se fundamenta en la interrelación existente entre tres clases mayores; estructuras geológicas, mecanismos de deformación y el factor de propiedad de los elementos en análisis (Figura 11).

FIGURA 11
RELACIÓN ENTRE LAS TRES CLASES PRINCIPALES DE ONTOLOGÍA



Fuente: Ontología de fracturas, Universidad de Stanford. Año 2 009.

De acuerdo a las tres clases mayores visualizadas en el diagrama anterior, se toma como base fundamental para la interpretación del comportamiento estructural en esta investigación, la clase denominada estructura geológica, cuya primera caracterización es a partir de la naturaleza de las estructuras (fallas, juntas, grietas, pliegues, lineaciones, foliación) y luego se basa en las características geométricas, cinemáticas y petrofísicas de los elementos en análisis.

La Ontología de fracturas determina que la primera jerarquización de las estructuras geológicas es un proceso basado en asociaciones comunes entre; componentes estructurales, elementos, zonas, *sets* o múltiples *sets*, dominios y ensambles.

La determinación de los dominios estructurales definidos para el área de investigación está en función de los elementos indicados con anterioridad. Por lo tanto, para cada área analizada se consideraron las fallas mayores (maestras), que por sus características físicas persisten hacia niveles inferiores, familias de fracturas, fracturas conjugadas, grietas de cuarzo-calcita con leve mineralización y grietas de calcita.

2.5.1 Selección del área de evaluación

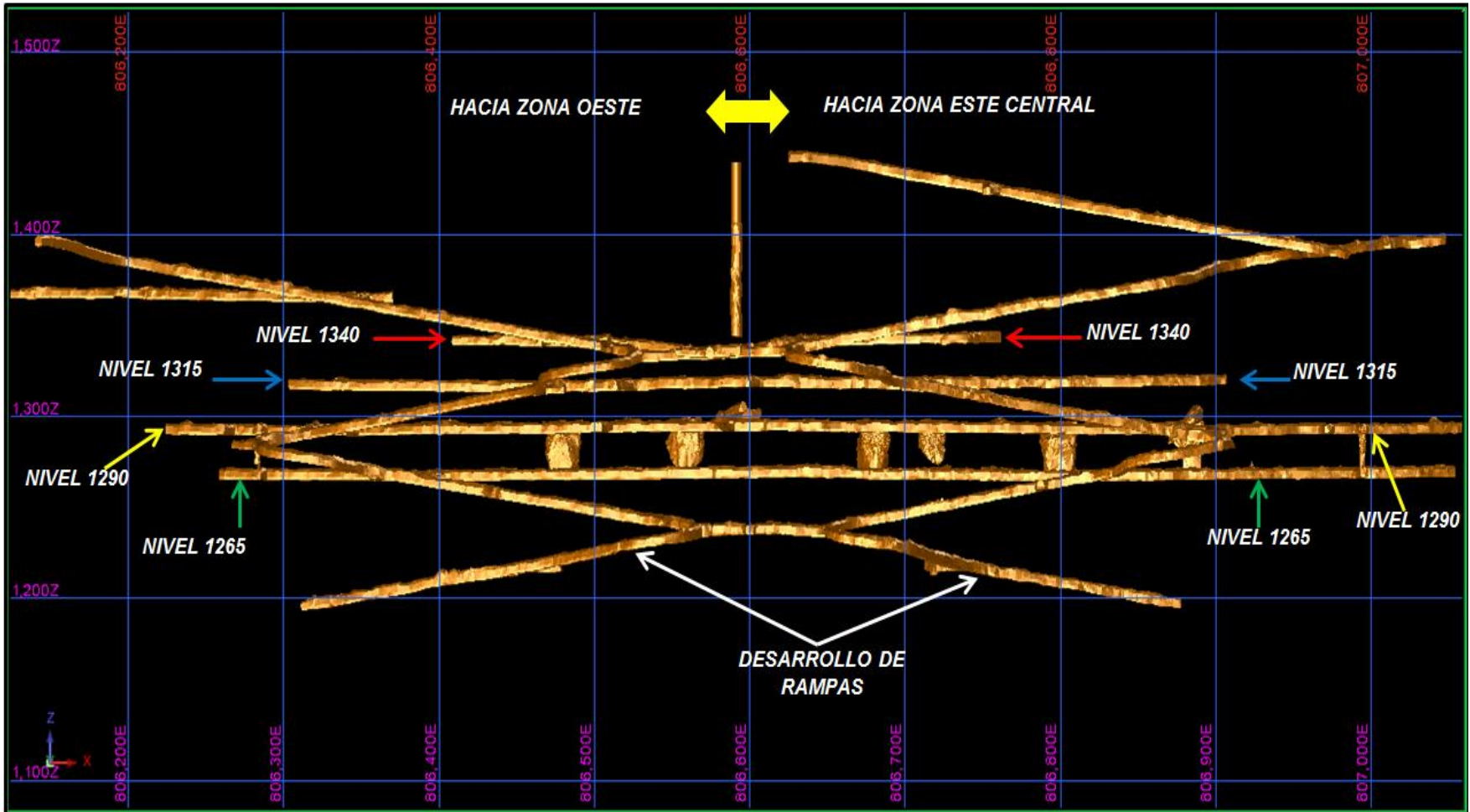
El desarrollo de la obra subterránea se encuentra en función de la altitud sobre el nivel del mar; es decir cada desnivel desarrollado en el interior de la mina tiene como referencia en el punto de acceso dicha altitud. De igual manera el proyecto se encuentra dividido en tres grandes zonas, basado en el sistema de geo referencia de coordenadas *UTM*.

El proyecto El Escobal se encuentra dividido en tres bloques mayores de acuerdo al comportamiento de la zona de mineralización, denominados; zona oeste central, este central y el sector este respectivamente. Esta división se encuentra definida por el sistema de coordenadas *UTM*. Los límites están marcados por las coordenadas este 806300 a 807500.

La extensión de la zona de interés de esta investigación es de 700 m, cuyos límites están delimitados por las siguientes referencias de coordenadas este 806300E a 807000E. Para el caso particular de esta investigación únicamente se analizaron los bloques de la zona oeste (806300 a 806600) y el sector este central (806600 a 807100) del proyecto (Figura 12).

De acuerdo a la referencia indicada anteriormente, los niveles seleccionados para realizar la interpretación estructural del proyecto son niveles: 1 340 msnm, 1 315 msnm, 1 290 msnm y 1 265 msnm, niveles con mayor desarrollo durante la etapa de esta investigación.

FIGURA 12
 SECCIÓN LONGITUDINAL DEL DISEÑO DE LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS (LÍNEA DE REFERENCIA 1601375,
 VISTA HACIA EL NORTE)



Fuente: Investigación de campo. Año 2014.

2.5.2 Determinación de subdominios estructurales por niveles

Los subdominios fueron divididos a partir de las estructuras maestras identificadas en cada nivel de análisis. Las estructuras maestras (fallas con relleno de arcilla), sets de fracturas conjugadas y en determinados niveles la presencia de grietas de cuarzo-calcita mineralizadas, definen el comportamiento estructural en cada nivel.

De acuerdo a la extensión del área de análisis, se dividió por sectores cada nivel para determinar el comportamiento estructural por cada área seleccionada. La división se realizó en base a la extensión de cada nivel y considerar como puntos importantes de referencia, estructuras mayores que inciden en el cambio del patrón estructural visualizado.

Para cada sector y nivel en análisis, se elaboró la roseta y estereograma que representa el set de estructuras que determinan el comportamiento estructural y su posible correlación vertical entre cada nivel.

Con los subdominios se determinó la orientación preferencial de las fallas maestras, el fracturamiento conjugado y las grietas con posible potencial para una futura prospección a nivel subterráneo (Figura 17; dominios estructurales nivel 1 340 msnm).

2.5.3 Correlación de subdominios entre niveles

Los subdominios caracterizados en cada nivel de desarrollo analizados, está basado en el tipo de estructura (fracturas, fallas y grietas) que determina el comportamiento y la tendencia preferencial en cada sector delimitado en los diferentes niveles del proyecto.

La correlación de subdominios entre cada nivel de desarrollo, se estableció a partir de los sets de fracturamiento conjugado, la tendencia de las fallas con milonita y las grietas de cuarzo-calcita mineralizadas, las cuales se encuentran asociadas al sistema principal de mineralización El Escobal.

Los diagramas de rosetas realizados para cada sector y en cada nivel, permitieron identificar la continuidad vertical y lateral de los dominios establecidos, delimitados a partir de las estructuras mayores o también denominadas estructuras maestras, las cuales condicionan la orientación preferencial de las estructuras en los diferentes sectores.

2.5.4 Modelo de dominios estructurales

El modelo de dominios estructurales está representado a partir de las fallas maestras (mayores) identificadas dentro del área de investigación. Estas estructuras consideradas como de mayor importancia debido al espesor, el material de relleno y la sucesión de eventos con relación a la orientación de la zona de mineralización El Escobal, permitieron distinguir la continuidad vertical de cada falla proyectada.

Con la representación de las estructuras mayores proyectadas en los diferentes niveles de análisis, se evaluó cuáles son los bloques con posible potencial para realizar una futura exploración subterránea, en función de la tendencia estructural, tanto del sistema conjugado como también la orientación preferencial de las grietas mineralizadas (Anexos V al VII).

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Generalidades

La geología local para el presente estudio se describió en base al levantamiento geológico realizado durante la etapa de campo, y cuyo ordenamiento y posición estratigráfica se especifica a partir de las descripciones y relaciones de campo de la exploración superficial del proyecto El Escobal.

Los rasgos estructurales se caracterizaron con relación al patrón preferencial y subordinado para cada nivel de análisis, determinando así, cuál es su amplitud de influencia tanto en las extensiones laterales como verticales del área de investigación.

3.2 Geología local

El área de investigación se encuentra inmersa dentro de tres unidades litológicas y de acuerdo a su edad relativa, se nombran de la más antigua a la joven con sus respectivas nomenclaturas, Unidad de Capas Rojas (Cr), Andesita Porfírica (Ap) y Dique Andesítico (Ad). (Anexos I al IV, mapas geológicos vistas de planta).

A continuación se muestra la columna litológica simplificada de las unidades de roca que se encuentran en el área de investigación, que se ubican en orden de la unidad más antigua en la base y la más joven en el techo de la secuencia.

FIGURA 13
SECUENCIA DE UNIDADES LITOLÓGICAS



Fuente: Investigación de campo. Año 2 014.

3.2.1 Unidad de Capas rojas (Cr)

Constituye una secuencia sedimentaria vulcanoclástica que incluyen limolitas, areniscas de grano fino a grueso y flujo de tobas con tamaño de grano fino con mayor persistencia. Ocasionalmente se logran observar horizontes de conglomerado con clastos calcáreos y matriz carbonatada.

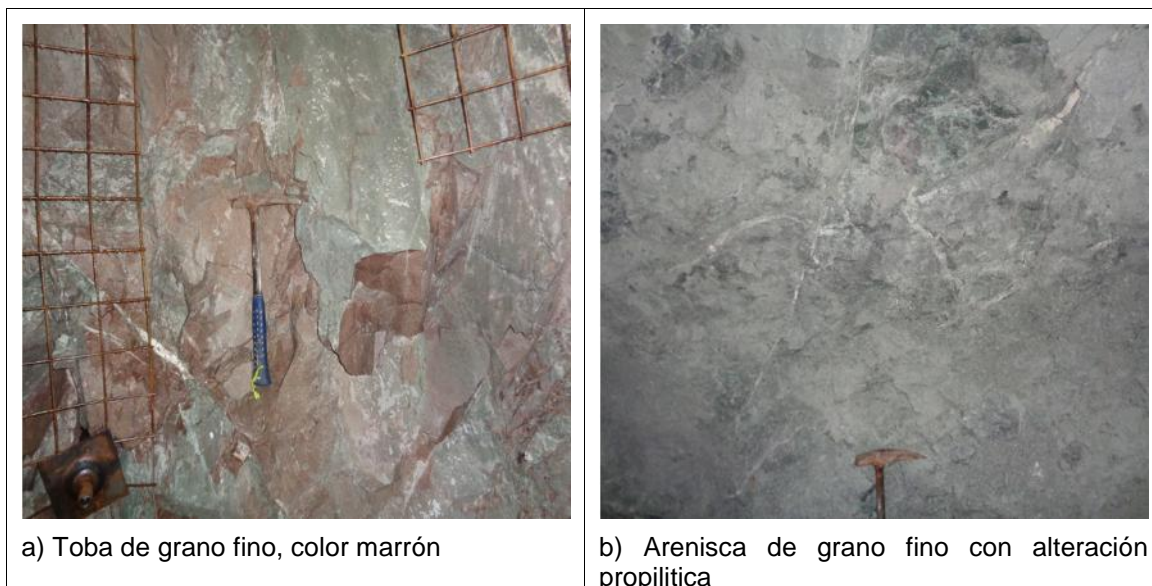
De acuerdo a las descripciones del área de geología de exploración del proyecto El Escobal, esta secuencia de sedimentos puede ser correlacionado a la formación Subinal, sin embargo de acuerdo a la posición geográfica del proyecto en el Bloque Chortí, puede correlacionarse de mejor manera con el Grupo Valle de Ángeles, que se encuentra muy bien descrita en el SW de Honduras.

En el área de investigación predomina la Unidad de Tobas de grano fino a medio, en menor persistencia secuencias de arenisca de grano medio, ambas inmersas dentro de la zona de mineralización en

dirección *E-W*. Esta secuencia de rocas se encuentra en contacto discordante con la Unidad de Andesita.

Las características físicas de esta secuencia constituyen un color rojizo de aspecto ladrillo en la matriz, que varían a tonalidades de color marrón de acuerdo a las áreas cercanas a la mineralización (Fotografía 9). Otro color característico adaptado de acuerdo a la alteración hidrotermal que presentan las rocas es verde claro a esmeralda (por propilitización de leve a moderado).

FOTOGRAFÍA 9 UNIDAD DE CAPAS ROJAS



Tomada por: Michael Chen. Año 2 014.

La secuencia de Capas Rojas se adjudica es el basamento para el área de investigación. De acuerdo a su correlación con la formación Grupo Valle de Ángeles, se infiere una edad Terciario-Cretácico para esta agrupación de rocas. Cabe resaltar que no es objetivo de este estudio definir formalmente las unidades litológicas, se cumple con indicar el tipo de roca, su posición y distribución en el área de interés. (Anexos I al IV, mapas geológicos en vista de planta).

3.2.2 Andesita Porfiritica (Ap)

Esta Unidad de Andesita sobreyace la secuencia de Capas Rojas a través de la zona de contacto de la veta El Escobal. Dicha unidad tiene una matriz de aspecto masivo con textura porfiritica. Mineralógicamente se encuentra compuesta por fenocristales de feldespato, biotita y cuarzo dentro de una matriz afanítica.

El color verde que posee la matriz de esta roca se le adjudica al grado de propilitización que ha sufrido la roca y por lo consiguiente en episodios los feldespatos han sido parcialmente cloritizados. Un color morado en la matriz de la roca es atribuido al proceso de formación, por lo que se infiere una oxidación hematítica primaria (Fotografía 10).

El origen de esta unidad se considera de tipo intrusivo o en forma de domo, mismo que dio origen a una textura muy fina en matriz, consistente y que no muestra su formación mineralógica.

FOTOGRAFÍA 10
UNIDAD DE ANDESITA PORFIRITICA



Tomada por: Michael Chen. Año 2014.

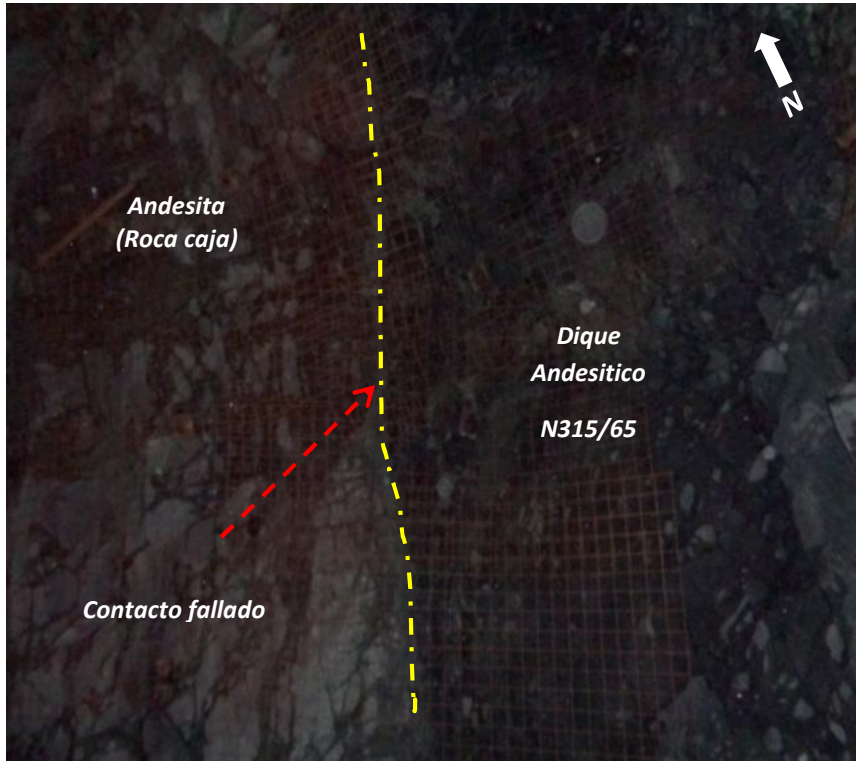
Esta unidad se encuentra distribuida a lo largo de los cuatro niveles de análisis en esta investigación. De acuerdo a los desarrollos su mayor persistencia se encuentra en el nivel 1 340 msnm, ya que se observa que la zona de mineralización, también se desarrolla dentro de esta unidad litológica.

3.2.3 Dique Andesítico (Ad)

Los Diques Andesíticos, se constituyen como la formación más joven en el área del proyecto y corta las otras dos unidades de roca. Superficialmente esta unidad también se encuentra expuesta, por lo que su extensión y persistencia es significativa.

La composición mineralógica de los diques es de feldespatos de cristales euhedrales dentro de una matriz de grano fino, de coloración azul marino intenso. Estos diques generalmente presentan remanente magnético moderado. Se presentan en forma tabular muy verticales (75° a 80°) y varían de espesor desde 0,60 m hasta 6,0 m (Fotografía 11).

FOTOGRAFÍA 11
UNIDAD DE DIQUE ANDESITICO

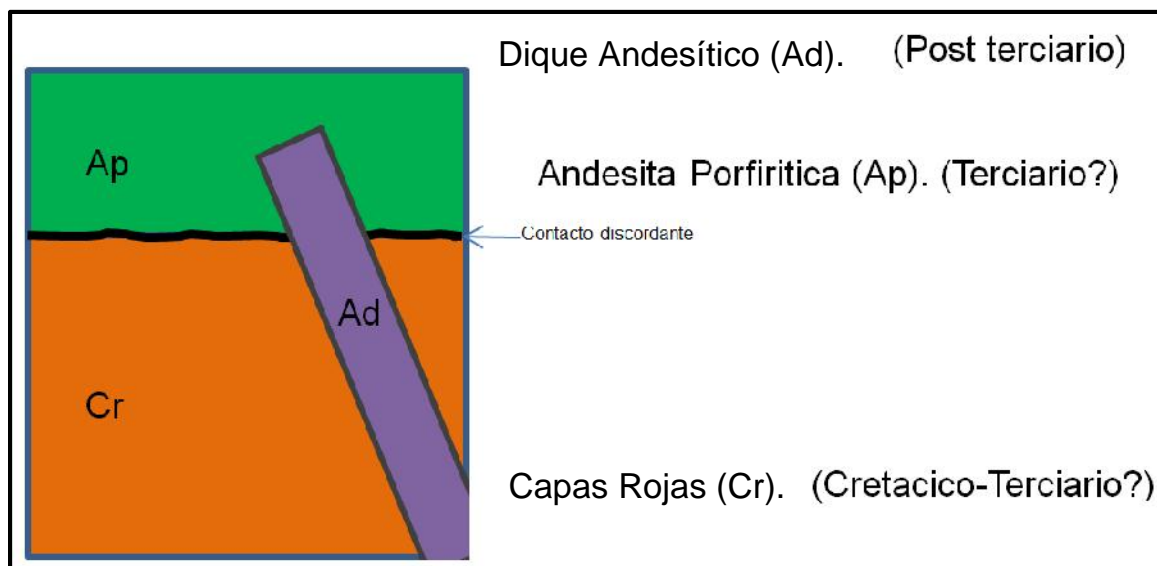


Tomada por: Michael Chen. Año 2 014.

Los diques andesíticos dentro del área de investigación se aprecian en el mapa geológico de planta en los niveles 1 315 msnm y 1 290 msnm hacia las líneas de referencia este 806825 y 806875. Esta unidad generalmente se encuentra asociada a una zona de apertura permitida a través de una falla, por lo que el contacto con las andesitas y la secuencia de capas rojas es fallado (Anexo II y III, mapas geológico en vista de planta).

En la figura 14 se visualiza la columna lito-estratigráfica general de las unidades descritas dentro del área de investigación.

FIGURA 14
COLUMNA LITO ESTRATIGRÁFICA GENERAL



Fuente: Investigación de campo. Año 2 014.

3.3 Zonación de alteración hidrotermal

El proyecto El Escobal, se caracteriza por ser un tipo de depósito de baja sulfuración, cuyas características principales de acuerdo al sistema hidrotermal son Cuarzo-Sericita, propilitización periférica y zonas de intensa argilización.

Desde el punto de vista mineralógico el depósito cuenta con presencia de pirita, metales base como galena y esfalerita principalmente. Presenta sulfosales de plata como Acanthita, Proustita y Pirargirita. Toda la mineralización se visualiza en forma de vetas masivas bien desarrolladas y zonas de *stockworks*.

El área de investigación se puede dividir en cuatro zonas de acuerdo al tipo de alteración hidrotermal que presenta tanto la zona de mineralización como su incidencia en la roca encajonante, las cuales son: a) Argilización fuerte, b) Argilización leve, c) Propilitización leve-moderada y d) Silicificación moderada (Figura 15, zonificación de los tipos de alteración).

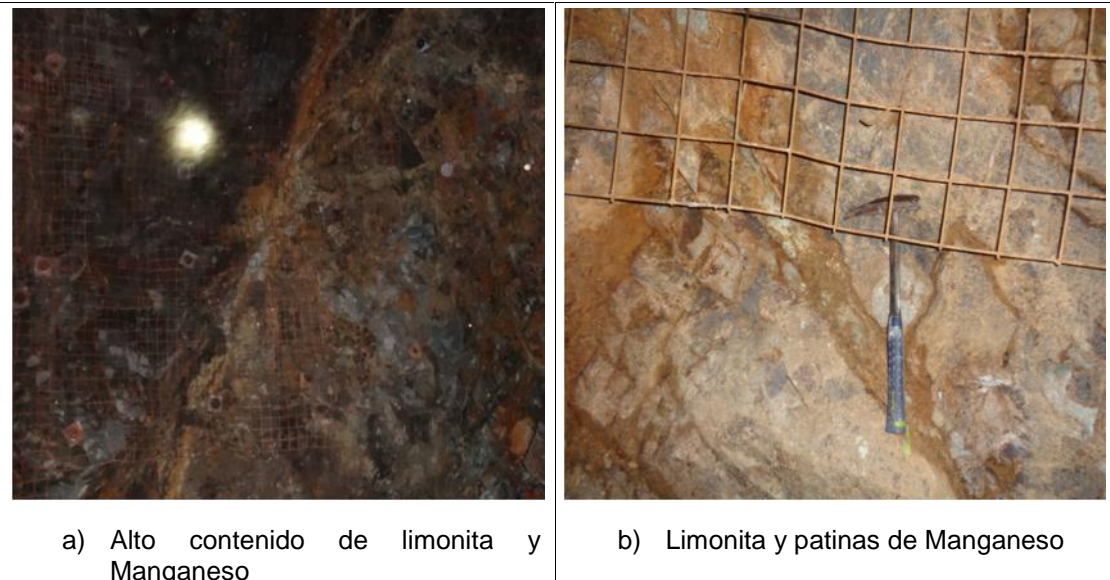
3.3.1 Alteración argílica fuerte (ArF)

Las características principales de este tipo de alteración son el alto contenido de arcilla, oxidación de limonita y manganeso en la matriz de la roca y en los planos de fracturamiento, como también en las zonas de falla identificadas en los diferentes niveles, (Fotografía 12).

Lateralmente este tipo de alteración se visualiza hacia lo zona oeste del proyecto. Basados en las líneas de referencia *UTM*, se delimita esta zona a partir de la línea 806280 a la coordenada 806440. La distribución vertical de la argilización intensa se marca principalmente en los primeros tres niveles de análisis; 1 340 msnm, 1 315 msnm y 1 290 msnm (Figura 13, zonificación de los tipos de alteración).

FOTOGRAFÍA 12

ARGILIZACIÓN FUERTE EN UNIDAD DE ANDESITA PORFIRITICA



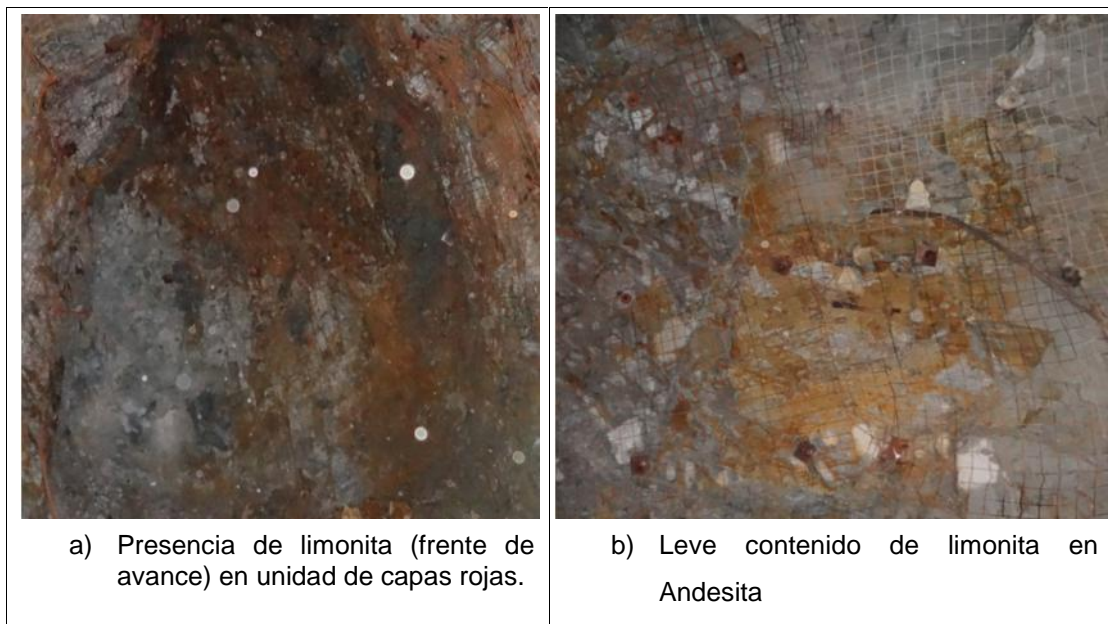
Tomada por: Michael Chen. Año 2 014.

3.3.2 Alteración argílica leve (ArL)

Presenta contenidos bajos en óxido de manganeso, oxidación de limonita y la presencia de las arcillas disminuye. Estos elementos son de menor persistencia en la matriz de la roca y generalmente se asocian con mayor frecuencia hacia los planos de fracturamiento y fallas presentes en el área, (Fotografía 13).

Esta alteración se restringe al desarrollo del nivel 1 265 msnm, ya que la intensidad de afectación es muy marcada con respecto a los tres niveles anteriores. Lateralmente se distribuye a los largo de las líneas de referencia desde 806300 a 806440 (Figura 15, zonificación de los tipos de alteración).

FOTOGRAFÍA 13
ARGILIZACION LEVE



Tomada por: Michael Chen. Año 2 014.

3.3.3 Propilitización leve-moderada (PLM)

Este tipo de alteración se caracteriza por una asociación cuarzo-sericita-clorita y epidota, y de acuerdo a la intensidad de la misma el nivel de cloritización en la roca caja de la mineralización es notable. En la Andesita varia la intensidad de leve a moderada, se evidencia a partir de la coloración verdosa en la matriz de la roca y en el grado de cloritización de los feldespatos hasta el punto de llegar a ser reemplazos por clorita.

En la secuencia de Capas Rojas, el nivel de propilitización se evidencia de mejor manera en la coloración de la matriz de la roca desde un verde pálido a un verde intenso. Presenta hilos de clorita asociados con calcita y ocasionalmente con hematita. Se observa la presencia de clorita en la matriz cuyo tamaño no excede los 5 mm de diámetro, (Fotografía 14).

En su distribución lateral este tipo de alteración se enmarca a partir de la línea de referencia 806450 a la coordenada 806880. Verticalmente se distribuye equitativamente hacia los cuatro niveles; claro está que la variación en la intensidad varia de manera puntual a lo largo de la extensión tanto lateral como vertical dentro del área indicada. La distribución se indica en la figura 15.

FOTOGRAFÍA 14
ALTERACIÓN PROPILITICA



Tomada por: Michael Chen. Año 2 014.

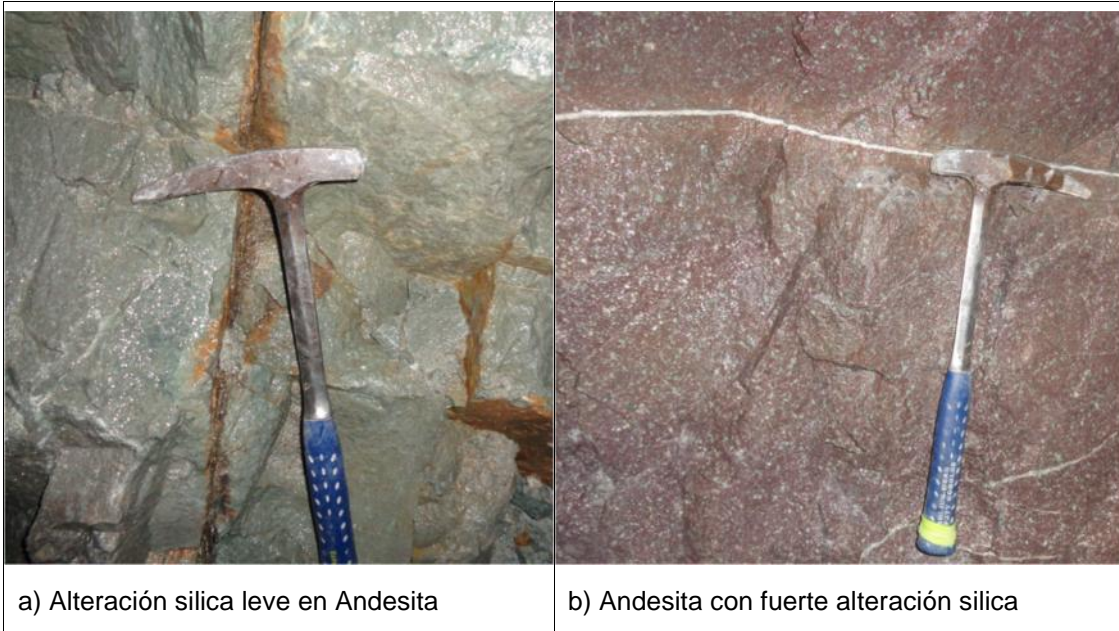
3.3.4 Alteración silica (ASil)

Se presenta hacia al este del área de investigación, su distribución se encuentra a partir de la línea de referencia 806880 a 807100. Su distribución en la extensión vertical abarca los cuatro niveles en análisis. Tiene incidencia sobre ambos tipos de roca desarrollados (Andesita y Capas Rojas), aunque alcanza un mayor grado de silicificación en la Andesita. (Figura 15).

El grado de silicificación en la matriz de la roca varia con respecto a la unidad litológica, por lo consiguiente para la Unidad de Andesita (Ap) oscila de moderada a alta, para las Capas Rojas el rango es de leve a moderada. La unidad de Capas Rojas presenta una asociación de cuarzo-sericita en la matriz por lo que el grado de silicificación se ve disminuido (Fotografía 15).

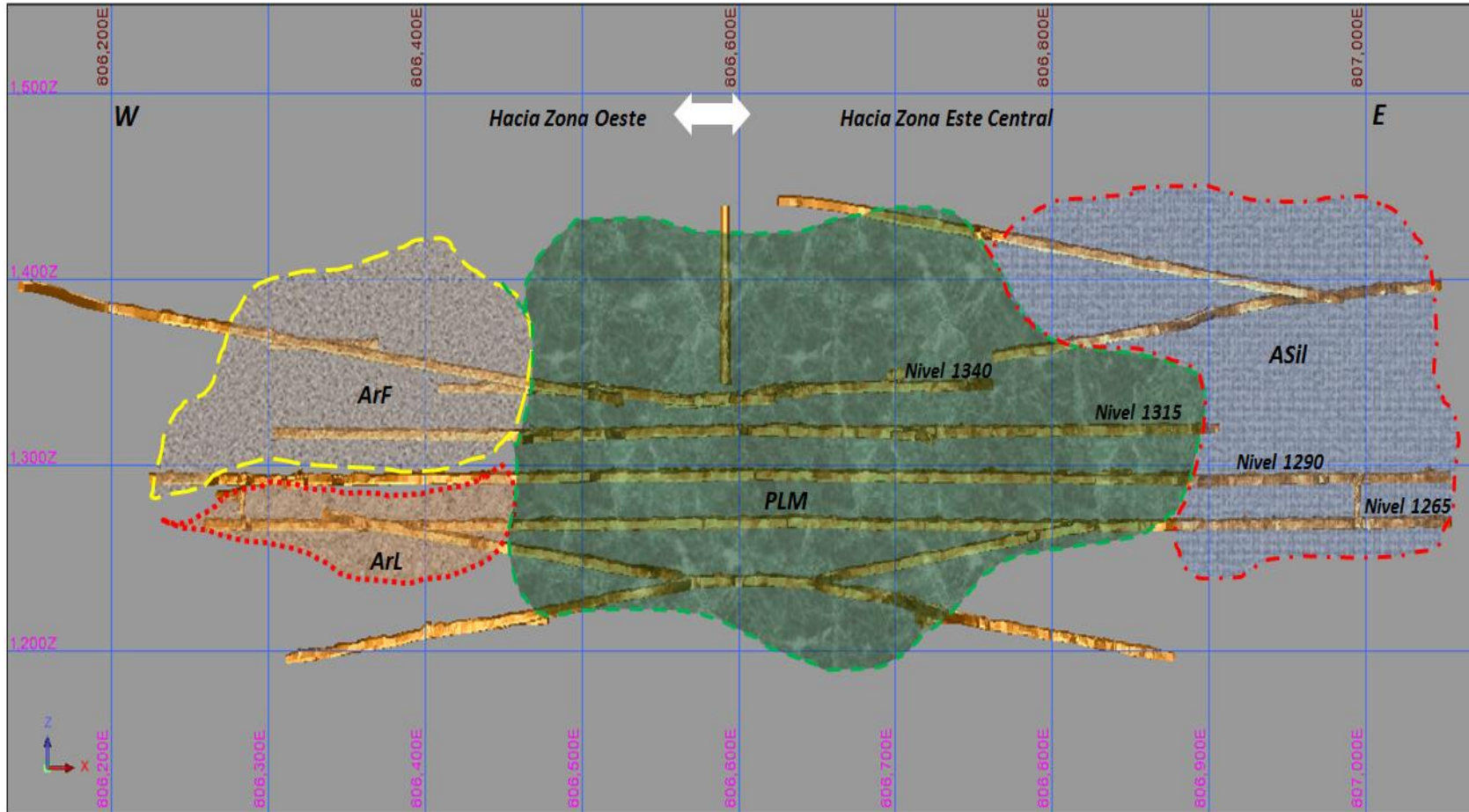
De acuerdo al grado de silicificación que alcancen las unidades litológicas, se refleja en la cohesión y resistencia del material permitiendo con ello; zonas más estables para los desarrollos.

FOTOGRAFÍA 15
ALTERACIÓN SILICA



Tomada por: Michael Chen. Año 2 014.

FIGURA 15
ZONIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL (SECCIÓN LONGITUDINAL,
REFERENCIA 1601375, VISTA HACIA AL NORTE)



Fuente: Investigación de campo. Año 2 014.

3.4 Dominios estructurales

A continuación se detallan los elementos y características estructurales principales que definen el comportamiento y la tendencia estructural analizada para los cuatro niveles de desarrollo dentro del área subterránea del proyecto El Escobal.

a) Dominio I

Tiene una orientación preferencial *E-W*, se encuentra caracterizado por la asociación de los elementos estructurales; falla normal, zona de cizalla con espesores variables entre 0,6 m a 1,5 m estrechamente ligada a la zona de mineralización con la misma orientación. Dentro de la zona de cizalla se distinguen preferentemente fallas normales con orientaciones $N265^\circ$ y $N275^\circ$ y buzamientos fuertes hacia el norte.

Otro elemento que caracteriza este dominio es la presencia de la zona de *stockwork* con vetas de cuarzo y cuarzo-calcita mineralizadas asociadas al evento mayor de mineralización *E-W*. La veta dentro del área de investigación se extiende a lo largo de los 700 m y está afectada por la zona de cizalla que en determinados puntos presenta mayor contenido de *gouge* en función de las zonas de mayor apertura.

b) Dominio II

El segundo dominio lo distingue una serie de fallas con relleno de *gouge* con orientaciones preferenciales $N50^\circ E$ y buzamientos hacia el *SE*. Esta serie de fallas presentan un sistema de fracturamiento subparalelo como efecto resultante del movimiento de dichas fallas. Las fallas son de tipo dextrales y sinextrales que en determinados sectores, enmarcan un escalonamiento y fragmentación de la veta principal.

El tercer elemento que caracteriza este control estructural es la presencia de grietas de cuarzo-calcita con leve mineralización y buzamientos hacia el *SE* como *NW*. Generalmente la tendencia de vetas de cuarzo se encuentran mineralizadas, existe una serie de vetas de calcita con fluorita con la misma orientación, por lo consiguiente esta asociación de grietas es persistente hacia los cuatro niveles.

c) Dominio III

La orientación preferencial del dominio tres es $N20^{\circ}W$, se encuentra controlado por los *sets* de fracturamiento conjugado, que se delimita de mejor manera hacia el sector oeste. Un sistema de fallas con orientación $N40^{\circ}W$ y buzamientos 50° a 65° asociados a la persistencia de la Unidad de Dique Andesítico (Ad) en los niveles 1 340 msnm a 1 290 msnm hacia el sector este; permite definir de igual manera la tendencia vertical de este dominio. (Anexos I al III, mapas geológicos en vista de planta).

Bajo este dominio se enmarca un conjunto de *stockwork* conformado por grietas con relleno de milonita, forman un sistema conjugado de fallas secundarias a las fallas maestras. Este elemento estructural se desarrolla con mayor persistencia hacia el oeste de la zona de investigación. Fracturas sin presencia de *gouge* bajo esta orientación delimitan dicho comportamiento estructural.

d) Dominio IV

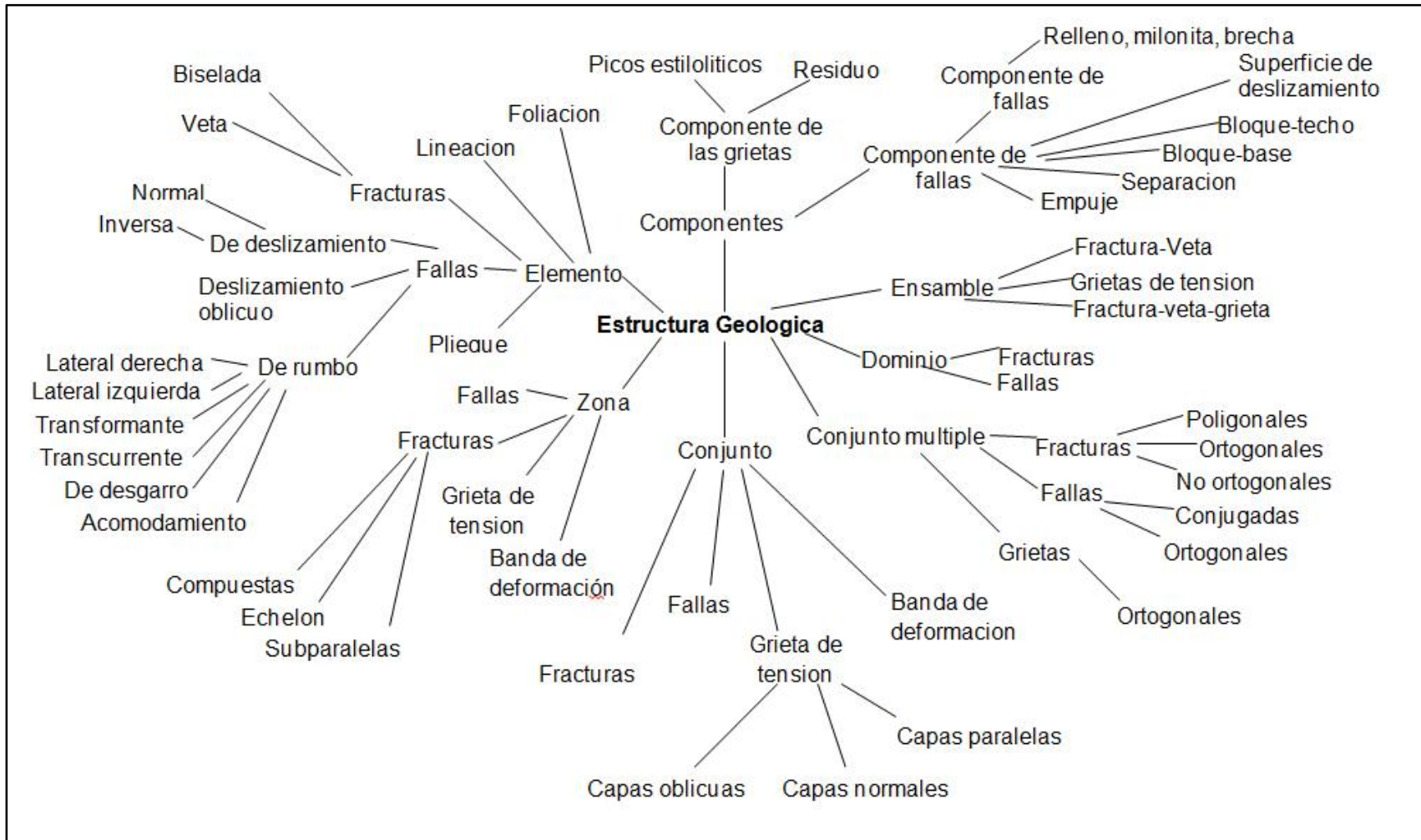
Se restringe a los dos niveles inferiores dentro del área de investigación (1 290 msnm y 1 265 msnm). La orientación principal de este dominio estructural es *N-S* con pequeñas variaciones de 5° a 10° hacia el *NW*. Los elementos principales que caracterizan este control

estructural son: *set* de fracturamiento sin presencia de *gouge* hacia el sector central delimitado por las líneas de referencia 806 575 a 806 850E para ambos niveles.

El segundo elemento se asocia a una falla de tipo dextral ubicada en la línea de referencia 806885, se caracteriza por contener relleno de *gouge*, desde 5 mm a 60 cm. Como efecto resultante a la cinemática de esta estructura maestra se diferencian fracturas subparalelas con ocasional relleno de calcita y/o cuarzo-calcita.

Cada uno de los elementos asociados y caracterizados entre sí, permitieron definir los cuatro dominios estructurales que afectan los cuatro niveles de desarrollo subterráneo del proyecto El Escobal. Estos elementos se encuentran determinados a partir de la caracterización de la estructura geológica, basado en la Ontología de fracturas, la cual estipula la diferenciación entre las asociaciones estructurales, como lo son: los ensambles, los *sets* de fracturas, zonas de falla o juntas, juntas y grietas. (Figura 16).

FIGURA 16
JERARQUÍA DE CLASES DE LA ESTRUCTURA GEOLÓGICA



Fuente: Ontología de fracturas. Universidad de Stanford. Jian Zhong, Atilla Aydina, Deborah McGuiness. Año 2 009. Modificado al español por Michael Chen. Año 2 015.

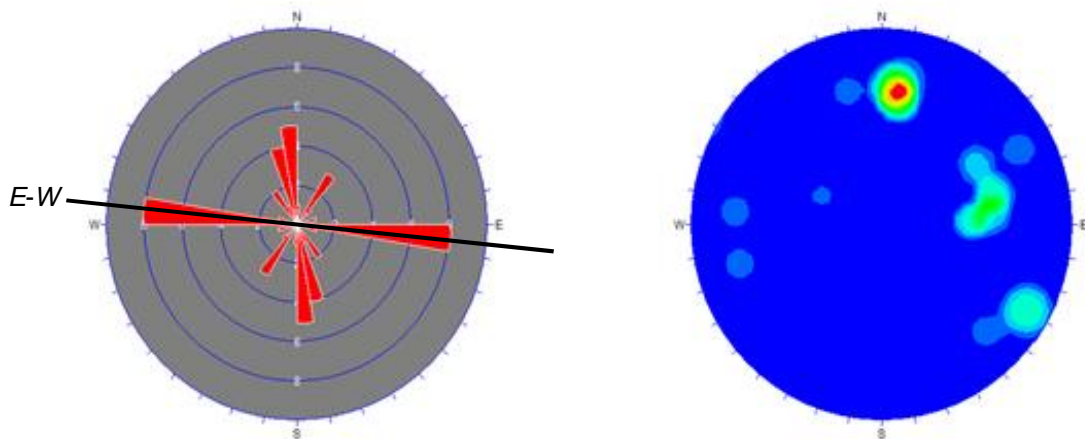
3.5 Dominios estructurales por niveles de desarrollo

3.5.1 Dominios estructurales nivel 1 340 msnm

En una extensión lateral de 350 m se observa una variación en el comportamiento estructural de la zona, identificando las tres orientaciones preferenciales. Las estructuras consideradas para el análisis de dicho nivel se desarrollan en su totalidad en la Unidad de Andesita Porfírica (Ap). Se definieron tres dominios en base a las asociaciones estructurales y sus principales características.

El Dominio I se orienta *E-W* el cual tiene una relación directa con la orientación de la mineralización mayor con buzamiento hacia el norte (veta El Escobal). Esta a su vez se caracteriza por asociarse a una zona de falla tipo normal y una zona de cizalla hacia el bloque alto de la misma zona mineralizada. Fallas locales con relleno leve de *gouge* subparalelas a la orientación de la mineralización principal, también delimitan este tren estructural, (Figura 17).

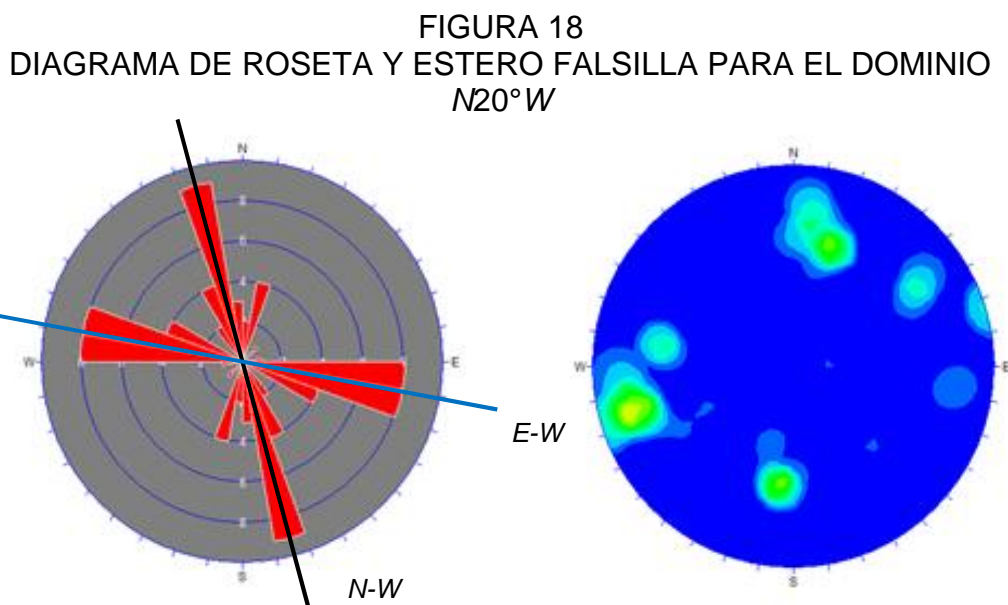
FIGURA 17
DIAGRAMA DE ROSETA Y ESTÉREO FALSILLA PARA EL DOMINIO
E-W



Fuente: Investigación de campo. Año 2 014.

El Dominio II tiene una orientación preferencial $N20^{\circ}W$, el principal elemento que denota este control estructural es una falla de tipo sinextral de 1 m a 3 m de espesor con presencia de *gouge* y subsecuente a esta estructura, presenta fracturas paralelas a la misma, (Figura 18).

Ocasionalmente presenta grietas de cuarzo calcita levemente mineralizadas. Sets de fracturas sin presencia de *gouge* marcan la tendencia estructural preferentemente hacia el oeste del nivel. A la vez existe una zona de fracturamiento conjugado con arcilla y buzamientos preferenciales altos tanto hacia el *NE* como *SW*.



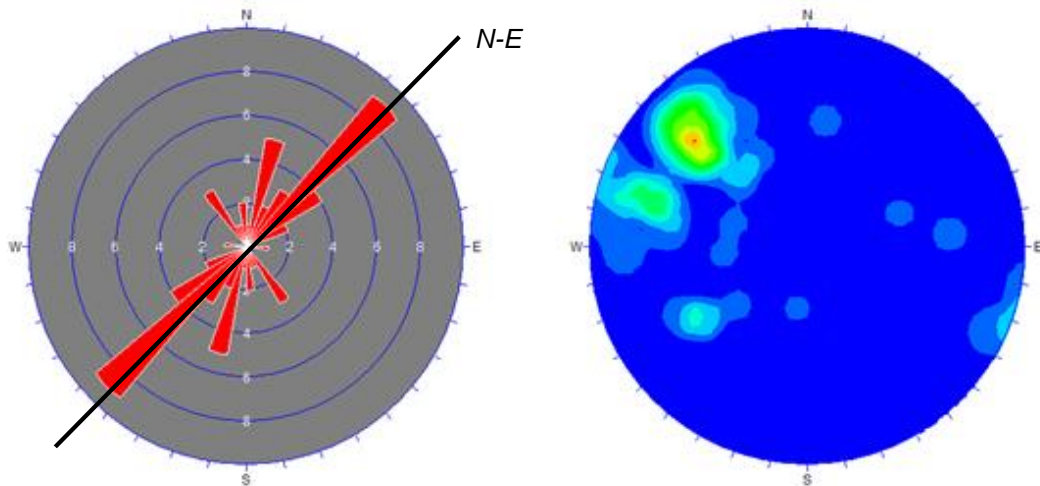
Fuente: Investigación de campo. Año 2 014.

El Dominio III para el nivel 1 340 msnm tiene una orientación preferencial $N45^{\circ}E$, se caracteriza por los elementos estructurales asociados; grietas de cuarzo-calcita mineralizadas, fallas de tipo dextral con espesores variables de 0,5 m a 2,0 m con moderada

presencia de *gouge* y un *set* de fracturamiento predominante bajo esta misma orientación, (Figura 19).

Las grietas se consideran como un factor resultante al evento de la mineralización mayor, ya que distribuido en el nivel se enmarca una tendencia uniforme y cíclica a la cual se repite la presencia de dichas estructuras.

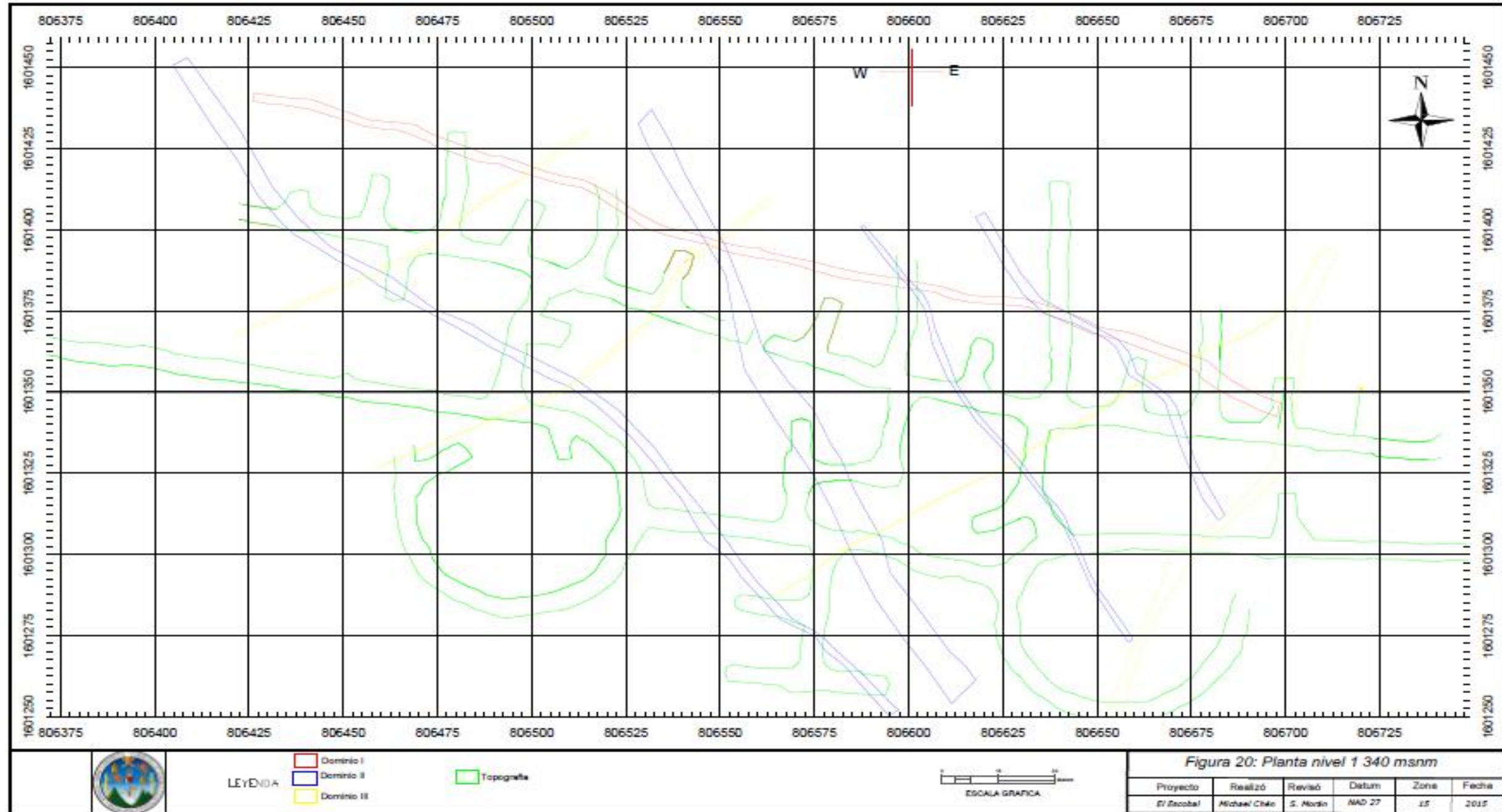
FIGURA 19
DIAGRAMA DE ROSETA Y ESTÉREO FALSILLA PARA EL DOMINIO
N45°E



Fuente: Investigacion de campo. Año 2 014.

En la figura 20 se representa en vista de planta, la delimitación de los tres dominios estructurales identificados para el nivel 1 340 msnm, realizado a partir de los elementos y asociaciones estructurales principales para dicho nivel.

FIGURA 20
DOMINIOS ESTRUCTURALES NIVEL 1340



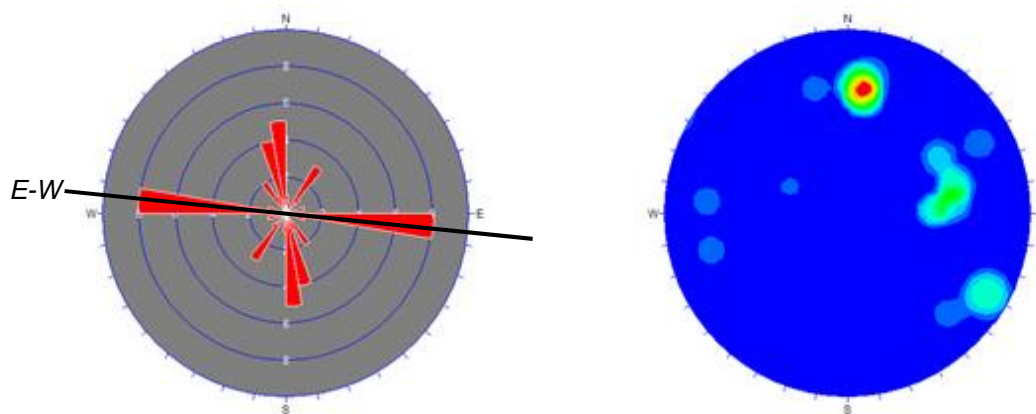
Fuente: Elaboración propia, 2014

3.5.2 Dominios estructurales nivel 1 315 msnm

El área de análisis se delimita mediante las coordenadas este 806300 a 806900, un total de 600 m de interpretación sobre la variación en el comportamiento estructural del segundo nivel. Se identificaron tres dominios estructurales, cuyas orientaciones son; Dominio I: *E-W*, dominio II: *N50°E* y dominio III: *N20°W*.

El primero dominio tiene una orientación principal *E-W* (Figura 21), se asocia a la dirección de la mineralización mayor que es la veta El Escobal, con direcciones media entre *N265°* a *N275°*. La orientación del dominio se encuentra asociada a una zona de falla normal que dio origen a la migración de la mineralización mayor. Correlacionado con el nivel 1 340 msnm continúa su buzamiento entre 55° a 60° hacia el norte.

FIGURA 21
DIAGRAMA DE ROSETA Y ESTÉREO FALSILLA PARA EL
DOMINIO I

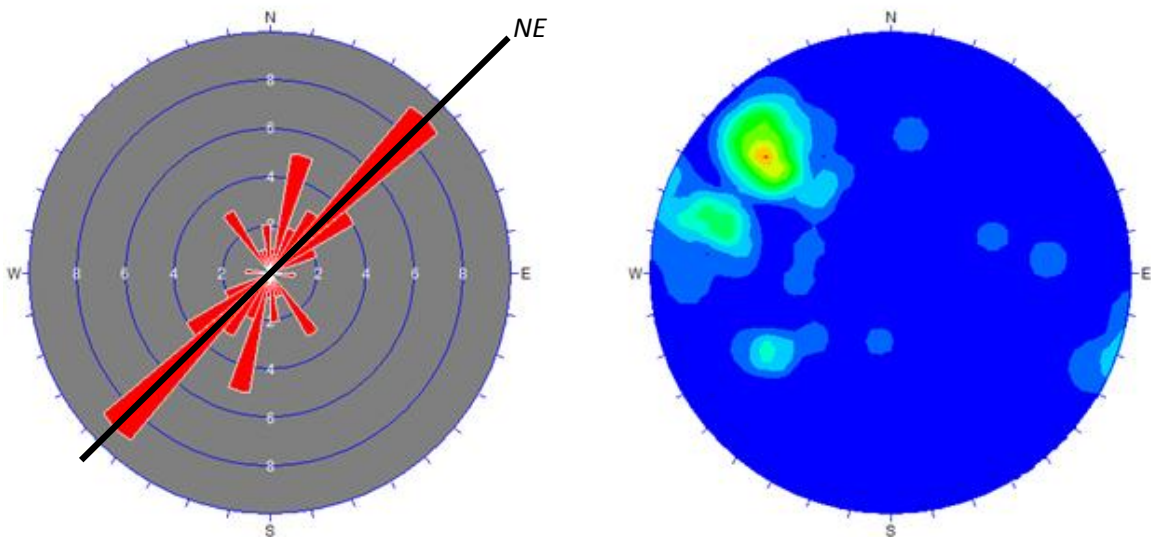


Fuente: Investigación de campo. Año 2 014.

El segundo elemento de mayor importancia que permite definir este dominio estructural es la zona de cizalla hacia el bloque alto de la zona mineralizada. Esta cizalla se conforma por fallas de tipo dextrales a lo largo de la extensa zona del mineral y tiene espesores variables entre 0,8 m a 3 m. Zonas de *stockwork* conformado por vetas de cuarzo en la parte inicial de la veta principal, constituye el tercer elemento que caracteriza este control estructural.

El Dominio II tiene una orientación preferencial $N50^{\circ}E$ (Figura 22). Existen tres elementos asociados que determinan esta tendencia estructural. La primera y de mayor importancia se refiere a fallas de rumbo dextrales y sinextrales con presencia variable de *gouge* entre 0,5 cm a 60 cm de relleno. Su distribución a lo largo del nivel de desarrollo es uniforme y cíclica. Puede catalogarse como el evento resultante a la mineralización principal.

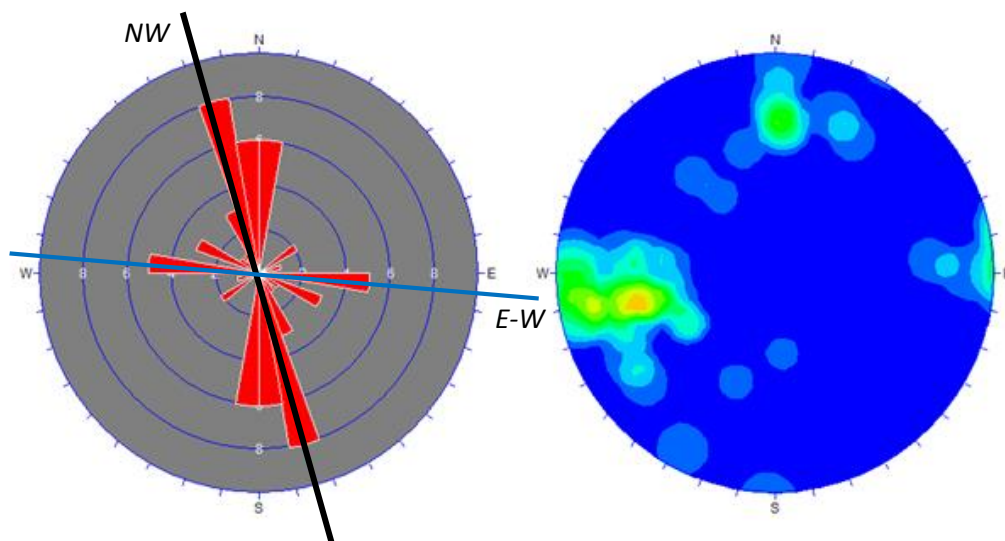
FIGURA 22
DIAGRAMA DE ROSETA Y ESTÉREO FALSILLA PARA EL
DOMINIO II



Fuente: Investigación de campo. Año 2 014.

El tercer dominio estructural tiene una orientación $N20^{\circ}W$ (Figura 23). Estructuras *riedel* con leve relleno de *gouge* menor a 15 cm caracterizan esta tendencia estructural en el nivel 1 315 msnm. Estas estructuras se consideran como el evento más reciente dentro del área de investigación, ya que relaciones de campo permitieron evidenciar el corte y la fragmentación de la estructura mineralizada por dicha tendencia estructural.

FIGURA 23
DIAGRAMA DE ROSETA Y ESTÉREO FALSILLA PARA EL DOMINIO III

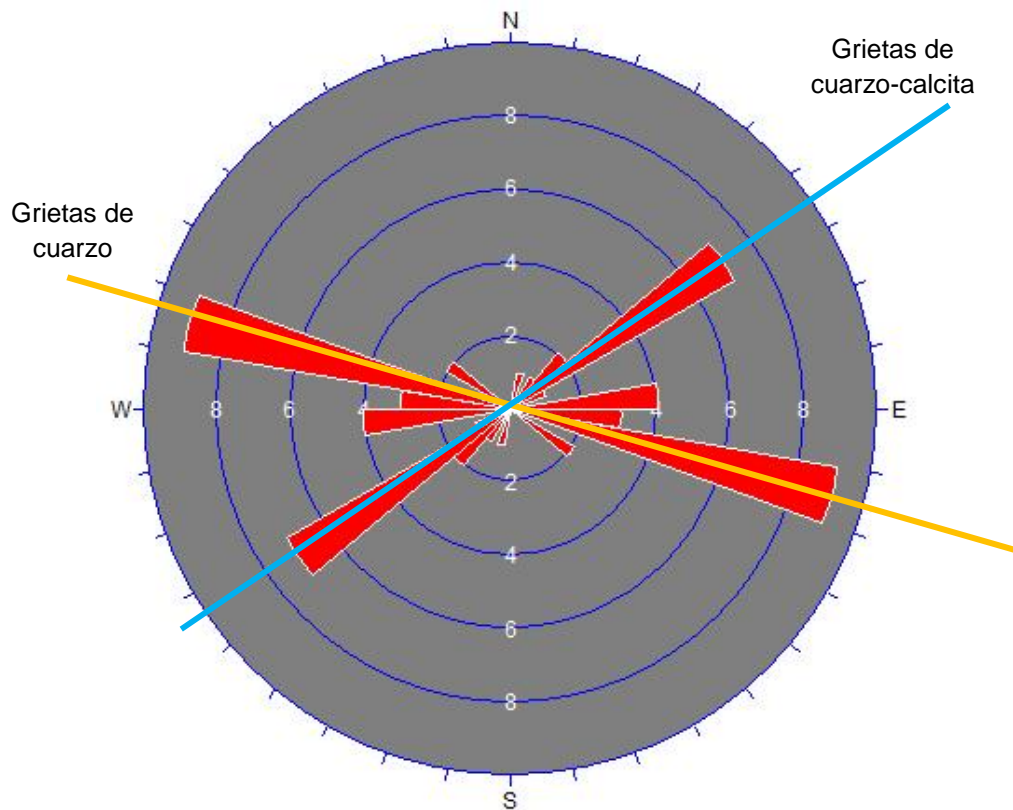


Fuente: Investigación de campo. Año 2 014.

En el nivel 1 315 msnm se tienen dos asociaciones de grietas; la primera se encuentra estrechamente relacionada al evento mayor de mineralización, esta se orienta preferencialmente $N75^{\circ}W$ y son de cuarzo propiamente. El segundo sistema son grietas de cuarzo-calcita con leve mineralización y su orientación preferente es $N55^{\circ}E$ y buzamientos hacia el SE , (Figura 24).

Las grietas de cuarzo-calcita por lo tanto se consideran como un dominio persistente ya que puede utilizarse como un indicador importante desde el punto de vista de prospección de nuevos recursos. De acuerdo a la dirección preferencial de buzamiento (*SE*) puede indicarse que hacia el bloque sur se puede realizar la búsqueda de nuevos horizontes mineralizados.

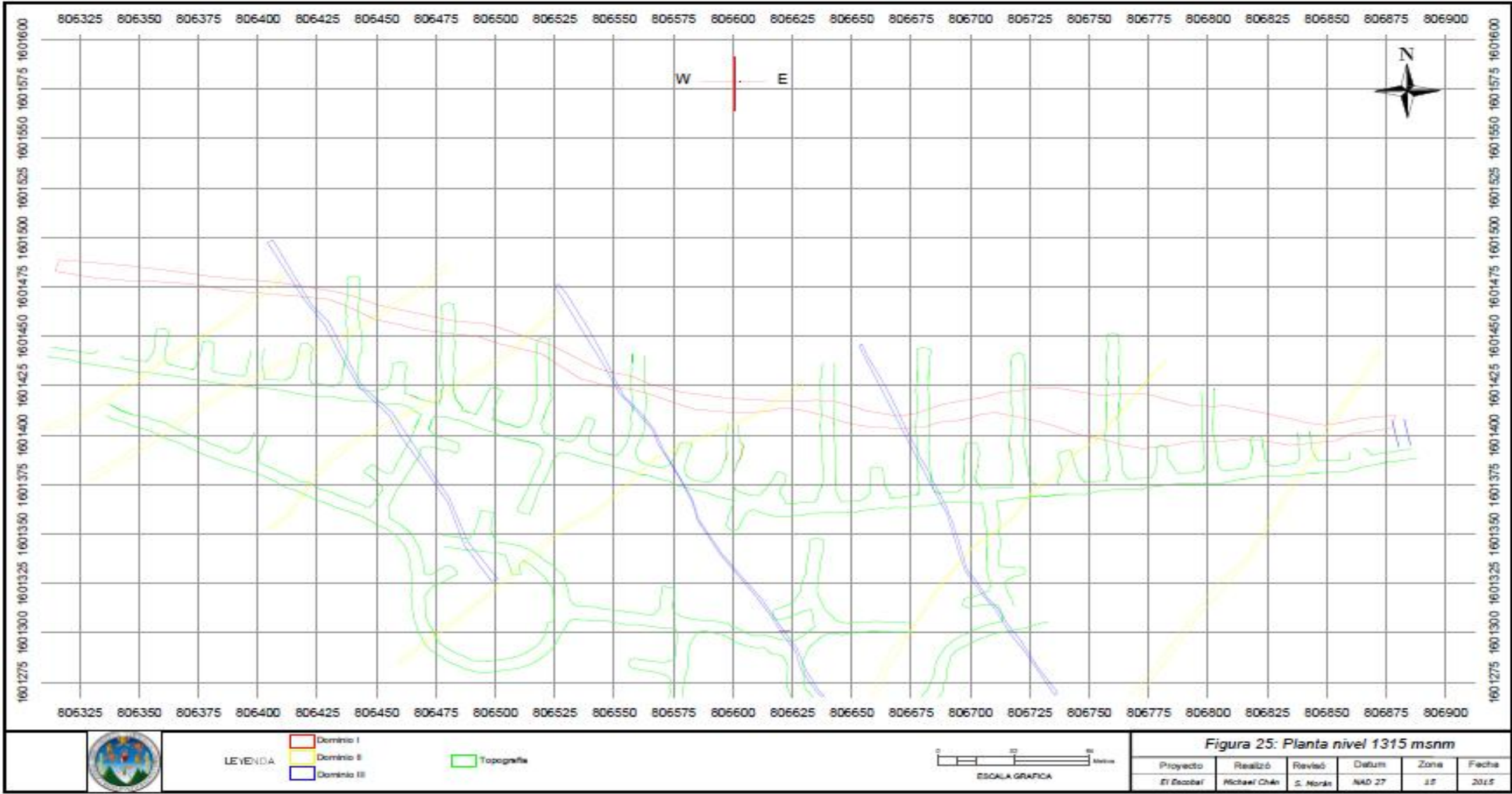
FIGURA 24
GRIETAS DE CUARZO VRS GRIETAS DE CUARZO-CALCITA



Fuente: Investigación de campo. Año 2 015.

En la figura 25 se representa en vista de planta la delimitación de los tres dominios estructurales definidos para el nivel 1 315 msnm, donde se visualiza claramente el comportamiento del dominio *NE* asociado a los elementos de fallas con *gouge* y grietas de cuarzo-calcita.

FIGURA 25
DOMINIOS ESTRUCTURALES NIVEL 1315



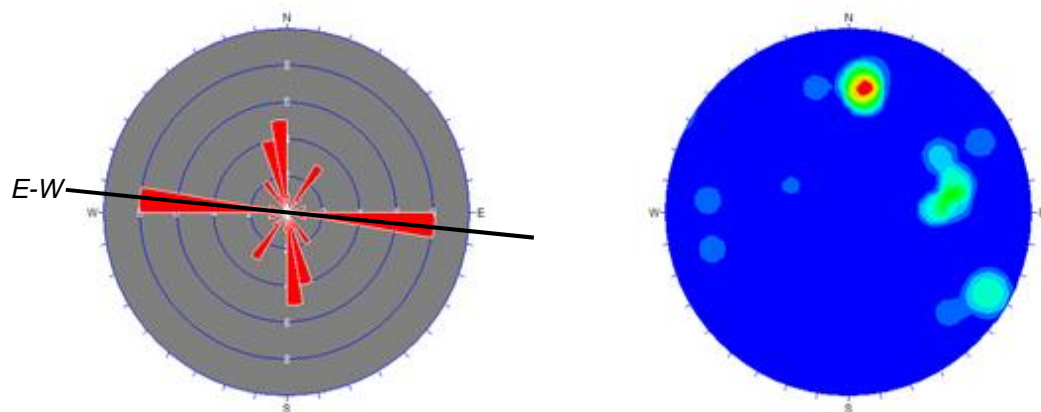
Fuente: Elaboración propia, 2014.

3.5.3 Dominios estructurales nivel 1 290 msnm

Este nivel se encuentra delimitado por las líneas de referencia 806225 a 807100, presenta el mayor desarrollo durante la etapa de investigación. Las estructuras se desarrollan en Andesita preferentemente y hacia los extremos del nivel en Capas Rojas. Se definieron tres dominios estructurales.

El Dominio I tiene una dirección principal *E-W* (Figura 26), se relaciona estrechamente con la orientación de la zona mineralizada. Relacionada a los anteriores dos niveles, se caracteriza por la falla de tipo normal que permitió la migración del fluido para el evento mineralizante en el proyecto. La zona de cizalla en el alto del bloque mineralizado es de mayor incidencia en este nivel, por lo que las zonas de mayor apertura alcanzan espesores de hasta 5 m de ancho.

FIGURA 26
DIAGRAMA DE ROSETA Y ESTÉREO FALSILLA PARA EL

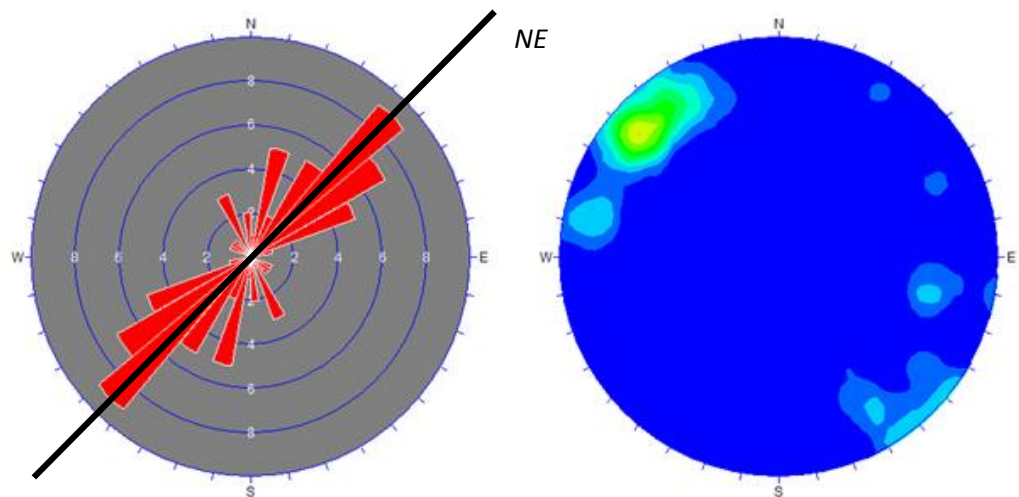


Fuente: Investigación de campo. Año 2 014.

Las vetas de cuarzo con espesores de 10 cm a 50 cm ubicados en el bloque del bajo de la veta mayor, también fueron consideradas como los elementos que permiten distinguir la persistencia del dominio estructural a lo largo del nivel de análisis.

El Dominio II tiene una orientación $N45^{\circ}E$. El control estructural se definió a partir de la asociación de fallas con movimiento lateral, rellenas de *gouge*, *sets* de fracturamiento subsecuente y paralelo a las fallas maestras y a la persistencia de una tendencia de grietas de cuarzo y cuarzo-calcita con leve mineralización, (Figura 27).

FIGURA 27
DIAGRAMA DE ROSETA Y ESTÉREO FALSILLA PARA EL
DOMINIO $N45^{\circ}E$



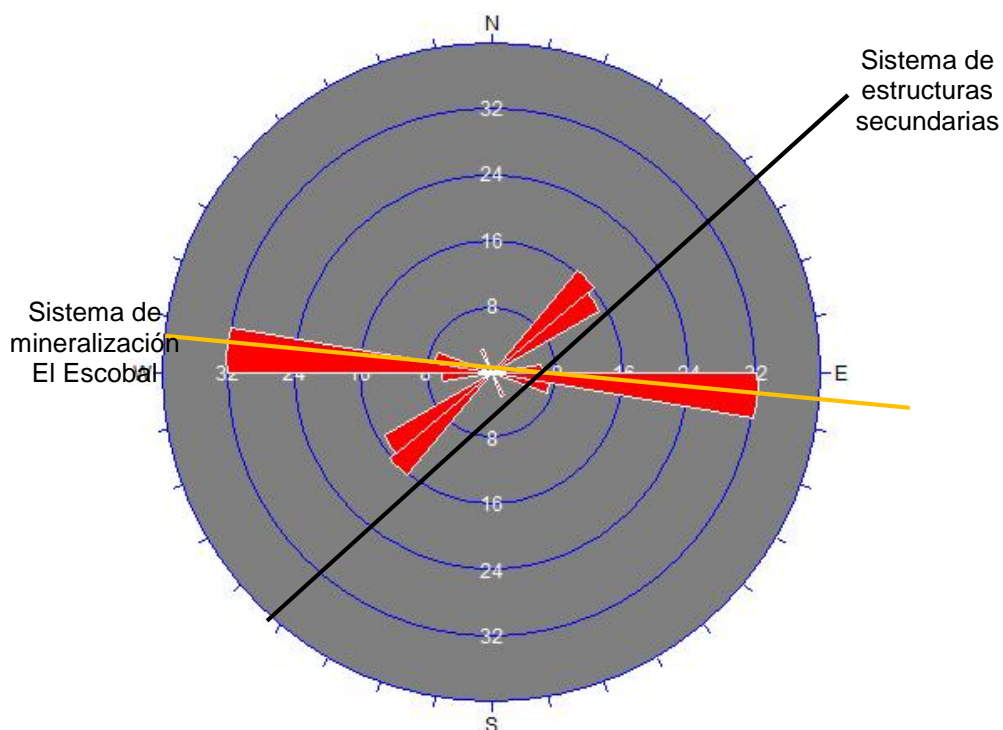
Fuente: Investigación de campo. Año 2 014.

Para el nivel 1 290 msnm el dominio estructural $N45^{\circ}E$ se le adjudica la presencia de grietas de cuarzo-calcita mineralizadas, con buzamientos entre 45° y 65° hacia el *SE*. Esta tendencia de grietas se considera como un marcador

importante desde el punto de vista de prospección, de acuerdo al arreglo geométrico entre estas y la orientación de la veta El Escobal E-W, (Figura 28).

Se adjudica a esta orientación de grietas, como un efecto resultante y un sistema de vetas secundarias de menor magnitud.

FIGURA 28
SISTEMA E-W VRS SISTEMA N45°E



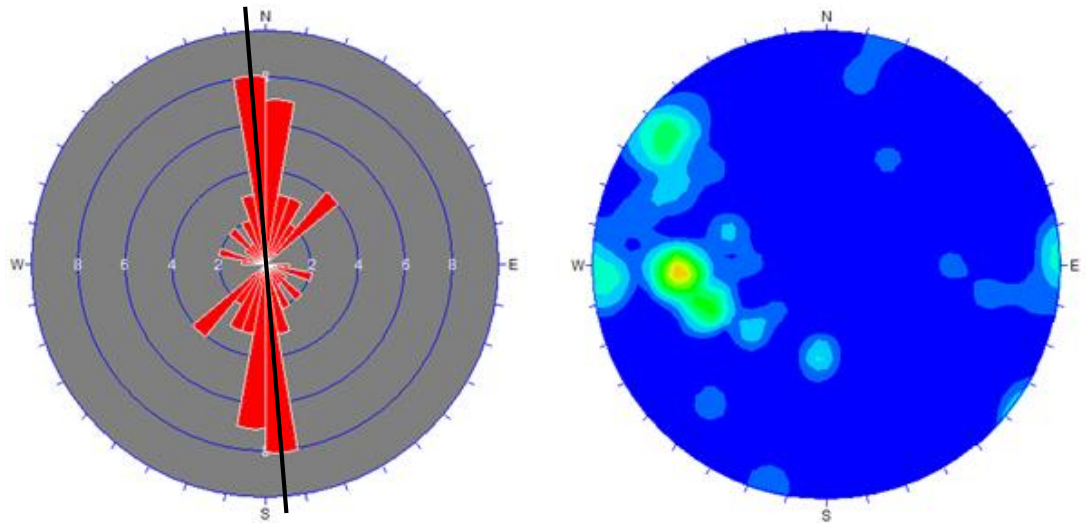
Fuente: Investigación de campo. Año 2 014.

El Dominio III es un patrón estructural muy puntual en este nivel, su orientación preferencial es N-S con pequeñas variaciones de 5° a 10° hacia el NW (Figura 29). Su incidencia se encuentra en los límites 806575 a 806850, definida como el sector central del área de investigación. Este control estructural se encuentra asociado a cuatro sets principales de

fracturamiento conjugado con buzamiento fuertes entre 70° a 85° tanto al *E* como al *W*.

Este set de fracturas no presentan *gouge* y su influencia hacia la zona de mineral es altamente marcada, ya que afecta directamente al macizo rocoso, se encuentra con alto fracturamiento y genera bloques con posibles zonas inestables en los desarrollos.

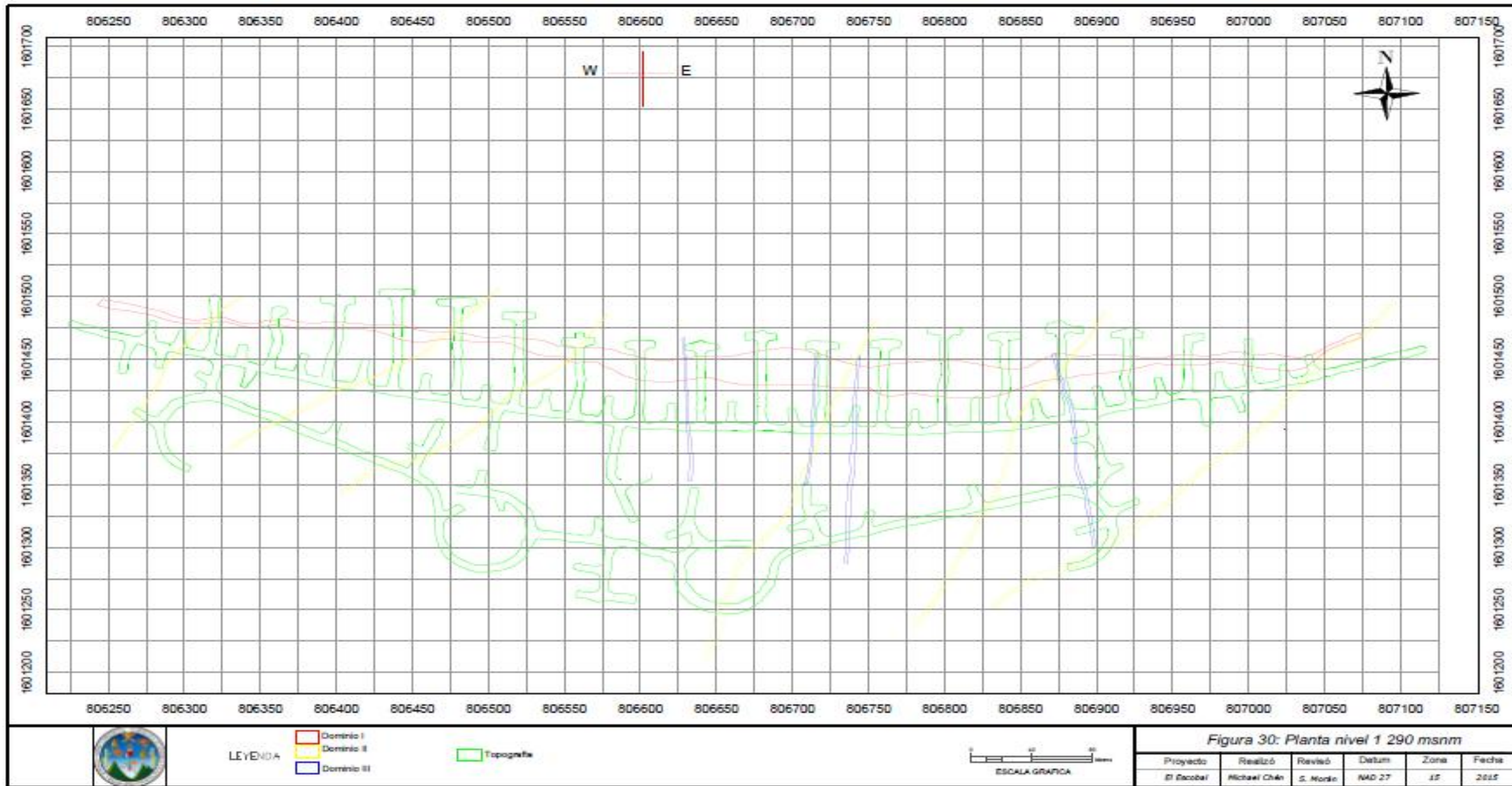
FIGURA 29
DIAGRAMA DE ROSETA Y ESTÉREO FALSILLA PARA EL
DOMINIO N-S



Fuente: Investigación de campo. Año 2 014.

La delimitación de los tres dominios estructurales diferenciados para el nivel 1 290 msnm se ilustran en la figura 30. Representación en vista de planta; se visualiza la persistencia y continuidad vertical del dominio *E-W* y *NE* con respecto a los niveles superiores, 1 315 msnm y 1 340 msnm.

FIGURA 30
DOMINIOS ESTRUCTURALES NIVEL 1290



Fuente: Elaboración propia, 2014.

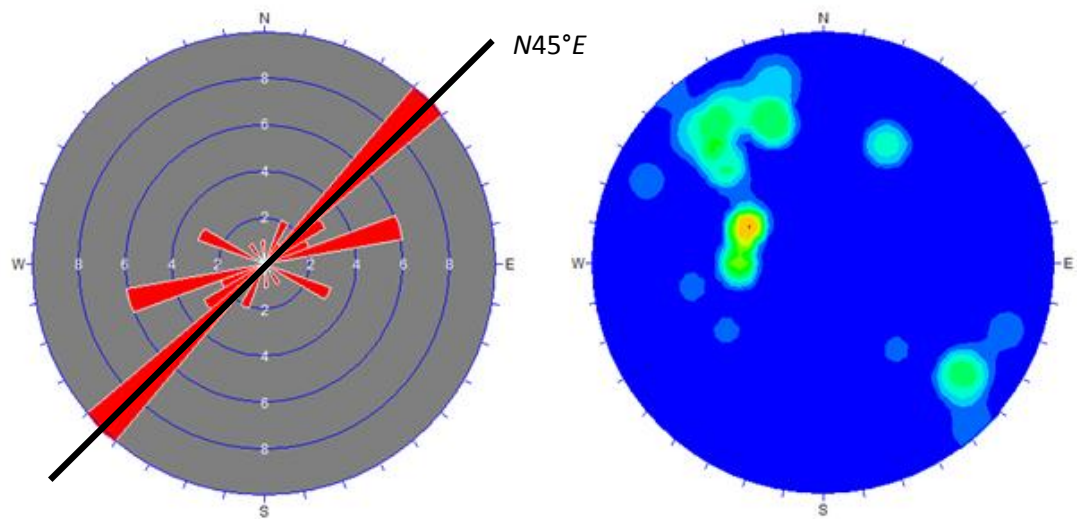
3.5.4 Dominios estructurales nivel 1265 msnm

El nivel se desarrolló en un 90 % sobre la unidad de Andesita Porfírica (Ap), sobre esta rampa principal, la secuencia de Capas Rojas (Cr) se encuentra en ambos extremos (oeste-este). Se encuentra delimitado por las referencias este 806275 a 807050. Se definieron tres dominios estructurales que guardan estrecha relación con el nivel superior 1 290 msnm.

La zona de mineralización El Escobal con orientación media *E-W* se constituye hacia este nivel como el Dominio I, el cual queda correlacionado con los tres niveles anteriores. El *trend* de mineralización, las vetas de cuarzo que conforman la zona de *stockwork* en el bloque bajo de la veta mayor y la zona de cizalla hacia el bloque del alto, son los tres elementos asociados para definir este dominio estructural.

El Dominio II tiene una orientación preferencial *N45°E* (Figura 31), la asociación de elementos estructurales que definen este comportamiento estructural son: fallas de rumbo que indican zonas de transtensión en su mayoría con presencia de *gouge*, una tendencia importante de grietas de cuarzo-calcita con leve mineralización y los *sets* de fracturamiento conjugado. (Anexo IV, mapa geológico en vista de planta nivel 1 265 msnm).

FIGURA 31
DIAGRAMA DE ROSETA Y ESTÉREO FALSILLA PARA EL
DOMINIO II

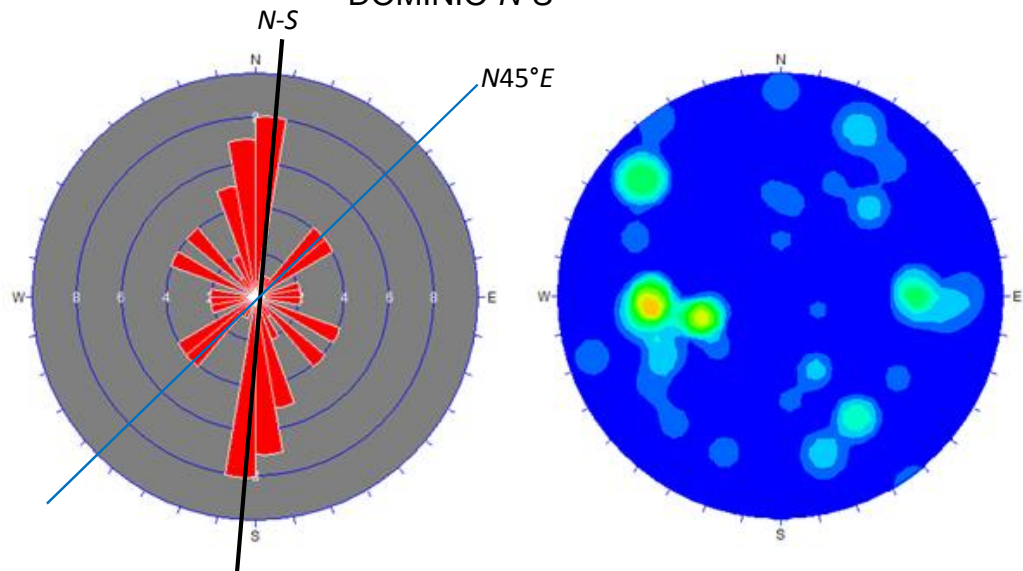


Fuente: Investigación de campo. Año 2 014.

El Dominio III característico para este nivel tiene una orientación preferencial *N-S*. Es persistente tanto en este nivel como en el nivel 1 290 msnm. El elemento principal para delimitar este control estructural, es la asociación de *sets* de fracturamiento conjugado en el sector central del nivel. Las familias de fracturas presentan ocasional relleno de arcilla menor a 10 cm, (Figura 32).

La tendencia estructural *N-S* permite diferenciar un escalonamiento espacial entre los bloques oeste, este central y zona este del proyecto El Escobal. De igual manera la persistencia de este control estructural delimita las zonas con mayor concentración en minerales de plata, plomo y zinc, específicamente hacia el sector central.

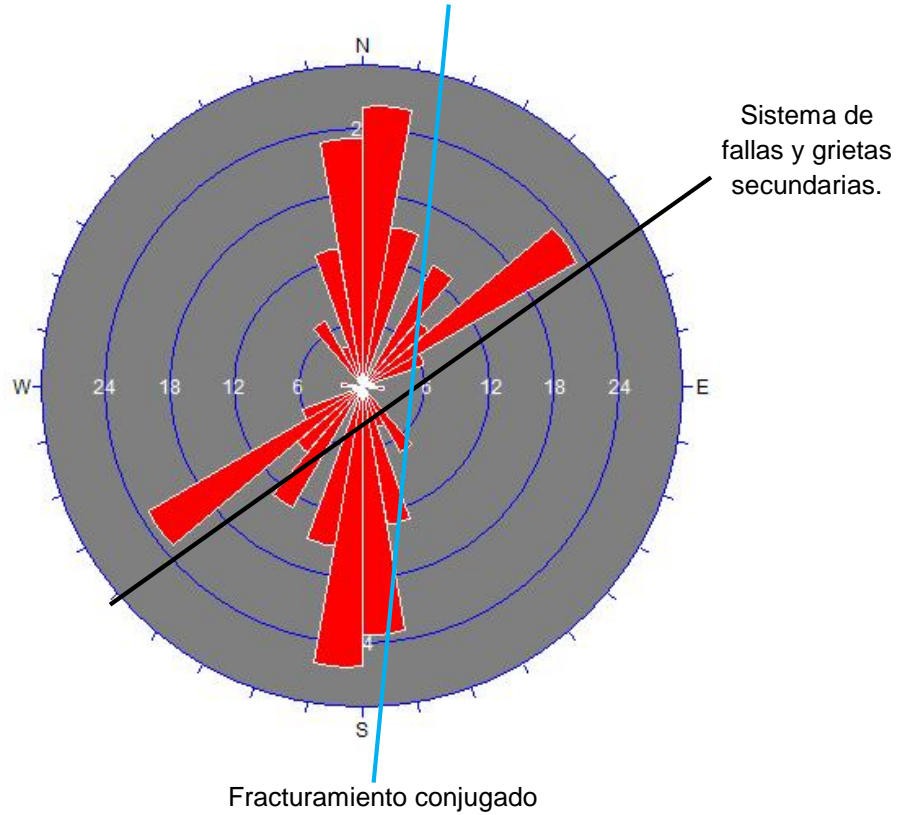
FIGURA 32
DIAGRAMA DE ROSETAS Y ESTÉREO FALSILLA PARA EL
DOMINIO N-S



Fuente: Investigación de campo. Año 2 014.

Se establece la continuidad y persistencia del dominio $N40^{\circ}-50^{\circ}E$ hacia este nivel con respecto a los niveles 1 290 msnm y 1 315 msnm, a partir de la tendencia de fallas menores con esta orientación y la incidencia del sistema de grietas de cuarzo-calcita mineralizadas, (Figura 33).

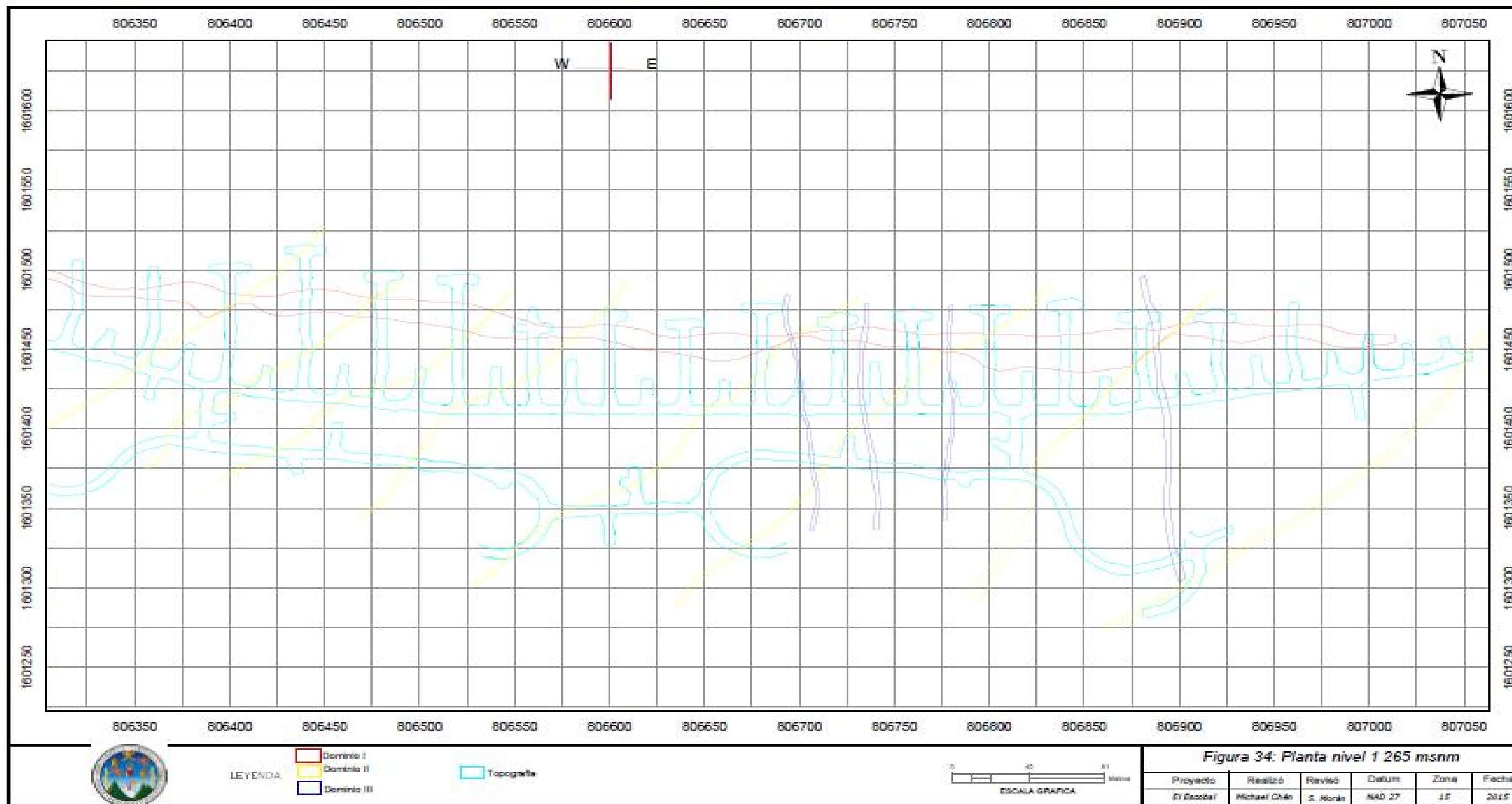
FIGURA 33
DOMINIO N-S VRS DOMINIO N45°E



Fuente: Investigación de campo. Año 2 014.

En la figura 34 se representa la zonificación de los tres dominios estructurales para el nivel 1 265 msnm, a partir de las estructuras mayores que enmarcan dicho comportamiento estructural.

FIGURA 34
DOMINIOS ESTRUCTURALES NIVEL 1265



Fuente: Elaboración propia, 2014.

3.6 Correlación de dominios estructurales entre niveles

De acuerdo a la interpretación de los dominios estructurales existentes entre los cuatro niveles; se determinó una relación directa entre los nivel 1 340 msnm y 1 315 msnm, mientras que los niveles inferiores 1 290 msnm y 1 265 msnm, tienen una variación en el comportamiento estructural preferencial.

Para los niveles 1 340 msnm y 1 315 msnm los dominios *NW-SE*, *E-W* son los de mayor influencia en el desarrollo de las obras, con menor frecuencia se marca el patrón *NE-SW*. Estos dominios se desarrollan en su mayoría sobre la Unidad de Andesita Porfírica, la cual presenta una mayor cohesión a la resistencia y a las zonas de ruptura.

Este comportamiento se debe a la presencia de fallas maestras con milonita y fracturamiento conjugado con orientaciones *NW-SE*, las cuales guardan una estricta correlación con la tendencia de los lineamientos regionales marcados en superficie. Las orientaciones *E-W* se encuentran asociadas a zonas de fracturamiento sin presencia de arcilla y se relaciona con la orientación preferencial de la zona de mineralización.

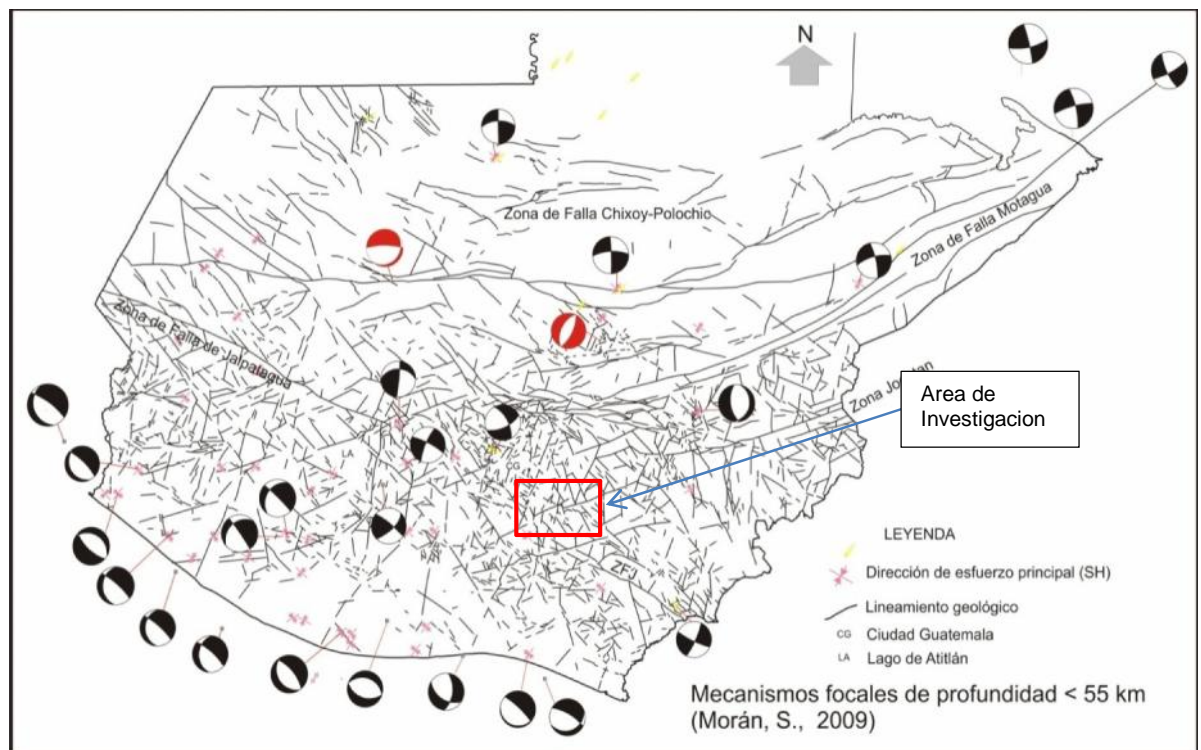
En los niveles 1 290 msnm y 1 265 msnm la tendencia principal del comportamiento estructural se orienta *NE-SW* hacia el oeste de la zona de investigación. Esta lineación se relaciona a un conjunto de fallas menores 1 m a 3 m de espesor con relleno de arcilla y a la presencia continua en ambos niveles de grietas de cuarzo-calcita mineralizadas que preferentemente buzan hacia el *SE*.

En el sector central para ambos niveles la tendencia es *N-S*. Esta orientación juega un papel determinante en el comportamiento del sector, ya que divide la zona en tres bloques bien definidos; no solo en el *trend* estructural sino en el comportamiento de la mineralización, ya que el sector

central se caracteriza por contener mayor concentración de minerales de plata, plomo y zinc.

La dirección *N-S* persistente en los niveles 1 290 msnm y 1265 msnm de igual manera se relaciona con el *trend* de lineamientos regionales marcados en superficie, visualizados en el diagrama de mecanismos focales para Guatemala; elaborado por Moran S. en 2009 (Figura 35). El dominio *N-S* puede ser correlacionado con el *trend* de lineamientos que delimitan el graben de la ciudad de Guatemala.

FIGURA 35
ESTRUCTURAS REGIONALES Y MECANISMOS FOCALES PARA
GUATEMALA

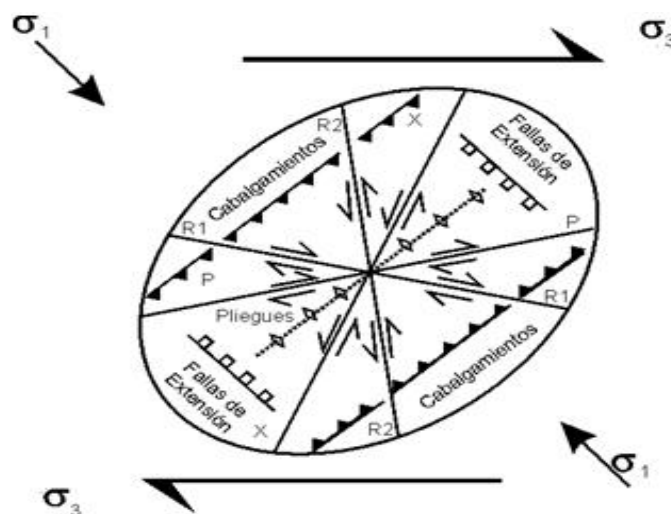


Fuente: Mecanismos focales para Guatemala. Moran Ical, Sergio David. Año 2 009.

De acuerdo al marco tectónico regional del sureste de Guatemala, los dominios estructurales persistentes en el área subterránea del proyecto El Escobal se asocian a la zona de deformación de la zona de falla de Jalpatagua (movimiento dextral) y la zona de distensión asociada a la zona de grabens de la ciudad de Guatemala.

En conformidad con el modelo teórico propuesto para la zona de falla de Jalpatagua (Figura 36), se establece la siguiente relación con la orientación de los dominios estructurales identificados en esta investigación: El Dominio II con orientación *NE* corresponde a estructuras antitéticas las cuales tienen una cinemática diferente a la del *trend* principal: el Dominio III cuya orientación es *NW* se asocia a fallas en zonas de extensión y el Dominio IV que afecta directamente a los niveles 1 290 msnm y 1 265 msnm se correlaciona como estructuras *riedel* dentro del modelo de elipsoide de deformación dextral.

FIGURA 36
MODELO DE ELIPSE DE DEFORMACIÓN DEXTRAL, ASOCIADO A LA
ZONA DE FALLA DE JALPATAGUA



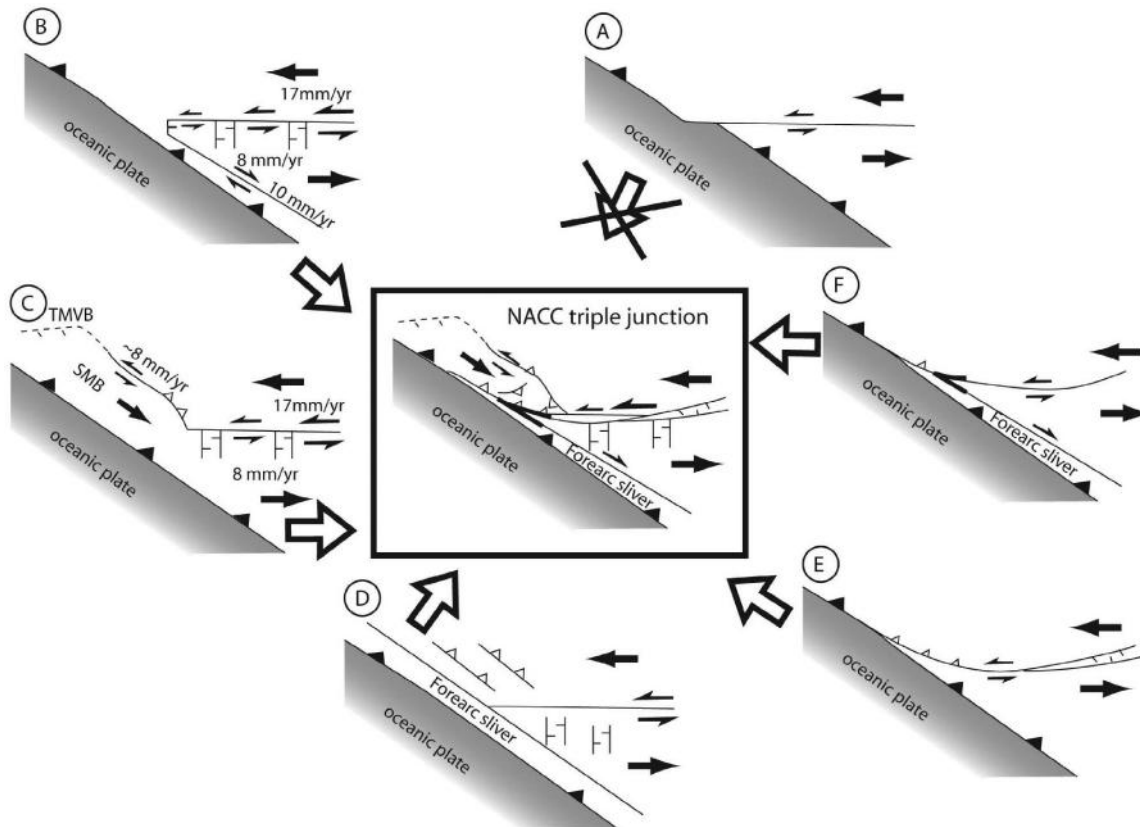
Fuente: Imagen modificada de C. W. Passchier & R.S.J Trouw. 1 980.

De acuerdo a los estudios realizados por Morán S. en 2011, acerca de la triple unión entre la falla del Motagua (movimiento sinextral *E-W*), falla de Jalpatagua (dirección *N330°*) y la zona de subducción, estable un modelo teórico para la zona denominado, modelo de cremalleras o *zipper*, (Figura 37).

Este modelo propone la existencia de una zona de distensión o relajación con dirección preferencial *N-S* el cual a nivel regional y superficial se caracteriza por una serie de fallas normales con la misma orientación. Esta tendencia estructural se asocia a la zona de grabens de la ciudad de Guatemala, Ipala y la caldera de Ayarza.

De acuerdo al modelo de cremalleras o *zipper* propuesto, se define una estrecha relación de la zona de relajamiento con la orientación del Dominio IV (dirección *N-S*).

FIGURA 37
 MODELO DE CREMALLERAS O ZIPPER (TRIPLE UNIÓN DE FALLAS)



Fuente: C. Authemayou, G. Brocard, C. Teyssier, T. Simon-Labric, A. Gutiérrez, E. N. Chiquín, y S. Morán (2011). *The Caribbean–North America–Cocos Triple Junction and the dynamics of the Polochic Motagua fault systems: Pull-up and zipper models.*

3.7 Modelo de estructuras mayores entre niveles

El modelo de estructuras principales dentro del área de investigación; se realizó en base a su correlación y continuidad vertical hacia los cuatro niveles analizados. Las fallas maestras (mayores) con relleno de arcilla del tipo montmorillonita que varían de espesor entre 0,6 m a 4,0 m y fallas menores 0,3 m a 2,5 m de espesor; fueron consideradas como los elementos importantes para la generación de los sólidos tridimensionales que permiten visualizar la continuidad vertical entre los niveles 1 340 msnm a 1 265 msnm.

Este tipo de estructuras son denominadas como fallas maestras, debido a su importancia e incidencia sobre el comportamiento estructural de los diferentes niveles analizados. Las mismas permiten determinar la orientación preferencial de las estructuras secundarias. El sistema de fracturamiento conjugado es el producto de los esfuerzos de tensión.

De acuerdo a la interpretación y modelamiento de las fallas principales identificadas en los cuatro niveles, se establece la existencia de tres dominios estructurales importantes; son estos: Dominio I, Dominio II y Dominio III.

El Dominio I, cuya orientación es *E-W* se relaciona estrechamente con el *trend* de mineralización del proyecto El Escobal. El Dominio II tiene una orientación preferencial *N50°E* y una tendencia predominante de los buzamientos hacia el *SE*, adjudicado al sistema de fallas secundarias y al *trend* de grietas de cuarzo-calcita mineralizadas con potencial para la exploración minera y que preferentemente denotan el potencial del bloque *SE* en el sector central del área de investigación, (Anexo VI, modelo de dominios estructurales, vista isométrica 1).

La orientación del Dominio III es *N20°W* con buzamientos predominantes hacia el *SW*. Este sistema se asocia a los *sets* de fracturamiento conjugado en el sector oeste y que desde el punto de vista geotécnico no genera inestabilidad en el desarrollo de la rampa principal, ya que por su orientación atraviesa en sentido transversal y diagonal a la misma. Hacia la parte este central la presencia de la Unidad de Dique Andesítico (*Ad*) asociado a un fallamiento con esta orientación, inciden en el comportamiento estructural con orientación *N50°W*.

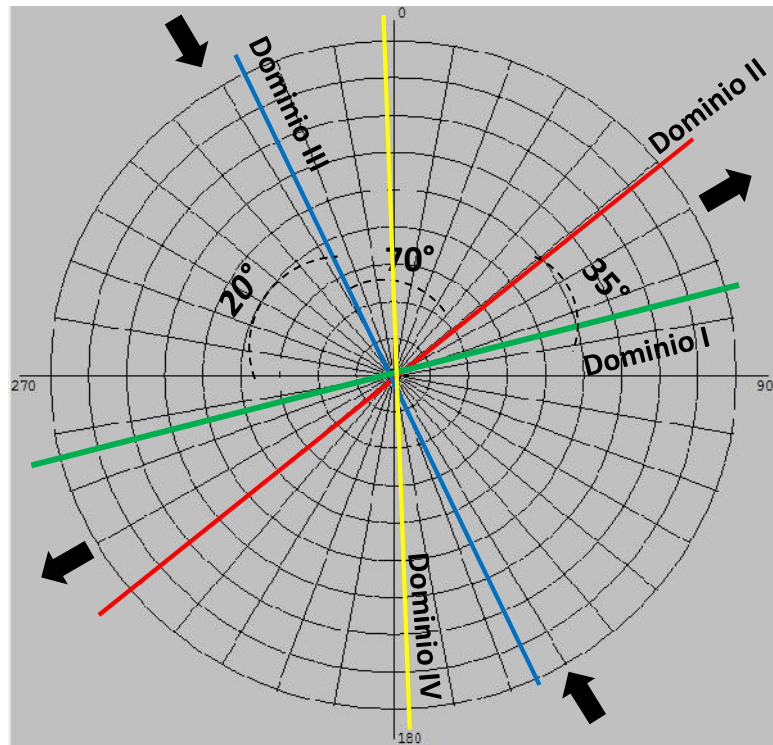
3.7.1 Geometría entre estructuras

De acuerdo al arreglo geométrico existente entre las estructuras principales que determinan la existencia de los tres dominios estructurales, se indica a continuación cuál es la geometría que guardan entre sí dichas orientaciones preferenciales.

Como se indicó, existen tres orientaciones preferenciales, en su orden de importancia e incidencia son; *E-W*, *N50°E* y *N20°W*, por lo que el arreglo geométrico existente entre ellos es: El Dominio I (*E-W*) guarda una relación angular de 35° con respecto al segundo Dominio y 75° con respecto a la tercera orientación preferencial, (Figura 38).

La relación geométrica existente entre los dominios estructurales II (*N50°E*) y III (*N20°W*) es de 70° . De acuerdo a este arreglo se interpreta que la zona de tensión para el área de investigación se encuentra orientada al *N70°* y una compresión en general al *NW*, similares orientaciones al marco regional.

FIGURA 38
GEOMETRÍA ENTRE ESTRUCTURAS PRINCIPALES (MODELO 2D)



Fuente: Investigación de campo. Año 2 015.

3.7.2 Modelo tridimensional de las estructuras mayores

La generación del modelo 3D de las estructuras que se correlacionan y tienen una continuidad vertical entre los niveles 1 340 msnm a 1 265 msnm, permite identificar cuál es el comportamiento de las mismas y su tendencia hacia los niveles inferiores.

El modelo de fallas principales para el área de investigación se realizó a partir del análisis de las estructuras maestras (fallas de mayor importancia) y el sistema de fracturamiento conjugado que contienen relleno de arcillas. Esta correlación se realizó con el *software* Gemcom-Surpac, el cual permite realizar una triangulación entre datos y generan un sólido entre varias elevaciones.

De acuerdo a los tres dominios estructurales interpretados, se generan los modelos tridimensionales para visualizar el comportamiento semi-sigmoidal que adoptan las estructuras entre nivel y nivel. Por lo consiguiente no todas las fallas identificadas tienen un comportamiento netamente recto, ya que las zonas de tensión y/o apertura de la roca caja, adoptan cierta suavidad para poder continuar su trayectoria hacia distintos niveles, (Anexos V al VII, modelo de dominios estructurales).

En el modelo tridimensional se representan los tres dominios establecidos para el área de investigación. Se representan los Dominios I; orientación *E-W*, Dominio II; rumbo preferencial *NE* y el tercer Dominio orientado *NW*. En la representación gráfica se logra observar la geometría que guardan entre dichas orientaciones preferenciales, (Anexos V al VII, modelo de dominios estructurales).

CONCLUSIONES

3.8 Conclusiones generales

- a) En el área de investigación afloran tres unidades litológicas; en su orden lito-estratigráfica de la base hacia el techo de la secuencia son: Unidad de Capas Rojas (Cr), Andesita Porfírica (Ap) y Dique Andesítico (Ad). Las Capas rojas consisten en una secuencia sedimentaria vulcanoclástica que incluye en su mayoría, areniscas de grano fino y horizontes de toba arenosa con tonalidad rojiza.
- b) La Unidad de Andesita Porfírica (Ap), mineralógicamente se caracteriza por contener feldespatos, biotita y cuarzo dentro de una matriz afanítica. El Dique Andesítico es la unidad más joven estratigráficamente, se distingue principalmente por mostrar una matriz de grano fino de color azulado oscuro con cristales de feldespato y poseer remanente magnético.
- c) El análisis e interpretación estructural de los niveles 1 340 msnm a 1 265msnm; deja como resultado la identificación de cuatro dominios estructurales, los cuales en su orden de incidencia son: Dominio I, orientación *E-W*, el cual se encuentra asociado al tren de mineralización del proyecto El Escobal y una zona de cizalla local de movimiento dextral. El Dominio II se orienta *N50°E* que guarda una relación con la zona de tensión a nivel local y regional. El Dominio III tiene una orientación *N20°W* y el Dominio IV tiene una dirección *N-S* que afecta principalmente los niveles 1 290 msnm y 1 265 msnm.

3.9 Conclusiones específicas

- a) En el área de investigación se delimitaron tres tipos de alteración: argilización (subdividida en fuerte y leve), propilitización y silicificación. La alteración argilica fuerte se caracteriza por el alto contenido de oxidación de limonita y manganeso en la matriz de la roca y planos de fracturas y fallas.
- b) La alteración argilica leve presenta bajos contenidos en óxido de manganeso y limonita principalmente en la matriz de la roca. El grado de alteración propilitica se caracteriza principalmente por la asociación de cuarzo-sericita, clorita-epidota y la intensidad de cloritización en la matriz de la roca caja. La alteración silica se caracteriza por desarrollar en la matriz de la roca una mayor cohesión conforme al grado de silicificación presente.
- c) El nivel 1 340 msnm se encuentra influenciado principalmente por dos dominios estructurales; el primero se orienta *E-W* determinado por un sistema de fallamiento con esta orientación y su relación directa con la zona de mineralización. El Dominio II es *N20°W* como resultado de un conjunto de fallas con esta orientación y un sistema de fracturamiento conjugado.
- d) En el nivel 1 315 msnm persiste el Dominio I con orientación *E-W* asociado a la mineralización de la veta principal. El segundo Dominio se orienta *N45°E*, como resultado de un sistema de fallas de rumbo con presencia de *gouge* y una asociación de grietas de cuarzo-calcita. El Dominio III tiene una dirección *N20°W* el cual se asocia a *sets* de fracturas riedel con relleno de arcilla menor a 10 cm.
- e) Los niveles 1 290 msnm y 1 265 msnm, se encuentran estrechamente relacionados por la persistencia del Dominio II (orientación *N50°E*). Un sistema de fallas con la misma orientación y la presencia de grietas de cuarzo-calcita mineralizadas permiten definir dicha tendencia. Un segundo sistema subordinado es el Dominio III (*N20°W*) y se aprecia en el sector central un

control estructural puntual con orientación *N-S* el cual divide el área de investigación en tres bloques; el sector oeste, la zona central y los desarrollos hacia el extremo este del proyecto.

- f) La zona de cizalla local del sistema de mineralización El Escobal se orienta *N80°E* y se ubica hacia el norte de la estructura mineralizada cuyo buzamiento promedio es de 65° hacia el norte. Esta cizalla tiene un movimiento dextral y su relación con el marco tectónico regional, es el *trend* de lineamientos en zonas de tensión asociado a la triple unión entre la falla del Motagua, Jalpatagua y la zona de subducción.

RECOMENDACIONES

- a) Considerar el modelo de dominios estructurales realizados para los cuatro niveles en análisis, en vista hacia los desarrollos de los niveles inferiores con la finalidad de proyectar las estructuras principales y prever futuras inestabilidades.
- b) Darle continuidad a la interpretación del comportamiento estructural en los niveles inferiores a desarrollar en un futuro, para utilizarlos como una herramienta desde el punto de vista geotécnico y analizar con ello las zonas que puedan tener potencial de inestabilidad en función del sistema de fracturamiento predominante.
- c) Realizar un estudio con mayor detalle enfocado al análisis estratigráfico de la Unidad de Capas Rojas en el proyecto El Escobal, con la finalidad de correlacionar las unidades litológicas de esta secuencia, con las formaciones ya establecidas para el Bloque Chortí en Guatemala.

BIBLIOGRAFÍA

- Authemayou C. *The Caribbean-North America-Cocos Triple Junction and the dynamics of the Polochic-Motagua fault systems: Pull up and zipper models*. United State of America: American Geophysical Union, 2 011.
- Donnelly, Thomas, Et.Al. *Northern Central America; The Maya and Chortís Blocks*. United States of America: The Geological Society of America, 1 990.
- Lillo, Javier. *Geología estructural aplicada a la minería y exploración minera: Principios básicos*. 2 013. <http://www.aulado.net/GEMM/GEMM.html>. (26 de octubre de 2 013).
- Moran Ical, Sergio David. *Mecanismos focales para Guatemala*. Carrera de ingeniero geólogo. Centro Universitario del Norte, Universidad de San Carlos de Guatemala. Cobán, Alta Verapaz, Guatemala: Carrera de Geología, 2 009.
- Newhall, Christopher. *Geología de la región del lago de Atitlán al occidente de Guatemala*. Journal of Volcanology and Geothermal Research. Amsterdam, Netherland: snt., 1 987.
- Ortega-Gutiérrez, Carlos, Et Al. *The Maya-Chortis Boundary: Tectonostratigraphic Approach*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2 007.
- Pérez Bol, Edgar Rolando. *Léxico estratigráfico del Bloque Chortí en Guatemala*. Tesis Ingeniero Geólogo. Centro Universitario del Norte- Universidad de San Carlos de Guatemala. Cobán, Alta Verapaz, Guatemala: Carrera de Geología, 2 000.
- Ragan, Donald M. *Structural Geology and Introduction to Geometrical Techniques*. London, England: Cambridge University Press., 2 009.
- Tahoe Resources. *Estudio hidrogeológico del proyecto de exploración minera Oasis, San Rafael Las Flores, Santa Rosa*. Minera San Rafael. San Rafael Las Flores, Santa Rosa, Guatemala: Departamento de exploración, 2 010.



Zhong, Jian, Et. Al. *Ontology of Fractures*. Stanford University. United States Of America: Department of Geological and Environmental Sciences, 2 009.

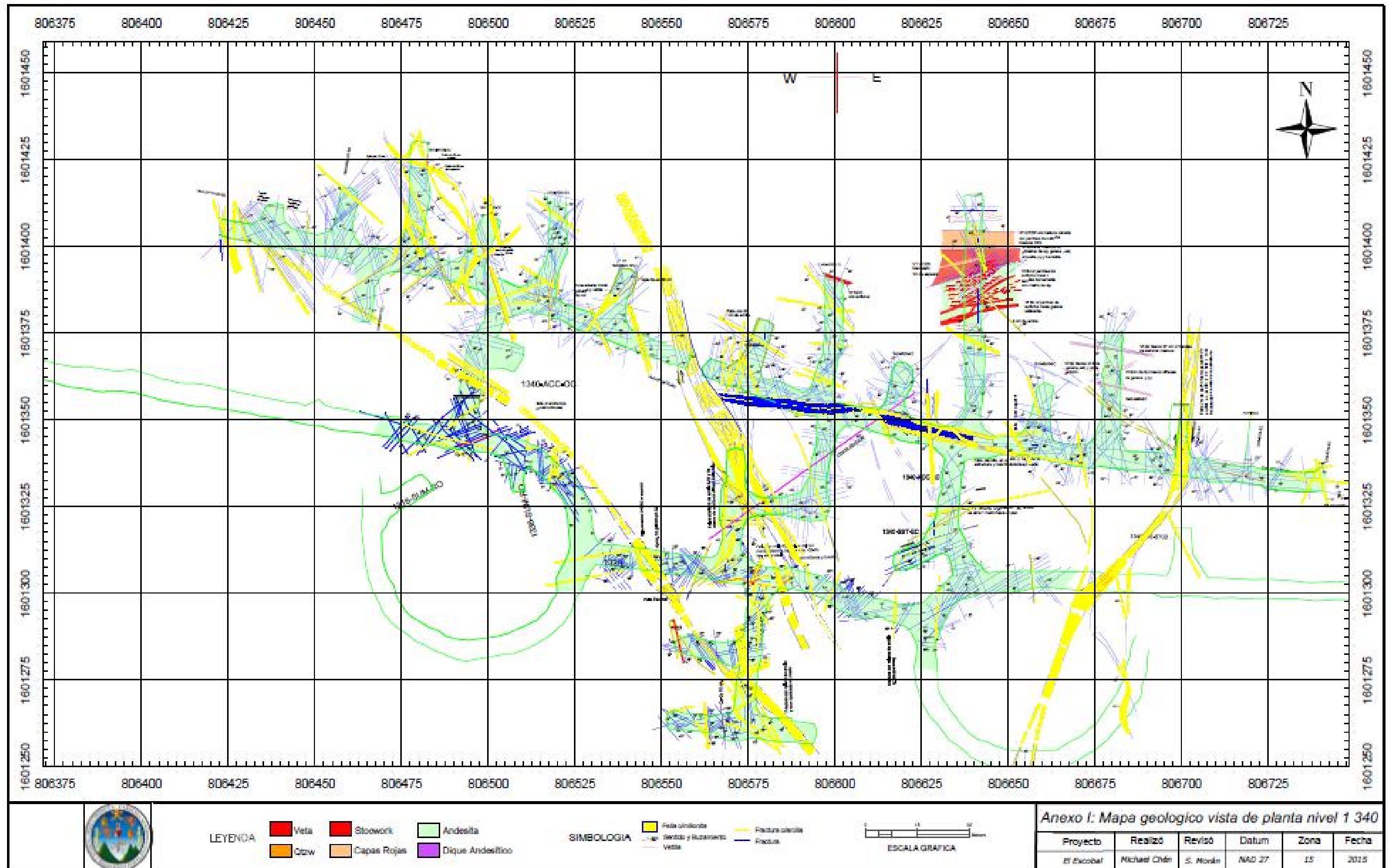


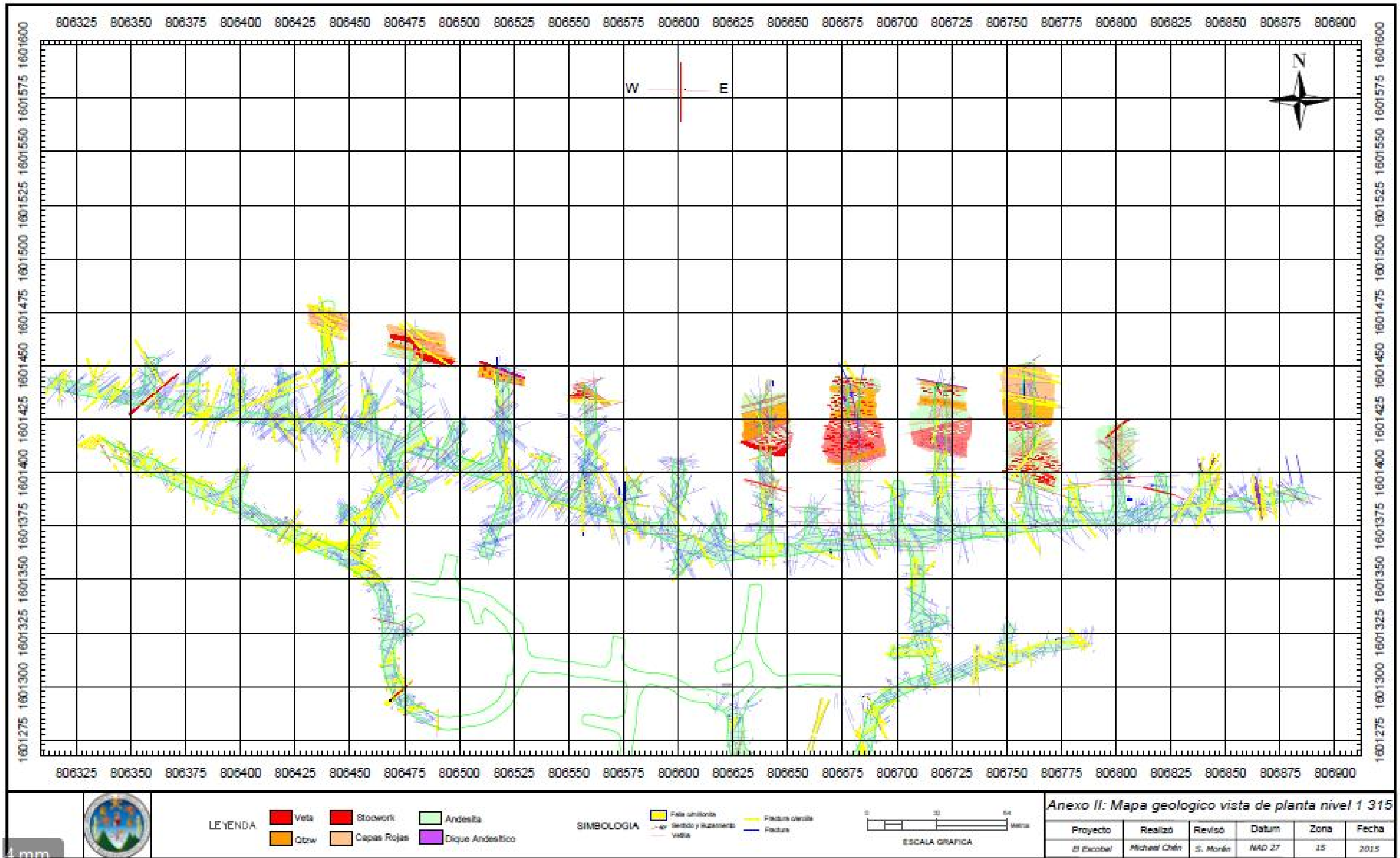
V.º B.º
[Handwritten signature]

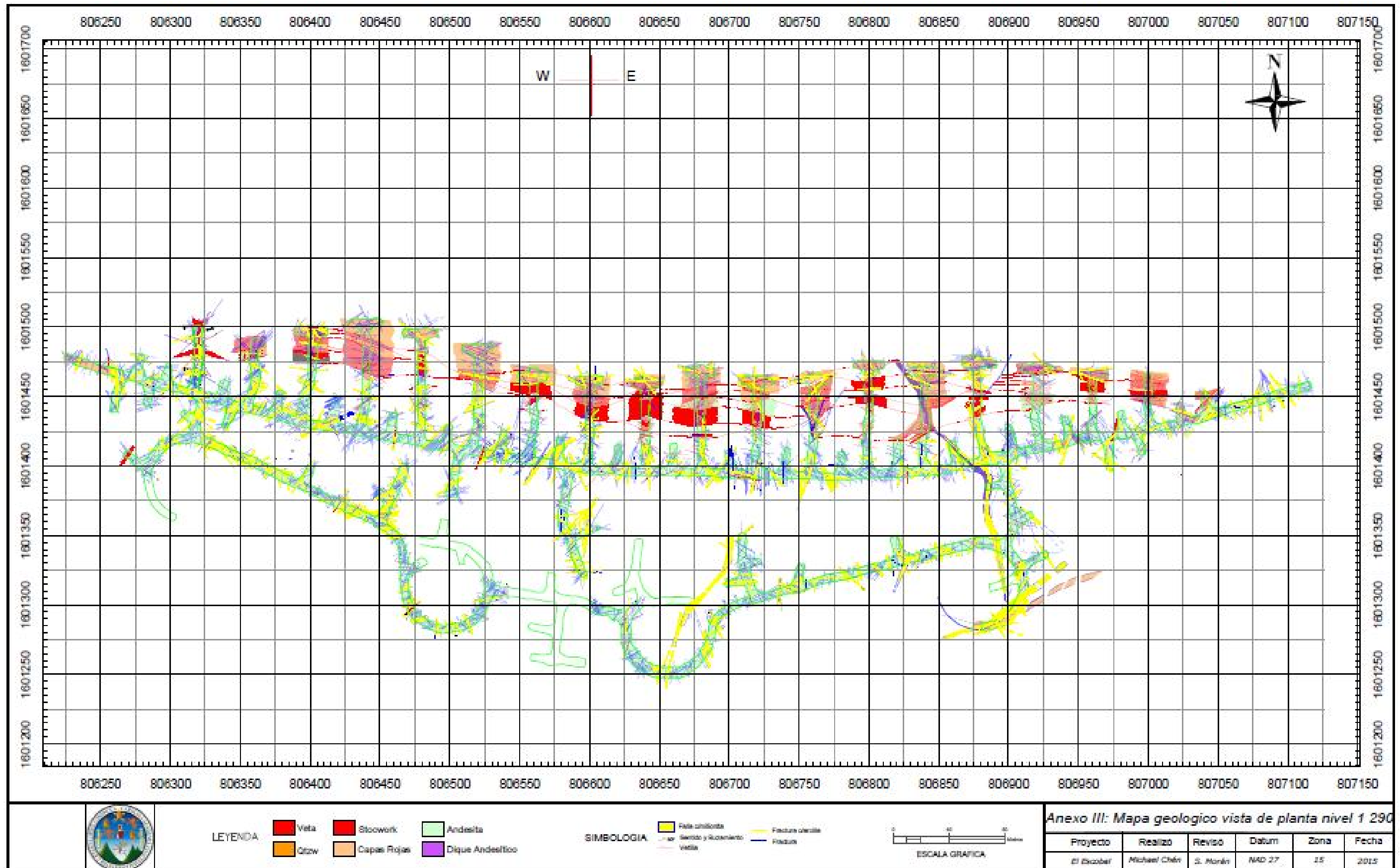
Adán García Véliz
Licenciado en Pedagogía e Investigación Educativa
Bibliotecario

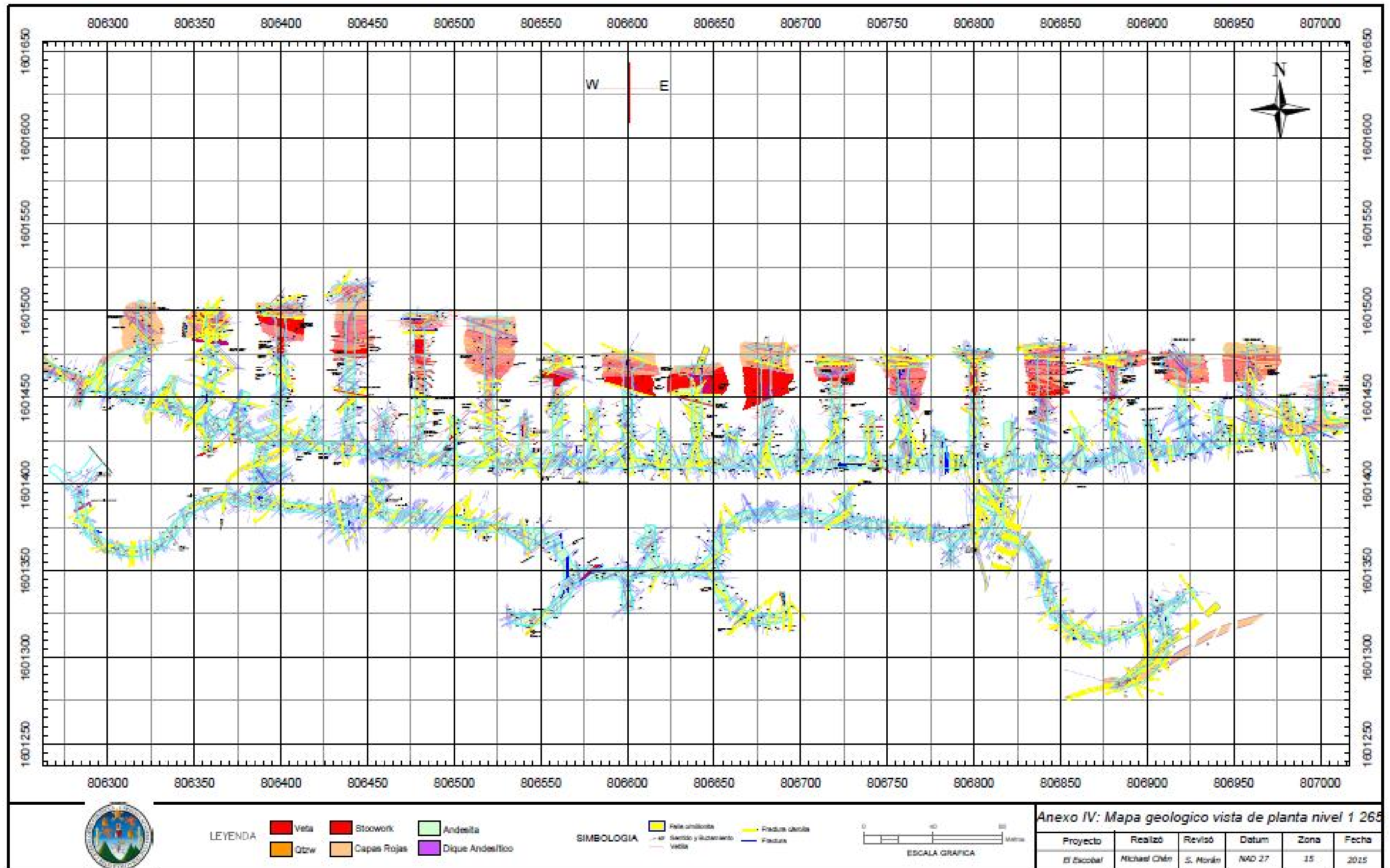


ANEXOS

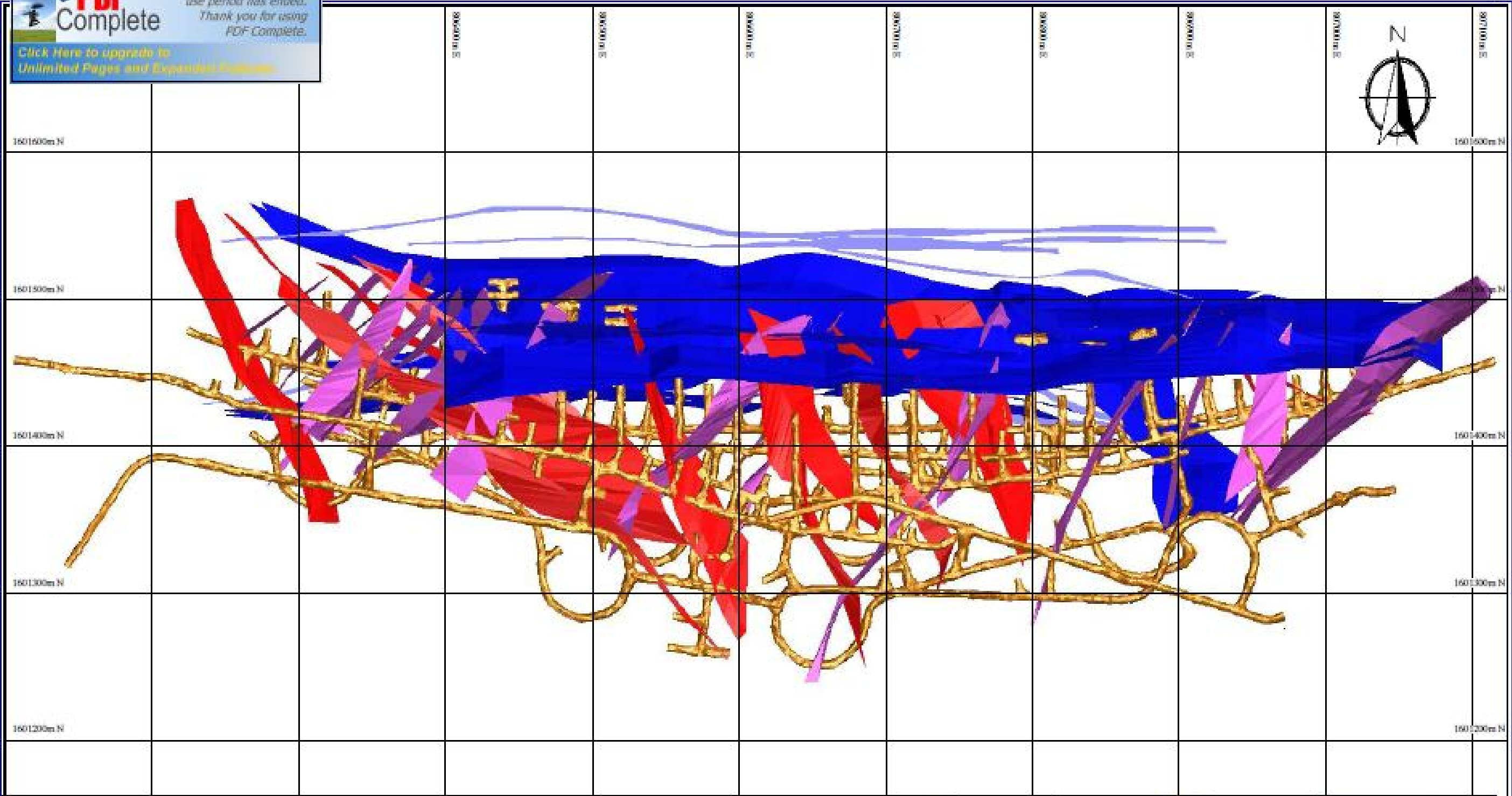
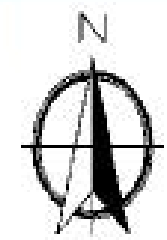








PDF Complete
use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features.](#)



LEYENDA

	Dominio I E-W
	Dominio II NE
	Dominio III NW

Modelo de Dominios Estructurales

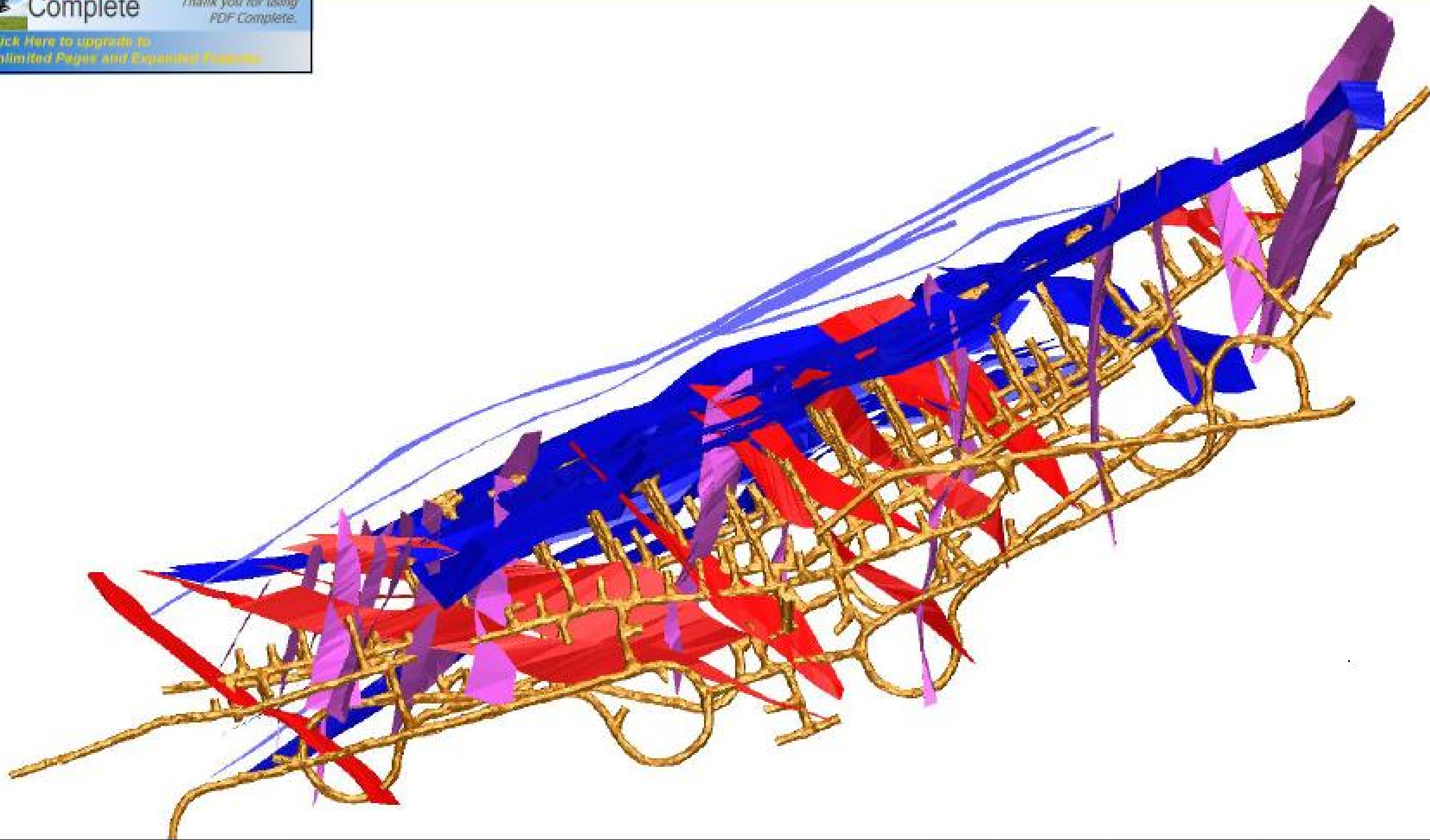
Vista de planta

DIBUJO:	M. Cruz
REVISO:	S. Morán
FECHA:	2015
AÑO:	V



ESCALA:	2500
DATUM:	NAD 27
ZONA:	15

PDF Complete
 use period has ended.
 Thank you for using
 PDF Complete.
[Click Here to upgrade to
 Unlimited Pages and Expanded Features](#)



LEYENDA

	Domnio I	EW
	Domnio II	NE
	Domnio III	NW

Modelo de Dominios Estructurales

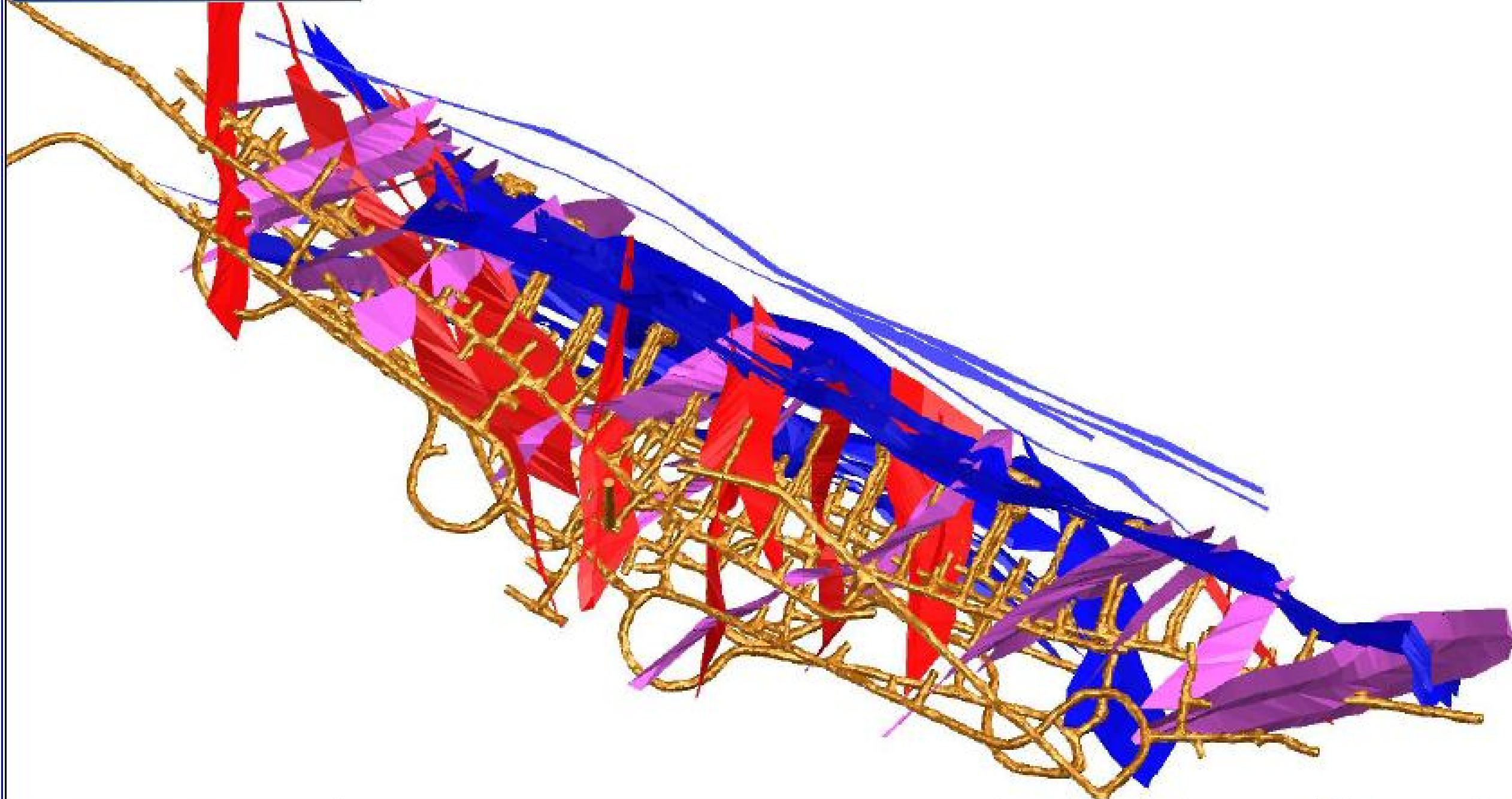
Vista Isometrica 1

DIBUJO:	M.Chen
REVISO:	S.Moran
FECHA:	2015
Area:	VI



ESCALA:	2500
DATUM:	NAD 27
ZONA:	15

PDF Complete
 use period has ended.
 Thank you for using
 PDF Complete.
[Click Here to upgrade to
 Unlimited Pages and Expanded Features](#)



LEYENDA

	Domnio I	EW
	Domnio II	NE
	Domnio III	NW

Modelo de Dominios Estructurales

Vista Isometrica 2

DIBUJO:	M. Cien
REVISO:	S. Moran
FECHA:	2015
Area:	VII



ESCALA:	2500
DATUM:	NAD 27
ZONA:	15



CUNOR

CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

Universidad de San Carlos de Guatemala



15111

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:

Geología

Al trabajo titulado:

"Análisis geológico estructural en el desarrollo de las rampas de acceso principal y su relación con la estructura mineralizada, Proyecto El Escobal, San Rafael Las Flores, Santa Rosa"

Presentado por el (la) estudiante:

Leonardo Michael Chen Cu

Autoriza el

IMPRIMASE

"Id y enseñad a todos"


Lic. Zoot. M.A. ~~Fredy Giovanni Macz Choc~~
DIRECTOR



Cobán, Alta Verapaz septiembre del 2015