

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN



**MODELADO ESTRUCTURAL DEL CUERPO MINERALIZADO
DELMY A TRAVÉS DE POZOS DE DEFINICIÓN, EN LA MINA
MARLÍN, GUATEMALA**

**PABLO ROBERTO MARROQUÍN HUN
199940005**

COBÁN, ALTA VERAPAZ, SEPTIEMBRE 2016

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**MODELADO ESTRUCTURAL DEL CUERPO MINERALIZADO
DELMY A TRAVÉS DE POZOS DE DEFINICIÓN, EN LA MINA
MARLÍN, GUATEMALA**

**PRESENTADO AL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO DEL
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE**

POR

**PABLO ROBERTO MARROQUÍN HUN
199940005**

**COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR AL TÍTULO NIVEL
LICENCIATURA DE INGENIERO GEOLOGO**

COBÁN, ALTA VERAPAZ, SEPTIEMBRE 2016

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR MAGNÍFICO

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

CONSEJO DIRECTIVO

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

COORDINADOR ACADÉMICO

Ing. Ind. Francisco David Ruiz Herrera

COORDINADOR DE LA CARRERA

Ing. Geól. Sergio David Morán Ical

COMISIÓN DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

COORDINADOR:	Ing. Geól. M.Sc. Osmín Jared Vásquez Hernández
SECRETARIA:	Ing. Geól. Silvia Friné Cortez Bendfeldt
VOCAL:	Ing. Geól. Ricardo Enrique Milián de la Cruz

REVISORA DE REDACCIÓN Y ESTILO

Ing. Químico Verónica Beatriz Juárez Jiménez

REVISOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Ing. Geól. Luis Alfonso Laj Hun

ASESOR

Ing. Geól. Sergio David Moran Ical



**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. PABLO ROBERTO MARROQUÍN HUN**, carné No. **199940005**, titulado: **“MODELADO ESTRUCTURAL DEL CUERPO MINERALIZADO DELMY A TRAVÉS DE POZOS DE DEFINICIÓN, EN LA MINA MARLIN, GUATEMALA”**, 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 Ica
Docente Asesor
Carrera Geología, CUNOR





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

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz

PBX: 79 566 600 Ext. 209

Guatemala, C. A.

c. e.: geologiausac@gmail.com

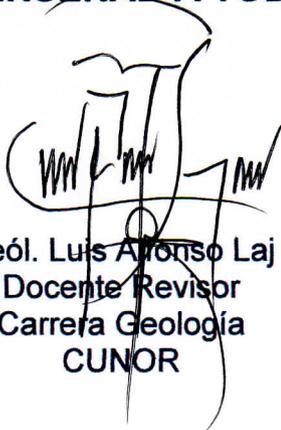
Señores
Comisión Trabajos de Graduación
Carrera Geología
CUNOR

Respetables Señores:

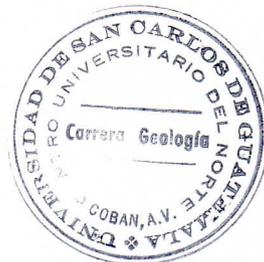
Por este medio informo a ustedes que he procedido a la **REVISIÓN** del informe final de Trabajo de Graduación del **T.U. GEÓL. PABLO ROBERTO MARROQUÍN HUN**, carné No. **199940005**, titulado: **“MODELADO ESTRUCTURAL DEL CUERPO MINERALIZADO DELMY A TRAVÉS DE POZOS DE DEFINICIÓN, EN LA MINA MARLIN, GUATEMALA”**, 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. Geól. Luis Alfonso Laj Hun
Docente Revisor
Carrera Geología
CUNOR





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

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

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: **“MODELADO ESTRUCTURAL DEL CUERPO MINERALIZADO DELMY A TRAVÉS DE POZOS DE DEFINICIÓN, EN LA MINA MARLIN, GUATEMALA”**, realizado por el (la) T.U. GEÓL. PABLO ROBERTO MARROQUÍN HUN, carné n.º 199940005, 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”

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'V. Juárez Jimé', written over the typed name and title.

Inga. Química Verónica Beatriz Juárez Jiménez
Comisión Redacción y Estilo
Carrera Geología, CUNOR



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: **“MODELADO ESTRUCTURAL DEL CUERPO MINERALIZADO DELMY A TRAVÉS DE POZOS DE DEFINICIÓN, EN LA MINA MARLÍN, GUATEMALA”**, como requisito previo a optar al título profesional de Ingeniero Geólogo.



T.U. Geol. Pablo Roberto Marroquín Hun
Carne: 199940005

RESPONSABILIDAD

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

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

AGRADECIMIENTOS A:

Dios todopoderoso, por ser el pilar de mi vida, por darme fortaleza en los momentos difíciles y sabiduría en las decisiones que he tomado, gracias señor porque todo lo que tengo es por ti.

Mi padre, Mario Rolando Marroquín (QEPD), por todo lo que me distes y los momentos que disfrutamos juntos, sé que estás sentado al lado del señor feliz por lograr uno de mis objetivos.

Mi madre Aura Dalia Hun de Marroquín, porque lucho sola para sacarnos adelante, por sus consejos, comprensión, amor, enseñanzas y por todo el apoyo que me dio para ser una mejor persona, sinceramente muchas gracias por usted alcance esta meta.

Mis hermanos Marwin Rolando, Luis Fernando y Jose Julián por todos sus consejos y todo el apoyo que me han dado.

Mis sobrinas y sobrinos quienes han sido mi motivación e inspiración para culminar mis metas.

Mi novia, por darme palabras de aliento cuando lo necesitaba. Tú estuviste ahí apoyándome para poder culminar esto, gracias por todo Soany.

Los ingenieros Sergio Moran y Erick Noe Cacao por brindarme consejos y orientaciones en el desarrollo del presente trabajo.

La Universidad de San Carlos de Guatemala, especialmente al Centro Universitario del Norte por abrir sus puertas para formarme profesionalmente.

Todos los catedráticos de la carrera de Geología, por su dedicación y su esfuerzo, quienes me han aportado todos los conocimientos profesionales.

Mis compañeros de trabajo de mina Marlin, por brindarme apoyo y palabras de aliento para poder culminar esta investigación.

A la empresa por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de graduación.

Sinceramente... Muchas gracias,

Pablo Roberto.

ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE DE CONTENIDOS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vi
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS	vii
RESUMEN	ix
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

1.1.	Problema	5
1.2.	Planteamiento del problema	5
1.3.	Justificación	6
1.4.	Hipótesis	6
1.5.	Alcances y límites	7
	1.5.1. Alcances	7
	1.5.2. Límites	7
1.6.	Antecedentes	7
1.7.	Localización y extensión	8
	1.7.1. Localización Geográfica	8
	1.7.2. Localización	9
	1.7.3. Vías de acceso	10
1.8.	Clima	11

1.9.	Vegetación	12
1.10.	Drenaje	12
1.11.	Fisiografía	13
1.12.	Cadena volcánica	14
1.13.	Yacimiento mineral	15
1.13.1.	Yacimiento hidrotermal	17
1.13.2.	Yacimientos Epitermales	19
1.14.	Ambiente tectónico regional	22
1.14.1.	Generalidades	22
1.14.2.	Fallamiento	25
1.15.	Geología regional	26
1.15.1.	Bloque Chortí	26
1.15.2.	Basamento metamórfico del pérmico y pre-pensilvanico	28
1.15.3.	Unidad clástica terciario	28
1.15.4.	Complejo Marlín del terciario	30
1.15.5.	Unidad de diques porfiríticos	30
1.15.6.	Depósitos Piroclásticos del cuaternario	31
1.16.	Estratigrafía Marlín	31
1.17.	Métodos de minado	32
1.17.1.	Método tiro largo (<i>Longhole stoping</i>)	33
1.17.2.	Método corte y relleno (<i>Cut and fill</i>)	34
1.18.	Índice de calidad de roca (RQD)	35
1.19.	Réflex	35
1.20.	Modelos geológicos	37

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

2.1.	Generalidades	39
2.2.	Marco metodológico	39
2.2.1	Etapa de recopilación y análisis bibliográfico	39

2.2.2	Etapa de campo	39
	a. Marcación de líneas en el campo	40
	b. Barrenación y logueos de pozos	40
2.2.3.	Etapa de laboratorio	41
2.2.4.	Etapa de gabinete	41
2.3.	Metodología aplicada	42
2.3.1.	Descripción geológica de testigos	42
	a. Unidad de Vulcanoclásticos (Tv)	42
	b. Unidad de Veta de cuarzo (VQz)	43
	c. Unidad de brecha hidrotermal (Bxh)	45
	d. Unidad de Vulcanoclásticos fallado (ft)	46
2.3.2.	Modelamiento geológico Delmy	48
2.3.3.	Análisis del índice de calidad de roca (RQD)	61

CAPITULO 3

ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1	Generalidades	71
3.2	Modelo geológico Delmy	71
3.3.	Modelo de anomalías	74
3.4.	Modelos según clasificación de Barton	76

CONCLUSIONES	81
a. General	81
b. Especificas	81
RECOMENDACIONES	83
BIBLIOGRAFÍA	85
ANEXOS	87
Anexo I. Plan de perforación	89

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Marco tectónico regional	9
2	Área de estudio, proyecto Marlín	10
3	Vías de acceso al área de trabajo	11
4	Patrón de drenaje, subparalelo a dendrítico	13
5	Mapa de las provincias fisiográficas de Guatemala, ubicación del proyecto Marlín	15
6	Esquema del origen de mineralizaciones hidrotermales	18
7	Sistema Epítermal de baja Sulfidación	20
8	Mineralogía de los diferentes sistemas de formación hidrotermal	21
9	Características de formación de sistemas epítermales de baja sulfidación	22
10	Mapa mostrando la triple unión de placas tectónicas, mina Marlín	23
11	Tectónica regional de Centro América	24
12	Columna estratigráfica Marín	32
13	Solido de tiro largo niveles 1 909 a 1 874, mina Marlín	33
14	Sección mostrando lo minable en método tiro largo	34
15	Vista en isométrico de tres niveles con corte y relleno (vista noroeste)	35
16	Modelo geológico estructural	37
17	Base de datos para inicializar proyecto Delmy	50
18	Inicialización del proyecto <i>minesight</i>	51
19	Agrupación de información para despliegue de sondeos	52
20	Vista en planta, dirección preferencial de la estructura	53
21	Parámetros utilizados en base con datos de campo y laboratorio, programa <i>minesight</i>	54
22	Vista en planta mostrando Grid set cada 20 metros sobre el rumbo de la barrenación	55
23	Cuadro de dialogo que indica el número de secciones utilizadas	56

24	Sección L S-8, se visualiza en 2D	57
25	Sección L N-8, correlación geológica de valores de Au	58
26	Vista visualizando el total de polígonos para crear solido	59
27	Sección en planta, nivel 1 912 visualizando polígonos en 2D	59
28	Solido del cuerpo mineralizado Delmy	61
29	Parámetros en ASD2014.csv, observando datos de RQD	65
30	Parámetros en base a la clasificación de Barton	66
31	Sección indicando lugar del corte del modelo	67
32	Cuadro de parámetros, roca de calidad muy mala	68
33	Vista en planta en base a clasificación de Barton utilizando el parámetro de 0-25 %	69
34	Vista en sección línea 9, valores de Au en unidad de falla, nivel 2 050 al 2 100	72
35	Vista en sección línea 5, valores de Au en niveles inferiores entre 1 900 a 1 970	73
36	Modelo final del cuerpo mineralizado Delmy	74
37	Vista en sección longitudinal mostrando modelo de anomalías de AuEq	75
38	Vista en sección longitudinal mostrando baja ley	76
39	Vista en planta de zonas de mala calidad según RQD	77
40	1. Planta indicando la calidad de roca muy mala en caja piso. 2. Sección mostrando que los modelos en base a RQD Se muestran paralelos a la estructura	78
41	Vista en planta mostrando RQD formando cuñas en caja techo	79

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

1	Equipo de medición réflex	36
2	Unidad de Vulcanoclásticos con fragmentos lutíticos	43
3	Veta con indicios de sulfuros de plata (Ag)	44
4	Unidad de brecha en contacto con veta, contacto fallado	45
5	Unidad de brecha con clastos metamórficos	46
6	Unidad de Vulcanoclásticos fallado, alteración argílica	47
7	Unidad de Vulcanoclásticos fallado en contacto con veta	48
8	Máquina de perforación en la estación Delmy	49
9	Sondeo con calidad de roca de buena a muy buena	63
10	Sondeo con calidad de roca muy mala	64

ÍNDICE DE TABLAS

1	Vértices del Área de investigación	9
2	Parámetros de Barton	62

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

Au	Oro
Ag	Plata
RQD	Designación de la calidad de roca
N	Norte
S	Sur
E	Este
Cr	Cromo
Ni	Níquel
Mg	Magnesio
Fe	Hierro
SO ₄	Sulfato
SO ₂	Dióxido de azufre
Cu	Cobre
Pb	Plomo
Zn	Zinc
Bi	Bismuto
Tvlt	Conglomerado a brecha volcánica, tamaño de grano 1-4 cm
Tvbt	Conglomerado a brecha volcánica, tamaño de grano > 4 cm
Tvlg	Conglomerado con > 10 % de clastos metamórficos, clastos soportados, abundante clastos de gneiss y esquistos
Tvar	Arenisca tobacea, limonita y ceniza tobacea capas delgadas
Tvbs	Limonitas a areniscas de grano medio poco estratificada a masiva
Tvarl	Conglomerado heterolítico/ arenisca con >10 % clastos de lodolita
AuEq	Oro equivalente
Ug	Subterráneo

RESUMEN

La investigación se desarrolló en rampa Coral, mina subterránea Marlín, San Marcos, para identificar una estructura de oro y plata por medio de barrenación.

Se ejecutaron varias líneas de barrenación para la estructura mineralizada Delmy con 5 000 metros perforados, los cuales se describieron varias unidades siendo las más importantes geológicamente y por resultados de los análisis en el laboratorio UNIDAD DE VETA DE CUARZO (VQz) y la UNIDAD DE VULCANOCLÁSTICOS FALLADO (FI)

Se estableció un modelo geológico de la estructura mineralizada DELMY con una orientación N-S y una inclinación de 70 grados al Este, esto fue desarrollado por medio del programa minero *minesight*, usando como base de datos toda la información recabada en la etapa de campo y laboratorio.

Se realizó un modelo de anomalías determinando 4 zonas: zona de estéril (< 2.0) g/t, zona de baja ley (≥ 2) g/t, zona de moderada ley (≥ 5) g/y y zona de alta ley (≥ 15) g/t., esto con la finalidad de conocer la distribución de Au en la estructura Delmy.

En el análisis de RQD en sondeos, se utilizó el parámetro de roca muy mala, según la clasificación de Barton, indicándonos que podemos encontrar 13 zonas de roca de mala calidad que pueden afectar en las construcciones de accesos al mineral.

INTRODUCCIÓN

El depósito de Marlin a través de estudios de prospección geológica fue descubierto en el año 1998, luego de una serie de actividades como mapeo, muestreo de rocas, suelos, etc., se concluyó que mina Marlin es un yacimiento Epitérmal de Baja Sulfuración, en donde la mineralización está contenida en una veta compuesta por cuarzo-calcita.

El programa minero *minesight* es una herramienta innovadora que contribuye a la construcción de modelos geológicos dinámicos 3D, en donde los sondajes son el punto de partida para la generación del mismo así como los análisis del laboratorio para la determinación de valores de oro y plata.

La información de la geología del área es importante para el diseño de una mina y con la implementación de *software* para la generación de modelos es necesario ya que ayuda a la toma de decisiones para el diseño de accesos, galerías y para la extracción de oro y plata en la mina subterránea del depósito Marlin ubicada en el municipio de San Miguel Ixtahuacán del departamento de San Marcos.

OBJETIVOS

General

Evaluar la estructura mineralizada en su extensión norte, por medio de barrenos de definición.

Específicos

- a) Describir la litología de testigos que se encuentran en el área de influencia.
- b) Analizar las estructuras geológicas del sector cercano al depósito
- c) Establecer la distribución de anomalías por interpolación de Au mostrando zonas de alta y baja ley.
- d) Contrastar los resultados estructurales y valores para proponer el modelo geológico del depósito.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1. Problema

Mina Marlín se encuentra ubicada en el municipio de San Miguel Ixtahuacán del departamento de San Marcos, con la finalidad de aumentar las reservas de Au y Ag para la empresa, se ha encontrado una nueva estructura al Noroeste del depósito Marlín.

El depósito fue descubierto a partir de sondeos de exploración realizados en la rampa Coral desde el subterráneo y de acuerdo con la necesidad de la empresa se hace la pregunta ¿es preciso definir la extensión de la estructura, la orientación de la veta, zonas de contenido mineralizado y obtención de datos del RQD por medio de la barrenación subterránea?, esto con el propósito de determinar la secuencia del minado y planificar la construcción de rampas y accesos desde las obras principales.

1.2. Planteamiento del problema

La estructura Delmy fue descubierto por pozos de exploración. Para la evaluación del yacimiento y planificación del minado se hace la pregunta ¿Cuál es la extensión, tendencia, distribución y contenido mineralizado del depósito Delmy?

1.3. Justificación

En la actualidad en Guatemala no se ha trabajado y generado información en relación al tema de modelamiento de cuerpos mineralizados, por lo cual el objetivo del presente proyecto es contribuir al estudio y conocimiento de modelos geológicos subterráneos.

A partir de pozos de exploración desde subterráneo se ha determinado que al Noreste del depósito Marlín, existe una estructura de cuarzo, es indispensable realizar el modelo geológico del cuerpo mineralizado Delmy para planificar las rampas de acceso teniendo como objetivo principal la extracción del mineral.

El departamento de planificación debe tener el conocimiento de la distribución de las zonas de Au y Ag, por tal razón se debe realizar un modelo de anomalías que indicará las mejores zonas mineralizadas para determinar su mejor forma de explotación.

Para ver si existen zonas inestables que puedan afectar en la planificación de rampas de acceso, prever las formas de fortificación y tipo de minado que se realizará a corto plazo, se hará el análisis del RQD para determinar la calidad de la roca

1.4. Hipótesis

El cuerpo mineralizado con mayor valor posee una distribución estructural con tendencia N-S, de tipo extensional.

1.5. Alcances y limites

1.5.1. Alcances

Los alcances del presente proyecto de investigación están enfocados a las características geológicas y estructurales del depósito Delmy y así enriquecer la literatura de la geología de Guatemala. La investigación corresponde a un estudio descriptivo, en la cual se realizaron los pozos de definición y resultados estructurales para delimitar el modelo del depósito.

1.5.2. Limites

La presente investigación se realizó en rocas volcánicas del terciario. En el aspecto investigativo, el trabajo se limita a las características que se desarrollan en el área de influencia del depósito Delmy, no abarcando las áreas de los alrededores.

1.6. Antecedentes

Los inicios del yacimiento Marlin en el año 1998 por Montana Exploradora fueron descubiertos por un programa de exploración con reconocimiento geológico, incluyendo levantamiento geoquímico de sedimentos fluviales.

Posteriormente a los avances encontrados, el área de concentración fue de 10 km², donde se realizó la toma sistemática de muestras de suelos además de excavación y muestreo de trincheras o calicatas de exploración. El resultado de la exploración local fue la definición de varios blancos para la exploración de detalle por medio de perforación.

Desde el año 2005 se ha trabajado en la extracción de oro y plata, con los tipos de minado superficial y subterráneo, en la actualidad en mina subterránea se está trabajando con la metodología de tiro largos (*Long Hole*), dejando atrás el método inicial Corte y Relleno.

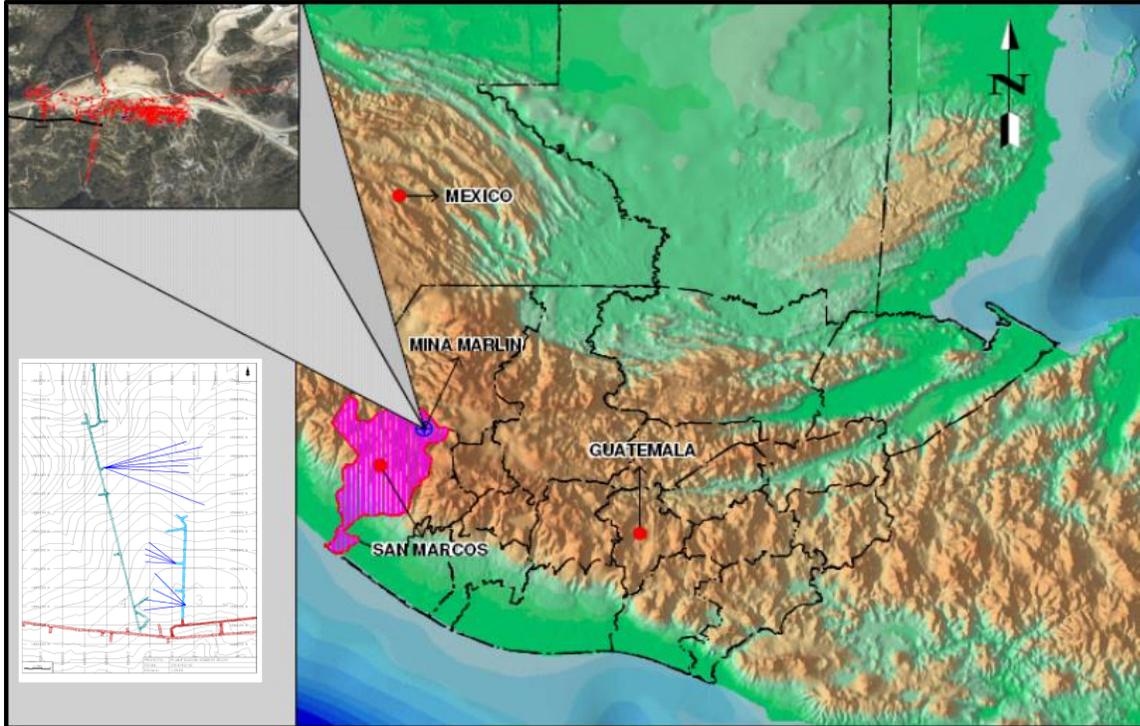
1.7. Localización y extensión

1.7.1. Localización geográfica

La ubicación del área de estudio se encuentra en la parte Oeste del país, sobre la Faja Volcánica activa del Oeste de Guatemala, al Norte de la Zona de Subducción del Pacífico, dentro de una zona de fallas que cortan una secuencia de rocas volcánicas, calco alcalinas del terciario, proporcionando las características geológicas necesarias en el tiempo para la formación de este tipo de yacimientos. (Figura 1)

De acuerdo a la litología de las roca huésped, rocas volcánicas Terciarias de diferentes clases y de tipo calco alcalino, tipos de alteración, texturas de la veta y geométrica del cuerpo, el yacimiento de Mina Marlín, es catalogado como Deposito Epítermal Au-Ag de Baja Sulfuración.

FIGURA 2 ÁREA DE ESTUDIO, PROYECTO MARLÍN



Fuente: Investigación de campo. 2015

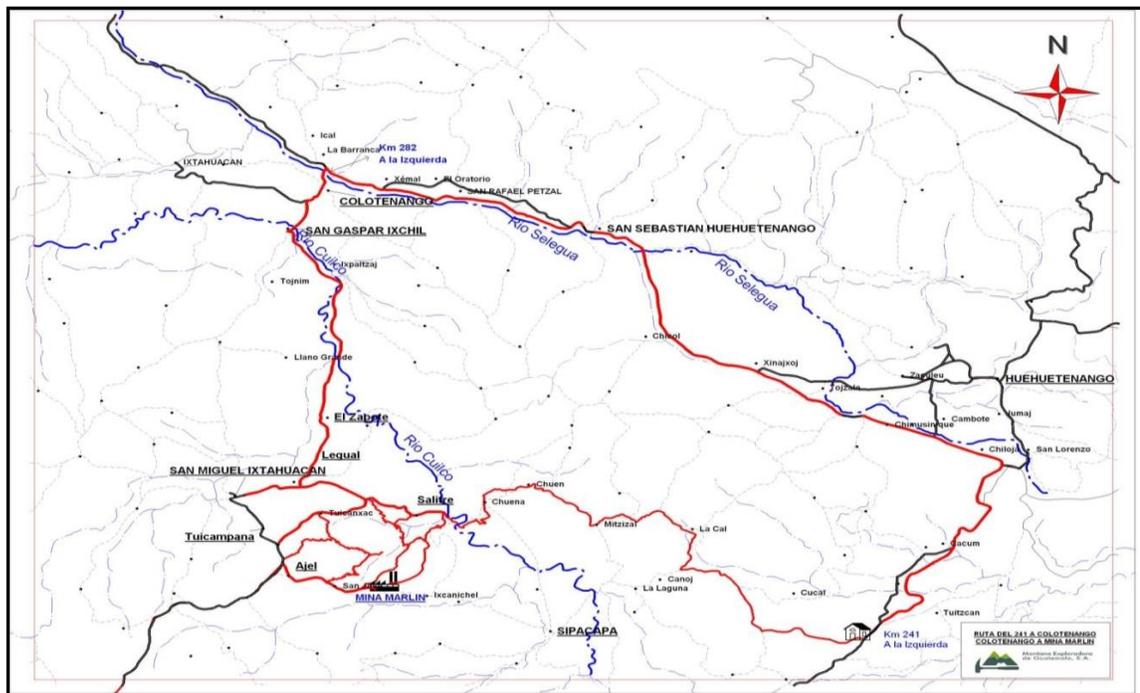
1.7.3. Vías de acceso

Para llegar al área de estudio ubicado en Mina Marlín, Caserío San José Nueva Esperanza, San Miguel Ixtahuacán, San Marcos se parte de la ciudad capital por medio de la ruta nacional N-1 que comunica con la carretera CA-1, ruta interamericana, que conduce al departamento de Huehuetenango, en el kilómetro 241 conocido como La Cruz de la Lacha, se utiliza una carretera alterna de terracería de 30 km, el cual es transitada por cualquier tipo de vehículo. (Figura 3).

Existen otros accesos que también conducen a Mina Marlín, el primero es por la Ruta Interamericana llegando a la Cabecera del

Departamento de San Marcos, pasando por Tejutla y en la aldea San Antonio se cruza hacia las instalaciones de la mina. Y la segunda vía de acceso es por el municipio de Colotenango y San Gaspar Ixil, del departamento de Huehuetenango. También existen veredas y caminos vecinales todos de terracería en el departamento que sirve de comunicación entre poblados vecinos.

FIGURA 3
VÍAS DE ACCESO AL ÁREA DE TRABAJO



Fuente: Investigación de campo. 2015

1.8. Clima

El clima en el departamento es variado, con inviernos secos y veranos húmedos en el litoral, cálidos y húmedos en el declive del Pacífico, frío seco en las regiones de las montañas volcánicas y altiplanicie central. El Proyecto se ubica en la región del altiplano del país, en una franja seca con temperaturas altas y precipitaciones deficitarias.

(aproximadamente con 1 000 milímetros al año) que sigue el río Cuilco, limitada al norte por la sierra de los Cuchumatanes y al sur por los volcanes Tacaná y Tajumulco.¹

Las temperaturas en el departamento no son extremas, pero se presentan heladas meteorológicas en el periodo de diciembre a febrero en áreas de altitudes mayores a 2 000 metros sobre el nivel del mar.

1.9. Vegetación

Este departamento por la topografía del terreno posee diversidad de climas y por ende sus zonas de vida son diversas, se identifican siete zonas de vida bien definidas:

- Bs-S Bosque Seco Subtropical
- Bh-S(t) Bosque Húmedo Subtropical Templado
- Bh-(c) Bosque Húmedo Subtropical Cálido
- Bmh-S(c) Bosque Muy Húmedo Subtropical Cálido
- Bh-MB Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical
- Mmh-MB Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical
- Bmh-M Bosque Muy Húmedo Montano Subtropical

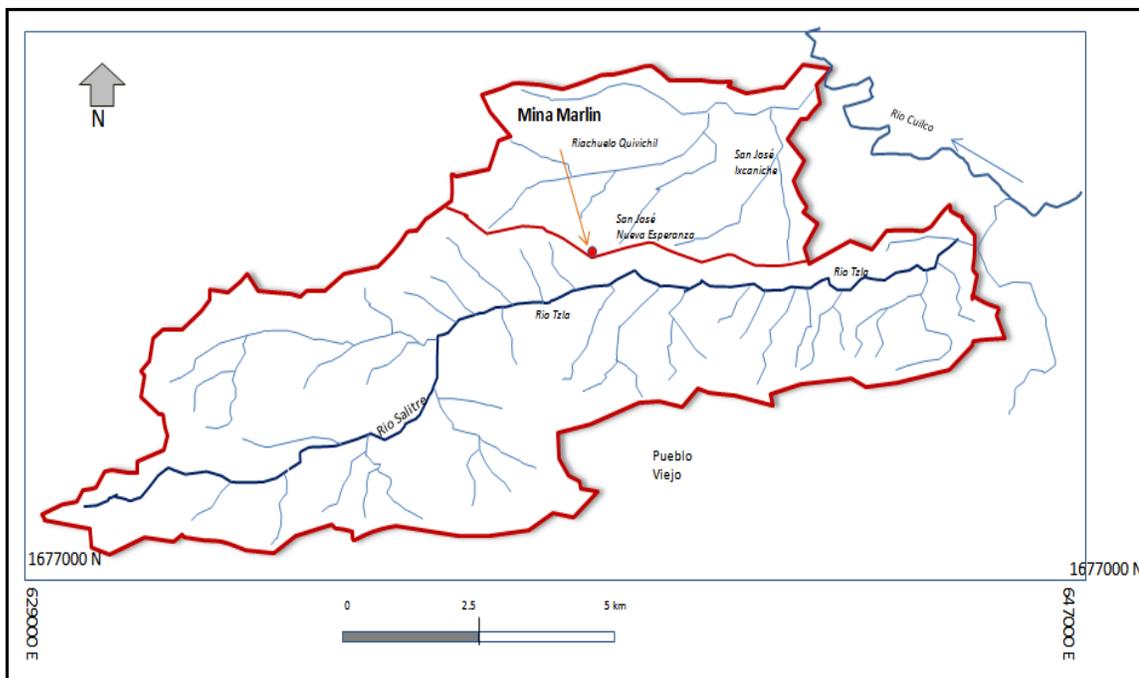
1.10. Drenaje

Este componente paisajístico es importante porque, sirve para la modelación del relieve topográfico y es susceptible a los impactos provocados por la erosión y deslaves. El drenaje forma parte de la subcuenca Tzalá y del riachuelo Quivichil, los cuales no poseen un flujo

¹Montana exploradora de Guatemala, S.A. *Estudio de evaluación de impacto ambiental y social*. http://goldcorpguatemala.com/wp-content/uploads/2015/09/EIAS-Proyecto-Minero-Marlin.pdf_Resumen-Ejecutivo.pdf (10 de agosto 2015)., s/n

permanente de agua solamente sirve para desfogue de aguas de lluvia, actualmente son áreas donde se encuentra mayor cantidad de vegetación.² (Figura 4)

FIGURA 4
PATRON DE DRENAJE, SUBPARALELO A DENTRÍTICO



Fuente: Investigación de campo. 2015

1.11. Fisiografía

La geografía física, se refiere a rasgos morfológicos que permiten delinear el paisaje. Por parte de muchos autores se han hecho distintas divisiones de provincias o zonas fisiográficas en las cuales se ha dividido la república de Guatemala, tomando en cuenta zonas de fallamiento, levantamientos y depresiones.³ (Figura 5)

²“Descripción Geológico – Minera, Sección 4.” Montaña Exploradora de Guatemala, S.A. Estudio de EIA&S del Proyecto Minero Marlin, San Marcos, Guatemala (15 de agosto 2015)., s/n.

³Ibidem., s/n.

En Guatemala se han definido cuatro provincias fisiográficas:

- La planicie costera del Pacífico
- La cadena Volcánica
- El sistema montañoso, en el centro de Guatemala y
- La cuenca sedimentaria del Peten, localizada al Norte de Guatemala.

1.12. Cadena volcánica

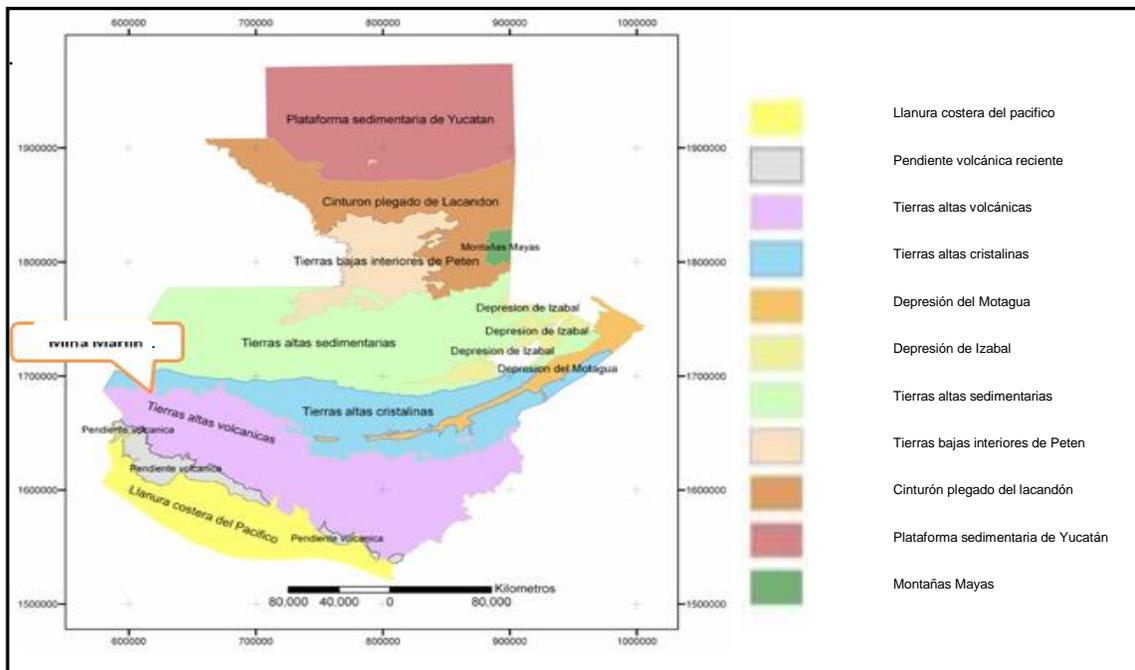
La cadena volcánica está constituida por volcanes del Cuaternario y del Terciario. Entre los volcanes activos del cuaternario, con erupciones actuales se pueden mencionar: el volcán de Pacaya, Fuego, Santiaguito. Los volcanes del Terciario están constituidos por volcanes extintos sin erupciones conocidas, con edificios volcánicos completamente erosionados.

La cadena volcánica se dispone con un eje noroeste-sureste. Al norte se encuentran las rocas más antiguas que corresponden a rocas metamórficas e intrusivas del Paleozoico. Afloramientos de estas rocas se encuentran en los departamentos de Quiché, Baja Verapaz, El Progreso, Zacapa, Chiquimula; principalmente. Estas rocas se encuentran aflorando en macizos montañosos de la sierra de Chuacús.⁴

El proyecto se ubica dentro de las provincias de la cadena volcánica y del sistema montañoso en el centro de Guatemala. El arco volcánico activo es una manifestación en superficie de múltiples cuerpos de magma.

⁴Montana Exploradora de Guatemala, S.A. Estudio Hidrogeológico mina Marlin I (10 de agosto 2015), s/n.

FIGURA 5 MAPA DE LAS PROVINCIAS FISIOGRAFICAS DE GUATEMALA, UBICACIÓN DEL PROYECTO MARLÍN



Fuente: Investigación de campo. 2015

1.13. Yacimiento mineral

Los procesos que llevan a la diferenciación de un magma, o a la formación de una roca sedimentaria o metamórfica implican en ocasiones transformaciones profundas químico-mineralógicas. Es durante el curso de esos procesos que algunos elementos o minerales pueden concentrarse selectivamente, muy por encima de sus valores "normales" para un tipo determinado de roca, dando origen a concentraciones "anómalas" que se denominan yacimientos minerales⁵.

⁵Higueras, P., Oyarzun, R., "Manual on-line de Recursos Minerales", Yacimientos Minerales, 2006, <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/YM1.html#T01cymin> (10 de octubre del 2015).

El carácter "anómalo" de estas concentraciones hace que los yacimientos constituyan singularidades en la corteza terrestre.⁶

Un factor importante a considerar es el económico: esas concentraciones podrán ser o no de interés económico, lo que delimita el concepto de yacimiento explotable o no explotable, en función de factores muy variados, entre los que a primera vista destacan algunos como el valor económico del mineral o minerales extraídos, su concentración o ley, el volumen de las reservas, la mayor o menor proximidad de puntos de consumo, la evolución previsible del mercado⁷.

Este conjunto de factores geológicos y económicos hace que el estudio de los yacimientos minerales sea una actividad compleja y problemática, en la que hay que relacionar la labor de especialistas de distintos campos, ya que incluye desde las cuestiones que afectan a la prospección o búsqueda de estas concentraciones, su evaluación, el diseño y seguimiento de su explotación minera, el estudio de la viabilidad económica de la explotación, el análisis del mercado previsible para nuestro producto, hasta factores políticos (estabilidad económica y social de un país) o cuestiones medioambientales, como la recuperación de los espacios afectados por esta actividad.⁸

⁶Higueras, P., Oyarzun, R., "Manual on-line de Recursos Minerales", Yacimientos Minerales, 2006, <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/YM1.html#T01cymin> (10 de octubre del 2015).

⁷Ibídem.

⁸Ibídem.

1.13.1. Yacimiento hidrotermal

A medida que un magma se solidifica se van formando los minerales propios de las rocas ígneas. Estas fases son expulsadas del magma, principalmente durante su solidificación, a temperaturas de 400 a 800 °C y a considerable presión produciendo efectos de metasomatismo y relleno en las rocas de caja.⁹(Figura 6)

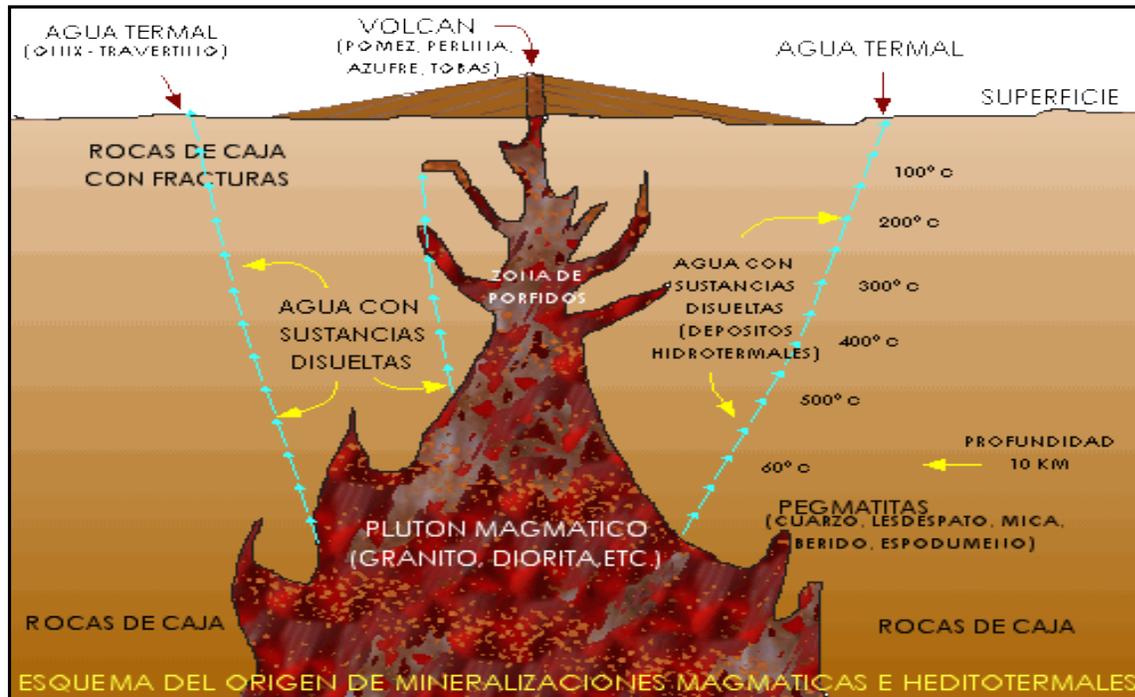
El agua expulsada de su fuente magmática se desplaza, lateral o verticalmente, para llegar finalmente a la superficie donde aflora como fuente o manantial de agua termal. Desde la profundidad magmática hasta la superficie el agua pierde temperatura y presión, perdiendo en consecuencia la mayor parte de su poder disolvente. Por ello, casi todas las sustancias disueltas en el agua precipitan “en el camino” originando concentraciones o depósitos minerales.

Los conductos por los cuales el agua se moviliza son, fallas y diaclasas, aunque localmente pueden tener importancia otros espacios abiertos como vesículas de lava, intersticios de sedimentos, cuevas de disolución y brechas de colapso y de explosión.

Los depósitos minerales que se producen por este mecanismo de relleno tienen la forma del conducto y, como la mayoría de los conductos son fallas y diaclasas, las formas más comunes son las vetas (cuerpos groseramente tabulares).

⁹http://deco.alc.upv.es/cuevasalicante/Logos_Speleon/deo%C3%B3sitos_hidrotermales.pdf.(10 octubre 2015).

FIGURA 6 ESQUEMA DEL ORIGEN DE MINERALIZACIONES HIDROTHERMALES



Fuente: Disponible en: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=584> (10 de octubre 2015).

Las mineralizaciones hidrotermales están constituidas fundamentalmente por cuarzo y/o carbonatos diversos, entre los que cabe destacar calcita, dolomita, y siderita, minerales que suelen constituir la ganga o parte no explotable en los yacimientos de interés minero. Entre los minerales de interés minero (o menas) que pueden estar presentes en este tipo de rocas o yacimientos, podemos citar barita, fluorita y minerales sulfurados, como pirita, calcopirita, blenda, galena, cobres grises (tetraedrita y tennantita), argentita, platas rojas (proustita-pirargirita), cinabrio, entre los que se encuentran también la plata y el oro nativos.¹⁰

¹⁰<https://docs.google.com/presentation/d/1dGUmDysChTfbwLQ9ANZfyKUpK1UuHPcjTgbCbN4IJOo/edit?pref=2&pli=1#slide=id.p61> (10 octubre 2015).

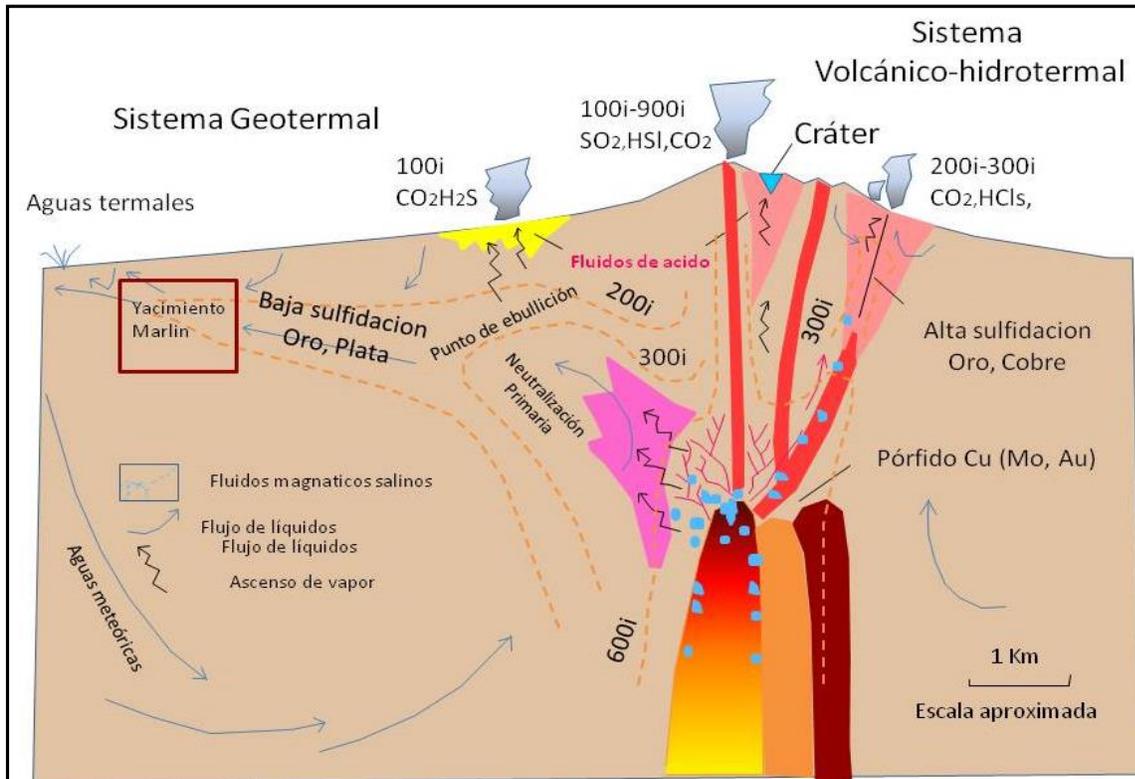
1.13.2. Yacimientos Epitérmales

Existen dos tipos principales de depósitos epitérmales: ácidos y alcalinos (Sillitoe, 1977). El primer tipo de depósito es el llamado de enargita-oro, alunita-caolinita, ácido-sulfato, o de alta sulfuración (*high-sulfidation epithermal deposit*). El segundo tipo recibe el nombre de depósito epitérmal de adularia-sericita o de baja sulfuración (*low-sulfidation epithermal deposit*). El primer tipo se originaría a partir de fluidos de carácter oxidado y ácido (azufre en estado de oxidación +6 o +4, o sea, “alta sulfuración”, en forma de $(\text{SO}_4)^{-2}$ o SO_2), típicos de fuentes termales ácidas próximas a volcanes; el otro tipo, en cambio, se origina a partir de fluidos reducidos y de pH aproximadamente neutro (en los que el azufre se presenta con su estado de oxidación de -2, esto es, “baja sulfuración”), como los hallados en sistemas geotérmicos más o menos cercanos a la fuente de calor principal.

Los depósitos epitérmales son aquellos en los que la mineralización ocurre de 1 a 2 km de profundidad desde la superficie terrestre y se depositó a partir de fluidos hidrotermales calientes. Los fluidos se estiman en el rango desde 100°C hasta unos 320°C y durante la formación del depósito estos fluidos hidrotermales pueden alcanzar la superficie como fuentes termales

Los depósitos epitérmales se encuentran de preferencia en áreas de volcanismo activo alrededor de los márgenes activos de continentes o arcos de islas y los más importantes son los de metales preciosos (Au, Ag), aunque pueden contener cantidades variables de Cu, Pb, Zn, Bi, etc. (Figura 7)

FIGURA 7
SISTEMA EPITÉRMAL DE BAJA SULFURACIÓN

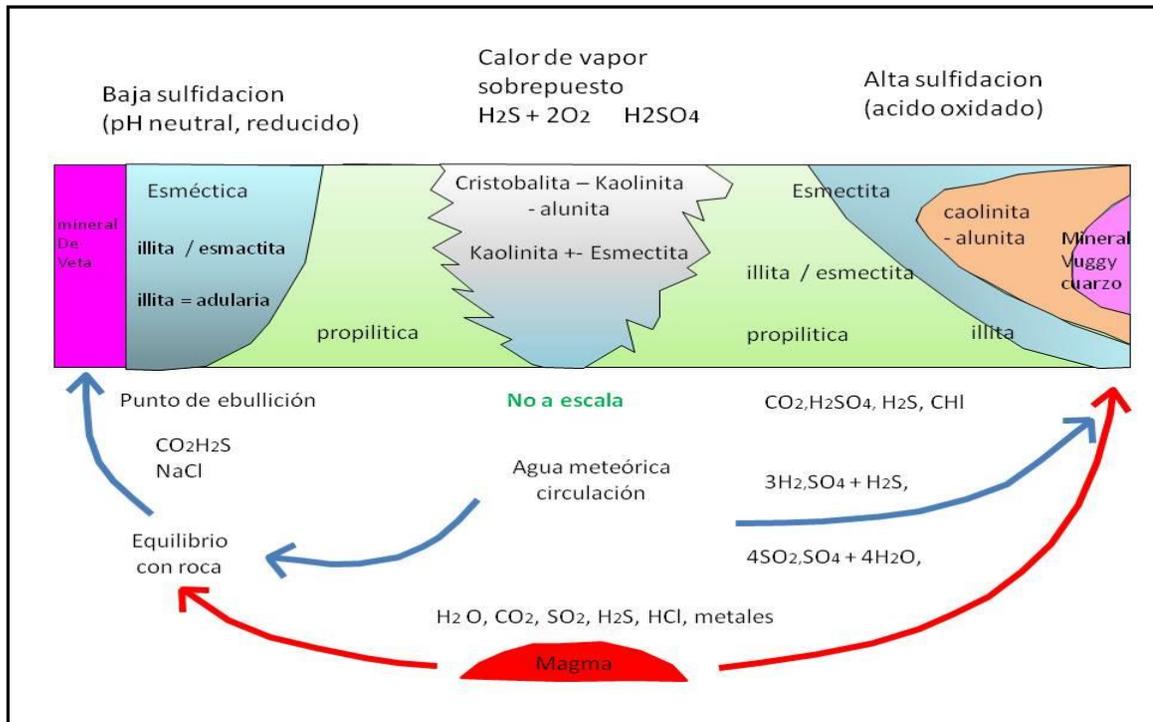


Fuente: Disponible en: <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/YM12.html#T12Skarn> (10 de octubre 2015).

La mineralización Epitérmal de metales preciosos puede formarse a partir de dos tipos de fluidos químicamente distintos. Los de “baja sulfuración” son reducidos y tienen un pH cercano a neutro (la medida de concentración de iones de hidrógeno) y los fluidos de “alta sulfuración”, los cuales son más oxidados y ácidos.

Los términos de alta y baja sulfuración fueron introducidos por Hedenquist (1987) y se refieren al estado de oxidación del azufre. En los de alta sulfuración el azufre se presenta como S^{+4} en forma de SO_2 (oxidado) y en los de baja sulfuración como S^{-2} en forma de H_2S . (Figura 8)

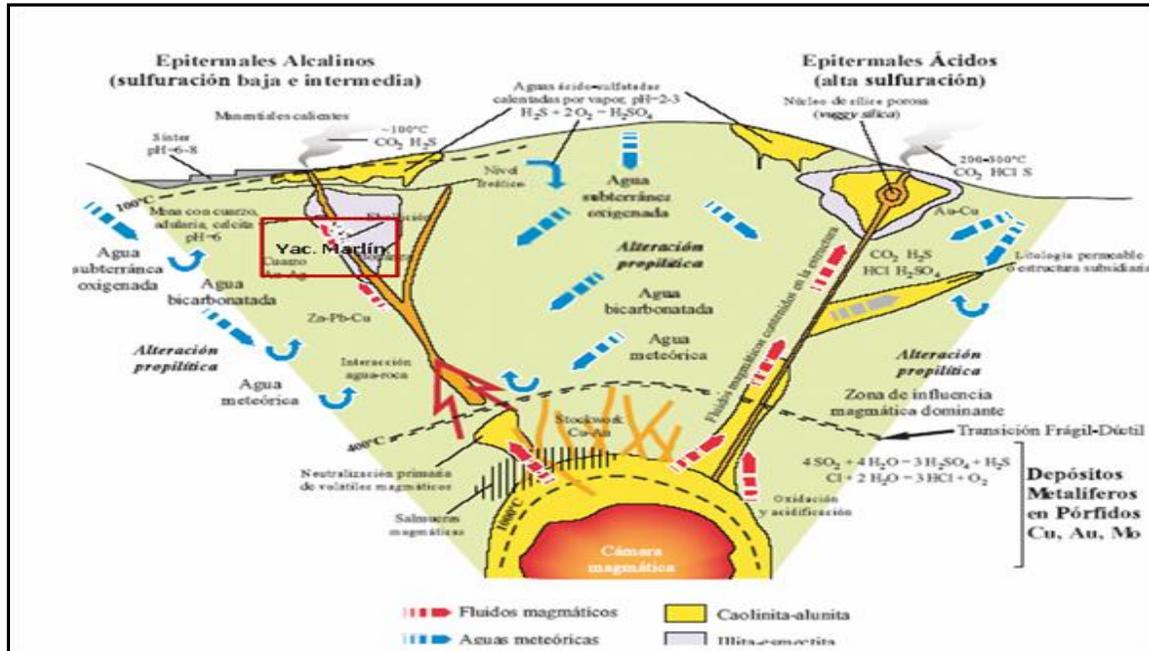
FIGURA 8 MINERALOGÍA DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE FORMACIÓN HIDROTHERMAL



Fuente: Disponible en: <http://www.ugr.es/~minechil/apartado14.htm> (10 de octubre 2015).

Los fluidos de baja sulfuración (BS) son una mezcla de aguas-lluvias (aguas meteóricas) que se han infiltrado a subsuperficie y aguas magmáticas (derivadas de una fuente de roca fundida a mayor profundidad en la tierra) que han ascendido hacia la superficie. Para fluidos de baja sulfuración la precipitación de metales ocurre cuando el fluido hierve al acercarse a la superficie. (Figura 9)

FIGURA 9 CARACTERÍSTICAS DE FORMACIÓN DE SISTEMAS EPITERMALES DE BAJA SULFURACIÓN



Fuente: Disponible en: <http://www.ugr.es/~minechil/apartado05.htm> (10 de octubre 2015).

1.14. Ambiente tectónico regional

1.14.1. Generalidades

Guatemala está asentada sobre la triple unión de placas tectónicas denominadas Norteamérica, Caribe y Cocos, (Figura 10) determinando así los principales rangos topográficos del país y la distribución de volcanes. El yacimiento Marlín se ubica al norte de la zona de subducción y al Oeste de la Triple unión.

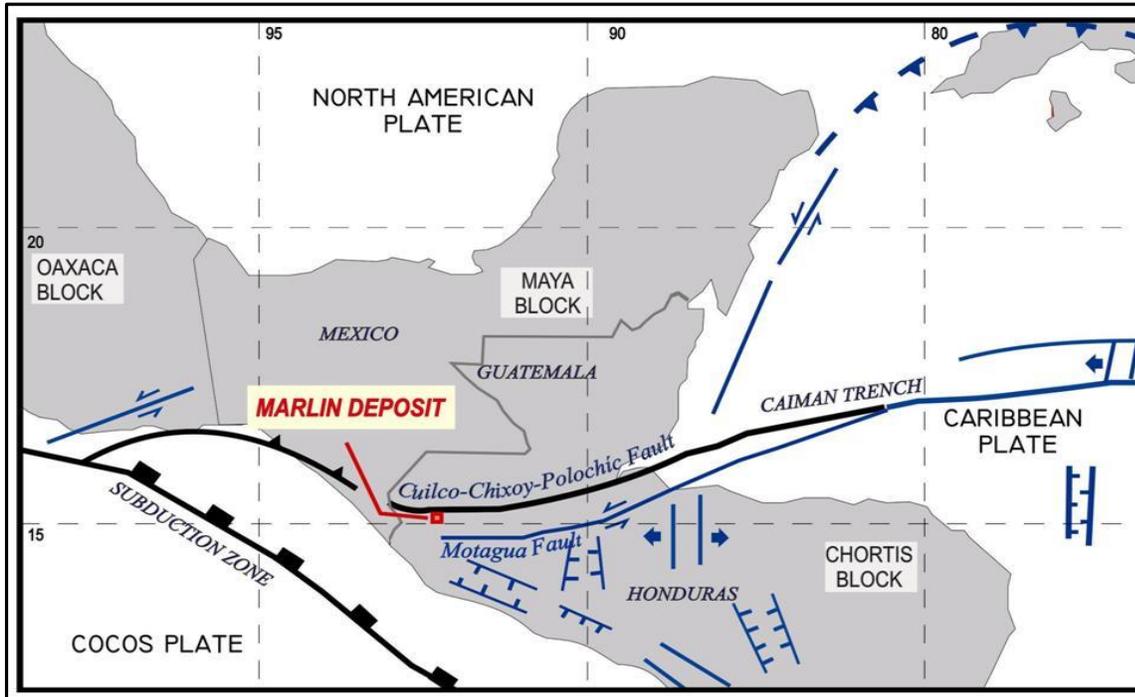
FIGURA 10
MAPA MOSTRANDO LA TRIPLE UNIÓN DE
PLACAS TECTÓNICAS, MINA MARLÍN



Fuente: Investigación de campo. 2015

La división de ambos bloques se encuentra en la zona de falla Polochic-Motagua este también es el límite entre las placas Norteamérica y Caribe. Guatemala ha sido afectada por la colisión de tres placas tectónicas relacionadas entre sí por dos uniones regionales; la primera unión se caracteriza por la zona de subducción de la placa de Cocos bajo la placa Caribe; la segunda unión está representada por la placa Caribe que tiene una relación estructural de cizallamiento Sinistral con la placa de Norteamérica (Figura 11).

FIGURA 11 TECTÓNICA REGIONAL DE CENTRO AMÉRICA



Fuente: Investigación de campo. 2015

Dengo (1969), introdujo los nombres de bloque Maya y bloque Chortí, como una división de unidades tectónicas mayores. El bloque Maya se extiende desde el istmo de Tehuantepec y Yucatán, en el Sur de México a la zona de falla Motagua en Guatemala. El bloque Chortí yace desde la falla del Motagua hasta el centro de Nicaragua. ¹¹

La interacción entre los bloques maya y Chortí empezó durante la colisión del Mastrichtiano (*orogenia Laramidica*), lo cual dió como resultado un relieve accidentado en los márgenes de cada bloque. La división entre los bloques es la zona de sutura Motagua. El bloque Maya incluye la parte de Guatemala al Norte de

¹¹Dengo, G. *Estructura Geológica, Historia Tectónica y morfología de América Central*. (México 1969), 123-125.

la zona de sutura, Belice, la península de Yucatán y la parte de México al Oeste del Istmo de Tehuantepec

La deformación compresional que deforme el bloque Maya Sur resultó de la colisión del bloque Chortí, con el bloque Maya, dando como resultado que corteza oceánica del Cretácico medio que se había formado entre estos bloques fuera obducida como ofiolita sobre ambos bloques durante el evento de sutura. Algunos movimientos menores más recientes dentro del valle del Motagua podrían ser el resultado de estructuras en flor asociadas con fallamiento de rumbo el cual se establece a partir del Neógeno. Es precisamente con la formación de estas fallas con movimiento Sinistral que forman cuencas *pull-apart*, siendo una de ellas el lago de Izabal.

1.14.2. Fallamiento

El sistema de fallas Cuilco-Chixoy-Polochic está marcado, de Este a Oeste, por los ríos Chixoy, Polochic y Cuilco, se trata de una falla transcurrente del tipo sinistral que se extiende desde México hasta el océano Atlántico.¹²

Los rasgos geológicos de la cordillera Central de Guatemala, presentan diferentes estructuras remarcables en la zona de cizalla del Motagua y Polochic, tales como levantamientos (Sierra de Chuacús, Sierra de las Minas, Montañas del Mico), cuencas “*Pull-apart*”, rellenadas con gruesas secuencias de sedimentos, con tendencias pronunciadas Este - Oeste de las unidades de rocas y

¹²Donnelly T., et al, Northern Central America, The Maya and Chortis Block, (USA, Geological Society of America), 12-14

fallas, y la orientación paralela de los ejes fisiográficos de las montañas y valles.¹³

Las formaciones metamórficas y sedimentarias están separadas por fallas inversas de alto ángulo, que buzsan hacia el Sur del Motagua. Un segundo conjunto de fallas de alto ángulo, de menor magnitud, está orientada Norte - Sur; la mayoría de estas fallas muestran una elevación relativa de los bloques occidentales (Dengo 1985).¹⁴

La Geología estructural en los alrededores del Proyecto está influenciada por el sistema de fallas regionales Chixoy-Polochic-Motagua, que atraviesan longitudinalmente al país. Dispuestas a éste sistema de fallas regional se puede observar subsistemas de fallas de menor longitud algunas con orientación paralela al sistema Chixoy-Polochic-Motagua, y otras con orientación perpendicular al sistema principal

Estos dos sistemas de fallas parecen estar asociadas directa o indirectamente a los desplazamientos ocurridos a lo largo del sistema.

1.15. Geología regional

1.15.1. Bloque Chortí

El bloque Chortí ha estado tectónicamente activo casi continuamente desde el Cretácico Temprano. Su tosca fisiografía

¹³Donnelly T., Northern Central America, The Maya and Chortis Block, (USA, Geological Society of America), 22.

¹⁴ Ibídem.

refleja su historia tectónica, y se puede subdividir en distintas regiones morfotectónicas: sierras norteñas, tierras altas centrales, planicies sur, y la cadena volcánica del Pacífico. Las sierras norte son cadenas montañosas altas que se extienden a través del sudeste de Guatemala y a lo largo del norte de Honduras. Consisten mayormente en rocas metamórficas basamentales intruidas por numerosos plutones de edades variables. Estas cadenas están limitadas al sur por fallas mayores en valles paralelos a la zona de falla Motagua y al margen de la Placa del Caribe: las fallas Jocotán, Chamelecón, Ceiba, y Aguán. Al sur de estas, las tierras altas de Honduras consisten en levantamientos basamentales cubiertos y separados por una secuencia plegada y fallada de estratos sedimentarios del Mesozoico.¹⁵

El nivel del entendimiento estratigráfico del bloque Chortí está aún muy desorientado y parcialmente confuso, (p.ej Wilson y otros, 1978). Los primeros estudios de la región fueron reconocimientos y la mayor parte no se basó en mapeo detallado.

Por mencionar, los primeros estudios reconocían la existencia de una secuencia de capas rojas inferior, una caliza Cretácica, capas rojas superiores y una secuencia posterior de rocas volcánicas Terciarias. Conforme los estudios continuaron, las interpretaciones siguientes evolucionaron en un marco estratigráfico ampliamente aceptado.

¹⁵Donnelly T., et al, *Nothern Central America, The Maya and Chortis Block*, (USA, Geological Society of America), 12-14

En el área del proyecto se han identificado y definido cinco unidades litológicas, las cuales se mencionan de la más antigua a la más reciente. ¹⁶

- Basamento Metamórfico del Pérmico y Pre-Pensilvanico
- Unidad Clástica del Terciario
- Complejo Marlín del Terciario
- Diques Porfiríticos posiblemente del Cuaternario
- Depósitos Piroclásticos del Cuaternario.

1.15.2. Basamento metamórfico del pérmico y pre-pensilvanico

Esta unidad de rocas no aflora en el área del proyecto, aunque constituyen el basamento de roca con metamorfismo regional, principalmente gneisses y esquistos metasedimentarios, gneisses de clorita y calcita además de algunos horizontes de mármol. Las rocas metamórficas afloran en ambos lados del río Cuilco, al norte de San Miguel Ixtahuacán y en los alrededores de Santa Bárbara. La presencia de un basamento metamórfico en el área de estudio es evidente ya que la unidad clástica inferior presenta clastos de rocas metamórficas. ¹⁷

1.15.3. Unidad clástica terciario

La unidad clástica sobre yace al basamento metamórfico y está conformada por una secuencia volcanoclástica con espesores variables estimándose que supera los 250 metros de espesor, de

¹⁶Montana exploradora de Guatemala, S.A. *Estudio de evaluación de impacto ambiental y social*. http://goldcorpguatemala.com/wp-content/uploads/2015/09/EIAS-Proyecto-Minero-Marlin.pdf_Resumen-Ejecutivo.pdf (10 de agosto 2015)., s/n

¹⁷ Ibídem.

edad Terciaria. Esta secuencia inicia con un conglomerado que incluye fragmentos de rocas metamórficas y una brecha sedimentaria, pasando a una potente unidad de lutitas volcanoclásticas bien estratificadas con conglomerados finos intercalados. Esta unidad presenta variaciones litológicas en el sentido horizontal, siendo más de origen volcánico hacia el Este, debido a que tiene más fragmentos de origen volcánico, en tanto que hacia el Oeste es apreciable un incremento de fragmentos de origen terrígeno, siendo en este sentido más sedimentaria que volcanoclásticas.¹⁸

Se han identificado en las perforaciones seis subunidades, siendo las dos principales:

- Conglomerados y brechas sedimentarias compuestas casi exclusivamente por clastos volcánicos Porfiríticos (registrados por MONTANA como Tvlit y Tvbt). Esta subunidad es masiva, tanto con soporte de matriz como con soporte de clastos y probablemente asociados a flujos de detritos.
- Conglomerados y brechas sedimentarias con algunos clastos de origen no volcánico, tales como clastos de gneiss félsico o lutita carbonosa (subunidad Tvlg). Esta unidad es masiva, normalmente con soporte de clastos.

Depósitos volcanoclásticas (lutitas, limolitas, areniscas y conglomerados). Estos están descritos por MONTANA como depósitos estratificados desde finamente laminados hasta con

¹⁸Montana Exploradora de Guatemala, S.A. *Estudio Hidrogeológico mina Marlin I* (10 de agosto 2014), s/n.

estratificación de mayor espesor, dependiendo del tamaño de grano e identificados como las subunidades Tvar, Tvbs, Tvarl y Tvlg.¹⁹

1.15.4. Complejo Marlín del terciario

Está compuesto por una serie de lavas andesíticas del Terciario, intercaladas con rocas fragmentales en una secuencia de más de 100 metros de espesor, presente en las partes superiores del área del depósito. Las andesitas son descritas como masivas, de textura afanítica porfiríticas muy homogénea, con un 30% de fenocristales de plagioclasas y hornblenda en una matriz afanítica fina. Las rocas fragmentales son descritas como brechas monolíticas, tanto con soporte de matriz como de clastos, con composición similar a la andesita masiva. Ambos tipos de roca se interdigitan de manera irregular, con contactos tanto nítidos como gradacionales. Las partes más brechosas tienden a estar cerca de los contactos por lo que podría tratarse de brechas de flujo o autoclásticas o de origen piroclástico.²⁰

1.15.5. Unidad de diques porfiríticos

La unidad de diques porfiríticos corta tanto la unidad clástica como el complejo Marlín. Está conformada por diques andesíticos, porfiríticos de plagioclasa y hornblenda, identificados en varias perforaciones y afloran hacia el sur del área del yacimiento principal y su composición es similar al complejo Marlín. Los diques contienen hasta un 10% de fenocristales en una matriz

¹⁹Montana Exploradora de Guatemala, S.A. *Estudio Hidrogeológico mina Marlin I* (10 de agosto 2015), s/n.

²⁰Ibidem.

afanítica y localmente son vesiculares. Los mismos tienen un rumbo preferencial Este-Oeste y un buzamiento general hacia el sur de ángulo variable.

1.15.6. Depósitos Piroclásticos del cuaternario

Esta unidad está constituida por depósitos de piroclastos, pómez y fragmentos de roca tipo lapilli (con un diámetro de 0,5 cm), generalmente de color café claro, a blanco. Se encuentran abundantes afloramientos de esta unidad en la carretera que conduce de San Miguel Ixtahuacán a la Mina, así como en la carretera que conduce de Nueva Esperanza hacia San José Ixcaniché. Es una unidad que se encuentra fuertemente fracturada, encontrándose afloramientos que tienen una densidad de 10 fracturas/m². El origen de esta unidad corresponde con erupciones volcánicas probablemente del Tajumulco.²¹

1.16. Estratigrafía Marlín

La estratigrafía del área de la Mina se resume en cuatro unidades principales;²²

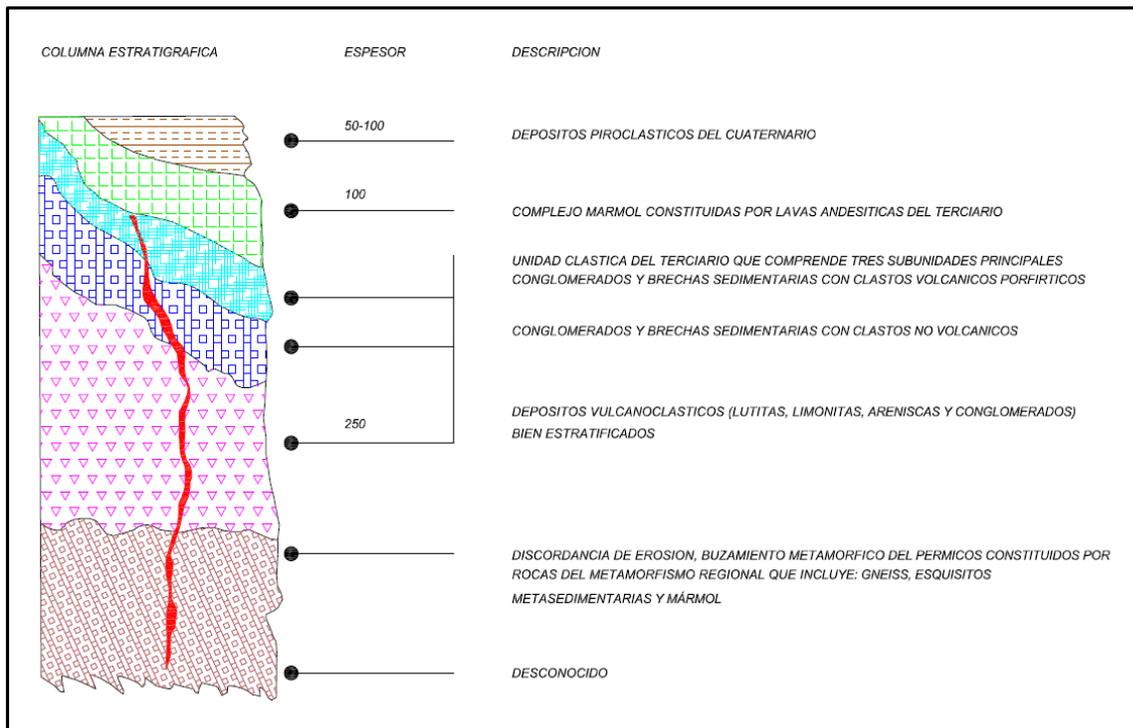
- Depósitos Piroclásticos (Qp).
- Complejo Marlín (Tm).
- Unidad Clástica (Tv), que se subdivide en tres subunidades y
- El basamento Metamórfico, sin afloramientos dentro del área de la Mina.

²¹Descripción Geológico – Minera, Sección 4.” Montaña Exploradora de Guatemala, S.A. Estudio de EIA&S del Proyecto Minero Marlín, San Marcos, Guatemala (15 de agosto 2015), s/n.

²²Ibidem.

Los contactos entre estas cuatro unidades son discordantes y de tipo erosional. Estableciéndose el principal hiato de discordancia entre el basamento metamórfico y la unidad clástica, durante el cual fueron erosionadas las unidades geológicas entre el Pérmico y las unidades del Terciario. (Figura 12).

FIGURA 12
COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MARLÍN



Fuente: Investigación de campo. 2015

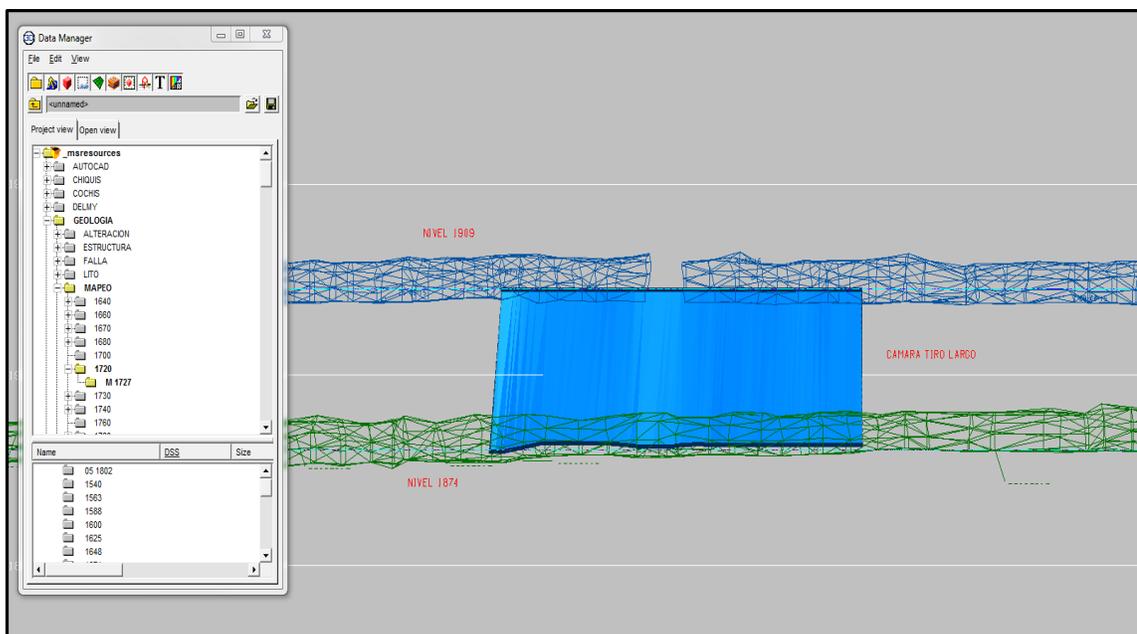
1.17. Métodos de minado

En la actualidad en trabajos de minería subterránea, dependiendo de las características del depósito existen varios tipos de minado. En mina Marlín desde sus inicios se han aplicado dos, que se describen a continuación:

1.17.1. Método tiro largo (*Loghole stoping*)

Para cuerpos mineralizados de gran potencia y fuerte buzamiento. Este método permite generar cámaras de hasta 50 m de altura.²³ Aquí se extrae una tajada completa del cuerpo a la vez (Figura 13). El disparo se realiza perforando desde varios subniveles, en abanico o en diagrama radial. Para poder realizar este sistema primeramente se deben desarrollar las galerías (Figura14)

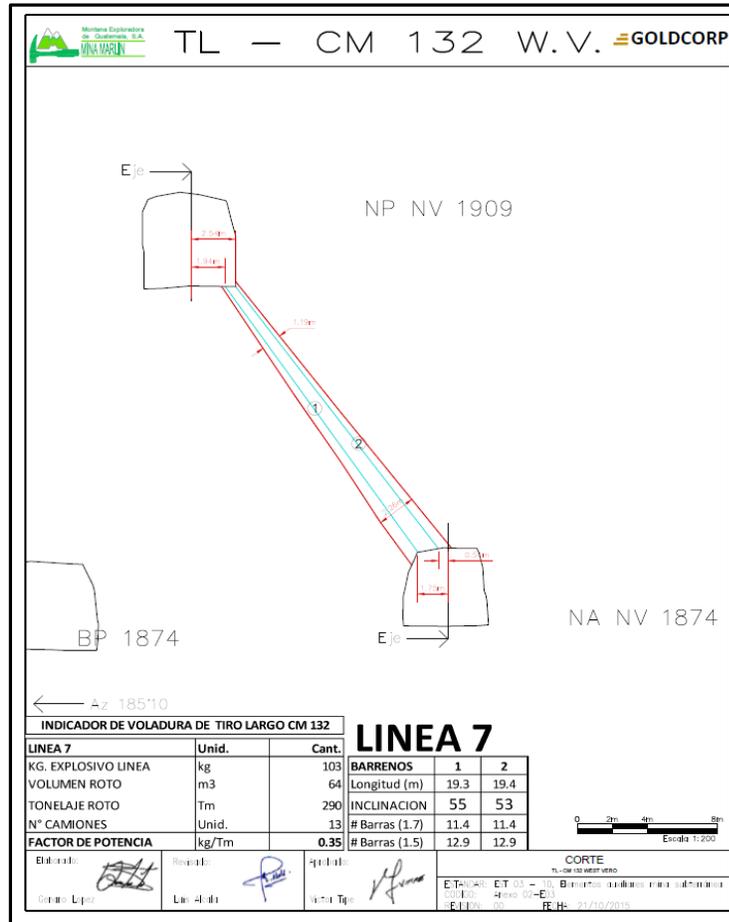
FIGURA 13
SOLIDO DE TIRO LARGO NIVELES 1 909 A 1 874, MINA MARLÍN



Fuente: Investigación de campo. 2015

²³Método de exploración subterránea. Ing. Braulio Castillo Anyosa. <http://es.slideshare.net/BraulioCastilloAnyos/sublevel-stoping-48585372> (10 de octubre 2015)., s/n

FIGURA 14 SECCION MOSTRANDO LO MINABLE EN MÉTODO TIRO LARGO



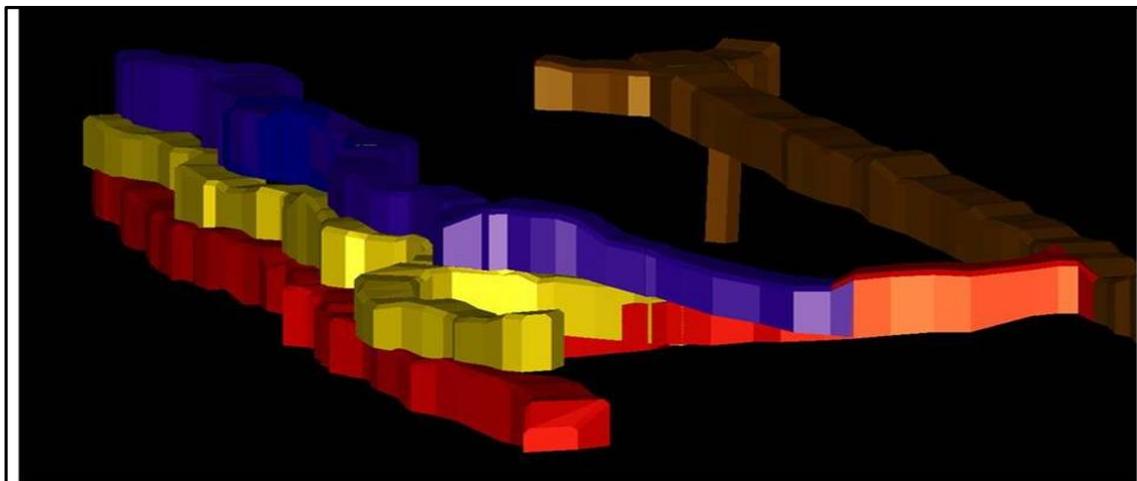
Fuente: Investigación de campo. 2015

1.17.2. Método corte y relleno (*Cut and fill*)

Se trabaja primeramente un nivel, cuando ya está finalizado se rellena con materiales que son traídos desde afuera, por ejemplo limos o arenas. También pueden utilizarse materiales sin ley de la planta de flotación, lo cual tiene innumerables ventajas ambientales. (Figura 15)²⁴

²⁴ Ingeniería mina subterránea. Estándares de fortificación mina Marlin (10 de octubre 2015)., s/n

FIGURA 15
VISTA EN ISOMÉTRICO DE TRES NIVELES CON CORTE Y
RELLENO (VISTA NOROESTE)



Fuente: Investigación de campo. 2015

1.18. Índice de calidad de roca (RQD)

Es el estudio que determina el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud (en su eje) sin considerar las roturas frescas del proceso de perforación con respecto a la longitud total del sondeo. Este procedimiento fue desarrollado por Deere a mediados del siglo XX (1963 a 1967).²⁵

1.19. Réflex

Es un instrumento de medición multifuncional con capacidades de tiro único, tiro múltiple (Fotografía 1). Este instrumento provee como resultados de la medición: valores de azimut, profundidad, intensidad del campo magnético, inclinación. A pesar de todos los desarrollos técnicos en equipos de perforación, es difícil perforar un pozo perfectamente, el cual puede ser desviado del trayecto planeado en cualquier dirección debido a zonas de falla, derrumbes en las formaciones, pérdida de

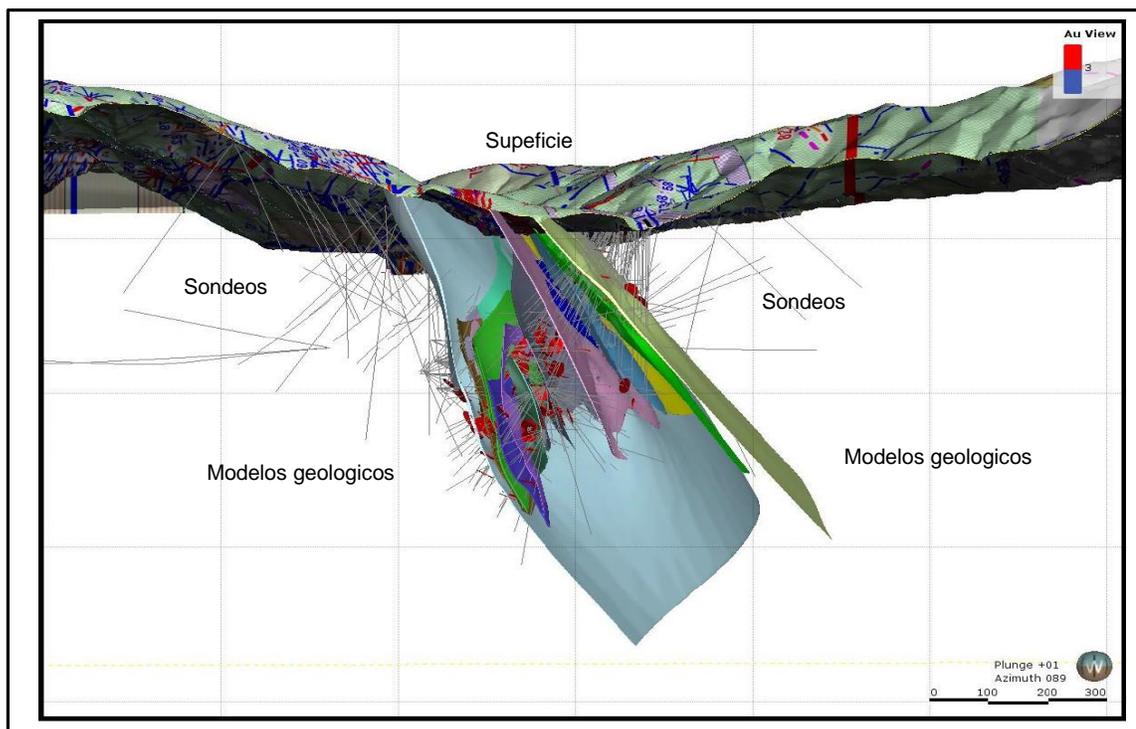
²⁵<https://es.scribd.com/doc/61757555/Metodo-RQD> (10 de octubre 2015).

1.20. Modelos geológicos

El modelo geológico es una representación tridimensional del yacimiento, este puede representar la litología, mineralización, alteración u otro tipo de característica geológica del macizo rocoso. (Figura 16)

La creación del mismo se inicia con la recopilación y codificación de la información geológica disponible principalmente barrenos de exploración tanto superficial como subterráneo, barrenos de producción, muestreo en canal de obras subterráneas.²⁷

FIGURA 16
MODELO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL



Fuente: Investigación de campo. 2015

²⁷<http://www.comisionminera.cl/documentacion/category/10-seminario-competencias-en-recursos-y-reservas-mineras-11-may-2009?download=304:modelos-geologicos-sophia-bascunan> (2 enero 2016)., s/n

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

2.1. Generalidades

En el capítulo se explica cada etapa que conllevo el proceso de investigación y la obtención de datos.

Asimismo se realizó el sólido del cuerpo mineralizado Delmy, como análisis del índice de calidad de roca, logrando obtener resultados esperados

2.2. Marco metodológico

2.2.1. Etapa de recopilación y análisis bibliográfico

En esta primera etapa se recopiló la mayor información posible concerniente a investigaciones realizadas con anterioridad en el área, se recopilaron mapas geológicos, información que se tenga disponible por el departamento de Geología de Exploración y Geología Mina Subterránea.

2.2.2. Etapa de campo

Esta etapa se inició con la planificación de las líneas de barrenación, el cual comprenderá una barrenación aproximadamente de 5 000 metros, ubicadas en las tres estaciones de sondeos propuestas.

Esta etapa comprende dos fases:

a. Marcación de líneas en el campo

Esta fase se realiza durante los primeros días, colocando en una hoja de Excel los diferentes pozos a trabajar indicando el collar, coordenadas N-E, elevación, azimut, inclinación y profundidad propuesta, el cual el departamento de topografía de Mina Marlín se encargara de marcarlas en el campo (Anexo No. 1).

b. Barrenación y logueos de pozos

Etapa de la barrenación de los diferentes pozos propuestos, esto fue ejecutado por el departamento de perforación de mina marlín, antes de finalizar cada sondeo se hacen a mediciones con Réflex esto con la finalidad de determinar la trayectoria del taladro para verificar si hubo algún cambio tanto en el azimut e inclinación.

El traslado de las cajas de núcleos será por el departamento de Geología UG hacia la bodega. Antes de ser descritos por el geólogo, se deben realizar varias actividades desde la toma de fotografías y medición del largo del sondeo.

El trabajo del Geólogo en la descripción de sondeos principalmente es definir las zonas de interés, realizando una descripción litológica en todas las cajas estableciendo rangos de rocas para ser muestreados y empaquetados con

un orden numérico establecido para ser enviados al laboratorio para realizar los análisis de Au y Ag.

2.2.3. Etapa de laboratorio

Esta etapa consiste en el análisis de las muestras de núcleos, el cual se trabajan con ensayos químicos gravimétricos y absorción atómica con el propósito de determinar anomalías de Au-Ag. El equipo de trabajo utilizado en el laboratorio en mina Marlín tiene un límite de detección de las anomalías de 0,02>.

2.2.4. Etapa de gabinete

En la fase de gabinete se realizaron las correlaciones para la creación del modelo geológico de la estructura Delmy en 3D, esto en base a la alimentación de la base de datos. En esta etapa también se integró toda la información recabada en las etapas anteriores. Se realizó una serie de secciones transversales a la estructura principal, con el fin de realizar la interpretación en el programa *minesight*. En la fase de gabinete se creó una base Excel donde se procesó los datos recabados en la etapa de logueo de pozos y los resultados obtenidos en el laboratorio.

2.3. Metodología aplicada

2.3.1. Descripción geológica de testigos

Según la descripción en los sondeos en el área de estudio las unidades informales principales son unidad de Vulcanoclásticos (Tv), unidad de veta de Cuarzo (VQz), unidad de Brecha Hidrotermal (Bxh), Unidad de Vulcanoclásticos Fallado (FI).

a. Unidad de Vulcanoclásticos (Tv)

Se encuentra en un 90 % de los sondeos realizados con presencia de fragmentos lutíticos, (Fotografía 2) brechas y conglomerados mal clasificados, tienen clastos redondeados a subredondeados de tamaño variado con una relación matriz-grano soportada y brechas angulosas y subangulosas, con un tamaño variable, con una coloración gris claro. Se encuentra limitada por un contacto intrusivo con la unidad de veta de cuarzo.

La alteración es moderada propilitización, leve silificación y parte puede tener alteración argílica. El fracturamiento es variable ya que se pueden observar zonas con leve, moderado y fuerte fracturamiento, entre las fracturas podemos encontrar que están rellenas de sericita y contenido de pirita 5%.

FOTOGRAFÍA 2 UNIDAD DE VULCANOCLÁSTICOS CON FRAGMENTOS LUTÍTICOS



Tomada por: Pablo Roberto Marroquín Hun. 2015

b. Unidad de Veta de Cuarzo (VQz)

Litología en la cual se concentra la mayoría del mineral que se extrae. Hay testigos que tienen presencia de sulfuros de plata el cual es indicativo que tendrá valores de alta ley (Fotografía 3).

El espesor de esta unidad es muy variado en los núcleos de perforación, en algunos casos están como zonas pequeñas mineralizadas y en otros se presentan con espesores de uno a

dos metros de largo, intercaladas con tramos de gauge. El fracturamiento es desde leve a moderado.

Los contactos tanto en la caja techo (*Hanging Wall*) como en la caja piso (*Foot Wall*), se presentan como intrusivos, estos se dan con las unidades de Tv y las unidades de Brecha (Fotografía 4).

En la etapa de gabinete, realizando el modelamiento de la estructura Delmy esta unidad tiene una orientación N-S, con una inclinación promedio de 70 grados en dirección E.

FOTOGRAFÍA 3 VETA CON INDICIOS DE SULFUROS DE PLATA (Ag)



Tomada por: Pablo Roberto Marroquín Hun. 2015

FOTOGRAFÍA 4 UNIDAD DE BRECHA EN CONTACTO CON VETA, CONTACTO FALLADO



Tomada por: Pablo Roberto Marroquín Hun. 2015

c. Unidad de brecha hidrotermal (Bxh)

En los sondeos hay varios tramos descritos como unidad de brecha hidrotermal, la mayoría de ellas no presenta algún interés para su extracción. Económicamente es importante cuando esta unidad está en contacto con la unidad de veta de cuarzo (VQz), ya que ha presentado valores de Au.

Macroscópicamente presenta una matriz de coloración verde claro, observándose fragmentos lutíticos angulosos y restos de clastos metamórficos (Fotografía 5)

FOTOGRAFÍA 5 UNIDAD DE BRECHA CON CLASTOS METAMÓRFICOS



Tomada por: Pablo Roberto Marroquín Hun. 2015

d. Unidad de Vulcanoclásticos fallado (fl)

Unidad presente en la mayoría de los sondeos, con espesor variado de uno a cinco metros, de coloración gris y con un porcentaje entre 15 al 20 % de sulfuros de hierro (Fotografía 6).

El material es arcilloso (*gauge*) con cierto grado de humedad indicando presencia de agua, el cual es importante para la inestabilidad de las galerías.

Espacialmente en la barrenación en los niveles inferiores los sondeos indican que la unidad de Veta de Qz (Vt) es una intrusión de la falla, con presencia de valores de Au-Ag. (Fotografía 7). A medida que la barrenación se realizaba a niveles superiores este cuerpo se encuentra mineralizado y es económicamente rentable su extracción.

FOTOGRAFÍA 6
UNIDAD DE VULCANOCLÁSTICOS FALLADO,
ALTERACIÓN ARGÍLICA



Tomada por: Pablo Roberto Marroquín Hun. 2015

FOTOGRAFÍA 7 UNIDAD DE VULCANOCLÁSTICOS FALLADO EN CONTACTO CON VETA



Tomada por: Pablo Roberto Marroquín Hun. 2015

2.3.2. Modelamiento geológico Delmy

Para realizar el modelamiento geológico se ubicaron tres máquinas de perforación en los distintos accesos al proyecto Delmy en mina subterránea y se ejecutaron los planes de barrenación proporcionados (Fotografía 8).

FOTOGRAFÍA 8 MÁQUINA DE PERFORACIÓN EN LA ESTACIÓN DELMY



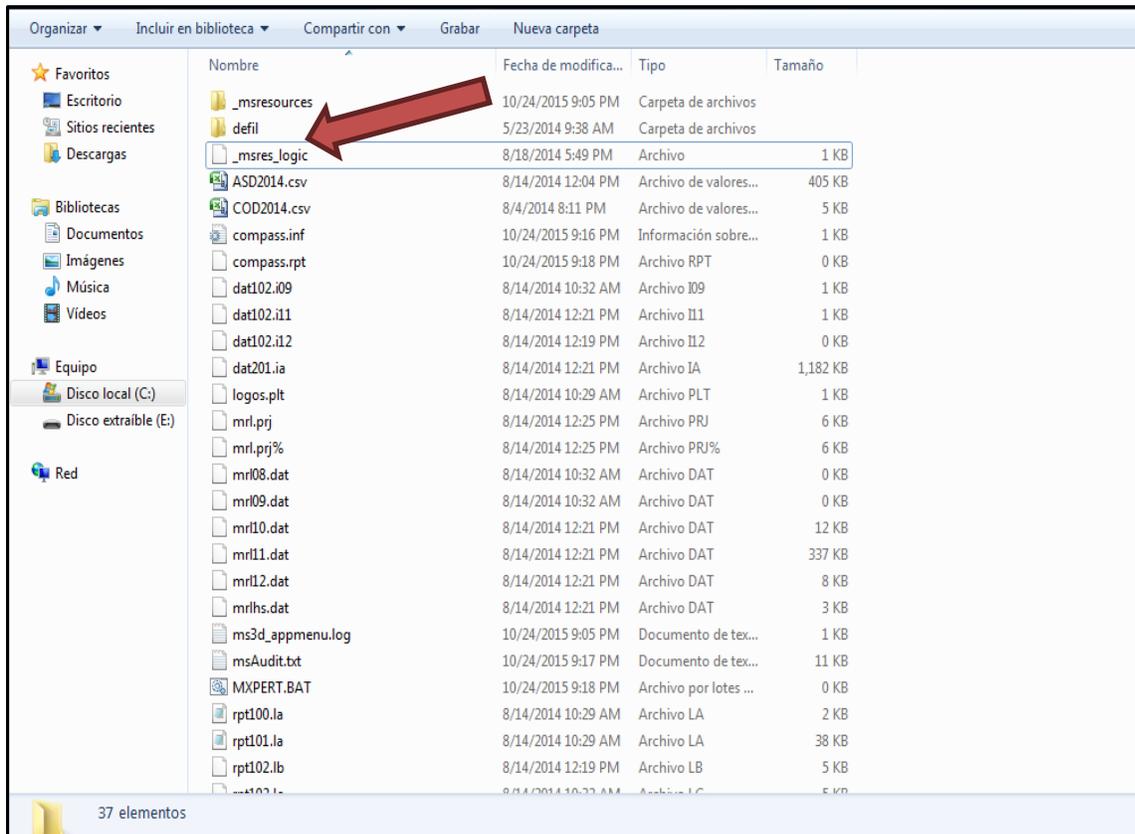
Tomada por: Dario Cú Oxom. 2015

Como fase inicial para el modelamiento se desplego la información de mapeo superficial que corresponde a la estructura del sector Delmy, se integran los núcleos de exploración y definición mayormente con diámetro HQ/NQ.

Se crearon tres bases de datos: COD2014.csv, SD2014.csv y ASD2014.csv, los cuales tienen información del número del pozo, intervalos de la muestra, litología, oro (Au), plata (Ag), oro equivalente (AuEq), coordenadas este-norte, elevación, azimut, inclinación, distancia. Se integraron los sondeos pero sin contenido de oro solo con el objetivo de hacer correlación geológica (Figura

17). Estos archivos especiales deben estar colocados en la base general del proyecto a trabajar

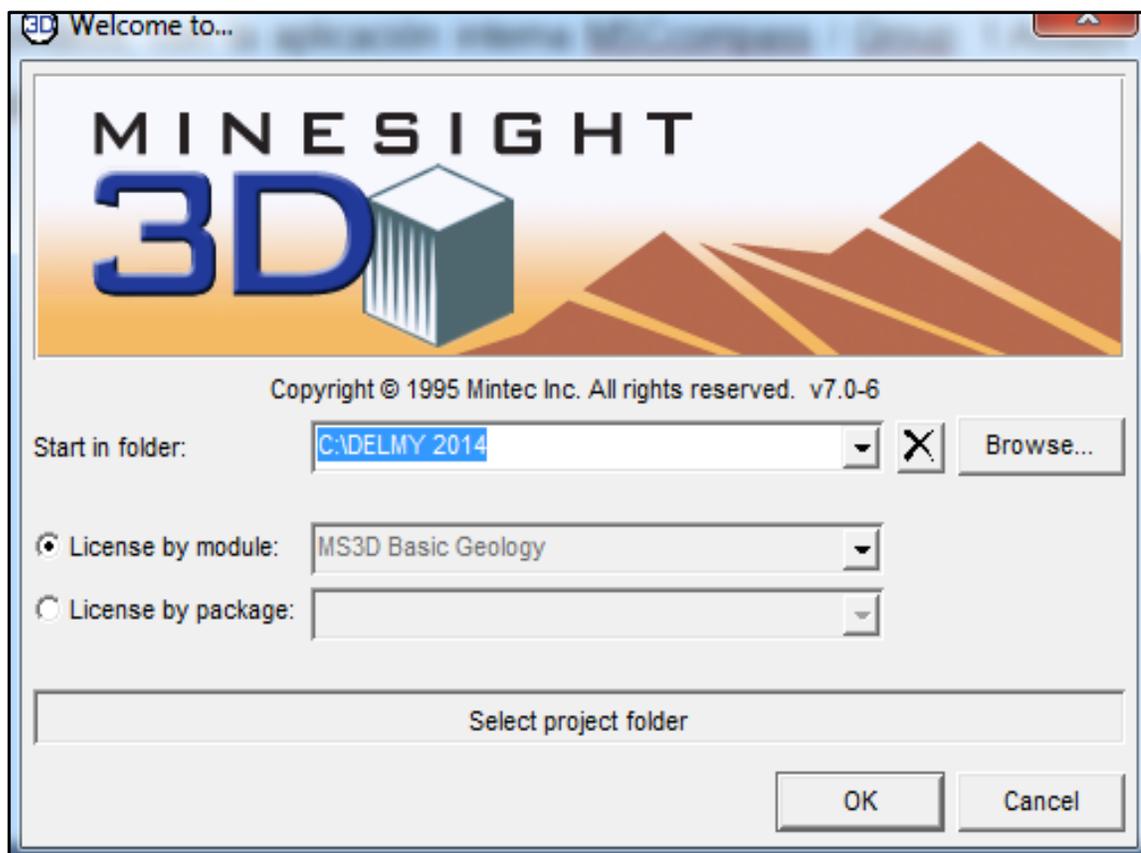
FIGURA 17
BASE DE DATOS PARA INICIALIZAR PROYECTO DELMY



Fuente: Investigación de campo. 2015

Para el modelamiento geológico se utilizó el programa *minesight* desplegando los sondeos (Figura 18), con la aplicación interna *MSCcompass / Group: 1.Assays Data y OperationConvert* se corrió el procedimiento: *Convert Collar, Surveys, Assay files* (Figura 19).

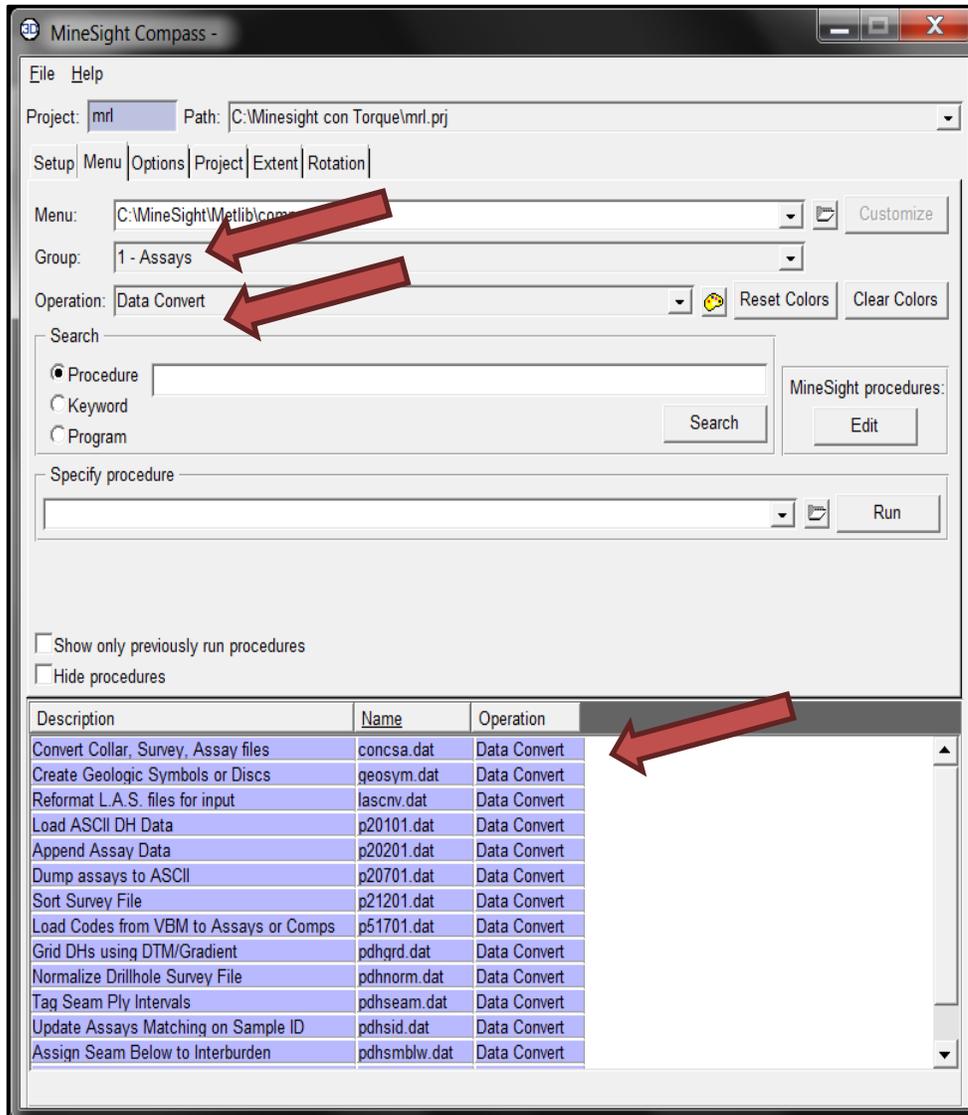
FIGURA 18
INICIALIZACIÓN DEL PROGRAMA MINESIGHT



Fuente: Investigación de campo. 2015

Luego de realizar los procedimientos internos el programa *minesight* crea un archivo donde especifica si existe algún error en los archivos *assay*, *collar*, *survey*, si se tuviese algún problema se debe revisar las bases generadas en el proyecto general y realizar las correcciones.

FIGURA 19 AGRUPACIÓN DE INFORMACIÓN PARA DESPLIEGUE DE SONDEOS

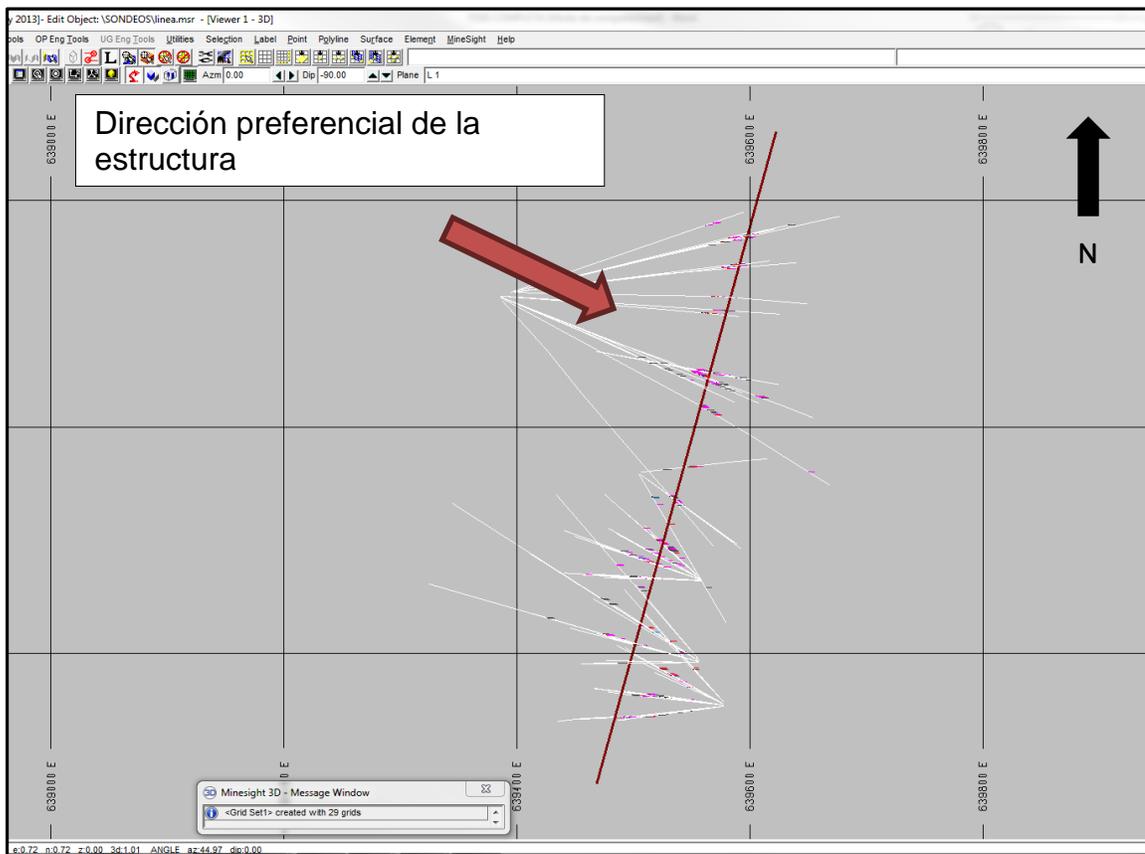


Fuente: Investigación de campo. 2015

Ya desplegados los sondeos y con vista en planta (Figura 20), se crea una línea mostrando la dirección preferencial de la estructura, esto servirá para crear un juego de grid set (juego de secciones)

Los parámetros para poder modelar son oro, litología y oro equivalente, los cuales fueron codificados en base a la descripción de logeos y datos del laboratorio (Figura 21).

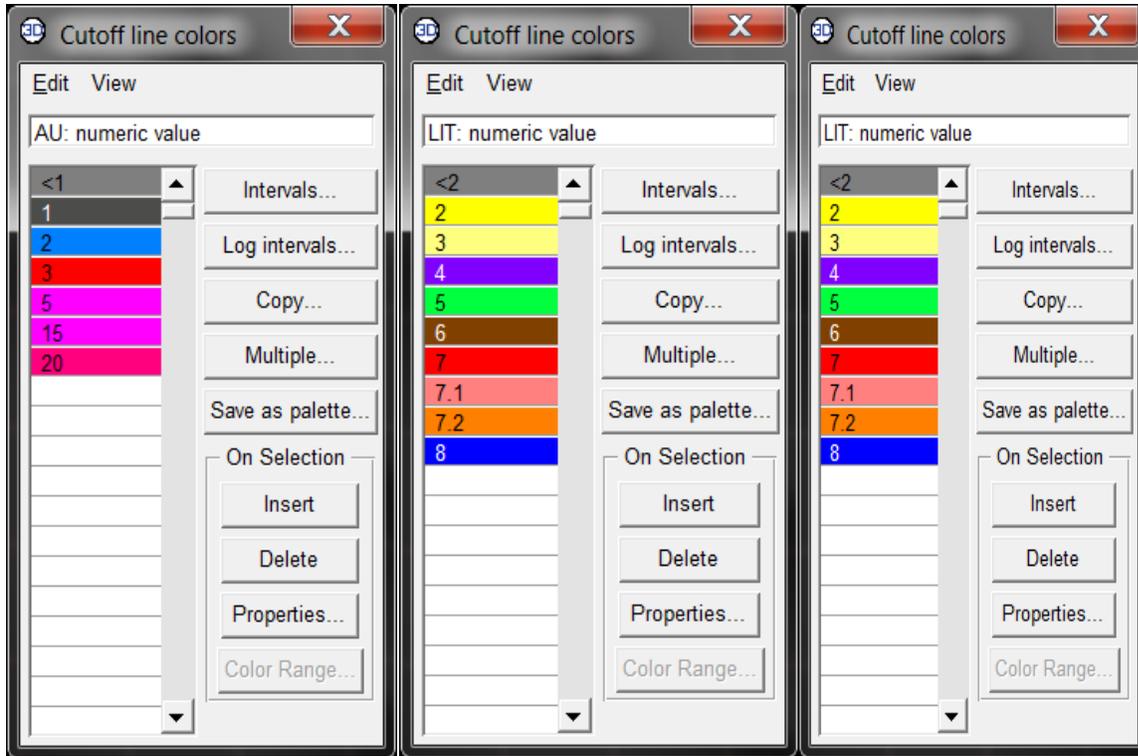
FIGURA 20
VISTA EN PLANTA DIRECCIÓN PREFERENCIAL
DE LA ESTRUCTURA



Fuente: Investigación de campo. 2015

Para tener una mejor visualización a la hora de realizar las correlaciones se puede crear un filtro en las propiedades de los sondeos, esto con la finalidad que nos indique zonas mayores de un gramo de oro equivalente.

FIGURA 21
PARÁMETROS UTILIZADOS EN BASE DATOS DE CAMPO Y
LABORATORIO, PROGRAMA MINESIGHT

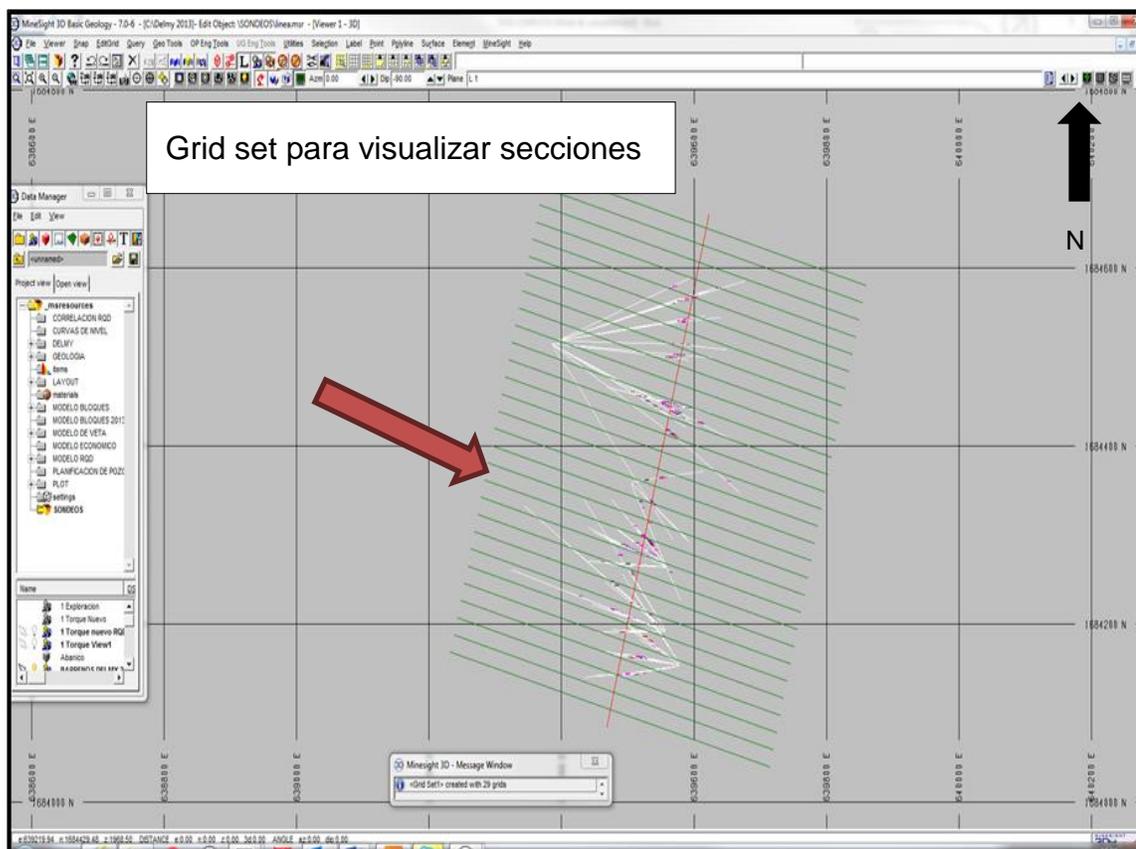


Fuente: Investigación de campo. 2015

La interpretación del modelo de Delmy se utilizó el mapeo geológico de superficie, fallas geológicas, topografía, mapeo geológico subterráneo y sondeos.

En la correlación geológica se realizaron secciones, (Figura 22), dividiéndose en norte y sur debido a la dirección preferencial de la estructura y la distancia entre sí fue de 20 metros para tener una mejor representación del modelo. En el programa se puede desplazar el corte de manera perpendicular al plano de sección, permitiendo visualizar la continuidad de lo interpretado.

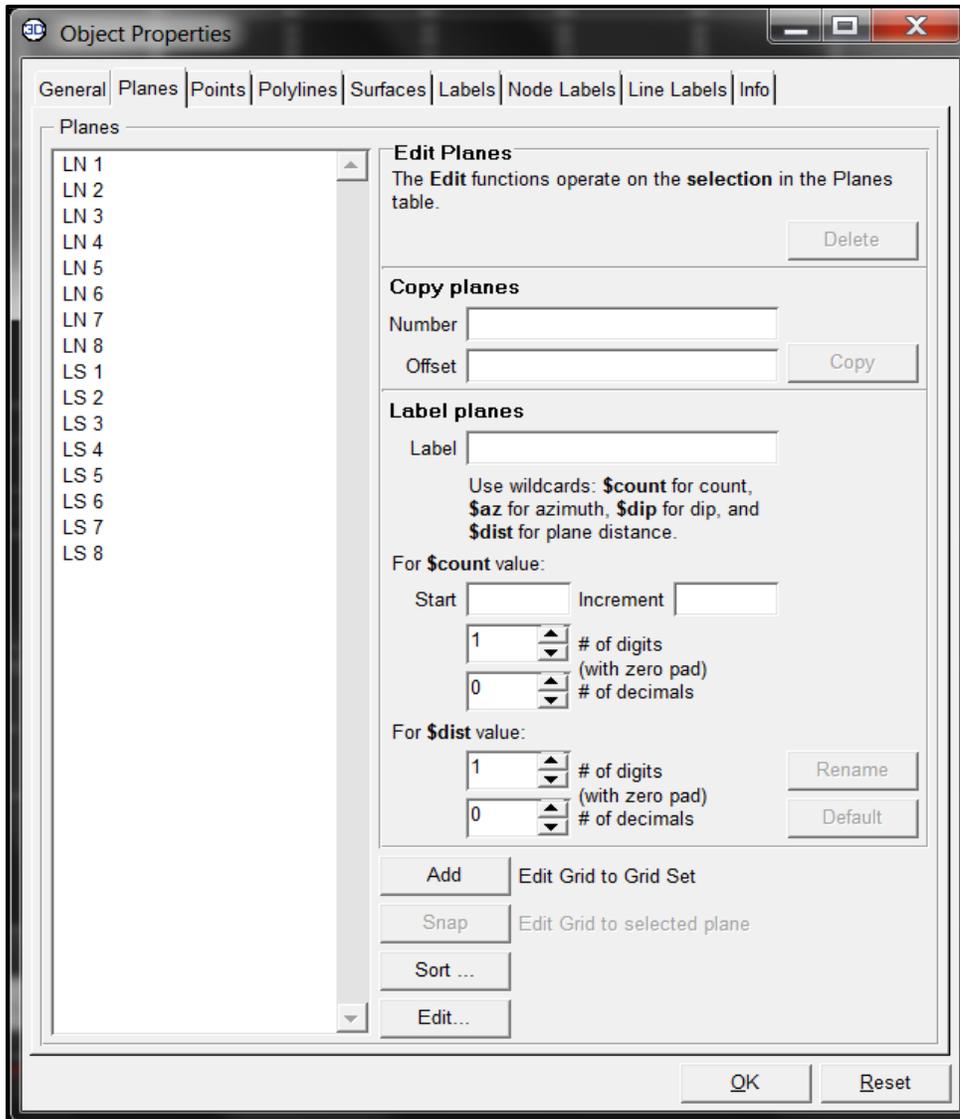
FIGURA 22
VISTA EN PLANTA MOSTRANDO GRID SET A CADA 20 METROS SOBRE RUMBO DE LA BARRENACIÓN



Fuente: Investigación de campo. 2015

Para una mejor identificación de las secciones creadas se le coloca nombre en el cuadro de dialogo ingresando a *edit planes* (Figura 23).

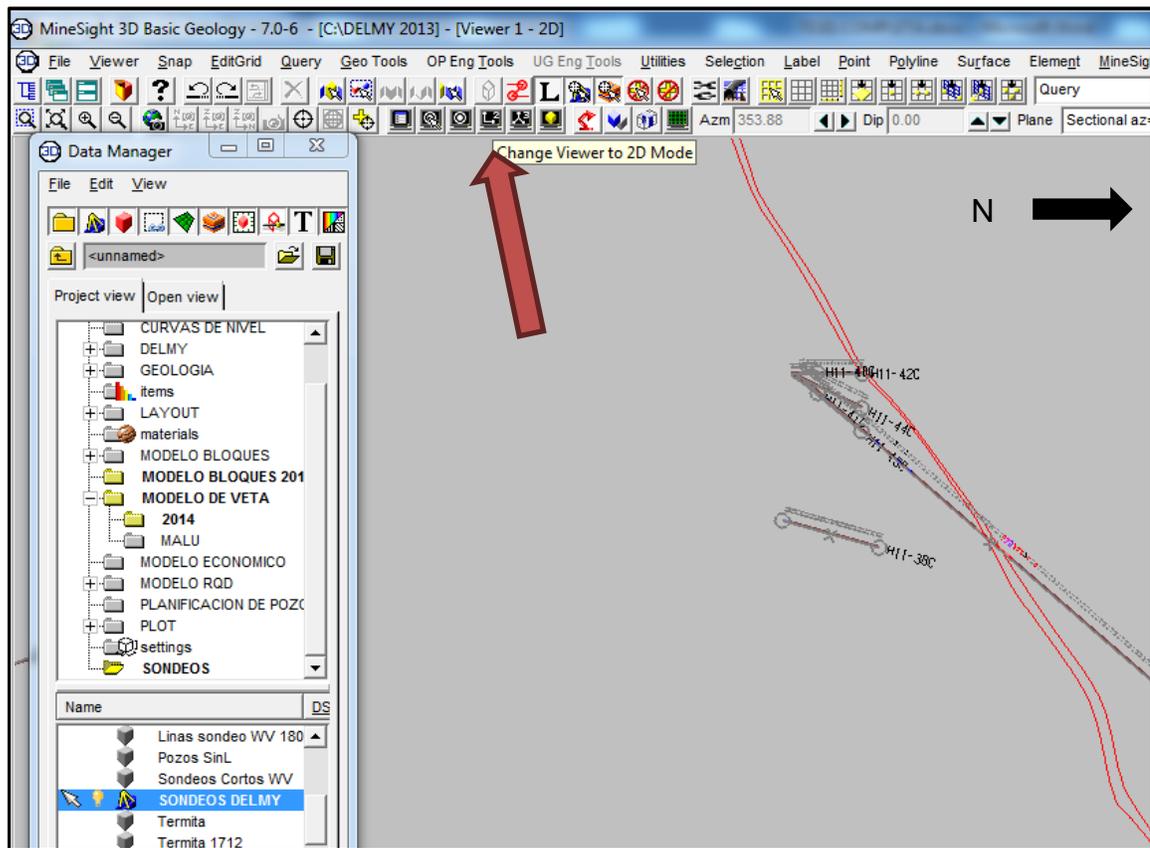
FIGURA 23
CUADRO DE DIALOGO QUE INDICA EL NÚMERO
DE SECCIONES UTILIZADAS



Fuente: Investigación de campo. 2015

Quando ya están generadas las secciones se despliegan una por una en 2D, (Figura 24) esto para iniciar la correlación geológica, sección por sección. La litología es la base para tener una guía por donde se enlazan los valores de Au (Figura 25).

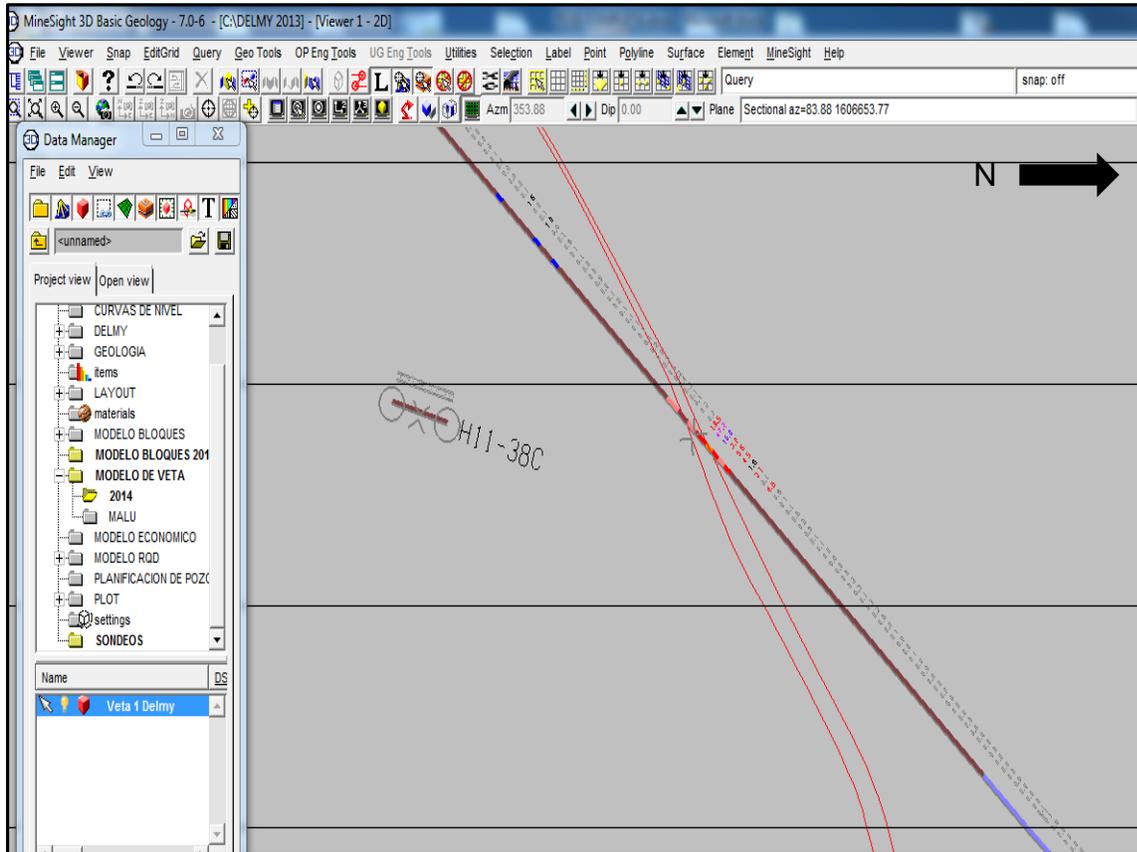
FIGURA 24 SECCIÓN L S-8, SE VISUALIZA EN 2D



Fuente: Investigación de campo. 2015

En la codificación que se hizo en cada sección se realizó respetando el intercepto del sondaje, ya que a la hora de la generación del sólido puede crear un volumen no aceptable para la estimación de reservas.

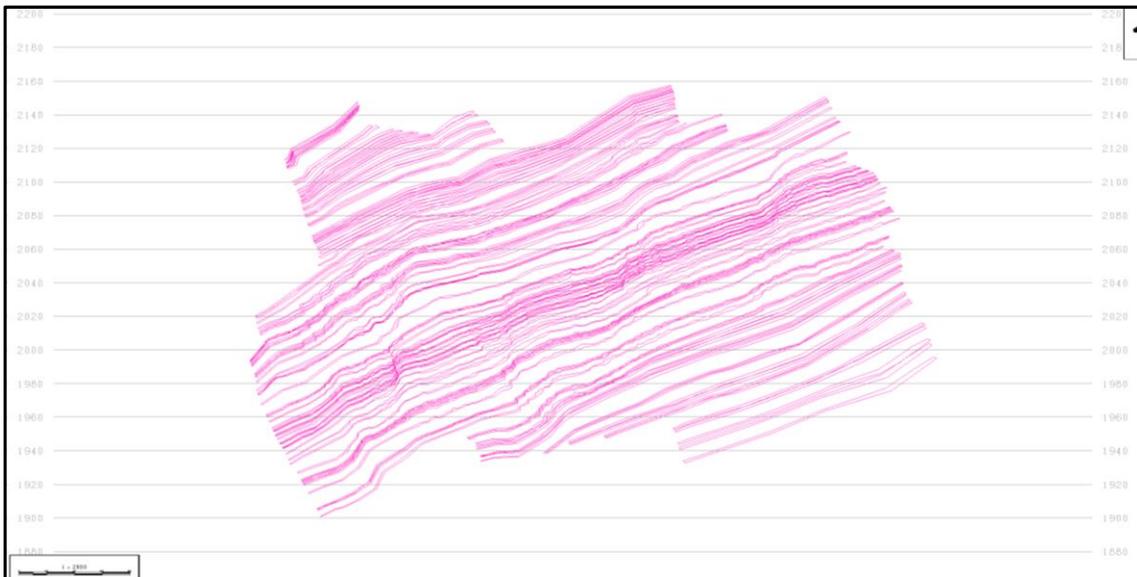
FIGURA 25 SECCIÓN L N-8, CORRELACIÓN GEOLÓGICA DE VALORES DE AU



Fuente: Investigación de campo. 2015

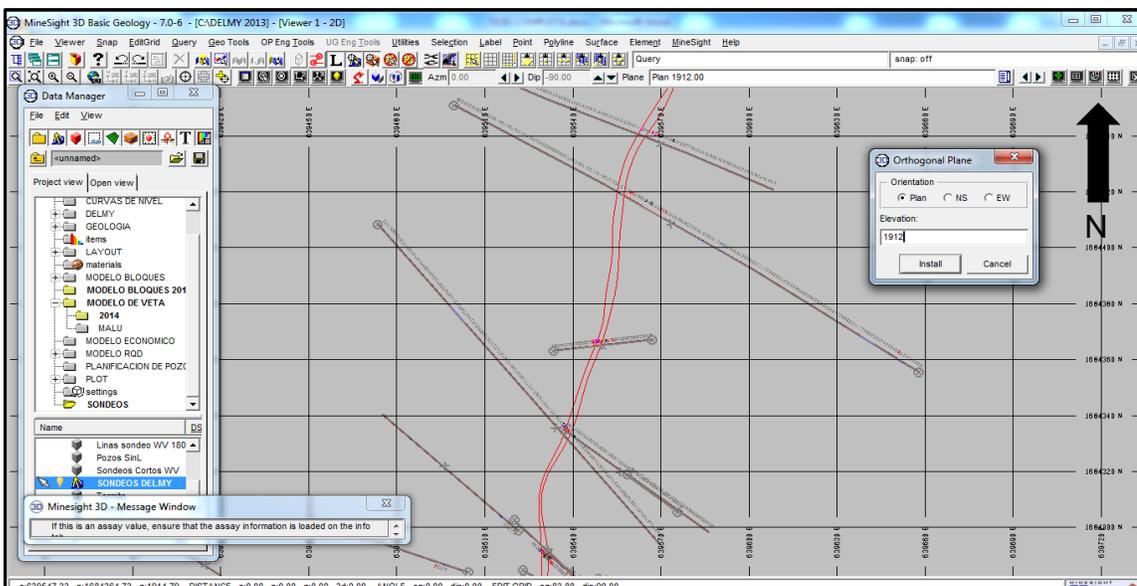
Para una mejor visualización e interpretación del modelo geológico Delmy se realizaron polígonos en planta con la finalidad de ver la continuidad de ley, estas secciones realizadas fueron a cada 20 metros (Figura 26) se revisó sección por sección para ir modificando los puntos que no se ajustaron correctamente a lo codificado tomando en cuenta la litología y valores de Oro, respetando la ley de corte definida (Figura 27).

FIGURA 26
VISTA VISUALIZANDO EL TOTAL DE POLÍGONOS
PARA CREAR EL SOLIDO



Fuente: Investigación de campo. 2015

FIGURA 27
SECCIÓN EN PLANTA, NIVEL 1912
VISUALIZANDO POLÍGONOS EN 2D



Fuente: Investigación de campo. 2015

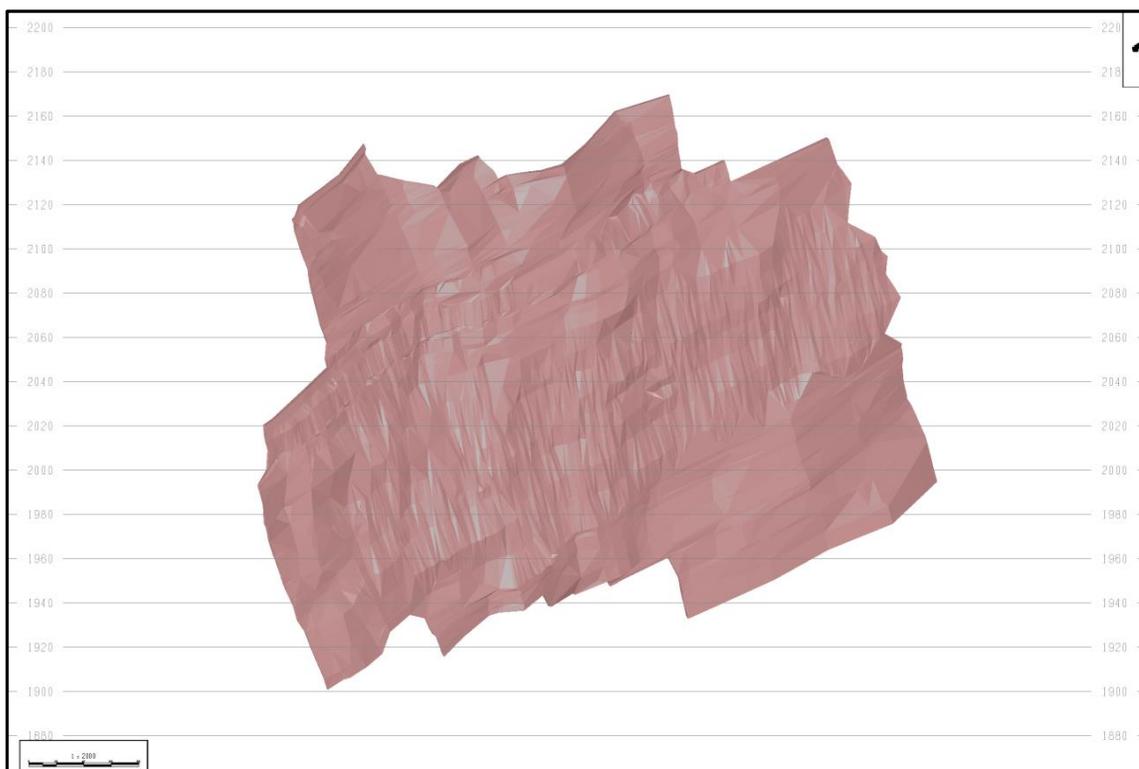
Cuando se finalizó la correlación geológica nivel por nivel, lo siguiente fue la revisión de todos los polígonos verificando que tengan la misma dirección y para comprobarlo se utilizó la función *polyline direction*.

La siguiente fase es la fusión de todos los polígonos, utilizando la herramienta del editor de enlace *linker tool*, se selecciona lo que se va a entrelazar y se unifican para una mejor representación del cuerpo (Figura 28).

Se utilizó la herramienta *surface verify*, para comprobar que no haya caras duplicadas y así evitar la disminución de tonelaje. Existió complicaciones en la triangulación en varios sondeos ya que no fue posible su snap sin embargo se ajustó lo más detallado posible manteniendo la inclinación de la estructura.

Luego de la verificación y validación del sólido del cuerpo mineralizado Delmy, se entrega al departamento de ingeniería para el diseño y planificación de rampas desde la galería coral y rampa principal en mina subterránea.

FIGURA 28
SÓLIDO DEL CUERPO MINERALIZADO DELMY



Fuente: Investigación de campo. 2015

2.3.3. Análisis del índice de calidad de roca (RQD)

La estabilidad de túneles es un tema de mucha importancia en minería subterránea, por tal razón para el diseño de los accesos a la estructura Delmy, se debe tener el conocimiento del macizo rocoso.

Los núcleos de perforación no solo nos dan información de la estructura mineralizada Delmy, también nos dan información que sirve para la planificación de rampas de acceso, estableciendo un pre diseño con los elementos necesarios para el sostenimiento del túnel, por lo tanto se hará el análisis de RQD para determinar la calidad de la roca.

“La calidad de roca RQD se puede determinar a partir de testigos mayores o iguales de 10 cm a lo largo del total del barreno”.²⁸

Para poder hacer los modelos del análisis de RQD, primeramente se debe realizar el logueo de los núcleos de perforación, posteriormente se toman datos como metros recuperados, recuperación total, RQD y % RQD, este último parámetro se utiliza la formula siguiente:

$$\text{RQD (\%)} = \frac{\text{Sumaf10}}{\text{Ltot}} \times 100\%$$

Sumaf10: Suma de la longitud de testigos mayores a 10 cm.
Ltot: Longitud total del sondeo

Se utilizó la clasificación de Barton, para poder distinguir todos los tipos de calidad de la roca (Tabla 2).

TABLA 2
PARÁMETROS DE BARTON

Descripción de la calidad del macizo rocoso	R.Q.D %
Muy mala	0-25
Mala	25-50
Mediana	50-75
Buena	75-90
Excelente	90-100

Fuente: Modificado de Bongiorno F. *CLASIFICACIONES DE LOS MACIZOS ROCOSOS SEGÚN: BARTON, BIENIAWSKI, HOEY Y BROWN.* (10 de octubre 2015)

²⁸ Bongiorno Francisco. *Clasificaciones de los macizos rocosos. Según Bieniawski, Barton, Hoek y Brown.* 2012. http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/guia_geotecnia.pdf (21 de octubre 2015)

En los pozos perforados en el proyecto Delmy se tienen los 5 tipos de la calidad del macizo rocoso, mostrándonos que hay pozos que la calidad de roca es buena. (Fotografía 9)

FOTOGRAFÍA 9 SONDEO CON CALIDAD DE ROCA DE BUENA A MUY BUENA



Tomada por: Pablo Roberto Marroquín Hun. 2015

Para poder realizar la interpretación de las posibles zonas inestables que pueden afectar en la construcción de rampas, galerías, accesos a mineral se utilizó según la clasificación de Barton calidad de roca muy mala, observándose en los sondeos fragmentos en su mayoría triturados (Fotografía 10).

FOTOGRAFÍA 10 SONDEO CON CALIDAD DE ROCA MUY MALA



Tomada por: Pablo Roberto Marroquín Hun. 2015

Luego de tener la información de los logueos son ingresados a la base de datos general y se procesa en el programa de computación *minesight* ingresándolo en el archivo ASD2014.csv, (Figura 29) esto con la finalidad de poder realizar los modelos necesarios para determinar si existen zonas de riesgo o zonas inestables correlacionables en los alrededores de la estructura mineralizada Delmy.

FIGURA 29
PARÁMETROS EN ASD2014.CSV,
OBSERVANDO DATOS DE RQD

Query Drillhole View SONDEOS DELMY / Drillhole LM75N1: Datos RQD

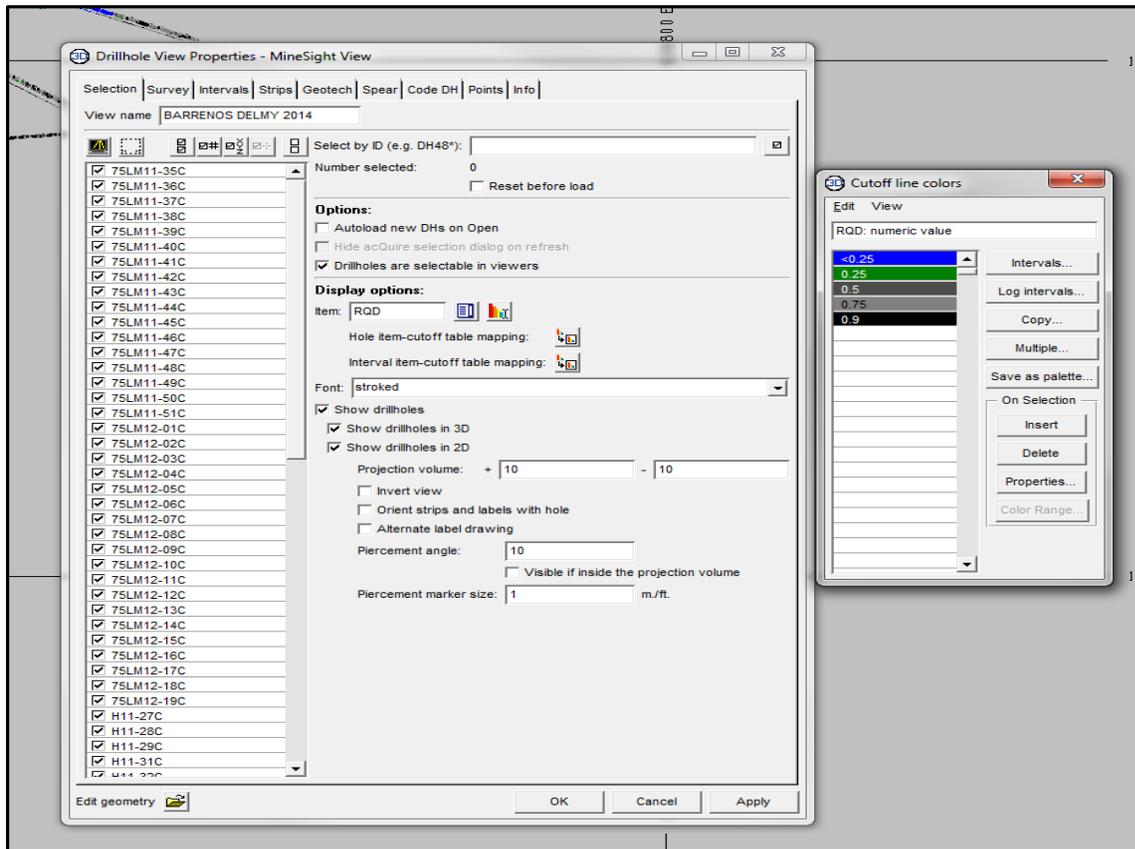
	REF#	FROM	-TO-	-AI-	AU	LIT	AM	RQD
185	83	183.00	184.00	1.00	0.190	8.00	0.23	0.10
186	83	184.00	185.00	1.00	0.070	6.00	0.09	0.70
187	83	185.00	186.00	1.00	0.070	6.00	0.09	0.95
188	83	186.00	187.00	1.00	0.220	8.00	0.27	0.10
189	83	187.00	188.00	1.00	4.680	8.00	14.03	1.00
190	83	188.00	189.00	1.00	1.100	8.00	1.35	0.40
191	83	189.00	190.00	1.00	1.560	8.00	2.41	0.50
192	83	190.00	191.00	1.00	0.250	6.00	0.47	0.10
193	83	191.00	192.00	1.00	-	6.00	0.00	0.10
194	83	192.00	193.00	1.00	-	6.00	0.00	0.50
195	83	193.00	194.00	1.00	-	6.00	0.00	0.50
196	83	194.00	195.00	1.00	-	6.00	0.00	0.20
197	83	195.00	196.00	1.00	-	6.00	0.00	0.30
198	83	196.00	197.00	1.00	-	6.00	0.00	0.10
199	83	197.00	198.00	1.00	-	6.00	0.00	0.80
200	83	198.00	199.00	1.00	-	6.00	0.00	0.70
201	83	199.00	200.00	1.00	-	6.00	0.00	0.70
202	83	200.00	201.00	1.00	-	6.00	0.00	0.80
203	83	201.00	202.00	1.00	-	6.00	0.00	0.80
204	83	202.00	203.00	1.00	-	6.00	0.00	0.85
205	83	203.00	204.00	1.00	-	6.00	0.00	0.80
206	83	204.00	205.00	1.00	-	6.00	0.00	0.80
207	83	205.00	206.00	1.00	-	6.00	0.00	0.90
208	83	206.00	207.00	1.00	-	6.00	0.00	0.90
209	83	207.00	208.00	1.00	-	6.00	0.00	0.80
210	83	208.00	209.00	1.00	-	6.00	0.00	0.90
211	83	209.00	210.00	1.00	-	6.00	0.00	0.90
212	83	210.00	211.00	1.00	-	6.00	0.00	0.85
213	83	211.00	212.00	1.00	-	6.00	0.00	0.60
214	83	212.00	213.00	1.00	-	6.00	0.00	0.70
215	83	213.00	214.00	1.00	-	6.00	0.00	0.80
216	83	214.00	215.00	1.00	-	6.00	0.00	0.70
217	83	215.00	216.00	1.00	-	6.00	0.00	0.75
218	83	216.00	217.00	1.00	-	6.00	0.00	0.75
219	83	217.00	218.00	1.00	-	6.00	0.00	0.60

Fuente: Investigación de campo. 2015

En el programa *minesight* para realizar la interpretación en base a los datos del índice de RQD, se ingresó primeramente como valores numéricos la clasificación de Barton (Figura 30), utilizando la primera clasificación con un rango 0-25 % (Tabla 2), estos

modelos se realizaron con la misma metodología utilizada para el cuerpo mineralizado Delmy.

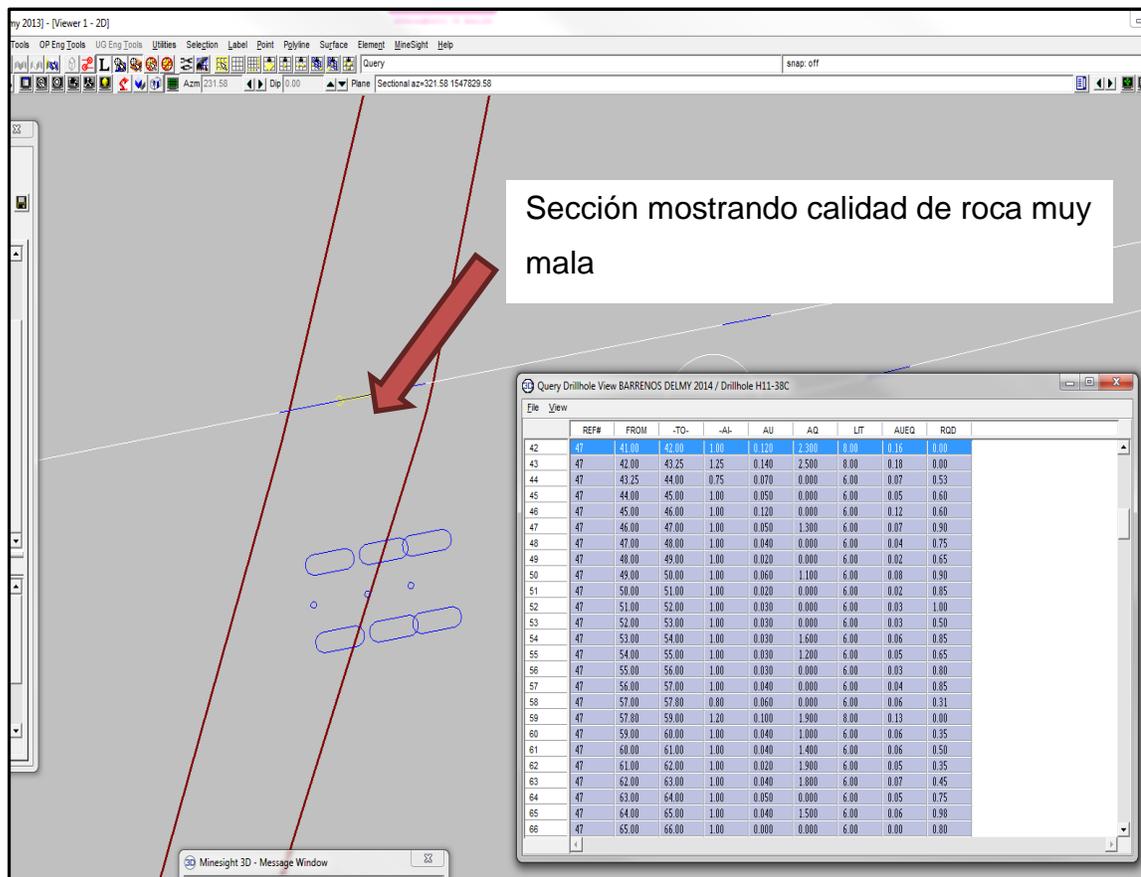
FIGURA 30
PARÁMETROS EN BASE A CLASIFICACIÓN DE BARTON



Fuente: Investigación de campo. 2015

Se realizaron una serie de secciones en el programa de computación *minesight*, esto con el fin de darles validación a los modelos geológicamente (Figura 31) y (Figura 32).

FIGURA 31 SECCIÓN INDICANDO LUGAR DEL CORTE DEL MODELO DE RQD



Fuente: Investigación de campo. 2015

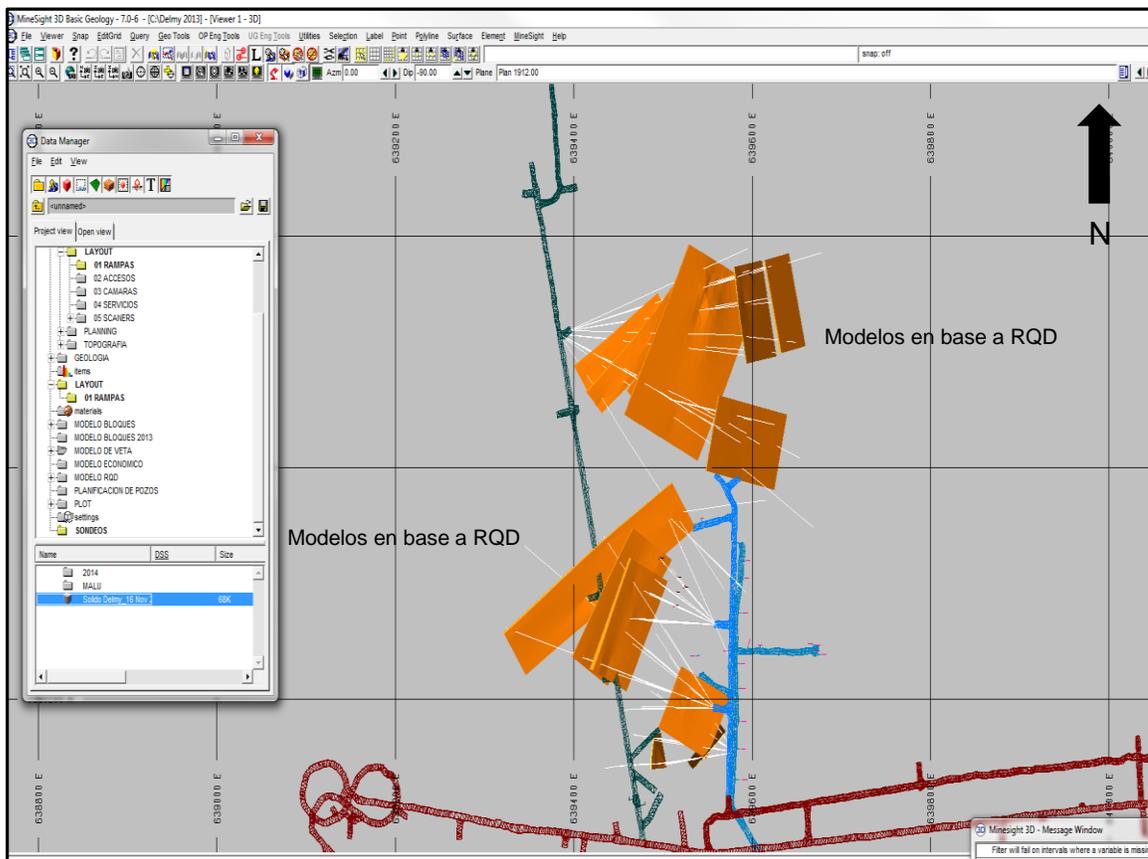
FIGURA 32
CUADRO DE PARÁMETROS, ROCA DE CALIDAD MUY MALA

	REF#	FROM	-TO-	-AL-	AU	AQ	LIT	AUEQ	RQD
2	47	41.00	42.00	1.00	0.120	2.300	8.00	0.16	0.00
3	47	42.00	43.25	1.25	0.140	2.500	8.00	0.18	0.00
4	47	43.25	44.00	0.75	0.070	0.000	6.00	0.07	0.53
5	47	44.00	45.00	1.00	0.050	0.000	6.00	0.05	0.60
6	47	45.00	46.00	1.00	0.120	0.000	6.00	0.07	0.60
7	47	46.00	47.00	1.00	0.050	1.300	6.00	0.07	0.90
8	47	47.00	48.00	1.00	0.040	0.000	6.00	0.04	0.75
9	47	48.00	49.00	1.00	0.020	0.000	6.00	0.02	0.65
0	47	49.00	50.00	1.00	0.030	0.000	6.00	0.08	0.90
1	47	50.00	51.00	1.00	0.030	0.000	6.00	0.02	0.85
2	47	51.00	52.00	1.00	0.030	0.000	6.00	0.03	1.00
3	47	52.00	53.00	1.00	0.030	0.000	6.00	0.03	0.50
4	47	53.00	54.00	1.00	0.030	1.600	6.00	0.06	0.85
5	47	54.00	55.00	1.00	0.030	1.200	6.00	0.05	0.65
6	47	55.00	56.00	1.00	0.030	0.000	6.00	0.03	0.80
7	47	56.00	57.00	1.00	0.040	0.000	6.00	0.04	0.85
8	47	57.00	57.80	0.80	0.060	0.000	6.00	0.06	0.31
9	47	57.80	59.00	1.20	0.100	1.900	8.00	0.13	0.00
0	47	59.00	60.00	1.00	0.040	1.000	6.00	0.06	0.35
1	47	60.00	61.00	1.00	0.040	1.400	6.00	0.06	0.50
2	47	61.00	62.00	1.00	0.020	1.900	6.00	0.05	0.35
3	47	62.00	63.00	1.00	0.040	1.800	6.00	0.07	0.45
4	47	63.00	64.00	1.00	0.050	0.000	6.00	0.05	0.75
5	47	64.00	65.00	1.00	0.040	1.500	6.00	0.06	0.98
6	47	65.00	66.00	1.00	0.000	0.000	6.00	0.00	0.80
7	47	66.00	67.00	1.00	0.030	1.700	6.00	0.06	0.80
8	47	67.00	68.00	1.00	0.000	1.800	6.00	0.03	0.10
9	47	68.00	69.00	1.00	0.000	0.000	6.00	0.00	0.20
0	47	69.00	70.00	1.00	0.050	0.000	6.00	0.05	0.42
1	47	70.00	71.00	1.00	0.000	0.000	6.00	0.00	0.60
2	47	71.00	72.00	1.00	0.000	0.000	6.00	0.00	0.60
3	47	72.00	73.00	1.00	0.000	0.000	6.00	0.00	0.95
4	47	73.00	74.00	1.00	0.000	0.000	6.00	0.00	0.70
5	47	74.00	75.00	1.00	0.000	0.000	6.00	0.00	0.60
6	47	75.00	76.00	1.00	0.000	0.000	6.00	0.00	0.45
7	47	76.00	77.00	1.00	0.000	0.000	6.00	0.00	0.30
8	47	77.00	78.00	1.00	0.000	0.000	6.00	0.00	0.30
9	47	78.00	79.00	1.00	0.000	0.000	6.00	0.00	0.35
0	47	79.00	80.00	1.00	0.020	1.500	6.00	0.04	0.60
1	47	80.00	81.00	1.00	0.000	2.200	6.00	0.04	0.65

Fuente: Investigación de campo. 2015

Con los datos de los análisis de RQD en los pozos, se realizó una serie de modelos en base a la clasificación de Barton, esta información es importante ya que puede determinar qué zonas hay riesgos al momento de planificar accesos o rampas hacia la estructura mineralizada Delmy (Figura 33).

FIGURA 33
VISTA EN PLANTA EN BASE A CLASIFICACIÓN DE BARTON
UTILIZANDO EL PARÁMETRO DE 0 -25 %



Fuente: Investigación de campo. 2015

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Generalidades

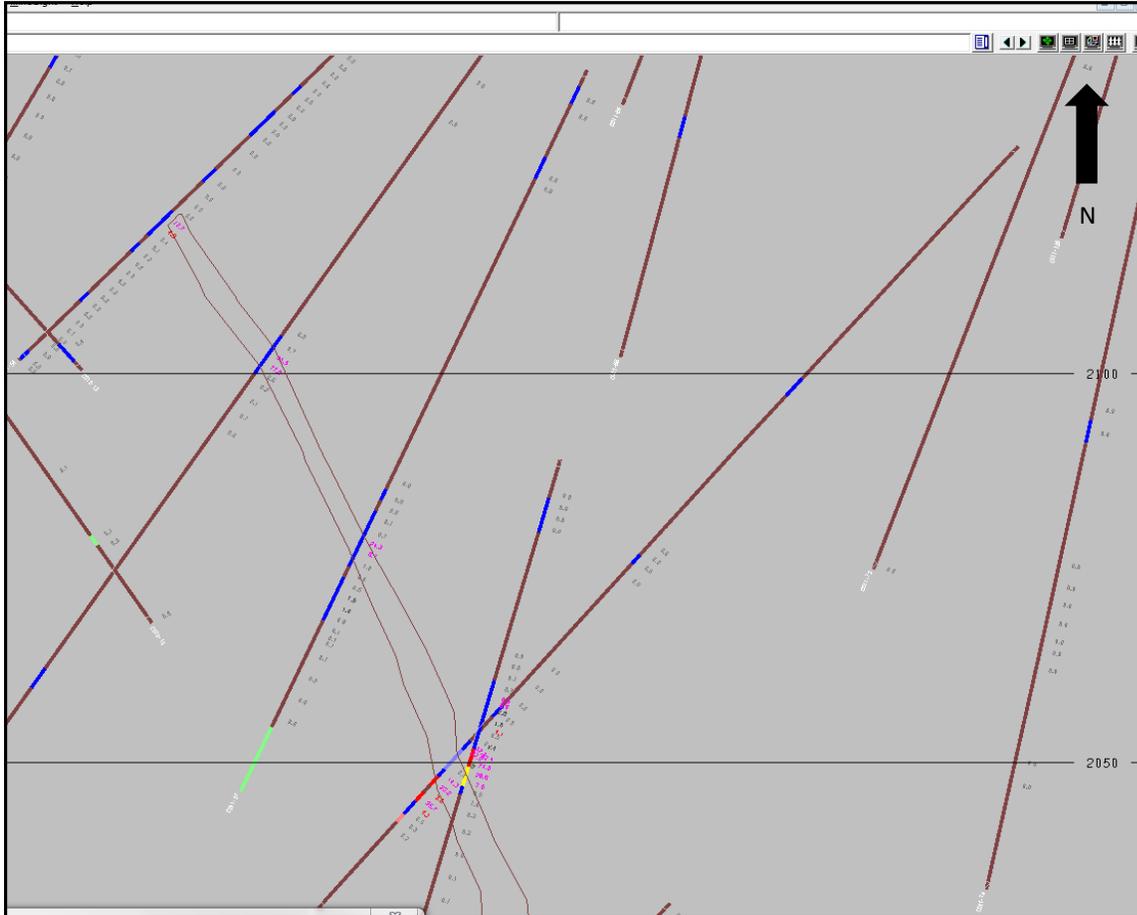
Con la planificación de sondeos y posterior ejecución de cada uno de los planes de barrenación se cortó el mayor número de unidades geológicas representativas para el trazado del túnel y el modelo estructural del cuerpo mineralizado Delmy, los cuales según la descripción de testigos podemos decir que son las siguientes: Unidad de Vulcanoclásticos (Tv), Unidad de Veta de Cuarzo (VQz), Unidad de Brecha Hidrotermal (BxH) y Unidad de Vulcanoclásticos fallado (FI).

3.2. Modelo geológico Delmy

El modelo geológico del depósito Delmy se basa litológicamente en una estructura mineralizada de cuarzo y falla con valores de Au y Ag que fueron utilizados para poder ser entrelazados y así construir el sólido en el programa de modelación *minesight* 3D, ya que en una operación minera se debe tener el conocimiento del mismo para poder proyectar el túnel y así evitar sobrecostos y retrasos imprevistos.

Se estableció según análisis de laboratorio e interpretaciones de secciones, que la concentración de Au se encuentra en dos tipos de litología en las cuales se presentan en diferentes niveles. Unidad de Vulcanoclásticos fallado que es un material arcilloso (*gauge*) se presenta con valores importantes de Au entre los niveles 2 050 al 2 100 (Figura 34).

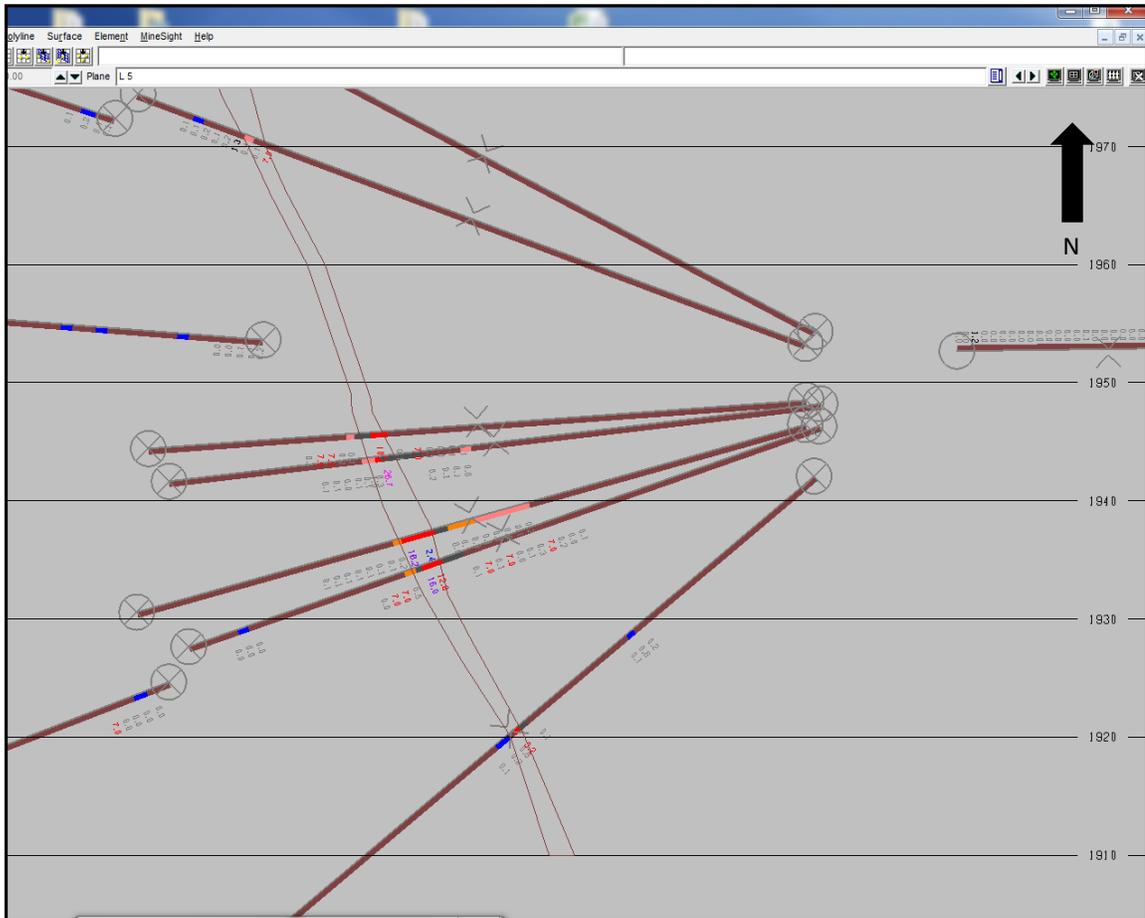
FIGURA 34
VISTA EN SECCIÓN LÍNEA 9, VALORES DE AU
EN UNIDAD DE FALLA, NIVEL 2 050 AL 2 100



Fuente: Investigación de campo. 2015

La otra unidad que presento valores de Au para la realización del modelo, es la unidad de veta de cuarzo, el cual se está presentando en los niveles 1 900 al 1 970. El ancho según las secciones puede estar entre un rango de 50 centímetros hasta de dos metros (Figura 35).

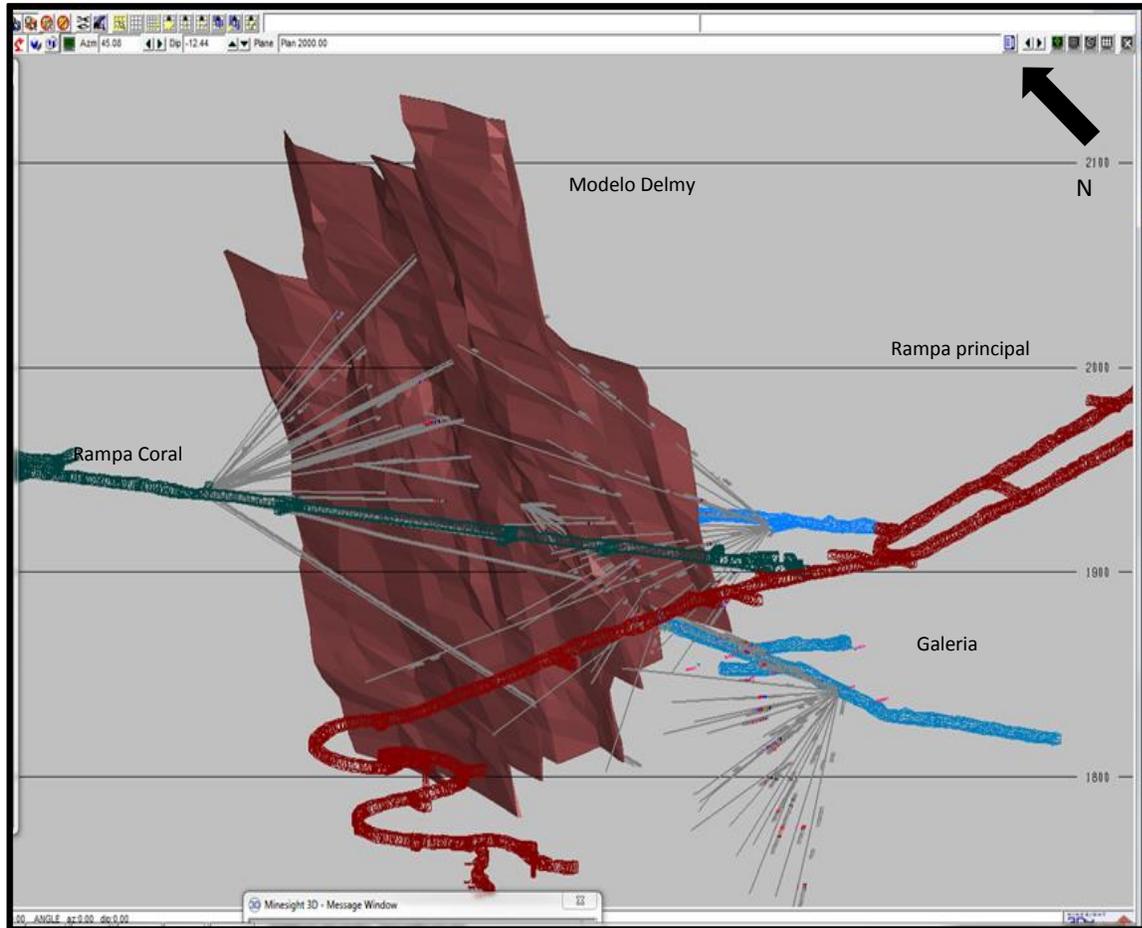
FIGURA 35
VISTA EN SECCIÓN LÍNEA 5, VALORES AU EN NIVELES
INFERIORES ENTRE 1 900 A 1 970



Fuente: Investigación de campo. 2015

Se realizó el modelo, inicialmente con la recopilación y codificación de la información geológica disponible como barrenos de perforación subterránea e información de barrenos superficiales, las cuales fueron codificados en los diferentes bases de datos: cdel.csv, sdel.csv y adel.csv, y procesados en el programa minesight dándonos un modelo del cuerpo mineralizado Delmy el cual tiene una orientación N-S con una inclinación de 70 grados al Este, el cual servirá para determinar la cantidad de onzas de Au-Ag estimadas para ser recuperadas, también para ver la secuencia de minado y planificación de rampas y accesos (Figura 36).

FIGURA 36
MODELO FINAL DEL CUERPO MINERALIZADO DELMY

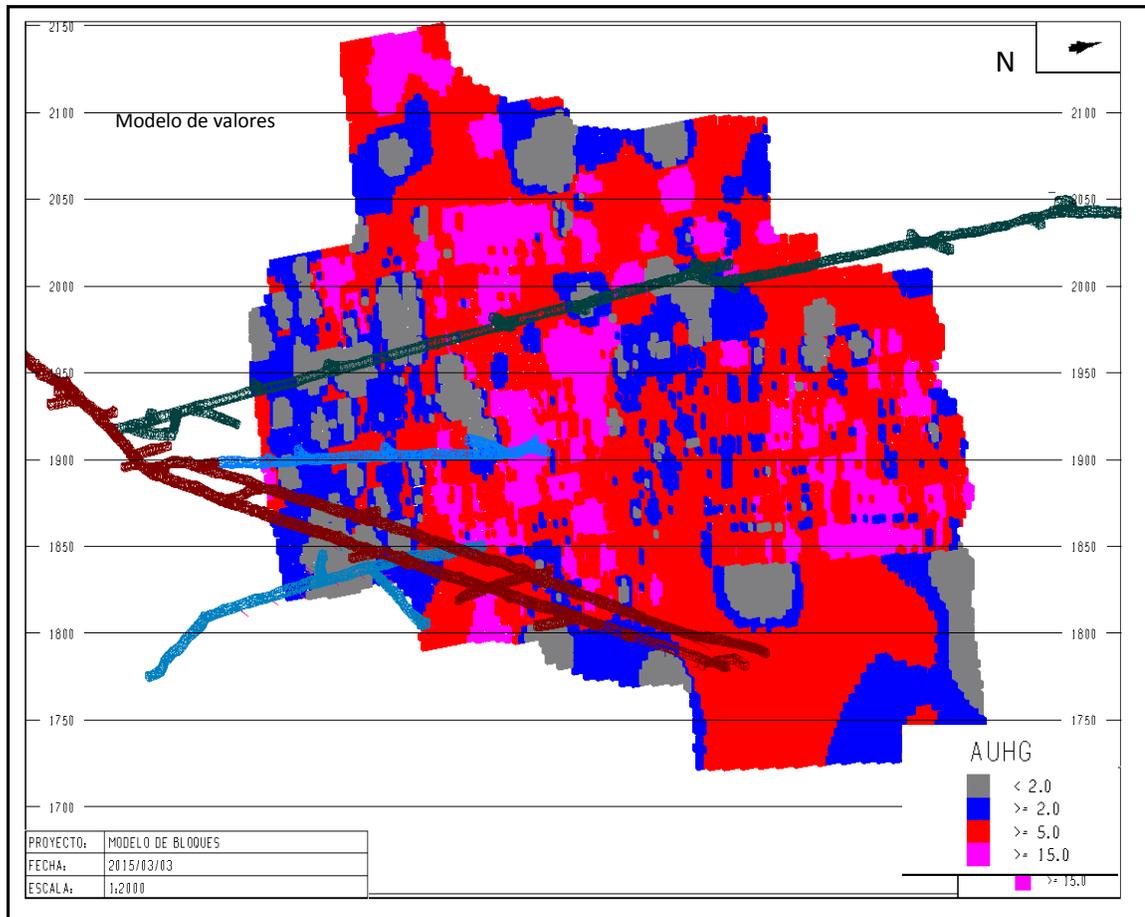


Fuente: Investigación de campo. 2015

3.3 Modelo de anomalías

Se realizó el modelo de distribución de anomalías de AuEq, en esta interpolación se utilizaron parámetros como: sondajes, muestreos subterráneos, información topográfica y el modelo de la estructura Delmy, ponderando cada una de las variables, se obtuvo un mapa mostrando cuatro zonas importantes y son: zona de estéril (< 2.0) g/t, zona de baja ley (≥ 2) g/t, zona de moderada ley (≥ 5) g/t y zona de alta ley (≥ 15) g/t (Figura 37), esto con ayuda del ingeniero encargado de reservas.

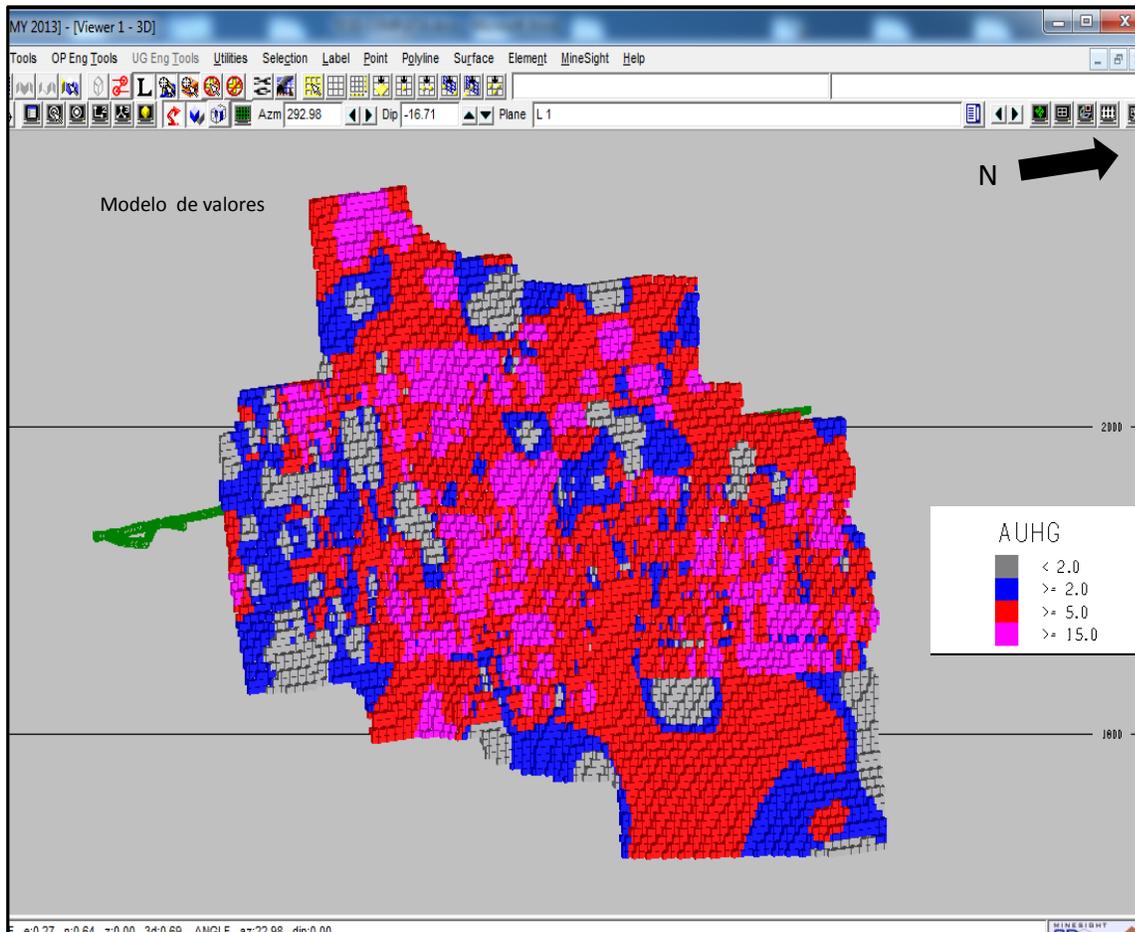
FIGURA 37
VISTA EN SECCIÓN LONGITUDINAL MOSTRANDO
MODELO DE ANOMALÍAS DE AUEQ



Fuente: Investigación de campo. 2015

La zona de estéril ($< 2,0$) g/t y zona de baja ley (≥ 2) g/t según el mapa de anomalías están centralizadas en la parte sur del modelo Delmy. Por lo tanto a pesar que existe continuidad geológica de la estructura esta no presenta valores económicos de AuEq (Figura 38).

FIGURA 38
VISTA EN SECCIÓN LONGITUDINAL MOSTRANDO BAJA LEY



Fuente: Investigación de campo. 2015

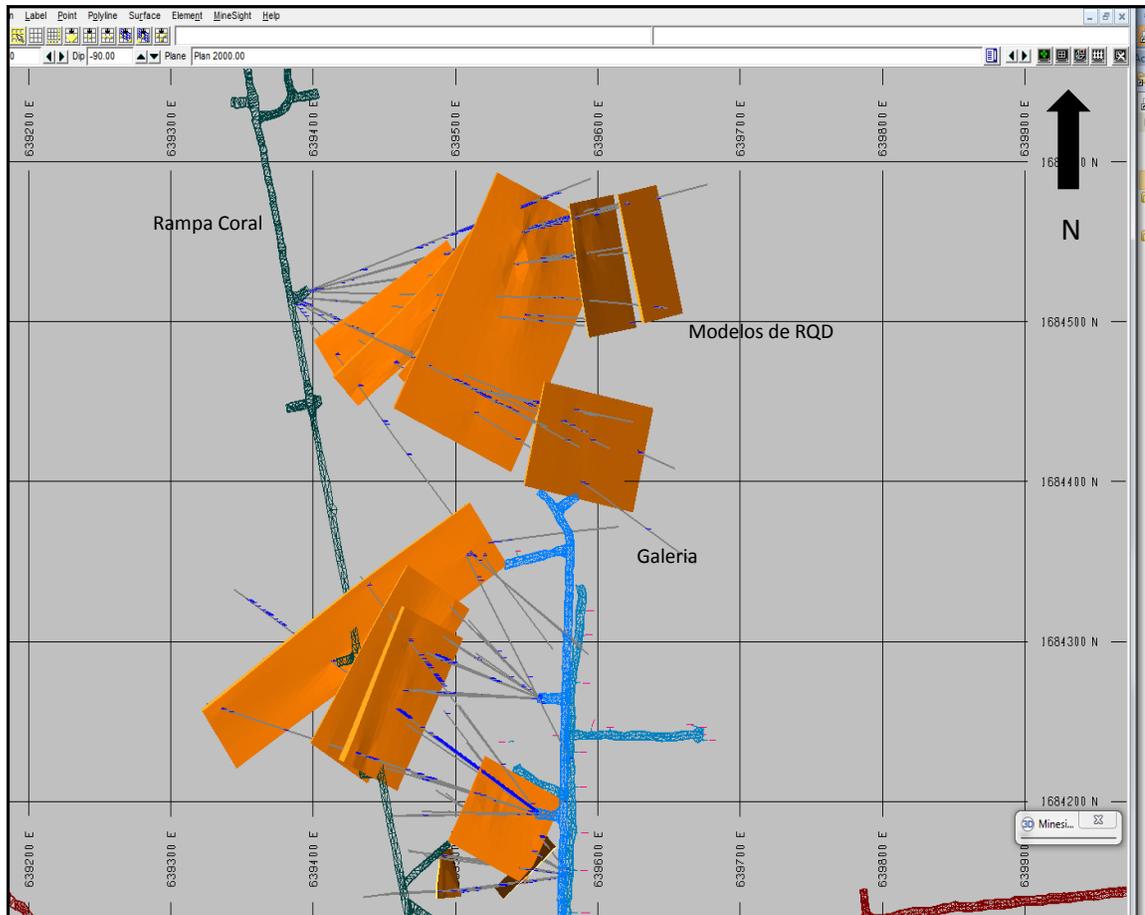
La estructura Delmy se encontrara principalmente con zonas de moderada ley (≥ 5) g/t, el cual es indicativo que es económicamente rentable para realizar la extracción del mineral y que las mejores leyes de oro equivalente se encontraran en los niveles superiores desde el 1 900 hasta el 2 150.

3.4 Modelos según clasificación de Barton

Según la clasificación de Barton (Tabla 2), para hacer el análisis de calidad de la roca se utilizó el parámetro muy malo con índice de RQD de

0-25 %. Realizado los modelos en el programa *minesight* se determinó que existen 13 zonas de mala calidad de roca, las cuales 8 se encuentran en la zona de la caja techo y 5 en la caja piso (Figura 39).

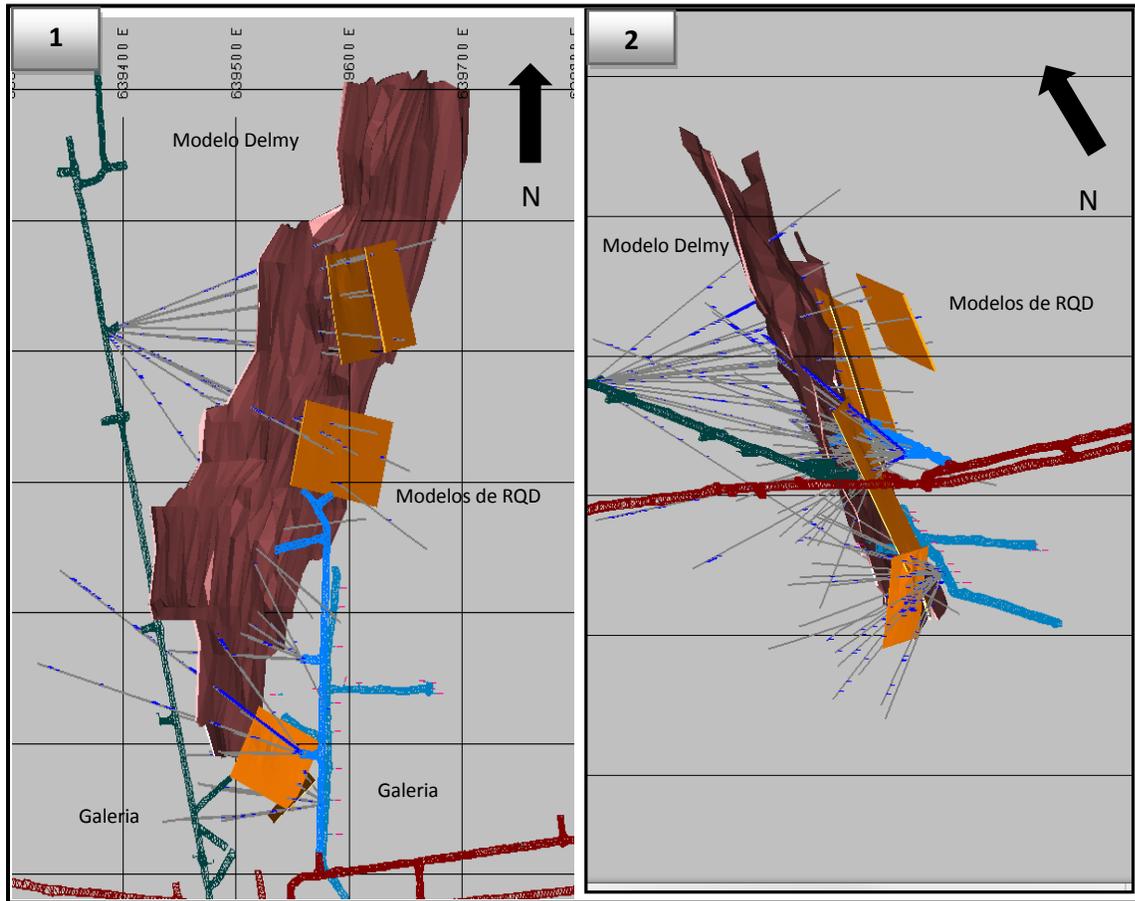
FIGURA 39
VISTA EN PLANTA DE ZONAS DE MALA CALIDAD SEGÚN RQD



Fuente: Investigación de campo. 2015

Los análisis y resultados proporcionados indican que la mejor zona para poder planificar accesos y rampas es la caja piso. Esta área según los modelos en base a la clasificación de Barton la roca no presentara mayor fracturamiento y estas se mostraran en forma paralela a la estructura principal (Figura 40).

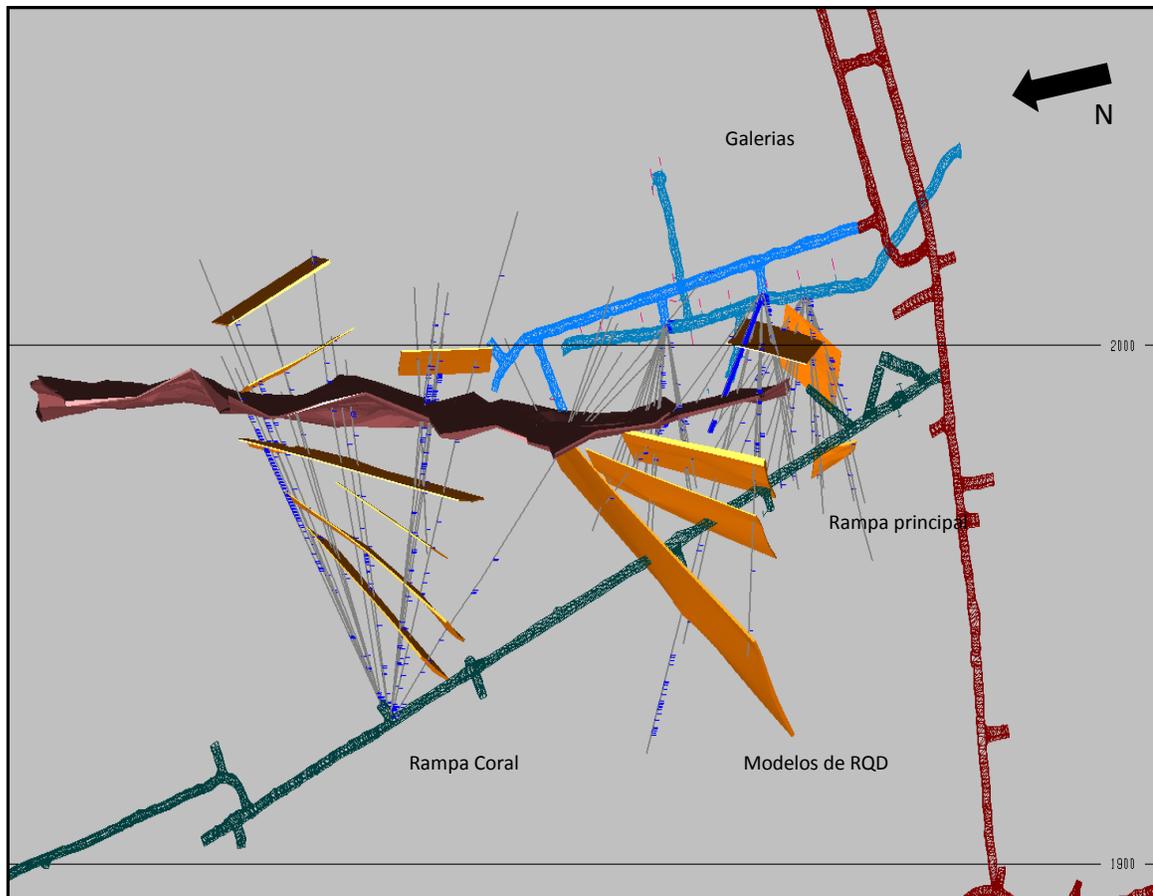
FIGURA 40
1. PLANTA INDICANDO LA CALIDAD DE ROCA EN LA CAJA PISO. 2 SECCIÓN MOSTRANDO QUE LOS MODELOS EN BASE RQD SE MUESTRAN PARALELOS A LA ESTRUCTURA



Fuente: Investigación de campo. 2015

Se considera que en la zona de la caja techo el índice de calidad de roca (RQD) es de calidad muy mala, en base a los valores obtenidos. Este sector según los datos podemos definir que existen dos zonas que pueden formar cuñas, controlados estructuralmente con el cuerpo mineralizado de Delmy. La mayoría de los problemas de estabilidad se deben a la intersección de la sección del túnel con planos de discontinuidad, por tal razón sería importante no avanzar en dirección a la unión de las cuñas (Figura 41).

FIGURA 41
VISTA EN PLANTA MOSTRANDO RQD FORMANDO CUÑAS EN CAJA TECHO



Fuente: Investigación de campo. 2015

Para la extracción de mineral, es importante la planificación de accesos y/o galerías por lo cual si avanzamos por la caja techo se debe de ingresar de forma perpendicular a los modelos de RQD, y no en forma paralela ya que se puede tener problemas de estabilidad en las zonas de falla y zonas de *shear* debido a que la resistencia de las mismas es muy inferior al resto de discontinuidades.

El agua es uno de los problemas principales para la construcción de túneles, en la etapa de descripción de testigos en zonas de falla o *gauge*, estas presentaron indicios de humedad pudiendo ser una vía principal para la circulación de la misma, este material ya blando puede provocar desprendimientos e inestabilidades importantes a la hora de realizar los accesos y rampas hacia la estructura Delmy.

CONCLUSIONES

a. General

Con los datos obtenidos de los sondeos y con la ayuda del programa *minesight* se obtuvo el modelo del cuerpo mineralizado Delmy el cual tiene una orientación N-S con una inclinación en promedio de 70 grados al Este.

b. Específicas

En la operación minera es importante el conocimiento de la estructura mineralizada ya que pueden establecerse las estrategias de desarrollo más adecuadas para la empresa, por lo cual el modelo Delmy ya puede ser utilizada por del departamento de ingeniería para la planificación de galerías y accesos.

Según la descripción litológica de testigos y análisis de laboratorio se determinó que las unidades importantes para realizar la extracción de material del cuerpo mineralizado Delmy son la unidad de veta de cuarzo y la unidad de vulcanoclásticos fallado ya que están presentando valores considerables de Au y Ag.

Usando la clasificación de Barton, se determinó que existen 13 zonas de mala calidad de roca (RQD) cercanas al depósito, de los cuales en la zona de la caja piso el macizo rocoso presenta una buena calidad de roca ya que se presenta en forma consistente; En la zona de la caja techo los sondeos indican que la calidad de roca (RQD) es muy mala, esto debido a que hay zonas presentando un tv triturado (*shear*), formación de cuñas que pueden provocar problemas de estabilidad y zonas de falla con alto contenido de arcillas que se pueden romper fácilmente perdiendo sus propiedades físicas provocando desprendimientos de materiales.

Con el mapa de anomalías de oro equivalente por medio de interpolación por el método *kriging* se determinaron cuatro zonas importantes: zona de estéril ($<2,0$) g/t, esta se encuentra concentrada en algunos sectores del centro del modelo como también al sur del mismo. Zona de baja ley (≥ 2) g/t, se encuentra mayormente concentrado en la parte inferior del modelo; zona de moderada ley (≥ 5) g/t y zona de alta ley (≥ 15) g/t concentrada en la parte central, por lo cual el modelo geológico del cuerpo mineralizado Delmy es económicamente rentable para la extracción de mineral.

RECOMENDACIONES

Realizar dos estaciones de sondeo en la parte norte de la estructura utilizando la rampa coral, esto con la finalidad de realizar un plan de barrenación ya que existen pozos de exploración que dan indicios que posiblemente la estructura Delmy se pueda extender.

En la parte sur del modelo a pesar que el mapa de anomalías de Au indica una zona estéril, se debería de hacer accesos a niveles inferiores para realizar un plan de sondeos a estos niveles para corroborar y descartar si existe mineralización en esta zona.

En el departamento de sondeo de Mina Subterránea se deben planificar charlas o presentaciones de la importancia de la barrenación, ya que hay zonas de interés que no fueron recuperadas debido a la velocidad de barrenación, provocando las repeticiones de sondeos que conllevan un costo extra.

Si se planifica accesos por la caja techo para llegar al depósito Delmy se debe realizar de manera cuidadosa ya que los modelos de RQD indican que la roca es de mala calidad y también se debe de aplicar o mejorar el sistema de soporte que permita entregar una mayor área de sostenimiento.

Realizar sondeos en la parte central del modelo ya que hay sectores que indican que existe una pequeña ramificación el cual tiene

valores de Au y presenta una diferencia en buzamiento con la estructura principal.

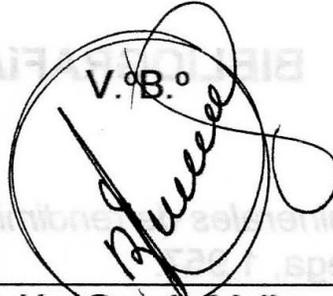
Para un mejor conocimiento del macizo rocoso en los alrededores de la estructura mineralizada, y tener datos para sostenimientos en los accesos, el departamento de geomecánica de mina Marlin debe realizar análisis de RMR.

Los métodos de minado tiro largo y corte-relleno son los dos procesos utilizados en la explotación de las diferentes estructuras en la mina Marlin. Por lo cual para el cuerpo mineralizado Delmy se recomienda que en los niveles superiores desde el 1 900 se utilice el método corte y relleno.

BIBLIOGRAFÍA

- Bateman, AM. *Yacimientos minerales de rendimiento económico*. Barcelona, España: Editorial Omega, 1 957.
- Bogarcon, D.; Montenellier, B. *Technical report Exmibal Niquel project. Skye Resources*. 2003. <http://www.Skyeresources.com/proyectfenix> (10 de julio de 2 014).
- Dengo, G. *Estructura geológica: historia tectónica de América Central*. México: AID., 1969.
- Donnelly, Tomas; Et. Al. *Northern Central America, The Maya and Chortis Block, The Caribbean*. United States of America: S. Geological Society of America, 1 990.
- Higuera, P. *Manual on-line de recursos minerales yacimientos minerales*. Universidad de Castilla-La Mancha, Almadén Ciudad Real. España: Departamento de Ingeniería Geológica y Minera, 2 014.
- Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial -ICAITI- *Mapa metalogénico y estudios metalogénicos de América Central*. Guatemala: Publicaciones Geológicas ICAITI., 1 970.
- Lara, G. *Clasificación de yacimientos minerales*. 2003. <http://www.ilustrados.com/publicaciones/EpyFAAVEZkdzKjXzvS.php> (20 de mayo de 2 014).
- Maksaev, V. *Procesos supergenos*. 2010. <http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/PROCESOS%20SUPERGENOS.pdf> (15 de junio de 2 014).
- Metal Mining Agency of Japan -MMAJ, JICA-. *Report on Geological Survey of Cuchumatanes Area, Western Guatemala*, Guatemala: Ministerio de Energía y Minas, 1 979.
- Millan, SM. *Léxico estratigráfico preliminar del bloque Maya*. Ottawa, Canada: The United Nations Development program, 1 985.

Simmons, Charles Et.Al. *Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala*. 1958. Guatemala: Editorial José de Pineda Ibarra, 1 959.



Adán García Veliz

Licenciado en Pedagogía e Investigación Educativa
Bibliotecario

ANEXOS



CUNOR | CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

Universidad de San Carlos de Guatemala

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

GEOLOGÍA

Al trabajo titulado:

MODELADO ESTRUCTURAL DEL CUERPO MINERALIZADO DELMY A TRAVÉS DEL POZOS DE DEFINICIÓN, EN LA MINA MARLÍN, GUATEMALA

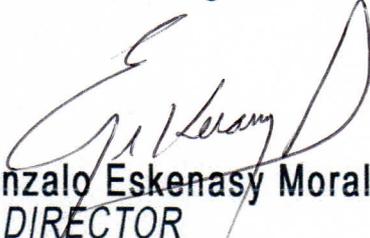
Presentado por el (la) estudiante:

PABLO ROBERTO MARROQUÍN HUN

Autoriza el

IMPRIMASE

Cobán Alta Verapaz 25 de Agosto de 2016


Lic. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales
DIRECTOR

