

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

**“ANÁLISIS GEOLÓGICO ESTRUCTURAL DEL PROYECTO MINERO  
LOMA QUEZADA EN SANTA ROSA, EL ORO - ECUADOR”**

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniera en Geología**

Presentado por:

María Fernanda Valdiviezo Zamora

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

## DEDICATORIA

El presente proyecto integrador está dedicado en primer lugar a Dios, que ha permitido que sea un plan de vida este logro.

Asimismo, le dedico con mucho amor a mis padres Mónica Lucía y Victor Hugo por haberme dado lo que ha estado a su alcance, moldeado a la profesional que soy en la actualidad y darme la motivación constante para lograr mis sueños. La mayoría de los logros se lo debo a ustedes.

Por otro lado, está dedicado a mi pareja que ha brindado su apoyo en cada una de las decisiones que he tomado y sobre todo la paciencia conmigo. Por más que pueda hacer un trabajo sola, comprendí que se tendrá un mejor resultado con ayuda y de una buena compañía, la ayuda idónea siempre llega en el tiempo preciso.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi más sincero agradecimiento a mis docentes de Ingeniería en Geología, mi tutor David Altamirano por las enseñanzas que ha brindado a lo largo de la carrera y a mi cotutor Erwin Larreta por ser un gran amigo, tener el interés de que sus estudiantes comprendan y nada mejor haciéndolo mediante la practica; además por ver el potencial en mí y darme la oportunidad de participar en sus proyectos. Igualmente, a mi alma mater la Escuela Superior Politécnica del Litoral por la acogida en sus instalaciones como la de un hogar.

Finalmente, mis agradecimientos más importantes a la Empresa Minera EMINZA por abrirme las puertas y permitirme realizar mi proyecto integrador y las personas quienes contribuyeron en el trabajo de campo para la realización de la misma.

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *María Fernanda Valdiviezo Zamora* y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

María Fernanda Valdiviezo Zamora

# EVALUADORES

.....  
**Ing. David Altamirano, M.Sc**

PROFESOR DE LA MATERIA Y TUTOR

.....  
**Ing. Erwin Larreta Torres**

PROFESOR COTUTOR

## RESUMEN

El presente proyecto integrador se realiza en territorio ecuatoriano en cierta estribación hacia el Sur de la Cordillera de los Andes, localizado en un punto central en WGS84 9608020 627669, en la ciudad de Santa Rosa de la Provincia de El Oro donde desarrollan labores de minería artesanal y pequeña minería, el cual uno de los problemas existentes es la insuficiencia de datos estructurales causando problemas en la parte técnica y económica del proyecto. El siguiente proyecto busca la manera eficiente de determinar un análisis estructural geológico mediante los datos recopilados en el campo para determinar los esfuerzos principales que actúan en la zona del Proyecto Minero Loma Quezada de la Empresa Minera EMINZA, con el empleo de los softwares DIP y PROMINE, de esta manera lograr una mejora efectiva en las actividades mineras. Las fases que consta la metodología son: Fase I: Recopilación de Información, Fase II: Recolección de datos, Fase III: Procesamiento y Fase IV: Resultados.

Los datos estructurales registrados en este proyecto fueron anclados al plano topográfico con el fin de obtener un modelo en 3D de la zona de estudio con su respectivo plano de estructura geológica, los mismos que se analizaron de acuerdo con tres zonas de acumulación de esfuerzos estructurales, el cual coincide con los datos estructurales del mapa geológico de Santa Rosa con la ortogonalidad entre sí y la vergencia de los Andes. Se concluye que los datos tomados en la Mina Zambrano controlan en su mayor parte la zona estructural de la Mina JJ.

**Palabras Clave:** Estribación, Minería Artesanal, Esfuerzos, Softwares.

## **ABSTRACT**

*This integrating project is carried out in Ecuadorian territory in a certain foothills towards the South of the Andes Mountains, located in a central point in WGS 84 9608020 627669, in the city of Santa Rosa of the Province of El Oro where they develop artisanal mining work and small mining, which one of the existing problems is the insufficiency of structural data causing problems in the technical and economic part of the project. The following project seeks an efficient way to determine a geological structural analysis using the data collected in the field to determine the main efforts that act in the area of the Loma Quezada Mining Project of the EMINZA Mining Company, with the use of the DIP and PROMINE software, in this way to achieve an effective improvement in mining activities. The phases that comprise the methodology are: Phase I: Information Gathering, Phase II: Data Collection, Phase III: Processing, Phase IV: Results.*

*The structural data recorded in this project were anchored to the topographic plane in order to obtain a 3D model of the study area with its respective geological structure plane, which were analyzed according to three areas of accumulation of structural stresses, which coincides with the structural data of the geological map of Santa Rosa with the orthogonality between them and the vergence of the Andes. It is concluded that the data collected in the Zambrano Mine control for the most part the structural zone of the JJ Mine..*

*Keywords: Spur, Artisanal Mining, Efforts, Software*

# ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	I
RESUMEN.....	II
ABSTRACT.....	III
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XII
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Justificación del problema.....	2
1.3 Zona de Estudio.....	3
1.4 Acceso.....	4
1.5 Geomorfología.....	4
1.6 Objetivos.....	5
1.6.1 Objetivo General.....	5
1.6.2 Objetivos Específicos.....	5
CAPÍTULO 2.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Tipos de Estructuras Geológicas.....	6
2.1.1 Estructuras Geológicas Primarias.....	6
2.1.2 Estructuras Geológicas Secundarias.....	7
2.2 Fuerza y esfuerzo.....	7
2.2.1 Tipos de esfuerzos.....	8

2.3	Modelos conceptuales en la Geología Estructural .....	9
2.3.1	Modelos Geométricos .....	9
2.3.2	Modelos Cinemáticos.....	9
2.3.3	Modelos Dinámicos.....	10
2.4	Dirección y Buzamiento.....	10
2.4.1	Dirección.....	10
2.4.2	Buzamiento .....	10
2.5	Zonas de Fallas.....	11
2.6	Indicadores Cinemáticos .....	11
2.7	Programas Empleados.....	13
2.7.1	Field Move Clino .....	13
2.7.2	ArcGIS .....	14
2.7.3	DIPS – Rocscience .....	14
2.7.4	AutoCAD – Promine.....	14
CAPÍTULO 3.....		16
3.	MARCO GEOLÓGICO .....	16
3.1	Geología Regional.....	16
3.1.1	Estratigrafía.....	19
3.1.2	Geomorfología .....	20
3.2	Geología Local .....	21
3.2.1	Geología Estructural .....	22
CAPÍTULO 4.....		25
4.	METODOLOGÍA.....	25
4.1	FASE I: Recopilación de Información .....	25
4.2	FASE II: Recolección de datos.....	26
4.2.1	Topografía – Cinta y Brújula .....	26
4.2.2	Estructuras.....	27

4.3	FASE III: Procesamiento .....	27
4.4	FASE IV: Resultados.....	27
CAPÍTULO 5.....		25
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....		25
5.1	Plano topográfico.....	25
5.2	Plano Estructural .....	25
5.2.1	Zona 1.....	25
5.2.2	Zona 2.....	29
5.2.3	Zona 3.....	29
5.3	Diaclasas.....	32
5.4	Fallas .....	32
CAPÍTULO 6.....		31
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		31
6.1	Conclusiones.....	31
6.2	Recomendaciones.....	35
BIBLIOGRAFÍA.....		36
7.	Bibliografía.....	36
APÉNDICES.....		37

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
IED	Inversión Extranjera Directa
BCE	Banco Central del Ecuador
EMINZA	Empresa Minera Zambrano
UTM	Universal Transverse Mercator
SIG	Sistema de Información Geográfica
USD	United States Dollars
NE-SW	Noreste-Suroeste
SE-NW	Sureste-Noroeste
Bz	Buzamiento
DB	Dirección de Buzamiento
WGS 84	World Geodetic System 84

## SIMBOLOGÍA

Cu	Cobre
Au	Oro
Km	Kilómetro
Cm	Centímetro
m	Metro
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
csv	Valores separados por comas
kmz	Keyhole Markup Languaje
%	Porcentaje
°C	Grado Celsius
N	Norte
S	Sur
E	Este
O	Oeste
bhPM	Bosque Húmedo Pre-Montano
<%Qz	Menor porcentaje de Quarzo

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1 Localización de la Zona de Estudio.....	3
Ilustración 2.1 Estructuras geológicas primarias de izquierda a derecha: estratificación, bandeamiento de flujo, estructura eutaxítica. ....	7
Ilustración 2.2 Estructuras geológicas secundarias de izquierda a derecha: pliegues, clivaje, diaclasas, fallas. ....	7
Ilustración 2.3 Distintas deformaciones de la corteza terrestre producidas por fuerzas tectónicas. ....	8
Ilustración 2.4 Estrato rocoso con su dirección y buzamiento .....	11
Ilustración 2.5 Tres tipos de Fallas de Anderson en función de los planos de rotura y orientación de los vectores de esfuerzo. ....	11
Ilustración 2.6 Falla con su respectivo movimiento de bloque fácil de interpretar. ....	12
Ilustración 2.7 Escalón congruente en plano de falla. ....	12
Ilustración 2.8 Fibras de minerales en los escalones. ....	13
Ilustración 2.9 Espejo de falla y estrías. ....	13
Ilustración 3.1 Mapa Geológico de la parte occidental del complejo metamórfico El Oro. ....	17
Ilustración 3.2 Simplificación de Mapa Geológico de Ecuador y el norte de Perú, mostrando la localización del complejo metamórfico El Oro. EO; NSZ, Zona de Corte de Naranja. Modificado de Chew et al, (2007).....	18
Ilustración 3.3 Localización de Bocaminas del Sector Loma Quezada. ....	22
Ilustración 3.4 Falla Zoila, alteración hidrotermal. ....	23
Ilustración 4.1 Diagrama de flujo de metodología empleada en el proyecto integrador.	25
Ilustración 4.2 Mapa Geológico Santa Rosa, El Oro .....	25
Ilustración 4.3 Plano Topográfico del área Loma Quezada .....	26
Ilustración 5.1 Calcopirita, pirita y galena. Stockwork de metasedimentos. ....	29
Ilustración 5.2 Plano Estructural – Zona de Interés .....	30
Ilustración 5.3 Cielo Abierto JJ .....	31
Ilustración 5.4 Proyecto Loma Quezada, Modelo 3D .....	31
Ilustración 7.1 Representación gráfica de los esfuerzos principales de diaclasas.....	43

Ilustración 7.2 Densidad de polos, posibles fallas principales de familia de diaclasas, diagrama de rosetas y concentración de esfuerzos. ....	43
Ilustración 7.3 Representación gráfica de los esfuerzos principales de fallas. ....	44
Ilustración 7.4 Densidad de polos, posibles fallas principales, diagrama de rosetas y concentración de esfuerzos. ....	44
Ilustración 7.5 Zona 1 de interés. ....	45
Ilustración 7.6 Zona 2 de interés. ....	45
Ilustración 7.7 Zona 3 de interés. ....	46
Ilustración 7.8 Estructura 1 y 2 (E1 y E2), en la segunda estructura existe una intersección de planos con la estructura 3, aproximadamente de una potencia de 10 cm. ....	49
Ilustración 7.9 Estructura (E3 y E4), la tercera se muestra una falla con una potencia de 1 m y la cuarta es una estructura cola de caballo. ....	49
Ilustración 7.10 Falla Inversa (E8) en la pared izquierda a unos 50 m de la bocamina, en el techo se interseca con el plano de falla 9 (E9) ....	50
Ilustración 7.11 Falla Normal importante con potencia de 15 cm de relleno de arcilla (milonita). ....	50
Ilustración 7.12 Deslizamiento producido por el factor lluvia y retiro del material. ....	51
Ilustración 7.13 Voladura primaria y secundaria (rocas con sobretamaño). ....	52
Ilustración 7.14 Perforación de Drill en zona altamente fallada. ....	53
Ilustración 7.15 Topografía y muestreo para determinar nuevas zonas de explotación. ....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Coordenadas de la Concesión “Los Ingleses” .....	4
Tabla 2.1 Módulos empleados del Software Promine .....	15
Tabla 4.1 Formato de Libreta topográfica en campo. ....	26
Tabla 4.2 Formato de libreta estructural .....	27
Tabla 5.1 Esfuerzos principales de diaclasas .....	32
Tabla 5.2 Esfuerzos principales de fallas .....	32
Tabla 7.1 Línea Principal – Mina Zambrano .....	38
Tabla 7.2 Lateral A – Mina Zambrano .....	39
Tabla 7.3 Lateral AA – Mina Zambrano .....	39
Tabla 7.4 Lateral AB – Mina Zambrano .....	39
Tabla 7.5 Lateral B – Mina Zambrano .....	39
Tabla 7.6 Lateral C – Mina Zambrano .....	39
Tabla 7.7 Lateral D – Mina Zambrano .....	39
Tabla 7.8 Lateral DA – Mina Zambrano .....	40
Tabla 7.9 Lateral E – Mina Zambrano .....	40
Tabla 7.10 Lateral EA – Mina Zambrano .....	40
Tabla 7.11 Datos Estructurales – Mina Zambrano .....	40

## **ÍNDICE DE PLANOS**

Plano 1 Plano Topográfico de la Mina Zambrano – Modelo 3D.

Plano 2 Plano Estructural de la Mina Zambrano – Modelo 3D

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la minería a nivel mundial, de acuerdo con Naciones Unidas (2002) es imprescindible para el crecimiento económico, social y los minerales son importantes para la vida moderna de varios países. Distintos países como Chile y Perú, desde un punto de vista económico, se han distinguido durante varios años por la importancia otorgada al sector minero; no obstante, en el año 2020 el Covid-19 ha provocado impactos negativos a la economía convirtiéndose en una crisis global socioeconómica sin precedentes. Las conclusiones de las revisiones que se ha realizado en los primeros meses del año 2020 a nivel mundial están desmejorando y posiblemente empeore, lo cual dependerá del alcance y la velocidad con la que se restablece las labores económicas (Ramdoo, 2020).

La Cordillera de los Andes de Ecuador se encuentra limitada de forma alargada en dirección NE-SO, su evolución geodinámica y la geología regional presenta una base para la formación de yacimientos del país. La minería en el Ecuador en el año 2020, de acuerdo con el Banco Central del Ecuador (BCE) obtuvo positivos rendimientos económicos produciendo USD 810 millones en exportaciones, el cual se ha evidenciado un aumento del 206% con respecto al año 2019; además según el Servicio de Rentas Internas (2020) se ha recaudado mediante impuestos USD 430 millones y por Inversión Extranjera Directa (IED) USD 374 millones. No obstante, pese al retraso de las actividades mineras ocasionada por la emergencia sanitaria por Covid-19 no ha resultado ser un impedimento para el crecimiento, lo que ha ayudado para este aporte ha sido las labores de pequeña minería y las producciones de gran minería como son las minas Mirador y Fruta del Norte, de esta manera siendo las mismas mineras una estrategia para el desarrollo tanto productivo como social de nuestro país y logrando una estabilidad económica. (Petroenergía, 2021)

El presente proyecto integrador se enfocará en el análisis estructural, el cual se identificará estructuras geológicas para obtener las características de las fallas y zonas de deformación. Según Sillitoe, (2010) los depósitos de skarn, epitermales de alta y baja sulfuración, pórfidos de cobre (Cu) y oro (Au) se los localiza en límites de placas

convergentes evidenciados en los países de Perú y Chile, compartiendo una geología similar como la que tiene Ecuador. Los depósitos de minerales metálicos que se encuentran en la provincia de El Oro son conocidos en especial por los emplazamientos de oro en rocas intrusivas de granito y volcánicas, formación de vetas, columnas en forma de brecha, stockwork; la mayoría que presentan estos interesantes panoramas se encuentran en un nivel de explotación media.

### **1.1 Descripción del problema**

La empresa minera Zambrano (EMINZA) realiza sus operaciones en las estribaciones costeras de la Cordillera de los Andes, de acuerdo con documentación que facilitó la empresa, el mineral de interés comercial que corresponde al proyecto Loma Quezada es de un cuerpo brechoso polimetálico mineralizado en cobre y oro. La recuperación se realiza mediante procesos metalúrgicos de flotación en concentrado de cobre donde se trata de una pulpa condensada adquirida en el proceso de flotación, componiéndose de sulfuros de fierros, cobre y otros metales. La mineralización se encuentra alojada en rocas de edad terciaria como stock de intrusivos dentro de una roca metamórfica más antigua. Los trabajos realizados por la empresa de exploración – explotación en la zona del cuerpo mineralizado por medio de estudios geoquímicos han determinado sectores de baja, mediana y alta ley.

El aprovechamiento estructurado, consciente y la persistente demanda en el mundo de los recursos minerales, provoca actividades tanto de prospección como de exploración dirigidas a encontrar su origen. Lo que conlleva a mejorar o crear nuevas técnicas de prospección y/o extracción mediante el empleo de métodos directos o indirectos, de la misma manera realizar análisis minuciosos en distintas especialidades de la Geología como es la Geología Estructural. Uno de los problemas que existe en esta empresa minera es la insuficiencia de datos estructurales la cual podría proporcionar información como la cinemática, geometría y orientación de los esfuerzos que denominan la generación y el emplazamiento de la mineralización.

### **1.2 Justificación del problema**

El análisis estructural a detalle va orientado al reconocimiento de mecanismos de fallamiento y plegamiento, lo que es importante en una caracterización de estructuras geológicas. El modelamiento estructural permite entender la relación de esfuerzos de

comprensión con las diferentes estructuras para localizar actuales zonas con características estructurales similares en el emplazamiento de minerales hacia lo largo de la tendencia estructural. La insuficiencia de datos estructurales lleva a una producción no deseada, lo cual se puede mejorar con un correcto estudio de sus estructuras geológicas y de esta manera aumentar su producción.

### 1.3 Zona de Estudio

La zona de estudio se encuentra localizada en la concesión “Los Ingleses” perteneciente a la Empresa Minera EMINZA, como se muestra en la Ilustración 1.1 y en las coordenadas de ubicación UTM en PSAD 56 y WGS 84 de la concesión que se muestran en la Tabla 1, cuenta con un área de 76 hectáreas ubicada en la parroquia Bella María del cantón Santa Rosa, provincia de El Oro a una distancia intermedia en línea recta entre las ciudades de Machala y Portovelo.

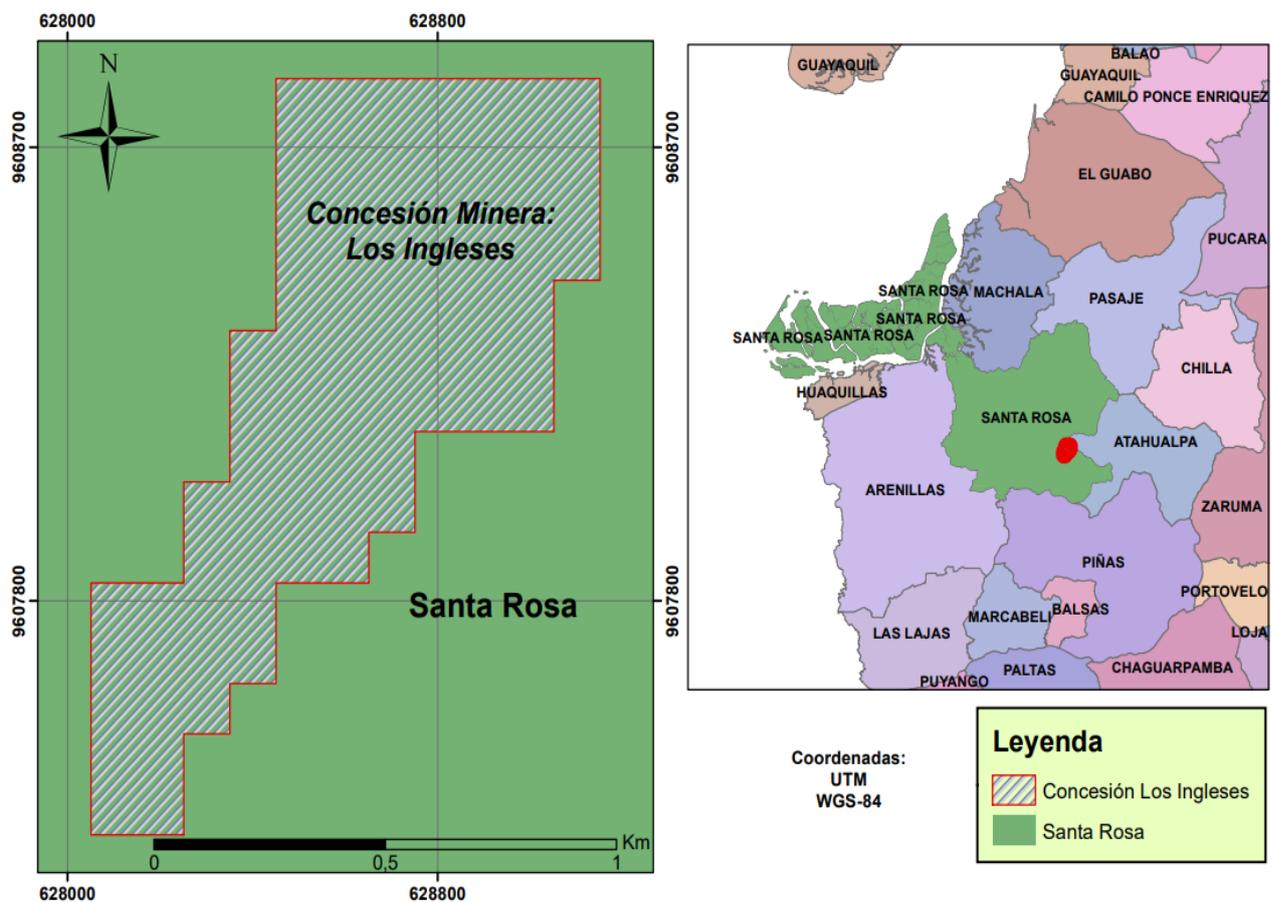


Ilustración 1.1 Localización de la Zona de Estudio

**Tabla 1.1 Coordenadas de la Concesión “Los Ingleses”**

**Fuente: EMINZA, 2019**

<b>COORDENADAS DEL PUNTO DE PARTIDA DEL ÁREA CONCESIONADA “Los Ingleses”</b>				
<b>DATUM: PSAD 56</b>			<b>DATUM: WGS 84</b>	
<b>VÉRTICES</b>	<b>Coordenadas X</b>	<b>Coordenadas Y</b>	<b>Coordenadas X</b>	<b>Coordenadas Y</b>
PP	628.700	9'609.200	628.441,89	9'608.826,83
P1	629.400	9'609.200	629.141,88	9'608.826,83
P2	629.400	9'608.800	629.141,88	9'608.426,84
P3	629.300	9'608.800	629.041,88	9'608.426,84
P4	629.300	9'608.500	629.041,88	9'608.126,84
P5	629.000	9'608.500	628.741,89	9'608.126,84
P6	639.000	9'608.300	628.741,89	9'607.926,84
P7	628.900	9'608.300	628.641,89	9'607.926,84
P8	628.900	9'608.200	628.641,89	9'607.826,84
P9	628.700	9'608.200	628.441,89	9'607.826,84
P10	628.700	9'608.000	628.441,89	9'607.626,85
P11	628.600	9'608.000	628.341,89	9'607.626,85
P12	628.600	9'607.900	628.341,89	9'607.526,85
P13	628.500	9'607.900	628.241,89	9'607.526,85
P14	628.500	9'607.700	628.241,89	9'607.326,85
P15	628.300	9'607.700	628.041,89	9'607.326,85
P16	628.300	9'608.200	628.041,89	9'607.826,85
P17	628.500	9'608.200	628.241,89	9'607.826,85
P18	628.500	9'608.400	628.241,89	9'608.026,85
P19	628.600	9'608.400	628.341,89	9'608.026,85
P20	628.600	9'608.700	628.341,89	9'608.326,85
P21	628.700	9'608.700	628.441,89	9'608.326,85
P22	629.300	9'608.500	629.041,88	9'608.126,84

#### **1.4 Acceso**

El acceso a la zona se puede realizar por vía terrestre desde las ciudades de Quito, Guayaquil o Machala, por la Carretera Panamericana Sur, vía Machala - Santa Rosa - Huaquillas. Para ingresar a la zona se inicia del poblado de Santa Rosa a través de una ruta asfaltada de aproximadamente veinte kilómetros hasta el pueblo de Bella María y luego a la zona de Birón hasta llegar al campamento “Los Ingleses” por un camino lastrado de unos seis kilómetros.

#### **1.5 Geomorfología**

La demarcación minera consta de una superficie de cordillera, con pendientes fuertes de 40%, pequeñas extensiones de sierras redondeadas, bajo a medianos pastos

topográficos de hasta 1200 metros, se puede distinguir ondulaciones en ciertas zonas. La geomorfología que posee la zona de Loma Quezada varía desde los 400 – 700 m.s.n.m. El patrón de drenaje presenta ramificaciones, es decir, detrítico. Además, es una región con características de bosque tropical húmedo catalogada como mesotérmica húmeda, que posee temperaturas con un promedio mínimo de 23 °C y como máximo de 34,7 °C. Se estima una precipitación pluvial en 1.127,8 mm. En cada año los meses que va desde Diciembre a Mayo existe una precipitación de concentración de lluvia con 92 %, siendo Marzo el mes más lluvioso, mientras que el 8% restante se desvincula de manera irregular desde Junio a Noviembre, siendo Julio el mes más seco.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo General**

Analizar las estructuras geológicas mediante los datos recopilados en campo para determinar los esfuerzos principales que actúan del Proyecto Minero Loma Quezada de la empresa EMINZA S.A.

### **1.6.2 Objetivos Específicos**

1. Revisar información histórica geológica por medio de trabajos anteriores para una primera identificación de características geológicas del sector.
2. Bosquejar un levantamiento topográfico de la galería a escala 1:100 perteneciente al Proyecto Minero Loma Quezada.
3. Elaborar un plano estructural geológico a escala 1:1000 de la zona de estudio mediante el empleo del software minero y geológico Promine, con la finalidad de comprender la geometría de las estructuras en profundidad.

# CAPÍTULO 2

## 2. MARCO TEÓRICO

El estudio de la corteza terrestre lo realiza los geólogos estructurales y como lograron esa forma mediante el resultado de la deformación, se encarga de estudiar la ubicación de pliegues, fallas a gran escala y pequeña escala los rasgos de rocas con deformaciones; además describe el origen del ambiente geológico y la fuerza con lo que ocasionó las estructuras rocosas. No solo es significativo descubrir la historia de la Tierra sino para un bienestar económico, por ejemplo, en las fracturas rocosas se generan las mineralizaciones hidrotermales lo que posiblemente sea origen de menas metálicas. El término deformación de la masa rocosa hace referencia a la modificación de su orientación, posición, tamaño y forma. La deformación de la corteza terrestre en su mayoría se da hacia lo largo de los márgenes de placas, la cual producen fuerzas tectónicas que ocasionan las distintas unidades de roca. (Tarbuck & Lutgens, 2005)

La Geología Estructural se basa en pliegues, fallas y otras estructuras de deformación en la litósfera, como estas aparecen, cómo y por qué se formaron, que puede ir desde cientos de kilómetros hasta detalles microscópicos. Es una de las ramas de la Geología que se encarga de estudiar las estructuras geológicas su geometría, distribución y formación; es muy útil en la sociedad para la exploración, mapeo y explotación de recursos por ejemplo los materiales de construcción como es la pizarra y el esquisto.

La terminación estructura geológica menciona la configuración geométrica de las rocas, mientras tanto la geología estructural estudia dicha configuración de las rocas que ha sido sometido a deformación (Fossen, 2010). Lo que lleva a entender que hay dos tipos de estructuras geológicas: primarias y secundarias.

### 2.1 Tipos de Estructuras Geológicas

#### 2.1.1 Estructuras Geológicas Primarias

Las estructuras geológicas primarias se originan durante la formación de la roca, por ejemplo, pueden ser: estratificación, bandeamiento de flujo, estructura eutaxítica. (Ver en Ilustración 2.1)

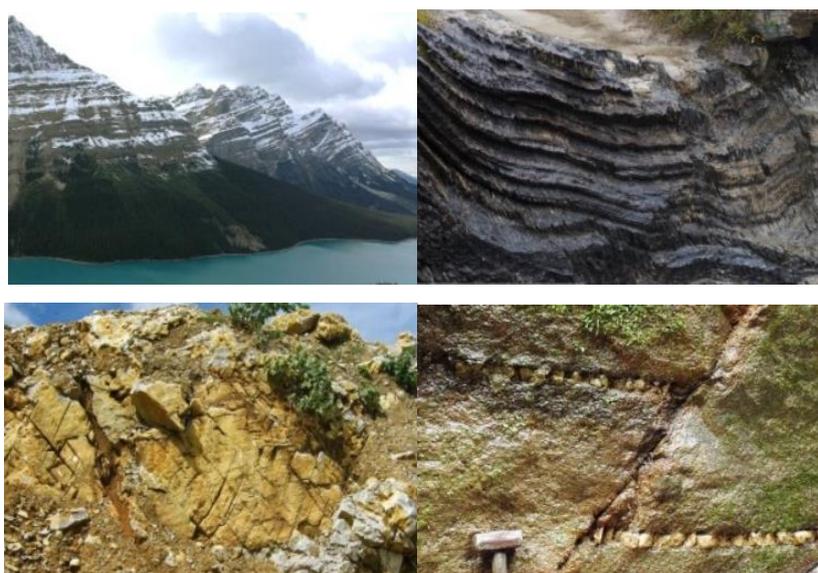


**Ilustración 2.1 Estructuras geológicas primarias de izquierda a derecha: estratificación, bandeamiento de flujo, estructura eutaxítica.**

**Fuente: Modificado de (Fossen, 2010)**

### 2.1.2 Estructuras Geológicas Secundarias

Las estructuras geológicas secundarias se forman cuando ocurre un proceso de deformación que la roca es sometida luego de haberse formado, por ejemplo, las más comunes son: pliegues, clivaje, diaclasas, fallas, entre otros. (Ver en Ilustración 2.3)



**Ilustración 2.2 Estructuras geológicas secundarias de izquierda a derecha: pliegues, clivaje, diaclasas, fallas.**

**Fuente: (Fossen, 2010)**

### 2.2 Fuerza y esfuerzo

El movimiento de los elementos en reposo es producido por una fuerza, esta fuerza es descrita por los geólogos como esfuerzo siendo esta la cantidad de fuerza aplicada en un área específica.

## 2.2.1 Tipos de esfuerzos

### 2.2.1.1 Esfuerzo Compresivo

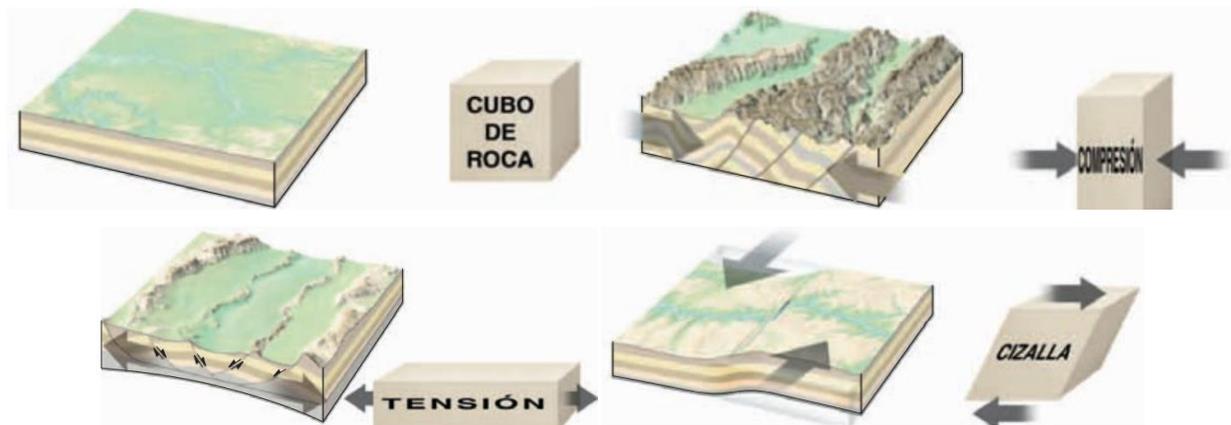
Se denomina esfuerzo compresivo al esfuerzo diferencial que corta el cuerpo rocoso, el cual se encuentra relacionado a colisiones de placas donde se reduce, aumenta su grosor de la corteza terrestre y puede terminar resultando un pliegue, o una fractura con o sin movimiento.

### 2.2.1.2 Esfuerzo Tensional

El esfuerzo tensional es denominado a la separación de placas divergentes alargando los cuerpos rocosos por un medio de un desplazamiento hacia lo largo de las fallas.

### 2.2.1.3 Cizalla

La cizalla es una forma de desplazamiento, se puede crear en planos de estratificación, microfallas y foliación. Adicionalmente, existen desplazamiento a gran escala en los bordes de falla transformantes hacia lo largo de zonas de fallas principales.



**Ilustración 2.3 Distintas deformaciones de la corteza terrestre producidas por fuerzas tectónicas.**

Fuente: (Tarbuck & Lutgens, 2005)

En la geometría de las distintas estructuras geológicas comprende la identificación de la forma, medición y a su vez acompañado de una descripción de cada una, de esta manera tanto como quien toma los datos o una persona externa lo pueda leer sin ningún problema. El geólogo en campo utiliza el mapa topográfico o GPS para ubicar la zona de estudio o puntos de interés previamente establecidos, martillo geológico, brújula y flexómetro para tomar la orientación de las estructuras geológicas. Luego se representará los datos recopilados en un mapa estructural para realizar el respectivo

análisis acompañado de perfiles estructurales para comprender la geometría de la zona.

Las principales actividades que se realiza en los estudios geológicos es la identificación y análisis de las principales estructuras geológicas para proceder a elaborar un mapa con las estructuras de una determinada zona. El objetivo que tiene la Geología Estructural es analizar las formas del yacimiento de las rocas o las formas estructurales, se utiliza las mediciones de la geometría de la roca con el propósito de revelar información que sirva para interpretar la historia de deformación y comprender el esfuerzo resultante de las deformaciones. La importancia que tiene la Geología Estructural es extraordinaria para realizar un levantamiento geológico.

Los componentes o modelos de un análisis estructural a detalle se describen a continuación:

## **2.3 Modelos conceptuales en la Geología Estructural**

### **2.3.1 Modelos Geométricos**

En este tipo de análisis comprende la apariencia externa o la morfología de las formas estructurales, es decir su geometría. Comprende la medición y descripción de los elementos estructurales que constituyen la deformación; analiza los ángulos entre los planos y líneas con su orientación en el espacio, intersecciones entre planos, entre otros. Se ayuda mediante el empleo de la cartografía estereográfica, mediciones de orientaciones con brújula y cinta. (Fossen, 2010)

### **2.3.2 Modelos Cinemáticos**

En este tipo se comienza una vez culminado el análisis descriptivo, se encarga del mecanismo de la formación de estructuras, rotaciones, traslaciones y/o distorsiones que ha soportado la roca. Este se ocupa del reconocimiento de los cambios del área, volumen, forma, ángulo y localización del material en la deformación, se determina el recorrido que ha seguido la deformación hasta formar las estructura que se observa y se realiza a una escala micro como la observación de una lámina delgada hasta los movimientos de una placa tectónica. (Fossen, 2010)

### **2.3.3 Modelos Dinámicos**

En este tipo corresponde la dinámica de la dirección y la superficie donde ha sido aplicadas las fuerzas tectónicas que causaron la formación de las estructuras, deduciendo los esfuerzos que ha ocasionado la deformación justificándose en las propiedades mecánicas de las rocas. (Fossen, 2010)

Los estratos que se encuentran aflorantes en la superficie tienen más sencillez realizar una cartografía geológica por lo que los sedimentos en su mayoría se depositan de manera en capas horizontales, lo que se podría interpretar posiblemente que la zona no ha presentado modificaciones. En caso de que suceda lo contrario, es decir, si las capas se encuentren plegadas o fracturado esto indica que ha ocurrido deformación después de una depositación. (Tarbuck & Lutgens, 2005)

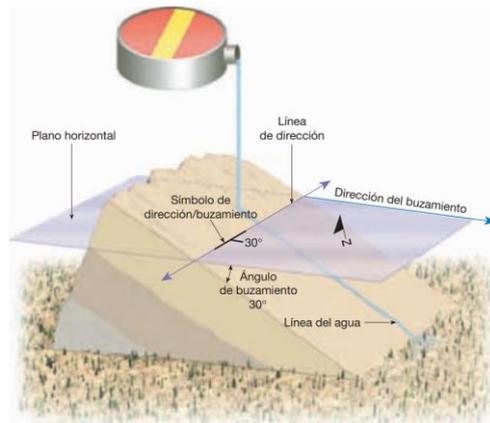
## **2.4 Dirección y Buzamiento**

### **2.4.1 Dirección**

Se denomina dirección al ángulo medido desde el norte magnético hacia la línea de intersección del plano horizontal imaginario con el plano del estrato. Se expresa en relación con el norte, por ejemplo, N 10° E. Lo que significa que el 10° es la línea de dirección va al este desde el norte. (Tarbuck & Lutgens, 2005)

### **2.4.2 Buzamiento**

Se denomina buzamiento al ángulo medido de un plano horizontal hasta el plano inclinado de falla, también comprende la dirección donde la roca se encuentra inclinada. El ángulo de buzamiento que se visualiza en la Ilustración 2.4 es de 30° del estrato rocoso. Una buena forma para observar el buzamiento es idearse que el agua fluirá por la superficie rocosa dibujando una línea paralela al buzamiento, lo que hará la dirección de descenso un ángulo de 90° con respecto a la dirección. Se puede observar en la Ilustración 2.4. (Tarbuck & Lutgens, 2005)

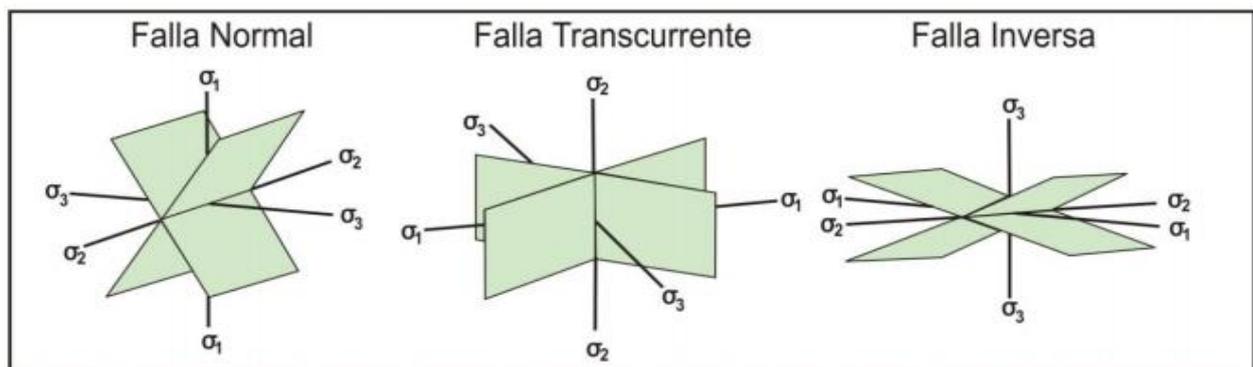


**Ilustración 2.4 Estrato rocoso con su dirección y buzamiento**

**Fuente: (Tarbuck & Lutgens, 2005)**

## 2.5 Zonas de Fallas

De acuerdo con Anderson (1905), los conocimientos sobre fallas de los estudiantes de geología provienen de sus trabajos a inicios del siglo XX que abarca en una clasificación creativa de planos de rotura apoyada en la postura de tres vectores de esfuerzos principales, siendo esto  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  los cuales son ortogonales entre sí y satisfacen este orden  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ . (Lillo & Oyarzun, 2013) (Ver en Ilustración 2.5)



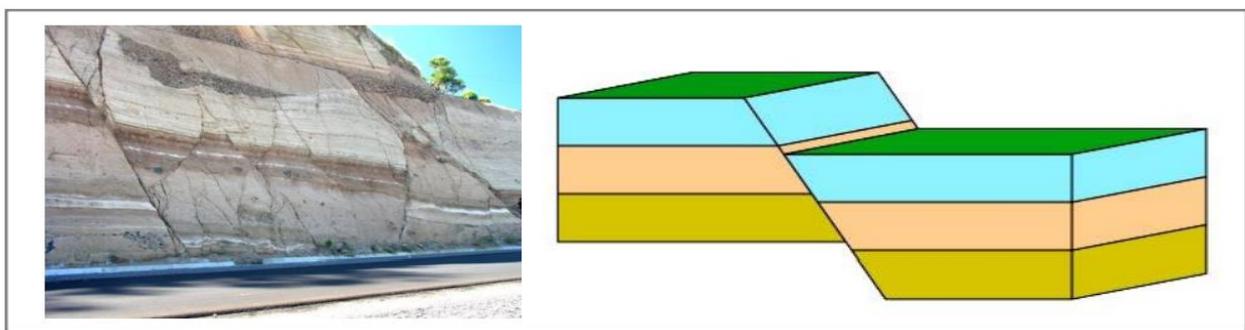
**Ilustración 2.5 Tres tipos de Fallas de Anderson en función de los planos de rotura y orientación de los vectores de esfuerzo.**

**Fuente: (Anderson, 1905)**

## 2.6 Indicadores Cinemáticos

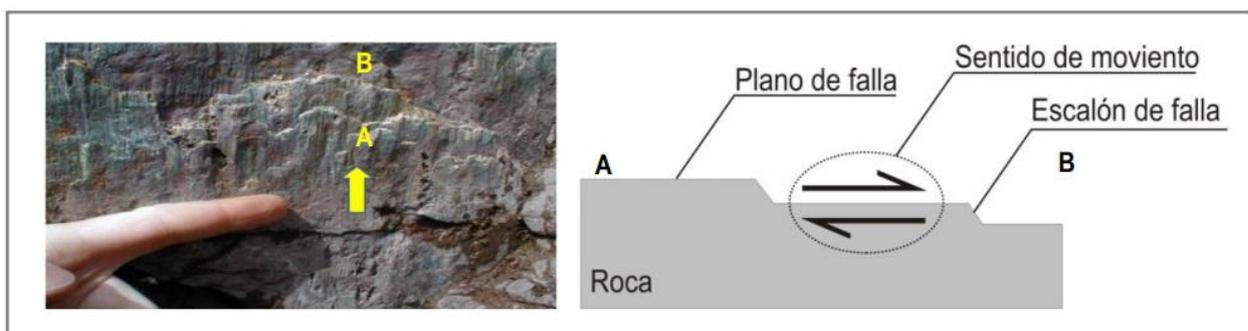
En el trabajo de campo es de vital importancia saber interpretar el movimiento de las fallas, no solo basta tener conocimientos teóricos. El ejemplo común para poder explicarlo es siempre la de una capa de un bloque moviéndose en cierta dirección con respecto al otro bloque, proporcionando facilidad al momento de interpretar. (Ver en

Ilustración 2.6) Existe para zonas de fallas distintos criterios cinemáticos como por ejemplo la de los escalones de fallas y estrías. La energía incluida en el desarrollo de la ruptura, deslizamiento y de los materiales dependerá probablemente para la creación o no de escalones, los cuales pueden ser congruentes o incongruentes, siendo este último con sentido contrario al desplazamiento real. Los escalones congruentes, (Ver en Ilustración 2.7) son los más comunes fundamentado en la cantidad de fricción que se crea cuando el espectador desplaza la mano sobre a lo largo del desplazamiento descubriendo bien una fricción baja en favor del movimiento o una fricción alta en sentido contrario del movimiento. (Doblas, 1998)



**Ilustración 2.6** Falla con su respectivo movimiento de bloque fácil de interpretar.

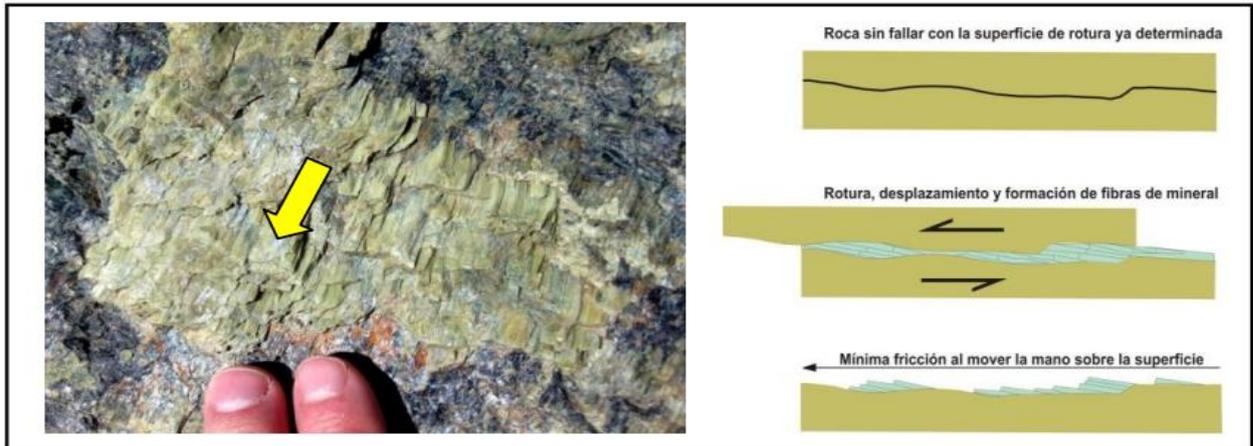
Fuente: (Lillo & Oyarzun, 2013)



**Ilustración 2.7** Escalón congruente en plano de falla.

Fuente: (Lillo & Oyarzun, 2013)

En un análisis apropiado de planos de fallas, existe dos elementos que posiblemente sean importantes. La primera (ver en Ilustración 2.8), son las fibras minerales que se crean en los escalones y la segunda (ver en Ilustración 2.9) son las estrías en el plano de falla dando únicamente la dirección y no el sentido del movimiento. (Lillo & Oyarzun, 2013)



**Ilustración 2.8 Fibras de minerales en los escalones.**

Fuente: Adaptada de (Davis & Reynolds, 1996)



**Ilustración 2.9 Espejo de falla y estrías.**

Fuente: (Lillo & Oyarzun, 2013)

## 2.7 Programas Empleados

En la realización del proyecto integrador fue de manera imprescindible la utilización de una aplicación móvil y distintos programas posibilitando la digitalización, modelización bidimensional y tridimensional de la información tomada en campo. Se procede a describir cada uno de estos programas utilizados:

### 2.7.1 Field Move Clino

La aplicación móvil de Field Move Clino, es gratis se basa en un clinómetro-brújula digital portátil para la obtención de datos en celulares inteligentes como Android y Iphone, en este se mide las orientaciones planas y lineales en el campo. Se integra una sección de notas y almacenamiento de fotografías totalmente georreferenciadas.

Además, contiene funciones Pro que se puede comprar permitiendo al individuo trazar estereonets, dibujar polígonos, líneas y cambiar símbolos en mapas. La aplicación admite usar en línea o fuera de línea Google Maps, los trabajos se pueden exportar en formato .csv (valores separados en coma) y kmz en Google Earth.

### **2.7.2 ArcGIS**

La Universidad Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) posee una licencia académica del software ArcGIS el cual proporciona herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG), permitiendo ingresar datos para su respectiva digitalización espacial georreferenciado y producir mapas de interés.

### **2.7.3 DIPS – Rocscience**

El software DIPS, es exclusivamente para realizar un análisis creativo de orientación fundamentado en los datos geológicos tomados en campo. Este programa es muy útil ya que permite realizar trazados, analizar y presentar los datos estructurales mediante las técnicas de proyección estereográfica, similar a una proyección estereográfica manual. Asimismo, posee características de calcular como el contorno estadístico de orientación de grupos con orientaciones medias y un análisis cualitativo y cuantitativo.

### **2.7.4 AutoCAD – Promine**

El software Promine es creada para trabajos mineros y topográficos, actúa como extensión de AutoCAD con funciones dirigidas a la industria minera, el programa emplea la figura tridimensional lo que da la posibilidad a los usuarios a crear modelamientos de minas que se encuentran abiertas, en funcionamiento o cerradas. Se puede utilizar esta solución de software en labores mineras subterránea para actividades dirigidas a geología. Este software contiene 33 módulos de los cuales se utiliza 2 módulos: El primer módulo es de secciones que pertenece a la categoría de Esenciales y el segundo módulo es el mapa de frente que pertenece a la categoría de Progeox. Se describe a continuación:

**Tabla 2.1 Módulos empleados del Software Promine**

Fuente: Adaptado del manual de usuarios del software

<b>Categoría</b>	<b>Módulo</b>	<b>Descripción</b>
Esenciales	Secciones	Genera una serie de secciones a lo largo de la mina y así poder ubicar espacialmente los datos de las estructuras tomadas dentro de la tunelación.
Progeox	Mapa de Frente	Crea secciones transversales o frentes de trabajo con la finalidad de graficar la ubicación de litologías, estructuras, alteraciones, etc. con una división en 3D

# CAPÍTULO 3

## 3. MARCO GEOLÓGICO

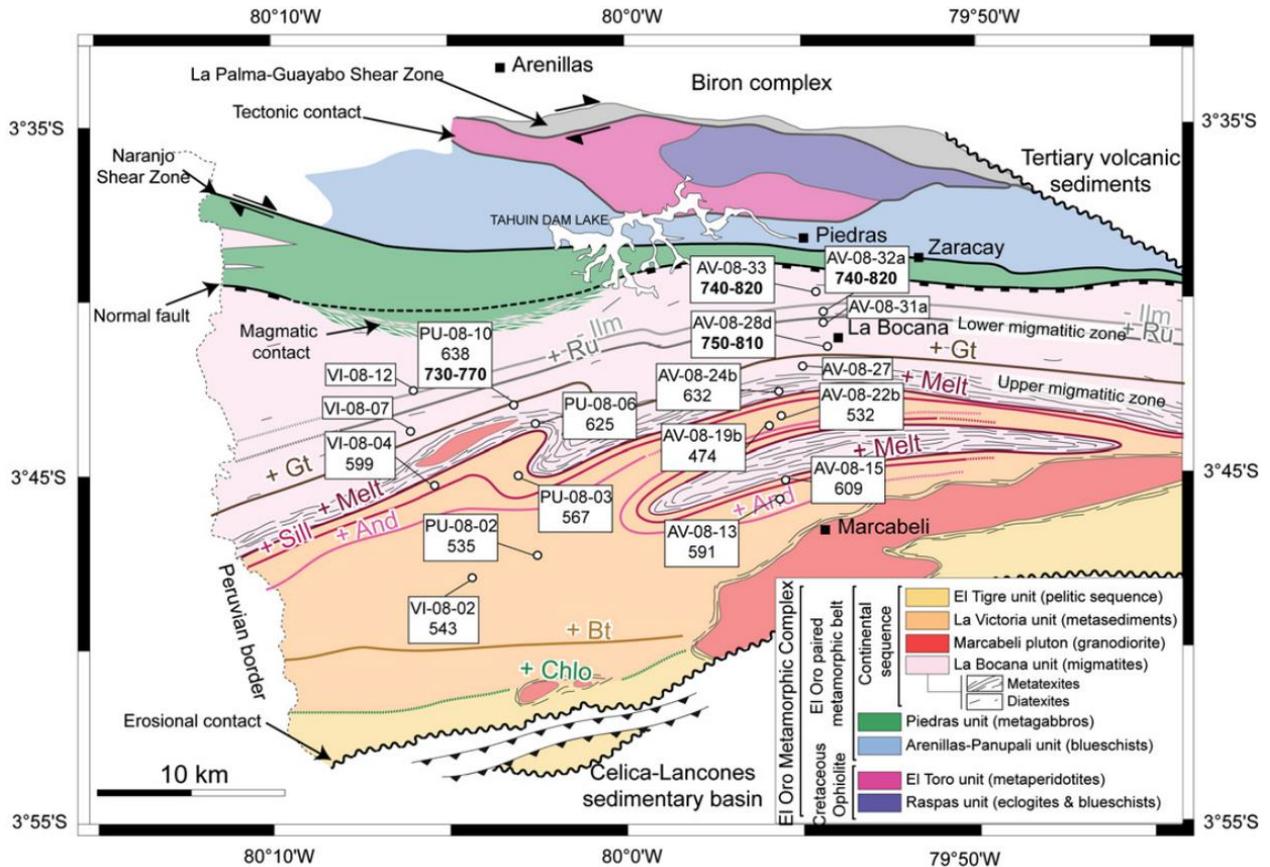
La geología general del Ecuador continental hacia el este, en las tierras bajas de la selva amazónica, los sedimentos continentales Terciarios y recientes se superponen al cratón brasileño. En el centro, la Cordillera de los Andes tiene solo unos 150 km de ancho. Sin embargo, todavía registra una historia compleja de acreción de terrenos en el margen occidental de América del Sur (Aspden y Litherland, 1992; Kerr et al, 2002). La parte norte y central de la Cordillera alberga varias cadenas de estratovolcanes de composición de andesita basáltica (Windley, 1984), incluyendo el activo Cotopaxi, Guagua Pichincha, Sangay y Tungurahua (Rosi et al, 2003) y el inactivo Chimborazo (en 6310 metros el pico más alto del Ecuador). En el oeste, la zona costera plana está sustentada por sedimentos terciarios que llenan la vaguada del antearco frente al arco magmático andino. Sin embargo, una serie de colinas costeras al noroeste de Guayaquil vuelven a exponer el basáltico mesozoico-terciario temprano.

### 3.1 Geología Regional

De acuerdo con (Aspden et al., 1995; Feininger, 1978) los terrenos metamórficos de tendencia continental y oceánica se encuentran hacia el sureste de Ecuador en el complejo metamórfico El Oro, el cual está limitado al NE por los depósitos sedimentarios cenozoicos actuales y al sur por la secuencia volcánico-sedimentaria correspondiente al cretácico de la cuenca Celica-Lancones. (Jaillard et al., 1996, 1999) (Ver en Ilustración 3.1)

Es peculiar este complejo por encontrarse en el antearco y por las estructuras de impacto discordante con una dirección E-O, hacia dentro del cinturón orogénico andino NNE, como se puede observar en la Ilustración 3.2. En la actualidad, según Vinasco (2006) se conoce que el arco magmático está vinculado con la subducción del Paleozoico tardío ocurrido en la Cordillera Central de Colombia, en Perú al noroeste (Mišković, et al., 2009) y en la zona subandina se conoce un arco magmático jurásico en el país de Colombia y Ecuador, como resultado el complejo metamórfico se ha

localizado en el antearco con la zona de subducción del Pacífico desde el carbonífero. (Jaillard et al., 2000)



**Ilustración 3.1 Mapa Geológico de la parte occidental del complejo metamórfico El Oro.**

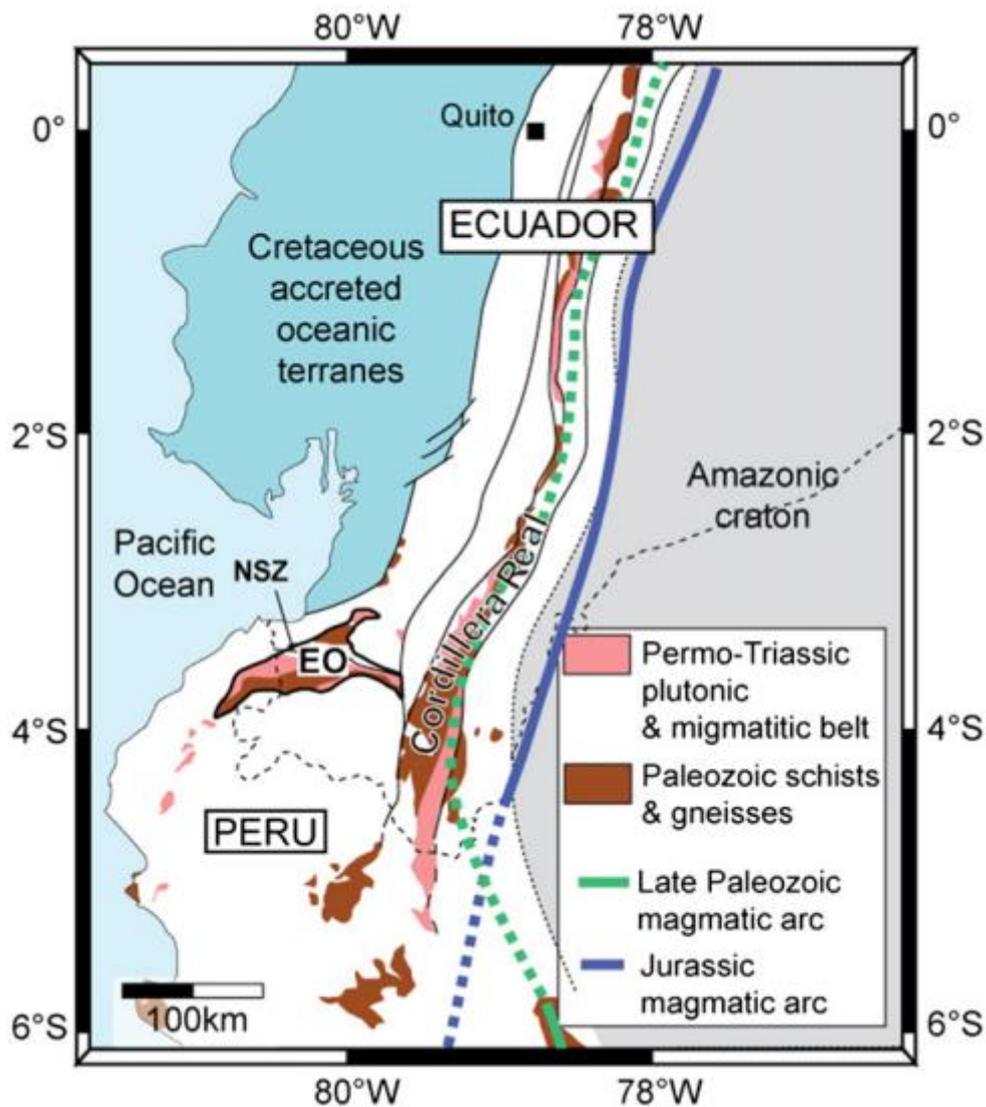
**Fuente: Modificado de Feininger (1978) y Aspdén et al (1995)**

Existe una deducción como primera instancia de que se trata de un terreno continental acrecionado en el margen andino en el Jurásico tardío la cual muestra una secuencia continental constituida de metasedimentos como La Unidad La Victoria y El Tigre; además metasedimentos parcialmente fundidos e intrusivos perteneciente a la Unidad La Bocana (Jaillard y col., 2000). En el complejo metamórfico El Oro, está ubicado en el antearco en relación con la zona de subducción de la Placa Pacífico, en el cual se puede apreciar tres asociaciones tectono-metamórfica (Ver en Ilustración 3.2):

1. Complejo Birón, hacia el norte de la zona de Falla La Palma – El Guayabo. (Gabriele, 2002)
2. Complejo Raspas, hacia el sur de la zona de Falla La Palma – El Guayabo (Feininger, 1980). Se encuentra constituida de macizo Ofiolítico, unidad

metaperidotítica El Toro y la unidad eclogítica Raspas. (Gabriele et al., 2003; John et al., 2010)

3. Cinturón metamórfico localizado entre el Complejo Raspas y la cuenca cretácica Celica-Lancones, formada de sedimentos paleozoicos tardío. (Martínez, 1970)



**Ilustración 3.2 Simplificación de Mapa Geológico de Ecuador y el norte de Perú, mostrando la localización del complejo metamórfico El Oro. EO; NSZ, Zona de Corte de Naranjo. Modificado de Chew et al, (2007)**

En la Provincia de El Oro se encuentra constituida por el Bloque Amotape Tahuín, dividida en: arenas del cuaternario, cantos rodados, bloques y depósito aluvial; Formación Cazaderos; Formación Puyango; Unidad Quebrada Los Zabalos; Completo; Ofiolítico Raspas; Unidad El Toro; Unidad Chilca; Complejo Granitoide; Unidad Quera Chico; Grupo Ofiolítico Piedras; Grupo Tahuín, Unidad El Tigre. (IIGE, 2017)

### **3.1.1 Estratigrafía**

En base a la litología encontrada en el mapa geológico del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), donde se ubica la concesión Los Ingleses se describe a continuación las siguientes formaciones.

#### **3.1.1.1 Grupo Piedras**

Según (Miyashiro, 1973) menciona que su formación se produce en una dorsal oceánica de edad Precámbrica Superior posiblemente se metamorfizaron en las dorsales. En el basamento se depositaron los protolitos de cuarcitas y esquistos sericíticos siendo sedimentos pelíticos y cuarzosos. Luego en el Paleozoico Inferior encima de una pendiente continental se depositan los sedimentos originarios de las rocas del Grupo Tahuín, lo que se modificarían en anfibolitas como señal de una actividad volcánica.

#### **3.1.1.2 Grupo Tahuín**

Se registra como Serie Tahuín de acuerdo con (Kennerley, 1973) conteniendo cinco unidades siendo una de ellas no metamórfica. Hacia el Norte está limitada por sedimentos cuaternarios, serpentina El Toro y de la Fm. Raspas con edad cretácica hacia el Sur, la Falla señalando un contacto de las rocas volcánicas de la Fm. Célica con las rocas metamórficas desde el este hacia al oeste. El autor (Feininger, 1995) realiza una división de cuatro unidades:

1. Intercalación de Lutitas y areniscas grises no metamórficas.
2. Esquistos, cuarcita y filitas.
3. Gneis fino granular.
4. Gneis migmatita graníticos.

#### **3.1.1.3 Rocas Ígneas Intrusivas**

##### **3.1.1.3.1 Formación Raspas (Cretácico)**

El nombre surge por la quebrada Raspas localizada hacia el Sur de la población Chilcas debido a los afloramientos característicos del sector, según (C. R. Bristow, R. Hoffstetter, 1977). Prevalece los esquistos pelíticos de grano grueso a medio constituido por cuarzo y mica blanca, estas rocas metamórficas son de alta presión. Existe una intercalación con esquistos glaucofánicos y eclogita.

#### 3.1.1.3.2 Formación Serpentina El Oro (Cretácico)

Se distingue el Cerro El Toro hacia el norte del pueblo Tahuín principalmente por serpentina con mayor dimensión descubiertas en el país.

#### 3.1.1.3.3 Depósitos Aluviales

Se encuentra constituida de cantos, gravas, arenas y limos de distintos tamaños depositados en las paredes de los cauces del río.

#### 3.1.1.3.4 Depósitos Coluviales

En la superficie de la zona se localiza de manera caótica por varias extensiones, por lo que existe diversidad de clastos y bloques grandes redondeados de aglomerados volcánicos.

### 3.1.2 Geomorfología

El área está ubicada en el pie de monte de la Cordillera Occidental los Andes, contiene relieves continuas y moderadas colinas en direcciones variantes, debido al tectonismo habilitado en una serie de barras escalonadas con disposición E-W (Ver en Ilustración 3.3), ajustados en rocas intrusivas como granodioritas y granitos con meteorización alta.

La zona cuenta con dos estaciones claramente marcadas como es la de invierno y verano, las características climáticas se encuentran influenciadas por la corriente de Humboldt y la corriente cálida del Niño con una dirección Norte-Sur, por ende, son regiones con climas de bosque tropical húmedo o clasificado como mesotérmico húmedo. Según la clasificación de Holdridge (1978), el área de estudio se encuentra en el bosque húmedo Pre-Montano (bhPM), en las estribaciones de la Cordillera Occidental, desde los 300 hasta los 1800 o 2000 msnm. Su temperatura promedio anual es de 18°C a 24°C y recibe entre 1000 y 2000 mm de lluvia anual.

El bosque se ubica al sur del río Jubones sobre los bosques semidecíduos piemontanos entre las altitudes de 188 m a 470 m de altura; la característica de estos bosques es que presentan una abundante presencia de las familias Arecaceae, Meliaceae y Lauraceae (Cerón et al, 1999). Las especies más abundantes identificadas fueron plantas herbáceas que son indicadoras de un bosque alterado. La vegetación predominante corresponde a guarumos, higuerones, chontaduro, pambil pastizales, en

varios sectores aledaños se tienen ejemplares de especies forestales de baja calidad que pueden ser utilizadas solamente para material de encofrado.

En la zona de amortiguamiento de la concesión minera, se observa manchas de desmonte, talas y desbroce, con fines de ampliar la frontera agrícola y ganadera del sector, existe también cultivos de cacao, banano y frutas tropicales (mandarina, naranja, banano, etc.). Existe muchas especies vegetales que son de utilidad para los animales y el hombre, pero no son utilizadas actualmente por la población local, en virtud de que son colonos y aparentemente no conocen las aplicaciones y utilidades que les puede brindar el bosque.

En este sector es donde se han establecido por más de 5 décadas actividades antrópicas entre ellas la minera, la misma que abarca grandes extensiones de estos bosques frágiles y poco estudiados biológicamente sumado a esto la extracción de minerales por parte de mineros informales; causas principales para la deforestación de la vegetación nativo de esta parte de la costa ecuatoriana.

### **3.2 Geología Local**

En el sector Loma Quezada (ver ilustración 3.4) existe una recopilación de información geológica estructural realizada por la empresa EMINZA S.A. de una importante mineralización producto de operación de dos tunelaciones lindantes y del descombre con maquinarias pesadas. Dentro de la zona de estudio existe informes técnicos geológicos realizados por el Ingeniero Raúl T. de la empresa. De acuerdo con esta información geología del área de estudio, se encuentra dominada por la presencia en afloramientos de rocas ígneas hipobisales de graniorita, diorita, cuarzodiorita, tonalita y rocas metamórficas como esquistos, cuarcitas y filitas.



**Ilustración 3.3 Localización de Bocaminas del Sector Loma Quezada.**

### **3.2.1 Geología Estructural**

Existen fallamientos cíclicos que envuelven al cuerpo brechoide, siendo importantes movimientos tectónicos de emplazamiento dentro de una roca porfídica con una dirección de NE-SW, SE-NW y se encuentran en contacto en niveles superficiales con metamorfitas. En el emplazamiento de los contactos de la brecha se encuentra dado por cuatro importantes movimientos tectónicos, determinada por el Ingeniero Geólogo de la Empresa EMINZA S.A.:

#### **3.2.1.1 Falla Zoila**

En la Ilustración 3.5 se puede observar la falla Zoila que es una estructura cortante en la periferia de la zona mineralizada con dirección azimutal de N 268° y un buzamiento de 45° NW la cual es el principal movimiento tectónico del emplazamiento de mineralización en la brecha, adicionalmente presenta tensionales que salen del cuerpo brechoide con un rumbo de N 208° / 58 NW. (EMINZA, 2019)



**Ilustración 3.4 Falla Zoila, alteración hidrotermal.**

### **3.2.1.2 Falla Reyes**

Es una falla aproximadamente de 10 cm, se encuentra presente en la zona de contacto de buena mineralización donde se silicifica ( $< \%Qz$ ) con una dirección azimutal de N 280° / 88 SW. (EMINZA, 2019)

### **3.2.1.3 Falla Q**

Es una falla cíclica con una potencia de 40 cm, rellena de arcilla (milonita) con fragmentos finos de roca debido a la cizalla. Se encuentra ubicada hacia el Sur del cuerpo brechoide y en contacto con rocas dioríticas y tonalíticas con una dirección azimutal de N 330° / 57 NE. (EMINZA, 2019)

### **3.2.1.4 Falla 05**

Es una falla con una potencia de 10 cm saliente del área mineralizada y actúa como tensional de la Falla Zoila con una dirección azimutal de N 31° / 77 NW. (EMINZA, 2019)

# CAPÍTULO 4

## 4. METODOLOGÍA

En el presente proyecto integrador se ha puesto en práctica una metodología de levamiento de información geológico estructural, conocido como el método de abatimiento de planos o se lo conoce en el medio como método ruso complementando con procesos de análisis en softwares geológicos minero y estructurales como son PROMINE y DIPS respectivamente, los mismos que ayudan a dar una visión en 3D y saber la ubicación del esfuerzo máximo que afecta directamente a la galería estudiada (Mina Zambrano). Esta dispone de cuatro fases importantes; (ver en la Ilustración 4.1) en la primera fase corresponde a recopilación de información, una segunda fase en la recolección de datos en campo, una tercera fase en el procesamiento de los datos de la fase anterior y finalmente una cuarta fase de un análisis de resultados.

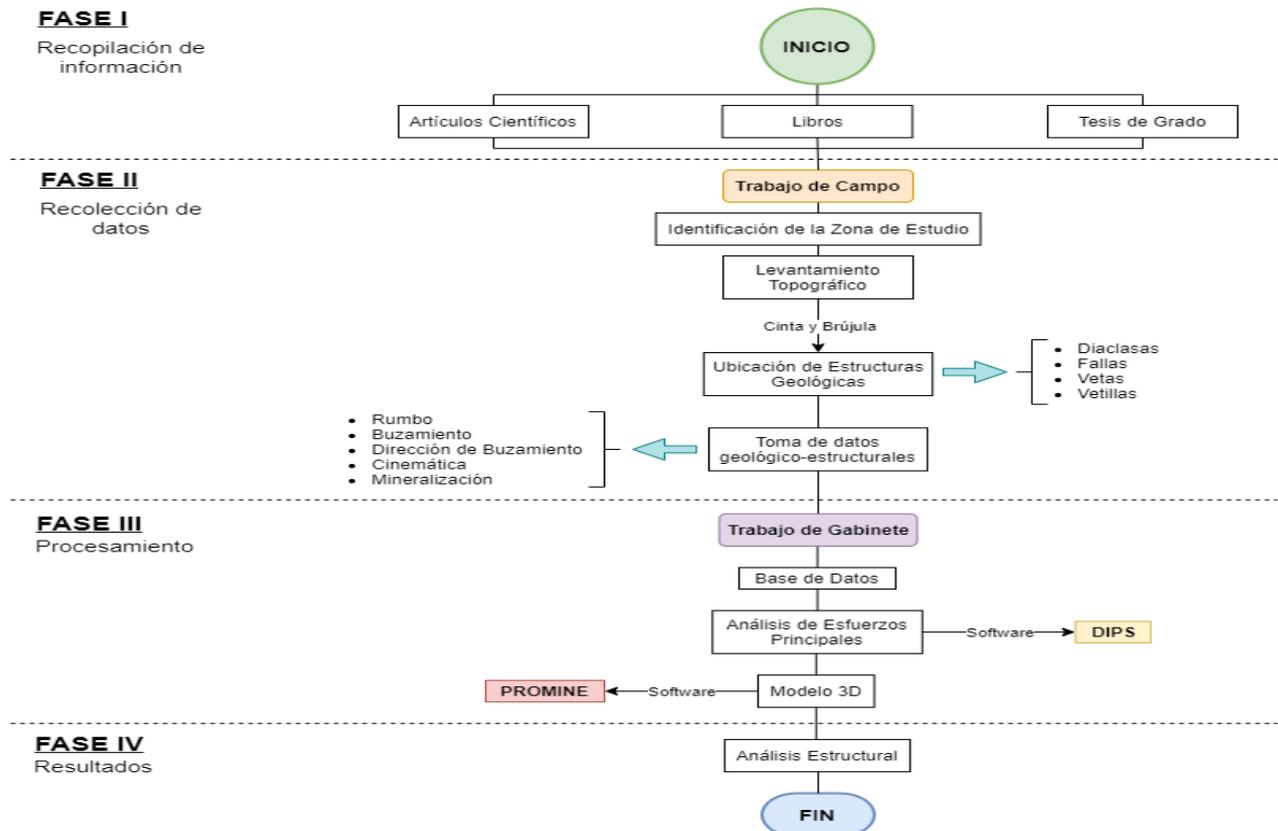


Ilustración 4.1 Diagrama de flujo de metodología empleada en el proyecto integrador.

#### 4.1 FASE I: Recopilación de Información

En la primera fase se realizó recopilaciones y revisiones de investigaciones básicas de distintas literaturas correspondiente al tema de estudio en libros exclusivamente sobre Geología Estructural, artículos científicos, tesis realizadas en la provincia de El Oro y de otros países; la zona en estudio se recopiló los boletines publicados por el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), hojas geológicas de todo el Ecuador y del cantón Santa Rosa (ver en Ilustración 4.2). La adquisición de planos topográficos base (ver en Ilustración 4.3) obteniendo las curvas de nivel en el software Global Mapper para posteriormente llevarlo a AutoCAD, PROMINE y los informes de estudios realizados por los rusos e ingleses hace más de 20 años de la concesión minera “Los Ingleses” ayudaron para una interpretación preliminar de la zona de estudio.

La información digital obtenido del geoportal Catastro Minero sirvió para limitar la concesión correspondiente al Proyecto Minero Loma Quezada, además se tiene información en formato shapefile de la Geología del cantón Santa Rosa de la Provincia de El Oro. Además, se ha considerado el shapefile de las fallas principales que atraviesan Ecuador donde se enfocó el cantón Santa Rosa, con el fin de determinar los esfuerzos principales que están sometiendo al sector.

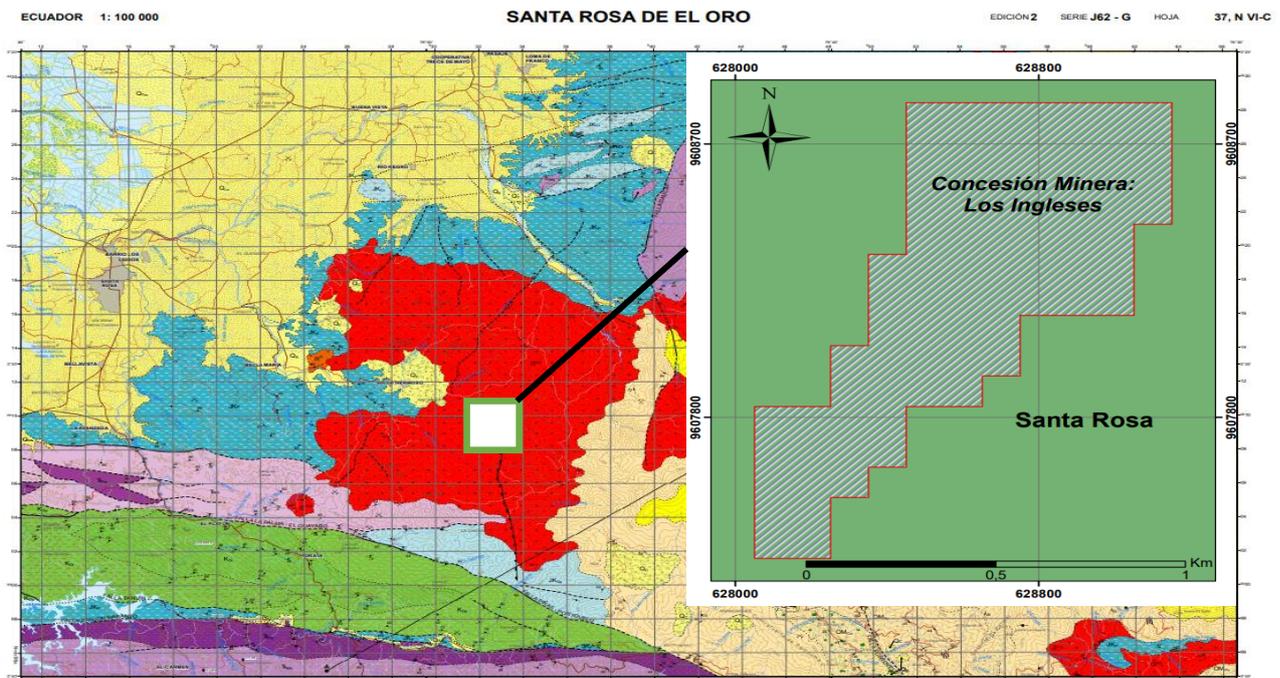
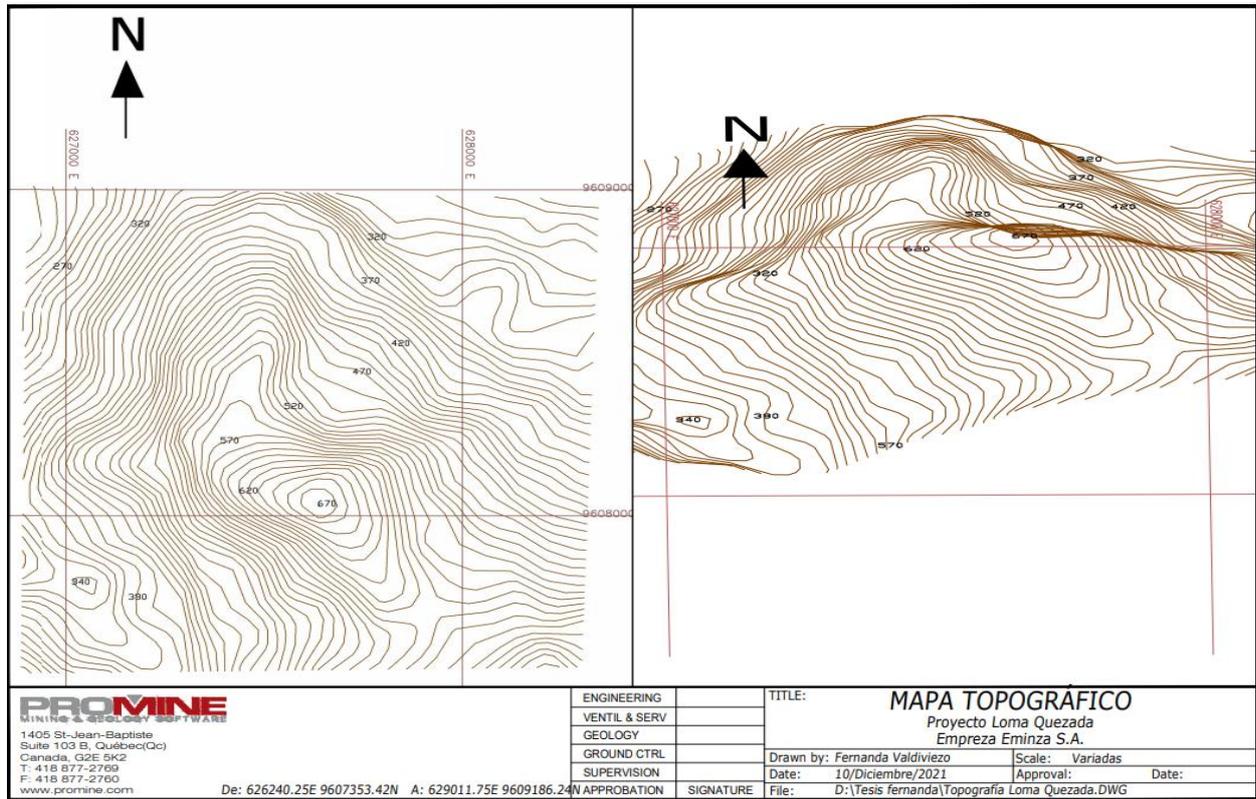


Ilustración 4.2 Mapa Geológico Santa Rosa, El Oro

Fuente: (IIGE, 2017)



**Ilustración 4.3 Plano Topográfico del área Loma Quezada**

## 4.2 FASE II: Recolección de datos

En la segunda fase se efectuó un reconocimiento previo de la zona de estudio donde se procedió a seleccionar una galería en el nivel inferior del Proyecto Loma Quezada, siendo esta la Mina Zambrano para la realización de toma de datos estructurales. Debido al hecho que no existe datos actualizados de la topografía surgió la necesidad de hacer un levantamiento topográfico con cinta y brújula de la tunelación, conjuntamente se iba tomando los datos de las respectivas estructuras que se observaban acompañada a estas con un registro fotográfico y toma de muestras. A continuación, se muestran los formatos empleados respectivamente en la libreta de campo.

### 4.2.1 Topografía – Cinta y Brújula

**Tabla 4.1 Formato de Libreta topográfica en campo.**

Puntos	Azimut	Buzamiento	Longitud	Observaciones

## 4.2.2 Estructuras

Tabla 4.2 Formato de libreta estructural

Estación: N°	Coordenadas		
Plano de observación			
<b>Estructuras</b>			
<b>Medición Estructural</b>		<b>Observaciones</b>	
<b>Muestras</b>			
<b>Fotos</b>			

## 4.3 FASE III: Procesamiento

En la tercera fase está orientado al procesamiento de los datos obtenidos en campo, este trabajo se conoce como gabinete. Los datos obtenidos del levantamiento estructural consistió en mediciones de datos como de buzamiento y dirección de buzamiento hacia lo largo de la galería de la Mina Zambrano tanto planos de fallas y diaclasas; de tal manera que se los clasificó y se ha ingresado en tablas con formato csv de excel para posteriormente ingresarlos en el software Dips de Rocscience ayudando a proyectar en estereonets digitalizados para el estudio y visualización de los datos geológicos en base a su orientación comparando con los estereonets realizados manualmente. Posteriormente estos mismos datos se los llevó al software Promine para modelar las diferentes estructuras y así poder realizar el análisis respectivo mediante la visualización de planos.

## 4.4 FASE IV: Resultados

Los resultados procesados en los programas sirven para poder realizar el respectivo análisis estructural.

# CAPÍTULO 5

## 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 5.1 Plano topográfico

En el interior de la Mina Zambrano se procedió a hacer un levantamiento planimétrico (Apéndice C, Plano 1), en la cual consistió en tomar datos con el método de cinta y brújula, se basó en situar un punto de posición teniendo la siguiente coordenada en WGS84: X: 628220 Y: 9608710 Z: 459 m, con una dirección de la línea principal de N 216° hasta aproximadamente los primeros 185 m; posteriormente cambia a una dirección de N 284° en los próximos 115 m. Se procedió emplear cinta y brújula desde el centro el punto de inicio de la bocamina a tomar distancias horizontales y direcciones respectivamente, siendo un método favorable ya que el material en la mina no es magnético permitiendo no intervenir con la brújula. Verificando estos datos de la libreta topográfica (Apéndice A, Tabla 7.11) con el protractor geológico dando un bosquejo igual al del PLANO 1, el cual ha sido realizado con el software PROMINE con la finalidad de poder ubicar las estructuras geológicas presentes en el interior de la Mina Zambrano.

### 5.2 Plano Estructural

Los datos estructurales de las fallas tomados en campo se utilizaron para ubicarlos en el plano topográfico, de esta manera obtener un modelamiento en 3D. Se ha identificado y modelado en el software Promine la cantidad de treinta y seis planos de fallas, la cual se establecieron en tres zonas de interés (ver en Ilustración 5.2), el cual uno de los criterios que se tomaron en cuenta para determinar las tres zonas es la longitud de 300 m aproximadamente de la galería, esto es en tramos de 100 m y realizar el respectivo análisis.

#### 5.2.1 Zona 1

En el Apéndice B (Ilustración 7.5) se muestra el plano estructural correspondiente a la Zona 1 el cual se realizó de una manera gráfica por el método ruso a base de distancias, por ejemplo, para tomar datos de una estructura se lanzó una cinta métrica en el piso justamente en la mitad de la galería, entonces se observó hacia el lateral

derecho en que distancia se encontraba el piso y techo de esa estructura, de igual manera se realizaba en el lateral izquierdo y para complementar se tomaba la distancia del centro. Adicionalmente se tomaron medidas con la brújula el buzamiento y dirección de buzamiento de cada estructura. Se puede observar que existen planos que se intersecan formando cuñas la cual se puede evidenciar notablemente dentro de la mina determinando inestabilidad del macizo rocoso.

### **5.2.2 Zona 2**

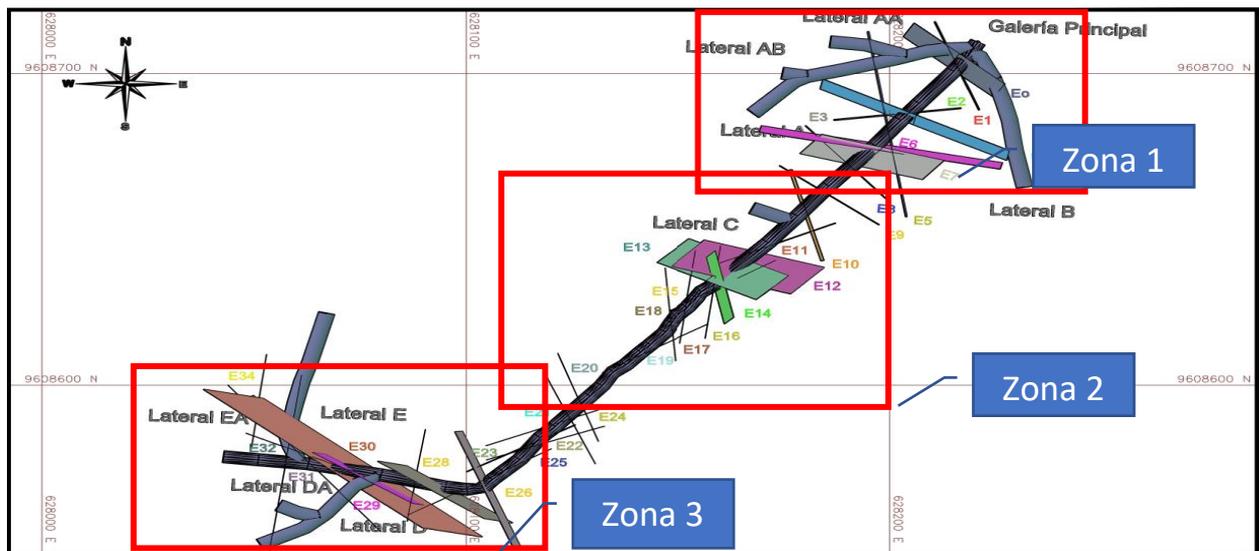
En el Apéndice B (Ilustración 7.6) se visualiza varios planos de fallas que se intersecan el cual se tiene abundantes fracturas acumuladas en esa zona, lo que provoca filtración de agua y ahora aún más por la época de invierno, siendo esta una causa más para la inestabilidad de la galería.

### **5.2.3 Zona 3**

En el Apéndice B (Ilustración 7.7) se observa una zona con mayor cantidad de acuíferos, se encontró minerales pertenecientes a la familia de los sulfuros como calcopirita, pirita y galena. (Ilustración 5.1) Además de un Stockwork de metasedimentos respectivamente.



**Ilustración 5.1 Calcopirita, pirita y galena. Stockwork de metasedimentos.**



**Ilustración 5.2 Plano Estructural – Zona de Interés**

Los análisis dieron como resultado un levantamiento estructural, el mismo que se encuentra a una diferencia de cota de 50 m aproximadamente, con respecto al trabajo actual conocido como Mina JJ de la empresa minera EMINZA S.A., el cual se trata de una extracción de mineral de cobre a cielo abierto. (Ver Ilustración 5.3 y 5.4). Los resultados obtenidos marcan una clara concentración de mineral en superficie de acuerdo con las estructuras encontradas en Mina Zambrano y sobre ella, las cuales han sido estudiadas por el grupo técnico de la empresa determinándolas como zonas limitantes de mineralización (Fallas N-S).

El modelo 3D de las estructuras tomadas, da una clara imagen de como la mayoría de las fallas que intersecan la Mina Zambrano pueden en su mayoría extenderse hacia la Mina JJ, con esto se puede determinar la importancia que implica las estructuras que atraviesan la Mina Zambrano para dar una hipótesis de acuerdo con el comportamiento de la mineralización en el Proyecto Loma Quezada.



Ilustración 5.3 Cielo Abierto JJ

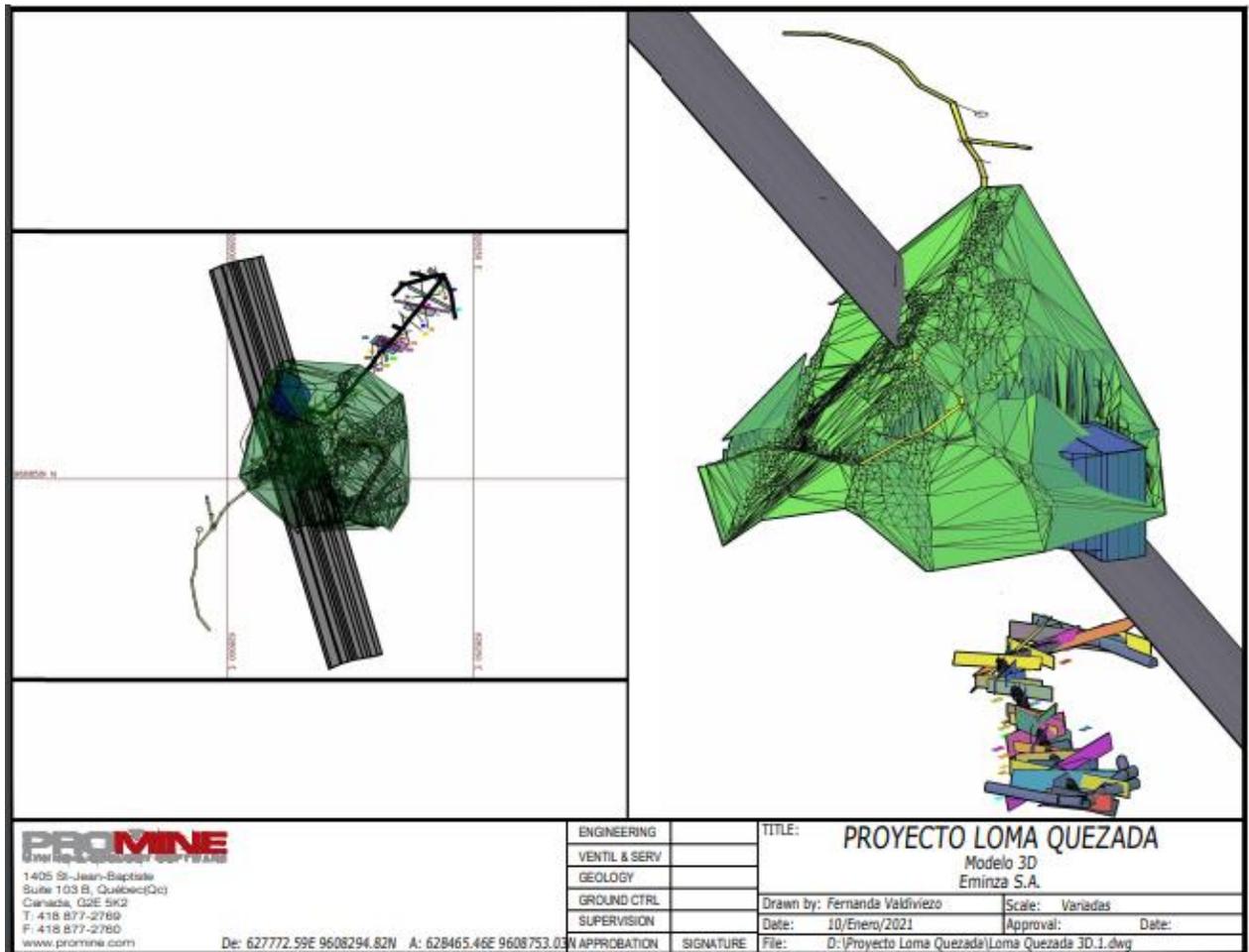


Ilustración 5.4 Proyecto Loma Quezada, Modelo 3D

En el empleo del programa Dips se necesitó medir por cada familia de diaclasas una cantidad significativa de datos como buzamiento y dirección de buzamiento obteniendo superficies representativas; el resultado se puede observar en el Apéndice B (Ilustración 7.1-7.4) las direcciones de los esfuerzos principales de diaclasas y fallas tienen una dirección de SE-NO y NE-SW respectivamente.

El análisis de los datos de estructuras geológicas (diaclasas y fallas) se realizó por medio de estereogramas de densidad polar. Por otro lado las representaciones estadísticas se empleó los diagramas de rosas. En las dos estructuras mencionadas existe un vínculo inmediato, lo cual se verificará por medio de un análisis de polos y de planos de esta. El análisis cualitativo de las diaclasas y el estudio geométrico abarca el reconocimiento de distintas estructuras de diaclasas, lo cual están basados en deformaciones dúctiles y frágiles de la zona que servirá para el conocimiento de los mecanismos de deformación.

Se procedió tomar mediciones de datos estructurales en el nivel 420 m.s.n.m. que pertenece a la mina Zambrano, los resultados adquiridos se visualizan gráficamente en los estereogramas de densidad, polares y en los diagramas de rosas empleando la proyección en el hemisferio inferior de la red de Schmidt. (ver en Ilustración 7.2 y 7.4)

### 5.3 Diaclasas

**Tabla 5.1 Esfuerzos principales de diaclasas**

	Dip	Dip Direction
$\sigma_1$	60,61	218,11
$\sigma_2$	77,29	120,82
$\sigma_3$	32,53	10,12

### 5.4 Fallas

**Tabla 5.2 Esfuerzos principales de fallas**

	Dip	Dip Direction
$\sigma_1$	85,32	10,42
$\sigma_2$	80,52	101,20
$\sigma_3$	10,59	254,46

En el empleo de la brújula Brunton y con ayuda de Clino se logró realizar mediciones de 70 planos, donde se tomaron datos de buzamiento y dirección de buzamiento hacia

lo largo de la galería, lo cual una vez tomados se usaron para mapear en el software Promine, de esta manera localizarlos espacialmente y determinar zonas de interés.

En la Ilustración 5.4 se visualiza las estructuras que tienen la misma dirección con respecto a los datos tomados en Mina Zambrano a una cota de 459 m.s.n.m, probablemente sean las mismas que afloran en la parte superior del Cerro Loma Quezada donde actualmente se encuentra explotando a cielo abierto.

# CAPÍTULO 6

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

Los esfuerzos principales obtenidos coinciden con la ortogonalidad entre sí y la vergencia de Los Andes. Se ha concluido que las estructuras tomadas en la Mina Zambrano controlan en parte la zona estructural de la Mina JJ debido a la cercanía que se encuentra a 555 m.s.n.m. La visualización de las muestras de minerales obtenidas en campo se asume que podrían pertenecer al grupo de los sulfuros. Adicionalmente se concluye que mediante las estructuras observada y del stockwork encontrado, se puede intuir de que está tratando de un pórfido de cobre.

Se revisó la información geológica del cantón Santa Rosa mediante el portal IGM e información recopilada por la Empresa Eminza.S.A., determinando una litología perteneciente a una de composición granodiorítica, en menor cantidad cuarzodioritas, granitos y filones cuarzosos. Además, estructuras de dirección aproximada E-O, contrastando con la dirección preferencial NNE – SSO de las rocas metamórficas de la cordillera Real.

El levantamiento topográfico de la Mina Zambrano perteneciente al Proyecto Loma Quezada se lo realizó mediante el método de cinta y brújula, tomando datos del relieve de la tunelación y logrando un mapa planimétrico con el cual se anclan los datos estructurales. De acuerdo con la información tomada en campo y procesada en el software DIP se determinaron tres zonas de interés debido a la acumulación de esfuerzos en la galería. Además, determinando que la mayor cantidad de planos de fallas se encuentran en dirección N-S / E-W.

Se realizó un modelo en 3D mediante el software Promine de la mina Zambrano perteneciente al Proyecto Loma Quezada en donde se visualiza la ubicación y planos estructurales a lo largo de la tunelación. El análisis estructural de la mina zambrano se facilitó debido a la utilización del software DIP y Promine, ya que se conoce los puntos y direcciones de la acumulación de esfuerzos y el grafico en 3D de los mismos.

## 6.2 Recomendaciones

- Elaborar mapeos estructurales puntualizados en los siguientes niveles superiores de la Mina Zambrano para relacionarlos con los resultados obtenidos en este proyecto integrador, de esta manera llevar un control del comportamiento estructural para las actividades futuras.
- Realizar un estudio de alteraciones hidrotermales en las distintas vetas encontradas para un mejor seguimiento del yacimiento existente; acompañado de secciones pulidas para reconocer los minerales base y definir el zoneamiento.
- Aplicar el método de diedros rectos y método analítico para comprobar con el método de proyecciones estereográficas el análisis de las direcciones de los esfuerzos.
- Efectuar un análisis geomecánica a detalle de las estructuras principales y de inclusiones fluidas para permitir hacer una correlación que evento ocurrió de deformación y de mineralización pertenece a cada zona.

# BIBLIOGRAFÍA

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, E. (1905). The dynamics of faulting. *Transactions of the Edinburgh Geological Society*, 8, 387-402.
- Aspden, J., & Litherland, M. (1992). The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*, 205, 187-204.
- Aspden, J., Bonilla, W., & Duque, P. (1995). The El Oro Metamorphic Complex, Ecuador: Geology and Economic Mineral Deposits. *Overseas Geology and Mineral Resources. British Geological Survey publication*, 67.
- Davis, G., & Reynolds, S. (1996). En J. W. Sons, *Structural Geology of Rocks and Regions* (pág. 776). New York.
- Doblas, M. (1990). *Estudio de las deformaciones tardihercínicas de los granitoides de un sector del Sistema Central Español (zona central de Gredos y áreas adyacentes)*. Colección Tesis Doctorales, 59/90, UCM . Madrid.
- Doblas, M. (1998). En *Slickenside kinematic indicators. Tectonophysics*, 295, (págs. 187-197).
- Feininger, T. (1975). *Geología de la zona de Arenillas - Puyango*.
- Feininger, T. (1978). *Geologic map of Western El Oro Province*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Fossen, H. (2010). *Structural Geology*. United States: Cambridge University Press .
- Gabriele, P., Ballèvre, M., Jaillard, E., & Hernandez, J. (2003). Garnet-chloritoid-kyanite metapelites from the Raspas Complex (SW Ecuador): a key eclogite-facies assemblage. *European Journal of Mineralogy*, 15, 977-989.
- IIGE. (2017). *Instituto de Investigación Geológico y Energético*. Obtenido de <https://www.geoenergia.gob.ec/>
- Jaillard, E., Herail, G., Monfret, T., Díaz Martínez, E., Baby, P., Lavenu, A., & Dumont, J. (2000). Tectonic evolution of the Andes of Ecuador, Perú, Bolivia and northernmost Chile. *Internazional Geological Congress*, Río de Janeiro, 481-559.

- Jaillard, E., Laubacher, G., Bengtson, P., Dhondt, A., & Bulot, L. (1999). Stratigraphy and evolution of the forearc “Celica–Lancones Basin” of Southwestern Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*, 12, 51-68.
- Jaillard, E., Ordoñez, M., Bengtson, P., Berrones, G., Bonhomme, M., Jiménez, N., & Zambrano, I. (1996). . Sedimentary and tectonic evolution of the arc zone of southwestern Ecuador during Late Cretaceous and Early Tertiary times. *Journal of South American Earth Sciences*, 9, 131-140.
- John, T., Scherer, E., Schenk, V., Herms, P., Halama, R., & Garbe-Schonberg, D. (2010). Subducted seamounts in an eclogite-facies ophiolite sequence: the Andean Raspas Complex, SW Ecuador. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 159, 265-284.
- Lillo, J., & Oyarzun, R. (2013). *Geología Estructural Aplicada a la Minería y Exploración Minera*. Madrid: GEMM.
- Martínez, M. (1970). Geología del basamento Paleozóico en las Montañas de Amotape y posible origen del petróleo en las rocas Paleozóicas del noreste de Perú. *Lima 1ero Congreso Latinoamericano de Geología*, No.2 105–138.
- Miškovic, A., Schaltegger, U., Spikings, R., Chew, D., & Košler, J. (2009). Tectono–magmatic evolution of Western Amazonia: geochemical characterisation and zircon U–Pb geochronologic constraints from the Peruvian Eastern Cordilleran granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, 121, 1289-1324.
- Ramdoe, I. (2020). Los efectos del COVID-19 sobre el empleo en la minería. International Institute for Sustainable Development, 1-13. Obtenido de LOS EFECTOS DEL COVID-19.
- Tarbut, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra UNA INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA FÍSICA*. Madrid: Pearson Educación S. A.
- Torres, J. (1989). Exploración Geoquímica regional de la Guayana Oriental, Edo. Bolívar, Venezuela. Tesis Doctoral U.C.V. Facultad de Ciencias I.C.T.
- United Nations. (2002). *Report of the World Summit on Sustainable Development Johannesburg, South Africa. (EEUU)*. Obtenido de [http://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/CONF.199/20&Lang=E](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/CONF.199/20&Lang=E)
- Valley, M. (s.f.). *Midland Valley FieldMove Clino Manual del usuario*. Obtenido de [https://www.petex.com/media/2577/fieldmove\\_clino\\_iphone\\_user\\_guide.pdf](https://www.petex.com/media/2577/fieldmove_clino_iphone_user_guide.pdf)

Vinasco, C., Cordani, U., González, H., Weber, M., & Pelaez, C. (2006). Geochronological, isotopic, and geochemical data from Permo-Triassic granitic gneisses and granitoidof the Colombian Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 21, 355-371.

# APÉNDICES

## ÍNDICE DE APÉNDICES

### **APÉNDICE A: Libretas**

Libreta Topográfica

Libreta Estructural

### **APÉNDICE B: Análisis**

Diaclasas

Fallas

### **APÉNDICE C: Planos**

Plano 1: Topográfico de la Mina Zambrano

Plano 2: Estructural de la Mina Zambrano

### **APÉNDICE D: Fotografía del área de estudio**

Planos de Fallas

Actividades Laborales

# APÉNDICE A

## Libreta Topográfica

**Tabla 7.1 Línea Principal – Mina Zambrano**

Puntos	Azimut	Buzamiento	Longitud	Observaciones
P1-P2	N 209°	1°	4m	Lateral A a 2m del inicio Lateral B a 3.5m del inicio
P2-P3	N 210°	3°	2.5m	
P3-P4	N 214°	1°	4.10m	
P4-P5	N 218°	4°	20m	
P5-P6	N 217°	2°	10m	
P6-P7	N 220°	2°	17m	
P7-P8	N 217°	3°	12m	Lateral C a 2m
P8-P9	N 219°	2°	11m	
P9-P10	N 223°	1°	18m	
P10-P11	N 233°	2°	4.6m	
P11-P12	N 209°	1°	2m	
P12-P13	N 215°	3°	4m	
P13-P14	N 224°	4°	4m	
P14-P15	N 208°	2°	5m	
P15-P16	N 221°	1°	5.5m	
P16-P17	N 224°	1°	3m	
P17-P18	N 221°	3°	5.3m	
P18-P19	N 232°	4°	4m	
P19-P20	N 211°	2°	5m	
P20-P21	N 220°	1°	17.5m	
P21-P22	N 224°	2°	5m	
P22-P23	N 214°	3°	8m	
P23-P24	N 225°	1°	9m	
P24-P25	N 220°	2°	3.5m	
P25-P26	N 263°	3°	4m	
P26-P27	N 279°	1°	5m	
P27-P28	N 284°	4°	15m	Lateral D a 1m
P28-P29	N 282°	2°	17m	Lateral E a 2m
P29-P30	N 276°	3°	20m	

**Tabla 7.2 Lateral A – Mina Zambrano**

Puntos	Azimut	Buzamiento	Longitud	Observaciones
A1-A2	N 267°	3°	6m	Inicio a 2m
A2-A3	N 262°	2°	5m	Lateral AA a 5m
A3-A4	N 252°	3°	8m	
A4-A5	N 254°	1°	13m	
A5-A6	N 256°	2°	8m	Entrada - Lateral AB
A6-A7	N 242°	1°	4m	
A7-A8	N 224°	2°	14m	

**Tabla 7.3 Lateral AA – Mina Zambrano**

Puntos	Azimut	Buzamiento	Longitud	Observaciones
AA1-AA2	N 295°	3°	2m	
AA2-AA3	N 290°	2°	8m	
AA3-AA4	N 277°	2°	8.5m	

**Tabla 7.4 Lateral AB – Mina Zambrano**

Puntos	Azimut	Buzamiento	Longitud	Observaciones
AB1-AB2	N 292°	3°	6m	

**Tabla 7.5 Lateral B – Mina Zambrano**

Puntos	Azimut	Buzamiento	Longitud	Observaciones
B1-B2	N 124°	2°	3m	Inicio a 3.5m
B2-B3	N 157°	1°	7.5m	
B3-B4	N 164°	2°	7.8m	
B4-B5	N 166°	3°	5.5m	
B5-B6	N 173°	2°	9.5m	
B6-B7	N 169°	2°	12m	

**Tabla 7.6 Lateral C – Mina Zambrano**

Puntos	Azimut	Buzamiento	Longitud	Observaciones
C1-C2	N 294°	3°	10.3m	

**Tabla 7.7 Lateral D – Mina Zambrano**

Puntos	Azimut	Buzamiento	Longitud	Observaciones
D1-D2	N 227°	3°	2.5m	Luego del P28 a 1m
D2-D3	N 240°	2°	4m	
D3-D4	N 219°	3°	11m	
D4-D5	N 226°	2°	2m	Inicio - Lateral DA
D5-D6	N 227°	3°	5m	

Puntos	Azimut	Buzamiento	Longitud	Observaciones
D6-D7	N 243°	2°	11.5m	

**Tabla 7.8 Lateral DA – Mina Zambrano**

Puntos	Azimut	Buzamiento	Longitud	Observaciones
DA1-DA2	N 286°	2°	5.5m	Comienza en el D5
DA2-DA3	N 298°	3°	5m	

**Tabla 7.9 Lateral E – Mina Zambrano**

Puntos	Azimut	Buzamiento	Longitud	Observaciones
E1-E2	N 339°	2°	6m	Luego del P29 a 2m
E2-E3	N 346°	3°	5.5m	Inicio – Lateral EA
E3-E4	N 29°	1°	3m	
E4-E5	N 11°	2°	5.5m	Inicio - Lateral DA
E5-E6	N 13°	2°	7m	
E6-E7	N 17°	1°	7m	
E7-E8	N 14°	3°	16m	

**Tabla 7.10 Lateral EA – Mina Zambrano**

Puntos	Azimut	Buzamiento	Longitud	Observaciones
EA1-EA2	N 299°	2°	4.5m	Comienza en el E3
EA2-EA3	N 326°	3°	9m	

## Libreta Estructural

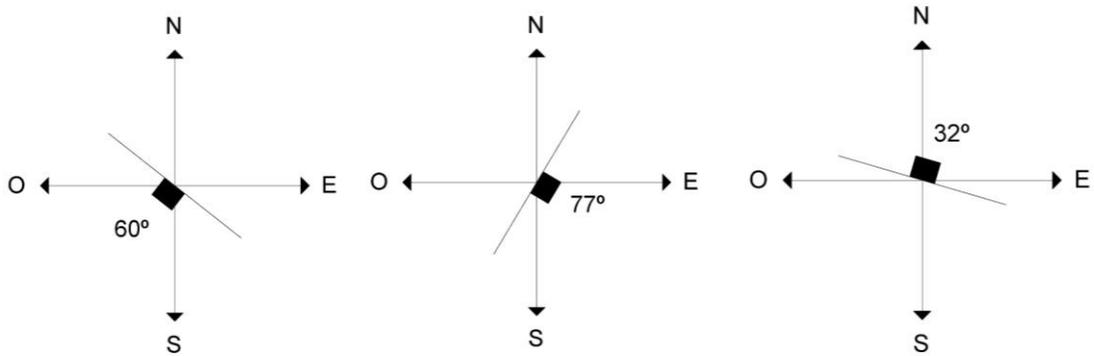
**Tabla 7.11 Datos Estructurales – Mina Zambrano**

DISTANCIA					LATERAL	BZ	DB	TIPO
IZQUIERDA		DERECHA						
PISO	TECHO	CENTRO	TECHO	PISO				
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Inicio de Fortificación Bocamina			
3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	Final de Fortificación Bocamina			
		3,25	4,30	5,10	Derecho	70	55	Falla E0
						76	345	Diaclasa
						29	208	
						80	253	
11,20	11,20	9,70	8,10	8,10	Derecho	89	167	Falla E1
20,00	20,00				Izquierda	88	204	Falla E2
28,60	28,60				Izquierda			
28,60	28,60				Izquierda	89	18	Diaclasa
						86	270	
						25	235	

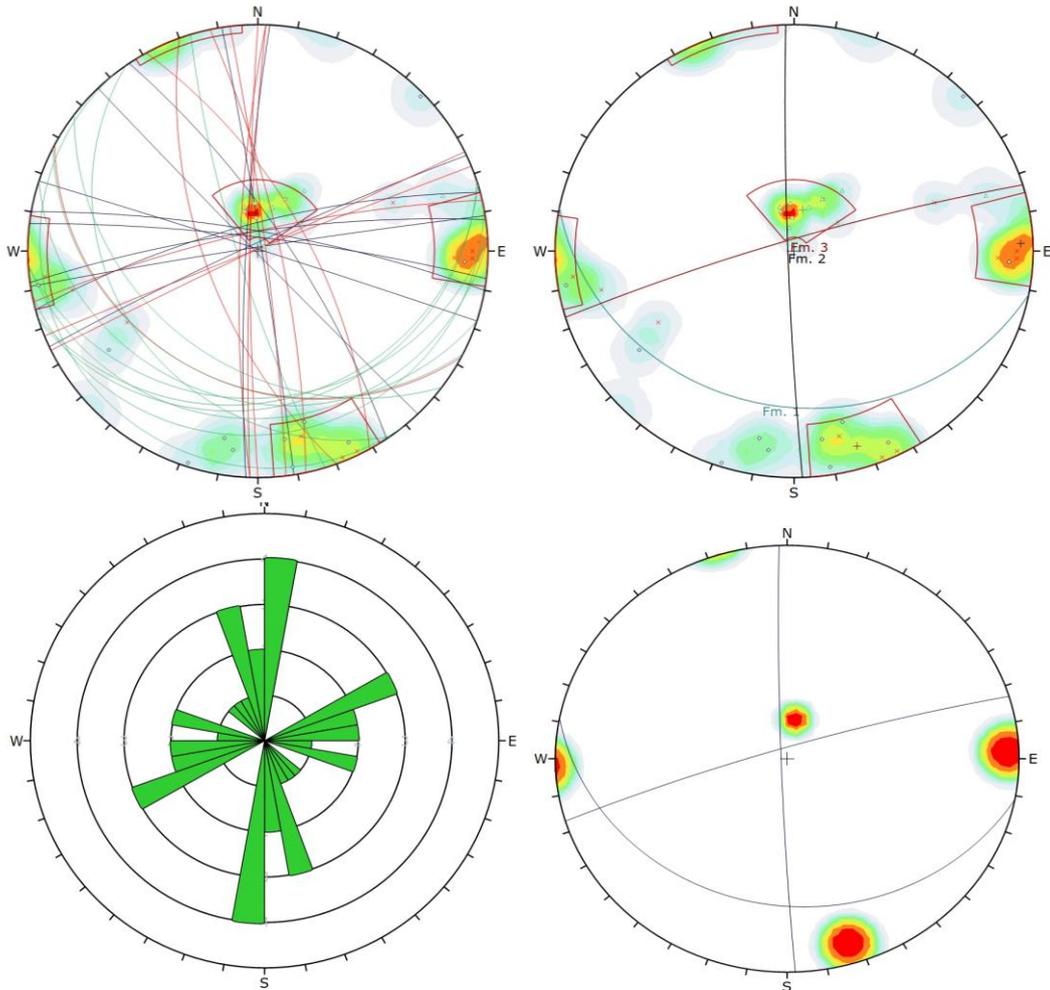
DISTANCIA					LATERAL	BZ	DB	TIPO
IZQUIERDA		CENTRO	DERECHA					
PISO	TECHO		TECHO	PISO				
25,30	25,10	27,50	30,30	30,30	Derecho	89	165	Falla E3
25,80	26,50	26,75	27,00	26,20		72	30	Falla E4
37,40	37,40	35,50	33,50	33,50	Derecho	89	346	Falla E5
40,20	41,20	41,70	42,20	41,20	Izquierda	74	103	Falla E6
46,50	41,20		42,20	46,60	Izquierda	24	261	Falla E7
55,00	55,00	51,90	48,90	48,90	Derecho	89	326	Falla E8
60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	Derecho	88	40	Falla E9
						88	351	Diaclasa
						66	61	
						24	176	
68,50	68,10	66,70	65,30	64,70	Izquierda	89	170	Falla E10
					Derecha	80	352	Diaclasa
						79	78	
						29	207	
					Izquierda	76	56	Diaclasa Lateral C
						80	347	
						4	231	
		69,00						Lateral C
79,30	79,30	83,25	87,00	87,00	Izquierda	89	56	Falla E11
87,00	93,00	94,80	96,70		Izquierda	28	157	Falla E12
			96,70	89,00	Derecha	34	61	Falla E13
93,30	93,30				Izquierda	80	10	Diaclasa
						64	250	
						23	163	
99,70	97,80	96,60			Izquierda	53	320	Falla E14
98,20	98,20	104,80	109,00	109,00	Izquierda	86	46	Falla E15
100,90	100,90		95,30	95,30	Izquierda	80	356	Falla E16
112,60	112,60		105,20	105,20	Derecha	81	356	Falla E17
117,00	117,00		112,10	112,10	Derecha	86	355	Falla E18
123,50	123,50		134,70	134,70	Izquierda	78	55	Falla E19
140,90	140,90				Izquierda	83	7	Diaclasa
						86	83	
						12	169	
149,00	149,00	147,55	146,20	146,20	Derecha	86	343	Falla E20

DISTANCIA					LATERAL	BZ	DB	TIPO
IZQUIERDA		CENTRO	DERECHA					
PISO	TECHO		TECHO	PISO				
151,80	151,80		159,00	159,00	Derecha	73	60	Falla E21
153,50	153,50		151,20	151,20	Izquierda	88	356	Falla E22
159,00	159,00		167,20	167,20	Derecha	65	335	Falla E23
162,80	162,80		168,00	168,00	Izquierda	89	41	Falla E24
169,20	169,20		181,50	181,50	Derecha	89	234	Falla E25
183,60	184,30	184,00	183,75	182,80	Izquierda	74	191	Falla E26
			185,50	185,50	Derecha	89	226	Diaclasa
						86	272	
			189,00	189,00		21	162	
			189,00	189,00	Derecha	86	335	Diaclasa
						81	272	
			195,10	195,10		37	217	
189,70	195,50				Izquierda	18	138	Falla E27
193,60	199,00				Izquierda	22	200	Empaquetamiento Inf. E27
200,10	199,80	200,10	200,50	200,50	Derecha	67	8	Falla E28
		205,00						Lateral D
209,00	212,80				Izquierda	22	161	Falla E29
215,10	223,10	223,10	223,10	212,30	Derecha	28	196	Falla E30
		224,50						Lateral E
224,50	224,20	225,50	226,80	226,80	Derecha	81	326	Falla E31
239,50	239,50				Izquierda	84	273	Diaclasa
						89	338	
						23	198	
241,10	241,10	241,10	241,10	241,10	Izquierda	88	35	Falla E32
Lateral E								
3,80	3,80	2,40	1,10	1,10	Derecha	88	268	Falla E33
8,50	8,50	7,55	6,60	6,60	Izquierda	88	270	Falla E34
Lateral EB								
5,40	5,40	6,70	8,00	8,00	Derecha	89	334	Falla E35
			5,60	5,60	Derecha	81	326	Falla E31
			8,00	8,00		88	81	Diaclasa
					89	334		
					17	177		

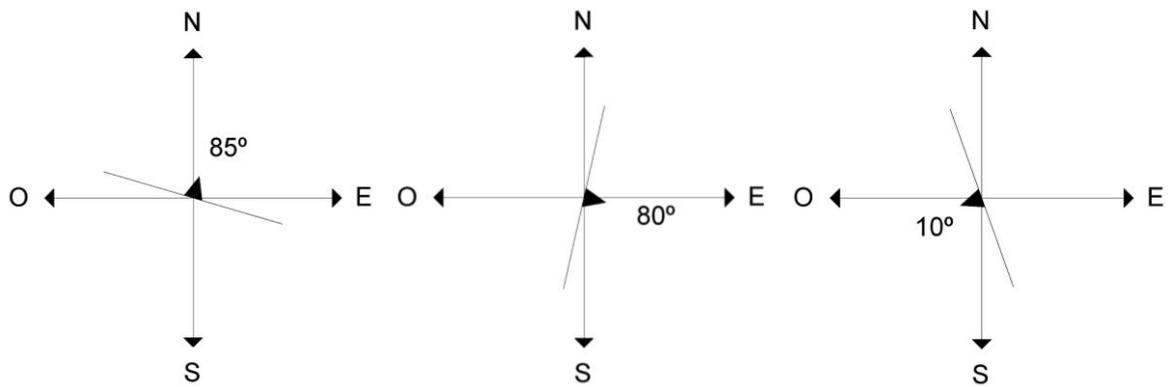
## APÉNDICE B



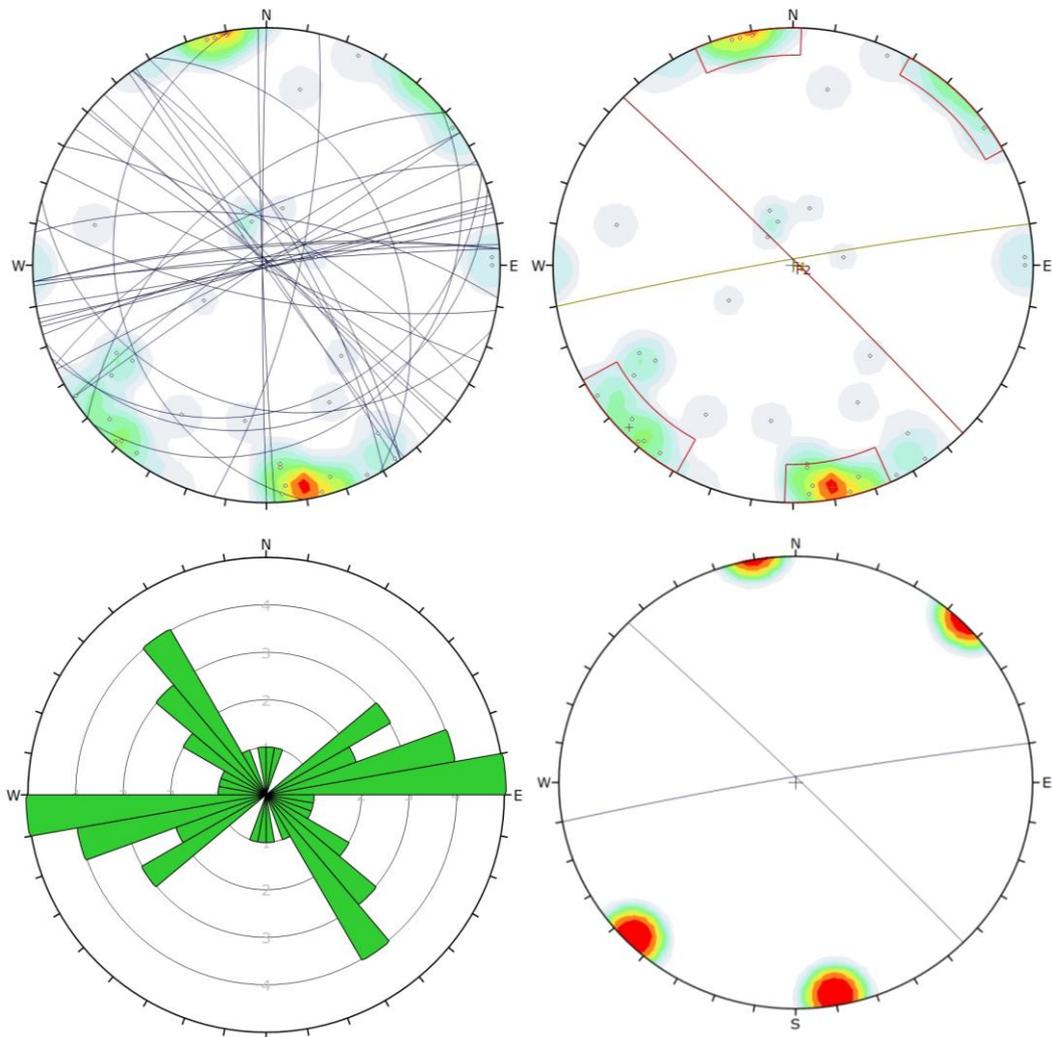
**Ilustración 7.1 Representación gráfica de los esfuerzos principales de diaclasas.**



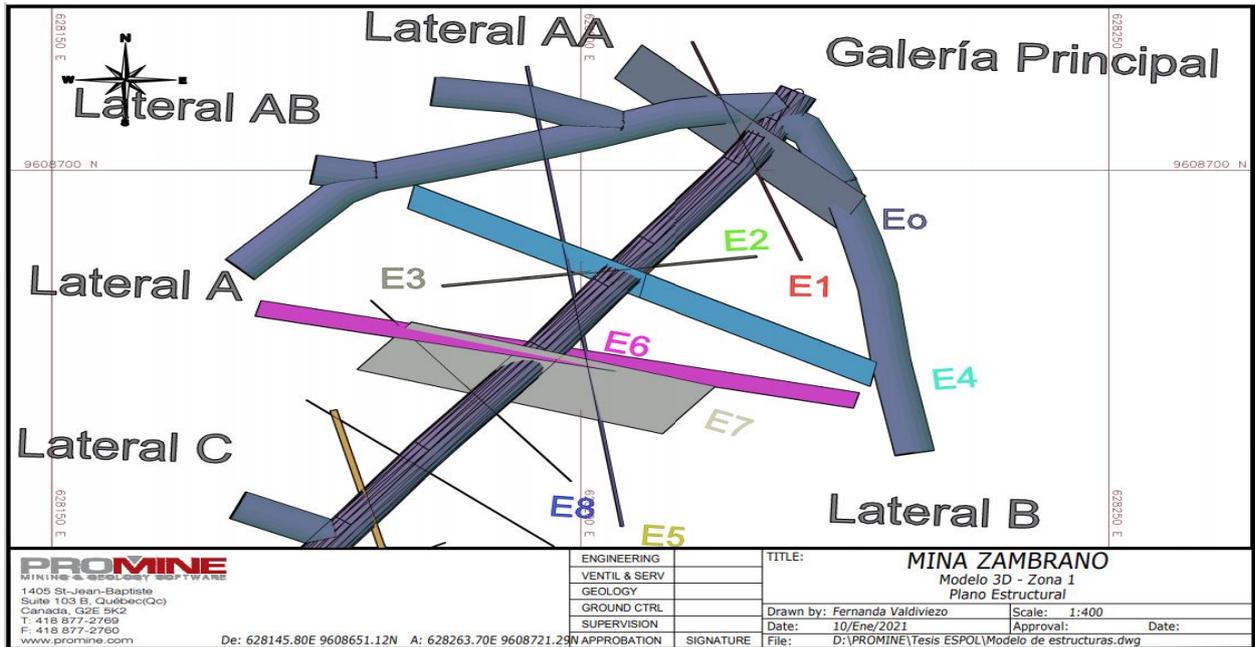
**Ilustración 7.2 Densidad de polos, posibles fallas principales de familia de diaclasas, diagrama de rosetas y concentración de esfuerzos.**



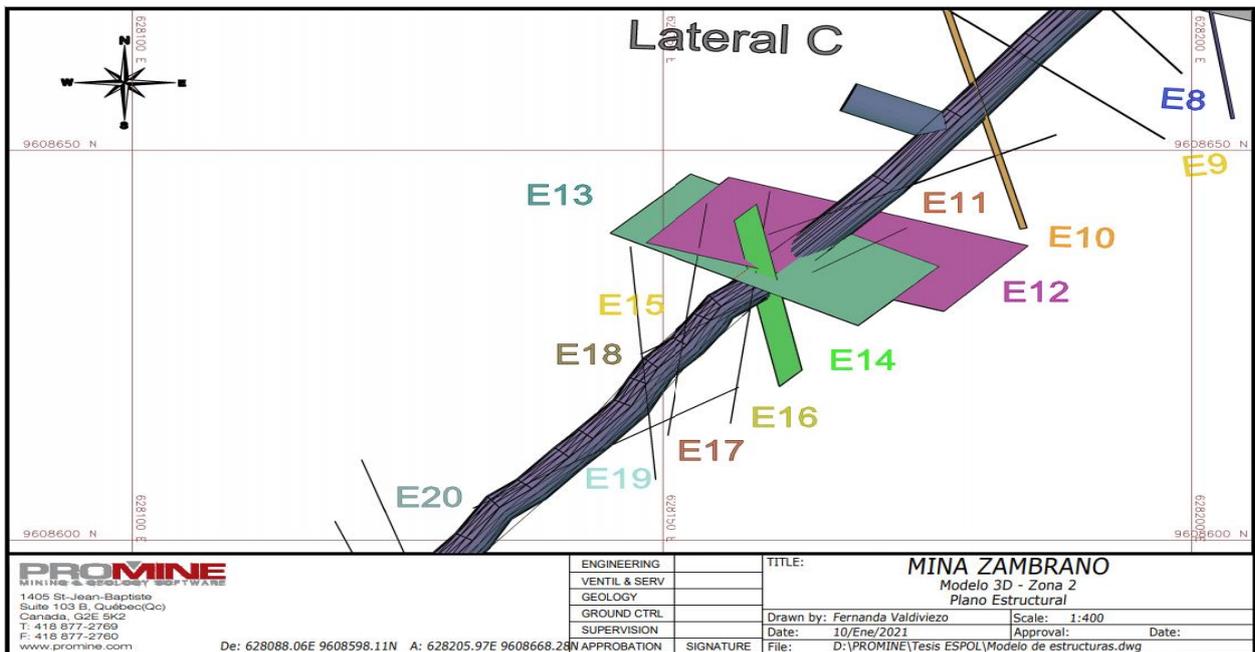
**Ilustración 7.3 Representación gráfica de los esfuerzos principales de fallas.**



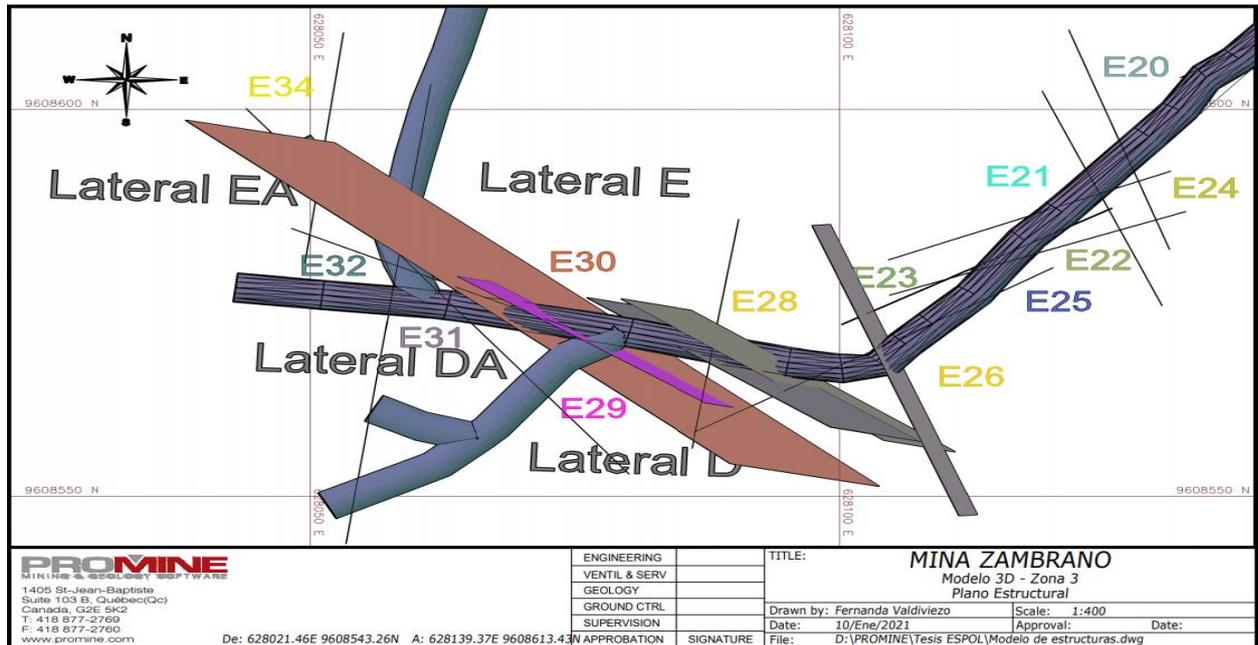
**Ilustración 7.4 Densidad de polos, posibles fallas principales, diagrama de rosetas y concentración de esfuerzos.**



**Ilustración 7.5 Zona 1 de interés.**



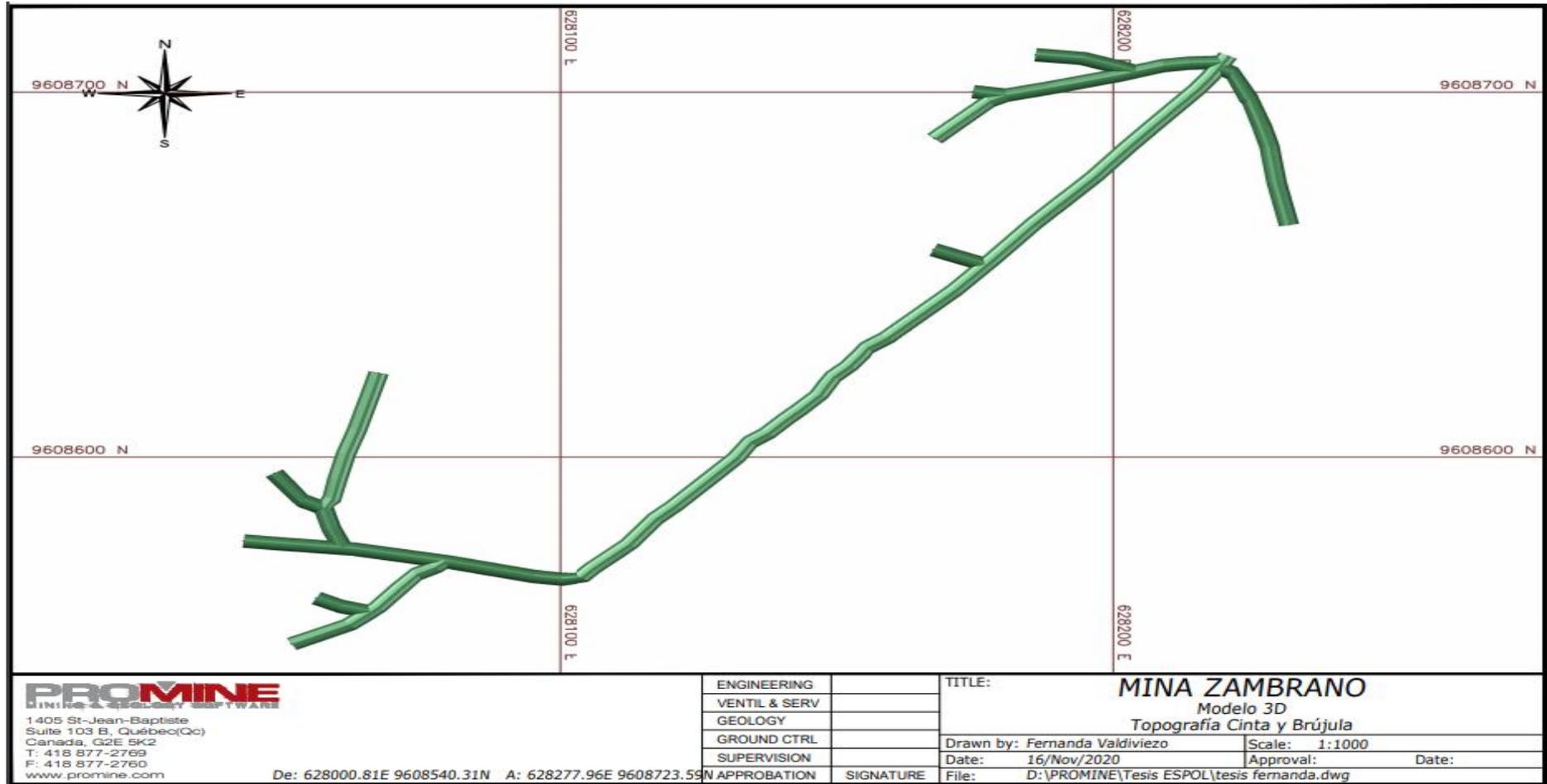
**Ilustración 7.6 Zona 2 de interés.**



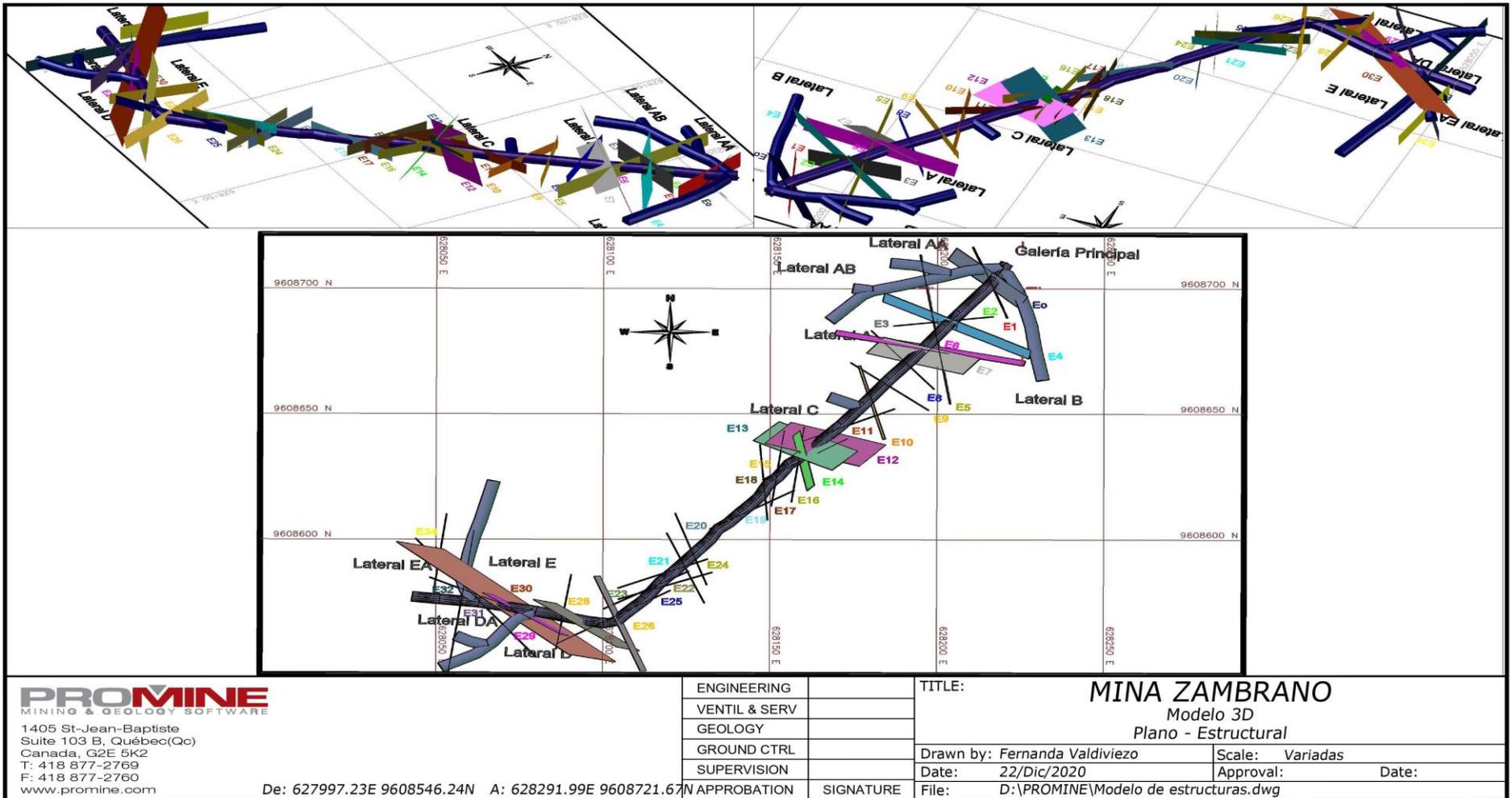
**Ilustración 7.7 Zona 3 de interés.**

# APÉNDICE C

## PLANOS



Plano 1 Plano Topográfico de la Mina Zambrano – Modelo 3D.



**PROMINE**  
MINING & GEOLOGY SOFTWARE

1405 St-Jean-Baptiste  
Suite 103 B, Québec(Qc)  
Canada, G2E 5K2  
T: 418 877-2769  
F: 418 877-2760  
www.promine.com

De: 627997.23E 9608546.24N A: 628291.99E 9608721.67N

ENGINEERING	
VENTIL & SERV	
GEOLOGY	
GROUND CTRL	
SUPERVISION	
APPROBATION	SIGNATURE

TITLE: <b>MINA ZAMBRANO</b>	
Modelo 3D	
Plano - Estructural	
Drawn by: <i>Fernanda Valdiviezo</i>	Scale: <i>Variadas</i>
Date: <i>22/Dic/2020</i>	Approval: _____ Date: _____
File: <i>D:\PROMINE\Modelo de estructuras.dwg</i>	

**Plano 2 Plano Estructural de la Mina Zambrano – Modelo 3D**

## APÉNDICE D

### FOTOGRAFÍAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### Planos de Fallas



Ilustración 7.8 Estructura 1 y 2 (E1 y E2), en la segunda estructura existe una intersección de planos con la estructura 3, aproximadamente de una potencia de 10 cm.

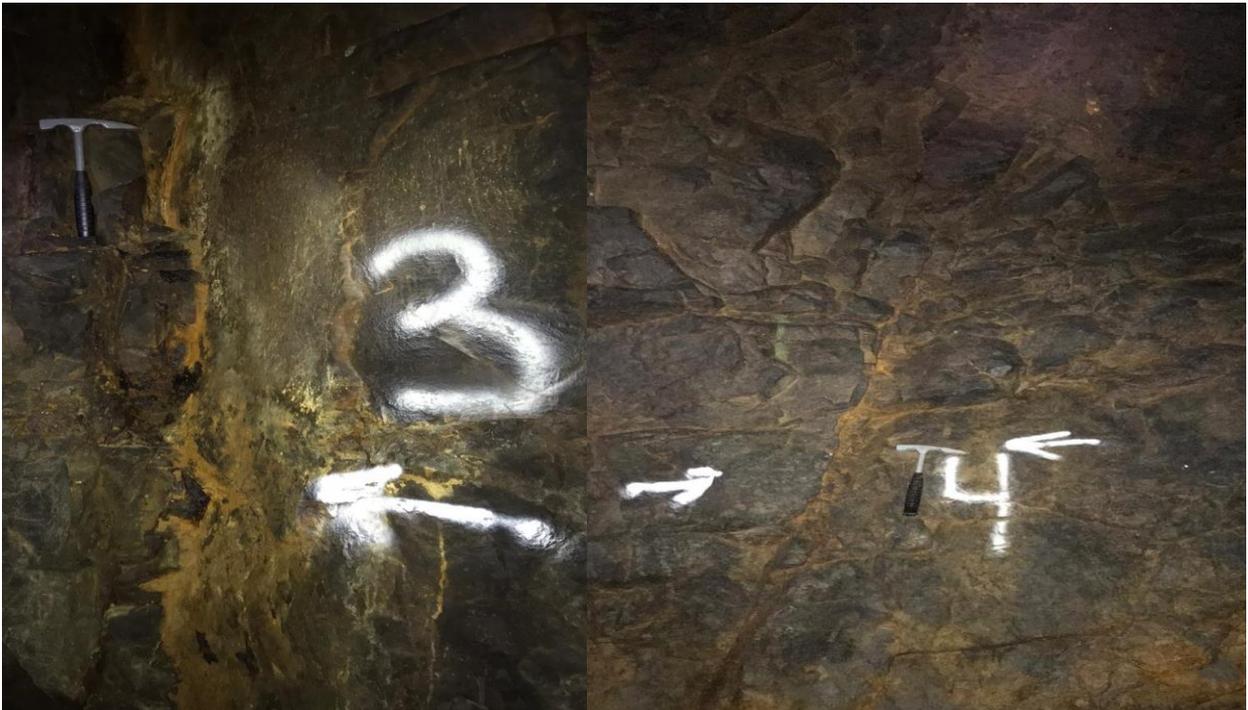
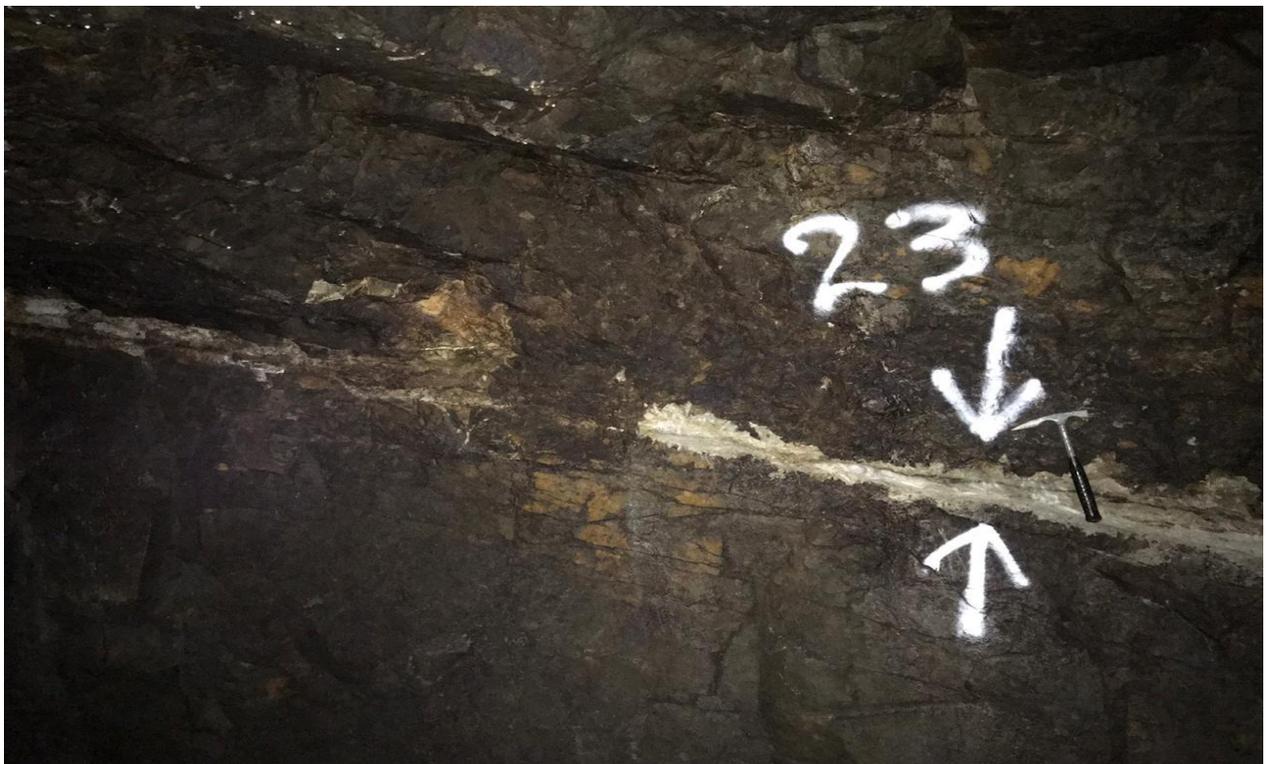


Ilustración 7.9 Estructura (E3 y E4), la tercera se muestra una falla con una potencia de 1 m y la cuarta es una estructura cola de caballo.



**Ilustración 7.10 Falla Inversa (E8) en la pared izquierda a unos 50 m de la bocamina, en el techo se interseca con el plano de falla 9 (E9)**



**Ilustración 7.11 Falla Normal importante con potencia de 15 cm de relleno de arcilla (milonita).**

## Actividades Laborales



**Ilustración 7.12 Deslizamiento producido por el factor lluvia y retiro del material.**



**Ilustración 7.13 Voladura primaria y secundaria (rocas con sobretamaño).**



**Ilustración 7.14 Perforación de Drill en zona altamente fallada.**



**Ilustración 7.15 Topografía y muestreo para determinar nuevas zonas de explotación.**