



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS CONTROLES
ESTRUCTURALES EN EL SISTEMA DE VETAS
POLIMETÁLICAS DE LA UNIDAD OPERATIVA TICLIO –
VOLCAN

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. ELMER TITO MAMANI PAREDES

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2018



DEDICATORIA

A mi hermosa madre María Paredes Zegarra (QEPD) por darme la dicha de vivir y estar conmigo durante mis cinco primeros años de vida, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente a tan temprana edad.

A mi grandioso padre Marcelino Mamani Benito por enseñarme el coraje para enfrentar la vida, por confiar en mí y estar ahí cuando lo necesite.

A Dayanara Leon Escobedo por apoyarme y motivarme siempre, por corregir y andar conmigo los pasos que aún tengo por recorrer.

Elmer



AGRADECIMIENTO

A la empresa VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A. representado por el Gerente de Geología Jorge Chávez Manrique y el Superintendente de Geología Evaristo Campos Pucuhuanca, por su apoyo y facilidad para realizar el presente trabajo.

A mi asesor, el M.Sc. Flavio Rosado Linares por su incalculable apoyo y paciencia en el desarrollo del presente trabajo.

A todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, por brindarme sus enseñanzas y experiencias en mi etapa de formación universitaria.

A mis amigos: Carlos Figueroa, Evaristo Campos, Victor Rivasplata, Luigi Paredes, Richard Chapilliquen que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora seguimos siendo amigos.

Elmer



INDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN..... 13

ABSTRACT 14

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. GENERALIDADES 15

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 15

1.2.1. Formulación del problema 15

1.2.2. Justificación de la Investigación 16

1.3. HIPOTESIS 16

1.4. OBJETIVOS..... 16

1.4.1. Objetivos Generales 16

1.4.2. Objetivos Específicos..... 16

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CONTEXTO LITOESTRATIGRAFICO REGIONAL 17

2.1.1. Estratigrafía 17

2.1.2. Rocas Intrusivas 24

2.2. CONTEXTO GEOTECTONICO Y ESTRUCTURAL 26

2.2.1. Ciclo orogénico andino 27

2.2.2. Geología Estructural..... 29

2.3. CONTEXTO METALOGENETICO 38

2.3.1. Franja de Porfidos de Cu – Mo(Au), Skarns de Pb-Zn-Cu (Ag) y depósitos Polimetálicos Relacionados con Intrusiones del Mioceno ... 38

2.3.2. Yacimientos Cordilleranos..... 39



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. GENERALIDADES	41
3.1.1. Ubicación y Accesibilidad	41
3.1.2. Propiedades Mineras	41
3.1.3. Rasgos Fisiográficos, Flora y fauna	41
3.1.4. Aspectos Sociales	42
3.2. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS	42
3.2.1. Altiplano.....	42
3.2.2. Altas Cumbres	42
3.2.3. Valles.....	43
3.3. MARCO GEOLOGICO LOCAL	43
3.3.1. Estratigrafía local	43
3.3.2. Rocas Intrusivas	44
3.3.3. Geología Estructural Local	47
3.4. MATERIALES DE TRABAJO	49
3.5. METODOLOGIA DE TRABAJO	50
3.5.1. Recopilación de Información	50
3.5.2. Trabajo de Campo	51
3.5.3. Trabajo de Gabinete	52

CAPITULO IV

EXPOSICION Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1. DETERMINACION DE LA DIRECCION DE ESFUERZOS PRINCIPALES QUE CONTROLAN EL SISTEMA PRINCIPAL DE CIZALLAMIENTO	53
4.1.1. Veta Ramal Techo W	53
4.1.2. Veta Ramal Techo E	55
4.1.3. Veta San Gregorio.....	58
4.1.4. Veta Julisa	60
4.1.5. Veta Kelly	63
4.1.6. Veta Lorena.....	65
4.1.7. Veta Falla Ticlio R1	67
4.2. PROPUESTA DE MODELO ESTRUCTURAL PARA EL CONTROL DE LA MINERALIZACIÓN.....	70
4.2.1. Modelo Estructural Ticlio	70
4.3. IDENTIFICACION DE TARGETS DE EXPLORACIÓN	72



V. CONCLUSIONES.....	73
VI. RECOMENDACIONES	74
VII. BIBLIOGRAFIA.....	75
ANEXOS.....	78

Área : Geología de Minas

Tema : Análisis e Interpretación Estructural

FECHA DE SUSTENTACION: 05 de diciembre 2018



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:Columna litoestratigrafica Regional Ticlio	26
Figura 2: Curvas Esfuerzo – Deformación para comportamiento frágil, frágil-dúctil ...	30
Figura 3:Tipos de falla por procesos extensivos (falla normal), compresivos (falla inversa) y de cizalla (falla de rumbo)	31
Figura 4: Datos estructurales a obtener en el campo	31
Figura 5: Fracturamiento según Anderson.....	32
Figura 6: Resumen sobre las diferentes estructuras asociadas que podemos encontrar en una zona de falla a diferentes escalas	33
Figura 7: Izq: resumen para la compresión-extensión más típicas que puede encontrarse en una zona de falla, Der: probabilidad de encontrar grandes o pequeñas masas minerales.	34
Figura 8: Tectoglifos – Criterio de sentido de movimiento de fallas.	38
Figura 9: Zonación normal	40
Figura 10: Zonacion Contraida	40
Figura 11: Contacto de la Diorita Anticona con la Formación Jumasha (Calizas).....	44
Figura 12: : Dique de Cuarzomonzonita cortando a la Diorita Anticona. ACC 562, Veta Kelly.....	45
Figura 13: Columna Estratigráfica de la Unidad Ticlio.....	46
Figura 14 : Intersección de fallas inversas por fallas normales	48
Figura 15: Mapa Geológico – Estructural de la Unidad Ticlio.(VOLCAN)	49
Figura 16 Data estructural – Ramal Techo W en vista 3D.:	53
Figura 17: Diagrama de Rosas para la dirección, dirección de buzamiento y buzamiento de la veta Ramal Techo W.	53
Figura 18: Vista de los planos y polos de la veta Ramal Techo W	54



Figura 19: Recristalización al abrigo de la falla Principal Veta Ramal Techo W.	54
Figura 20: Dirección de esfuerzos principales sobre la veta Ramal Techo W.	55
Figura 21: Data estructural – Ramal Techo E en vista 3D.	55
Figura 22: Diagrama de Rosas para la dirección, dirección de buzamiento y buzamiento de la veta Ramal Techo E.	56
Figura 23: Vista de los planos y polos de la veta Ramal Techo E.	56
Figura 24: Recristalización al abrigo de la falla Principal Veta Ramal Techo E.	57
Figura 25: Dirección de esfuerzos principales sobre la veta Ramal Techo E.	58
Figura 26: Data estructural – San Gregorio en vista 3D.	58
Figura 27: Diagrama de Rosas para la dirección, dirección de buzamiento y buzamiento de la veta San Gregorio.	58
Figura 28: Vista de los planos y polos de la veta San Gregorio	59
Figura 29: Estructuras de tipo R1 asociada a los planos de falla de la veta San Gregorio.	60
Figura 30: Dirección de esfuerzos principales sobre la veta San Gregorio	60
Figura 31: Data estructural – veta Julisa en vista 3D.	60
Figura 32: Diagrama de Rosas para la dirección, dirección de buzamiento y buzamiento de la veta Julisa.	61
Figura 33: Vista de los planos y polos de la veta Julisa	61
Figura 34: Fallas asociadas a la falla principal de la veta Julisa, nótese las fallas de tipo R1 que se desprenden tanto al piso y techo de la falla.	62
Figura 35: Dirección de esfuerzos principales sobre la veta Julisa	62
Figura 36: Data estructural – veta Kelly en vista 3D.	63
Figura 37: Diagrama de Rosas para la dirección, dirección de buzamiento y buzamiento de la veta Kelly.	63



Figura 38: Vista de los planos y polos de la veta Kelly.....	64
Figura 39: Recristalización al abrigo de la falla Principal veta Kelly	64
Figura 40: Dirección de esfuerzos principales sobre la veta Kelly.....	65
Figura 41: Data estructural – veta Lorena en vista 3D.	65
Figura 42: Diagrama de Rosas para la dirección, dirección de buzamiento y buzamiento de la veta Lorena.	66
Figura 43: Vista de los planos y polos de la veta Lorena.	66
Figura 44: Recristalización al abrigo de la falla Principal veta Lorena.....	67
Figura 45: Dirección de esfuerzos principales sobre la veta Lorena.	67
Figura 46: Data estructural – Falla Ticlio R1 en vista 3D.....	68
Figura 47: Diagrama de Rosas para la dirección, dirección de buzamiento y buzamiento de la Falla Ticlio R1.....	68
Figura 48: Vista de los planos y polos de la Falla Ticlio R1.....	68
Figura 49: JOG en superficie de afloramiento de la Falla Ticlio R1.....	69
Figura 50: Dirección de esfuerzos principales sobre la Falla Ticlio R1	70
Figura 51: Diagrama de Rosas de las 7 estructuras analizadas.....	70
Figura 52: Diagrama de Rosas con la ubicación de las estructuras analizadas según su dirección.....	70
Figura 53: Estructuras analizadas y relacionadas con los componentes de un fracturamiento tiempo Riedel.	71
Figura 54: Dirección de los Paleoesfuerzso principales en la Unidad Ticlio.	72



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Acceso a la Unidad Ticlio	41
Tabla 2: Lista de materiales, equipos y softwares utilizados en el proceso de la investigación.....	50



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

a	: Área
Ac	: Acceso
ARC GIS	: Software de Sistemas de Información Geografica
Cpy	: Calcopirita
DEXTRAL	: Sentido de movimiento a la derecha de un bloque
Dip Azimuth	: Dirección de Buzamiento
Dip	: Buzamiento
ENE	: Este Noreste
f	: Fuerza
Gn	: Galena
has	: Hectáreas
INGEMMET	: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
M.A.	: Millones de Años
m	: Masa
m.s.n.m.	: Metros sobre el nivel del mar
NE	: Noreste
NNE	: Nor Noreste
NO	: Noroeste
NV	: Nivel
Pitch	: Cabeceo o Rake de un plano de falla, diaclasa, veta, etc
R1	.. Sistema de fallas sintéticas a una falla maestra
R2	: Sistema de fallas antitéticas a una falla maestra
REFLEX	: Equipo para medición de desviaciones en sondajes diamantinos
RHR	: Right Hand Ruler (Regla de la mano derecha)



RP	: Rampa
SE	: Sureste
Sigma 1 (σ_1)	: dirección de esfuerzos compresivos
Sigma 3 (σ_3)	: Dirección de esfuerzos Extensivos
SINISTRAL	: Sentido de Movimiento a la izquierda de un bloque
SN	: Subnivel
SSW	: Sur suroeste
Strike	: Rumbo o azimut de un plano de falla, diaclasa, veta, etc.
SW	: Suroeste
Tectoglifos	: Indicadores visuales en una zona de falla que indican el sentido de movimiento
UTM	: Universe Transverse Mercator
WNW	: Oeste Noroeste
WSW	: Oeste Suroeste



RESUMEN

La Unidad Operativa Ticlio se ubica en el límite de los distritos Chicla de la Región Lima y Morococha de la Región Junín, está a 130 kilómetros de la ciudad de Lima por la Carretera Central. La litología predominante es de edad Cretácica a Cenozoica con la formación Jumasha y las Capas Rojas de la formación Casapalca respectivamente, los intrusivos Anticona (Diorita) de 14.07 – 14.11 M.A. y Pórfido Ticlio (Cuarzomonzonita) de 8.4 M.A. La geomorfología de la zona está comprendida por zonas altiplánicas, altas cumbres y valles de tipo “U”. La zona de trabajo presenta un intenso tectonismo donde destacan: fallas de Rumbo Andino, fallas inversas en zona de plegamiento, fallas normales, fallas inversas y pliegues sobre las areniscas del grupo Mitu hasta las calizas de la formación Jumasha. Actualmente en la unidad se vienen explotando siete estructuras mineralizadas (vetas): Ramal Techo, Principal, Giuliana, Julisa, Kelly, Escondida y Borrachitos, todas con dirección NE, sin embargo, existen estructuras sin explotar con dirección NW como: Manto Adrian, Falla Ticlio R1, Susan y Diagonal. Para el siguiente trabajo de investigación se trabajaron sobre siete estaciones estructurales (estructuras mineralizadas): Ramal Techo W, Ramal Techo E, San Gregorio, Falla Ticlio R1, Julissa, Kelly y Lorena. La data fue recopilada de interior mina y en superficie. Los resultados para la determinación de los esfuerzos principales σ_1 y σ_3 para las siete estaciones estructurales son: **Ramal Techo W $\sigma_1= 288/05$ y $\sigma_3= 026/55$, Ramal Techo E $\sigma_1= 122/02$ y $\sigma_3= 030/50$, San Gregorio $\sigma_1= 122/16$ y $\sigma_3= 338/70$, Julisa $\sigma_1= 261/02$ y $\sigma_3= 352/30$, Kelly $\sigma_1= 265/03$ y $\sigma_3= 357/30$, Lorena $\sigma_1= 261/02$ y $\sigma_3= 352/23$ y Falla Ticlio R1 $\sigma_1= 087/46$ y $\sigma_3= 179/02$.** Además se pudo determinar una dirección de paleoesfuerzo principal como resultado obtenemos: **$\sigma_1= 097/04$ y $\sigma_3= 004/41$.** Al obtener la dirección de los esfuerzos principales y previamente haber identificado la cinemática de todas las estructuras investigadas, se obtiene un modelo estructural en base al modelo de fracturamiento de Riedel, donde se identifican los targets principales y con prioridades para su exploración diamantina y superficial: Estructuras de tipo R entre Ramal Techo W y San Gregorio (Target 1), Continuidad de la veta Ramal Techo W en el extremo SW (Target 2) y las concesiones de la zona Norte (Target 3).

PALABRAS CLAVE: Análisis, Controles Estructurales, Polimetálico, Veta, Volcan.



ABSTRACT

The Ticlio Mine is located on the border of the Chicla districts of the Lima Region and Morococha of the Junín Region, 130 kilometers from the city of Lima along the Carretera Central. The predominant lithology is Cretaceous to Cenozoic with the Jumasha formation and the Red Beds of the Casapalca formation respectively, the Anticona intrusives (Diorite) from 14.07 - 14.11 M.A. and Porphyry Ticlio (Cuarzomonzonite) of 8.4 M.A. The geomorphology of the area is comprised of altiplanic zones, high summits and valleys of type "U". The work zone presents an intense tectonism where they stand out: Faults of Andean Course, inverse faults in the folding zone, normal faults, inverse faults and folds on the sandstones of the Mitu group up to the limestones of the Jumasha formation. Currently in the unit seven mineralized structures (veins) are being exploited: Ramal Techo, Principal, Giuliana, Julisa, Kelly, Escondida and Borrachitos, all with NE direction, however, there are unexploited structures with NW direction like: Manto Adrian, Falla Ticlio R1, Susan and Diagonal. For the following research work, seven structural stations (mineralized structures) were worked: Ramal Techo W, Ramal Techo E, San Gregorio, Falla Ticlio R1, Julisa, Kelly and Lorena. The data was collected from the interior mine and on the surface. The results for the determination of the main stresses σ_1 and σ_3 for the seven structural stations are: **Ramal Techo W $\sigma_1 = 288/05$ and $\sigma_3 = 026/55$, Ramal Techo E $\sigma_1 = 122/02$ and $\sigma_3 = 030/50$, San Gregorio $\sigma_1 = 122/16$ and $\sigma_3 = 338/70$, Julisa $\sigma_1 = 261/02$ and $\sigma_3 = 352/30$, Kelly $\sigma_1 = 265/03$ and $\sigma_3 = 357/30$, Lorena $\sigma_1 = 261/02$ and $\sigma_3 = 352 / 23$ and Falla Ticlio R1 $\sigma_1 = 087/46$ and $\sigma_3 = 179/02$. In addition, it was possible to determine a principal paleoestress direction as a result, obtaining: $\sigma_1 = 097/04$ and $\sigma_3 = 004/41$. When obtaining the direction of the main efforts and previously having identified the kinematics of all the structures investigated, a structural model is obtained based on the Riedel fracture model, where the main targets are identified and with priorities for its diamond drill and surface exploration: Structures of type R between Ramal Techo W and San Gregorio (Target 1), Continuity of the vein Ramal Techo W at the SW (Target 2) and the concessions of the North zone (Target 3).**

Key Words: Analysis, Structural controls, Polymetallic, Vein, Volcan.



CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. GENERALIDADES

Mediante el desarrollo del presente tema de investigación se pretende definir los principales estilos de deformación y fuente de mineralización de las vetas polimetálicas de la unidad minera Ticlio, a raíz de un trabajo exhaustivo de las características estructurales de las vetas principales que actualmente se encuentran en operación.

Los estudios y trabajos de campo en los niveles de operación subterránea 9, 10 y 11 de la unidad operativa Ticlio, demuestran que tiene características estructurales necesarias para ser considerada como un yacimiento controlado netamente por un modelo estructural.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Unidad de Ticlio se tenía la necesidad de entender el comportamiento de la geología estructural del yacimiento, esto debido a innumerables sondajes que se ejecutaron antiguamente sin el entendimiento estructural que debe predominar en un yacimiento tipo “filoneano”, así mismo reconocer los esfuerzos de compresión y extensión que posteriormente generaron las fallas que finalmente fueron mineralizadas.

Además, el incremento de las acciones por parte de la suiza GLENCORE sobre la peruana VOLCAN en el año 2017, significan claramente un interés en el potencial geológico que tienen las concesiones de VOLCAN, a razón de esto para el año 2018 se ha planificado invertir 27 millones de dólares en exploración y perforación diamantina.

La unidad Ticlio tiene un plan de 15 mil metros en su plan de perforación, equivalente a 2 millones de dólares, históricamente Ticlio no tiene un plan de perforación que haya superado los 7 mil metros por año.

El presente tema de investigación consiste en proponer un modelo estructural de la unidad para identificar targets de exploración, el entendimiento de los controles estructurales y esto a su vez pueda apoyar la gestión del presupuesto asignado para el año 2018.

1.2.1. Formulación del problema



1.2.1.1. Problema General

¿Es posible analizar e interpretar los controles estructurales en el sistema de vetas polimetálicas de la unidad operativa Ticlio?

1.2.1.2. Problema Especifico

- ¿Es posible determinar la dirección de esfuerzos principales que controlan el sistema principal de cizallamiento?
- ¿Es posible proponer un modelo estructural que controla la mineralización del yacimiento polimetálico de la unidad Ticlio?
- ¿Se podrá identificar targets de exploración en base al modelo estructural propuesto?

1.2.2. Justificación de la Investigación

El presente tema de investigación consiste en proponer un modelo estructural de la unidad para identificar targets de exploración, el entendimiento de los controles estructurales y esto a su vez pueda apoyar la gestión del presupuesto asignado para el año 2018 y los siguientes por ejecutar.

1.3. HIPOTESIS

El análisis de las características y el comportamiento estructural de las vetas definirá un modelo estructural para el proyecto, a su vez se identificará la dirección de los esfuerzos principales que permitan comprender la presencia de las estructuras y posibles zonas de exploración geológica y diamantina.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivos Generales

Realizar el análisis e interpretación de los controles estructurales en el sistema de vetas polimetálicas de la unidad operativa Ticlio.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la dirección de los esfuerzos principales que controlan el sistema principal del cizallamiento.
- Proponer el modelo estructural que controla la mineralización del yacimiento polimetálico de la unidad Ticlio.
- Identificar targets de exploración en base al modelo estructural



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CONTEXTO LITOESTRATIGRAFICO REGIONAL

2.1.1. Estratigrafía

Esta cadena Los estudios estratigráficos regionales realizados por el INGEMMET a escalas 1:100000 y 1:50000, reportan que todas las unidades litológicas se ubican sobre un basamento paleozoico.

El área de estudio que corresponde al cuadrángulo de Matucana, a continuación, se describen las diferentes unidades formacionales reconocidas en el área de estudio tomados del Boletín N° 36 (Salazar, 1983).

2.1.1.1. Grupo Excelsior (D-ex)

En el área de estudio, el Grupo Excelsior, está representado por las rocas más antiguas; se encuentra formando el núcleo del domo de Yauli. Estructuralmente presenta anticlinales de orientación NO-SE, dentro de una franja de afloramientos que comprende el área de Yauli-Carahuacra San Cristobal, y que consiste en lutitas pizarrosas, filitas negruzcas y areniscas esquistosas finamente estratificadas. Esta secuencia presenta los efectos de un metamorfismo regional, conteniendo numerosos lentes de cuarzo, los cuales son de mayor espesor en los núcleos de los anticlinales. Al sureste de San Cristobal, las filitas se alternan con horizontes de mármol. El grosor de la secuencia es desconocido.

Edad y Correlación. - En base a la fauna encontrada por HARRISON (1943), la serie metamórfica del Grupo Excelsior, ha sido determinada como de edad devoniana o más antigua.

Las rocas del Grupo Excelsior presentan los efectos de intenso plegamiento y fracturamiento, debido a la acción de la orogénesis Hercínica, además toda la secuencia posterior reposa en disconformidad.

Corresponde a la serie superior del Paleozoico inferior mapeada a lo largo de la Cordillera Oriental como Grupo Excelsior y en el sur del país como Grupo Cabanillas.



2.1.1.2. Grupo Mitu (Ps Ti-mi)

Este grupo fue estudiado por (Mc Laughling, 1924) en la localidad de Mitu (Goyllarisquizga), departamento de Pasco.

En el área de estudio el Grupo Mitu está presente en los alrededores de Morococha y en el domo de Yauli- San Cristobal. Está representado por un miembro de rocas clásticas rojizas de facies continental, tales como areniscas, conglomerados y brecha volcánica y por un miembro superior de rocas volcánicas denominado “Volcánico de Catalina”.

La serie clástica yace discordantemente sobre las rocas del Grupo Excelsior y está cubierta por los volcánicos Catalina, pero al SE de Morococha hay una unidad arenosa y conglomerádica, de color rojizo, de unos 200 m. de espesor, que yace sobre dichos volcánicos.

Los volcánicos Catalina afloran en el núcleo del anticlinal de Morococha, pero en forma más amplia se exponen en los alrededores del domo de Yauli-San Cristobal. yacen generalmente sobre la serie clástica rojiza del miembro inferior, pero localmente reposan sobre las filitas Excelsior. Consisten en derrames lávicos de dacita y andesita de color gris a verde, los que por intemperismo tomar un color marrón; hacia arriba existen brechas y aglomerados volcánicos.

El grosor del Grupo Mitu es muy variable debido a la distribución irregular de la serie clástica y volcánica. Así en Morococha (Mc Laughling, 1924) estimó 760 m. de espesor para los volcánicos Catalina. Al oeste de San Cristobal los volcánicos Catalina tienen 800 m.

Edad y Correlación .- El Grupo Mitu fue ubicado por (Mc Laughling, 1924) dentro del Carbonífero superior, pero por estudios posteriores se le considera en el Permiano medio. Corresponde a la serie molásica post-Tectónica hercínica.

2.1.1.3. Grupo Pucará (TsJi-pu)

El Grupo Pucará yace discordantemente sobre la serie clásica del Grupo Mitu o sobre los volcánicos Catalina. En la región central del país se designa con este nombre genérico a un conjunto de rocas calcáreas del Triásico superior - Jurásico inferior sugirió como nombre al término “Calizas Pucará”. Más tarde (Jenks, 1945), propuso el nombre de Grupo Pucará para estas mismas calizas.



El Grupo Pucará está expuesto en los alrededores de Morococha y Yauli, y más al sur constituye los núcleos de los anticlinales de Churria-Ruricocha y de Sultucocha, teniendo encima la serie marina cretácica que constituye el Grupo Goyllarisquizga. Otros afloramientos que destacan se encuentran en el sector NE de la hoja de Matucana, al SE y norte de Pachachaca, por donde pasa la Carretera Central extendiéndose ampliamente al cuadrángulo de La Oroya.

El Grupo Pucará consiste en una secuencia monótona de calizas gris claras, blanquecinas, en capas delgadas y medianas alternan ocasionalmente, con unidades de margas interestratificadas con areniscas calcáreas, lutitas gris violáceas y rojizas y niveles de calizas dolomíticas.

En el área de Morococha se intercalan horizontes volcánicos como: el basalto Montero y la Traquita Sacsacancha; allí generalmente la caliza contiene mineralización en vetas, mantos y cuerpos irregulares.

Este grupo infrayace concordantemente a la serie arenosa del Grupo Goyllarisquizga. Al sureste de Pachachaca y al este del anticlinal de Chumpe las calizas que yacen sobre el Grupo Mitu se intercalan con horizontes de derrames basálticos. En cambio, las calizas del lado oeste de este mismo anticlinal, no tienen volcánicos, pero sí un horizonte delgado con nódulos silíceos, que se intercalan con margas, lutitas y capas tufáceas; esta serie calcárea ha sido considerada como equivalente a la formación Aramachay del cuadrángulo de Huancayo.

La potencia del Grupo Pucará es variable; en el área de Morococha, (Terrones, 1949) ha calculado un espesor de 431 m; en los alrededores del domo de Yauli, su espesor se estima en 300m; en cambio más hacia el este (fuera del área) en los alrededores de La Oroya (Harrison , 1943) ha determinado 1,400 m.

Edad y Correlación.- En los pocos afloramientos reconocidos se localizaron fósiles (braquiópodos y ostreas) pero mal conservados; sin embargo, por su semejanza litológica y posición estratigráfica similar a la secuencia calcárea de la región central, se le asigna edad Triásico superior-Liásico.

Se le correlaciona con las formaciones Utcubamba, Chilingote y Suta del norte del país.



2.1.1.4. Grupo Goyllarisquizga(Ki-g)

Originalmente, este grupo fue llamado “areniscas Goyllarisquizga Jatunhuasi” (Mc Laughling, 1924), luego (Jenks, 1945), le dió el nombre de formación Goyllarisquizga; posteriormente WILSON (1963) la elevó a la categoría de “Grupo” involucrado toda la serie clástica y calcárea que está debajo de la caliza albiana. En consecuencia, la secuencia de areniscas de color pardo amarillento con algunas intercalaciones de cuarcitas y lutitas grises y rojizas que afloran en el área de estudio, son equivalente a las unidades de la cuenca del Cretáceo, representadas por las formaciones Oyón, Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat.

La secuencia del Grupo Goyllarisquizga está expuesta al norte, noreste y sureste de Morococha; en esta área destacan derrames o diques de diabasa y basalto; algunos de los cuales han sido mapeados. El espesor del Grupo Goyllarisquizga ha sido calculado por otros autores en aproximadamente 400 m.

Otros afloramientos de la serie clástica del Grupo Goyllarisquizga se exponen en los flancos de los pliegues del lado oeste del ancinal de Chumpe, hasta cerca de la Divisoria Continental, consistiendo en areniscas cuarcíticas blanquecinas con intercalación de lutitas y limolitas rojizas en la base y con areniscas calcáreas y lutitas grises en la parte superior, su grosor se estima en 250m. Yacen concordantemente sobre el Grupo Pucará y debajo de las calizas de la formación Chúlec.

Edad y Correlación.- Esta unidad no es fosilífera pero por infrayacer al Albiano se considera como parte del intervalo Neocomiano-Aptiano, correspondiendo, en la parte oc- cidental, a las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat.

2.1.1.5. Formación Chulec (Ki-ch)

Esta unidad fue descrita inicialmente por (Mc Laughling, 1924), en la región central del país, como miembro inferior de las calizas Machay; posteriormente (Benavides , Cretaceous System in northern Perú, 1956) la elevó a la categoría de “formación”.

En el área de estudio se ha reconocido esta formación en la quebrada Huanchurina, (sector NO de la Hoja de Matucana), la cual se extiende hasta cerca de la mina Venturosa y hacia el sur hasta las cabeceras de la quebrada Cancha; en el primer caso se ha mapeado junto con las calizas de las formaciones Pariahuanca y



Pariatambo; en el segundo caso se ha mapeado toda la secuencia calcárea del Cretáceo en forma indiferenciada.

Litológicamente consiste en calizas grises con capas medianas que se intercalan con niveles de capas delgadas, de 5 a 30 cm., y con capas gruesas ocasionalmente se intercalan calizas margosas y margas color pardo grisáceo. En un horizonte se encontró amonites y lamelibranquios (*Ostrea* y *Liopistha*). El grosor se estima en 200 m.

Esta formación también se ha reconocido con una litología similar en afloramientos expuestos en el ángulo NE de la hoja de Huarochirí y en el ángulo SE de la hoja de Matucana, donde también se encontró horizontes fosilíferos con amonites. En esta localidad está bien expuesta la relación de concordancia de la formación Chúlec sobre Pariahuanca y debajo de Pariatambo.

Edad y Correlación.- Los fósiles encontrados en la formación Chúlec, dentro del área de trabajo, son comunes a los de otras localidades del centro del país; se asocia a amonites de la zona *Knemiceras raimondii*, de la parte basal del Albiano medio, correlacionable con la parte inferior de la formación Crisnejas (Andes del norte).

2.1.1.6. Formación Pariatambo (Ki-pt)

Esta formación fue descrita inicialmente por MCLAUGHLIN (1924) como miembro superior de la formación Machay; V. BENAVIDES (1956), la elevó a la categoría de “formación”.

En el área de estudio se encuentran las localidades donde los autores anteriores han descrito a la Formación Chúlec. Litológicamente, consiste en calizas y margas bituminosas de color negruzco e intercalan calizas oscuras en capas delgadas con tendencia a desprenderse en forma de lascas; tiene horizontes con bastante *Oxytropidoceras*. El grosor de la formación se estima en 80m.

Sobreyace e infrayace concordantemente a las formaciones Chúlec y Jumasha, respectivamente contrastando por su color negruzco.

Edad y Correlación.- Se ha encontrado el amonite *Oxytropidoceras carbonarium* (GABB) que caracteriza la parte superior del Albiano medio.



Esta unidad tiene amplia distribución en la región andina central y septentrional del país hacia la región del Marañón se le correlaciona con la parte superior de la formación Crisnejas.

2.1.1.7. Formación Jumasha (Ks-j)

Esta formación fue descrita por MCLAUGHLIN (1924) en los acantilados Jumasha de la laguna Punrun.

En el área de estudio, la formación Jumasha consiste en calizas grises y gris amarillentas, estratificadas en capas medianas y gruesas, donde se encontraron restos de fósiles mal conservados. Se le ha mapeado en el NO de la hoja de Matucana, en los núcleos anticlinales fallados del área de Sangrar-Túnel Trasadino-laguna Jupay y en los núcleos de sinclinales del área entre la mina Venturosa y laguna Acococha. Al sur de este último lugar, se expone en los flancos de la quebrada Pancha, hasta el río Rimac (sector de Tambo de viso), una potente secuencia de rocas calcáreas en capas delgadas, medianas y ocasionalmente gruesas, de color gris claro y oscuro, alternando subordinadamente con horizontes delgados de margas y lutitas gris amarillentas.

Esta unidad está plegada y fallada en sus límites occidental y oriental y se considera que gran parte de ella corresponde a la formación Jumasha con posibilidad de que haya parte de la formación Celendín; por esta razón en el mapa este afloramiento ha sido mapeado como calizas cretáceas indiferenciadas.

Otros afloramientos de calizas Jumasha ocurren en fajas alargadas al pie de fallas longitudinales NO-SE; ellos están presentes en el valle del río Rimac en el sector de Puente El Infiernillo; también al oeste y NO de Yuracmayo, en el valle del Río Blanco.

En el sector SE de la hoja de Matucana y al NE de la hoja de Huarochirí, se le encuentra a la formación Jumasha en posición concordante sobre la formación Pariatambo; su grosor en este lugar puede llegar a los 300 m. Pequeños afloramientos calcáreos del área de Calahuaya y quebrada Mariatana del sector marginal oriental del batolito, son considerados como pertenecientes a la formación Jumasha.

Edad y Correlación. - En el área de estudio no se han encontrado fósiles que precisen su edad, pero por su posición concordante sobre la formación Pariatambo y debajo de Celendín se le asigna edad Albiano superior-Turoniano.



2.1.1.8. Formación Casapalca (Kp-ca)

Una gruesa secuencia de rocas clásticas, rojizas, se exponen en una franja que se observa a lo largo de la parte alta de la Cordillera Occidental. Así en las cabeceras del valle del río Rimac (Mina Casapalca) se encuentra la localidad típica donde MC LAUGHLIN (1924), le asignó el nombre de Formación Casapalca. Dicha unidad yace en discordancia erosional sobre las calizas de la Formación Jumasha.

En el sector norte de la hoja de Matucana, descansa sobre las lutitas, margas y calizas de la Formación Celendín (Iscumachay-Sangrar), siendo generalmente los contactos anormales por fallamientos.

En el tope, está cubierta, discordantemente por la serie volcánica-piroclástica de la Formación Carlos Francisco.

A la formación Casapalca, de ambiente continental, localmente se le ha dividido en un miembro inferior denominado “Casapalca” y un miembro superior llamado “El Carmen”, los mismos que, aunque no están diferenciados en el mapa, en el presente informe se les describe separadamente.

Miembro inferior “Casapalca”.- Consiste en intercalaciones de areniscas, limolitas y lutitas rojizas, que ocasionalmente, alternan con areniscas calcáreas y areniscas guijarrosas marrón claro; la estratificación es en capas delgadas y medianas, con algunos horizontes que presentan estratificación cruzada. Dentro de la secuencia cruzada. Dentro de la secuencia destacan, por lo menos, tres niveles de calizas blanquecinas en capas gruesas y uno o dos paquetes conglomerados con cantos de cuarcita y caliza en matriz limo-arcillosa. Esta secuencia, que se reconoce en la sección al suroeste de Pomacocha, se encuentra plegada y fallada lo que confunde la relación de unidades. En la quebrada de Hyricancha hay una unidad de unos 30m. de conglomerados cuarcítico y calcáreo, en la parte media de la secuencia, constituida por limolitas y areniscas rojizas. En el área de Casapalca también aflora una potente secuencia de capas rojas con unidades de conglomerado y caliza pero que por plegamiento y fallamiento están aparentemente en posición anormal. Para este miembro otros autores han estimado un espesor de 1,300 m.

Miembro superior “El Carmen”.- Consiste en bancos de 2 a 5m. de conglomerado cuarcítico, algo calcáreo de matriz rosácea con cantos redondeados de



1 a 10 cm. de diámetro; en menor proporción existen gravas pequeñas y algunos bloques grandes dentro de una matriz areno-limosa; ocasionalmente se intercalan capas de areniscas y limolita rojiza. Entre los elementos del conglomerado raramente se encuentra rocas ígneas.

Este miembro se encuentra expuesto mayormente en los núcleos de los sinclinales y anticlinales entre el área de Casapalca-Buculic-Cotay y por el sureste hasta la laguna Pacushmoc. La mejor exposición se encuentra en la sección entre Pomacocha y Cotay donde presenta contacto transicional, sobre las capas rojas, estimándose un espesor que varía entre 100 a 250 m.

Otro afloramiento de la serie clástica de capas rojas se expone en el sinclinal de Socopecan, al norte de Morococha; allí consiste de una litología similar al miembro inferior de la formación Casapalca, su espesor no pasa los 900 m. y yace sobre las calizas de la formación Jumasha.

Edad y Correlación.- En el área de estudio no se han encontrado charofitas que ayuden a precisar la edad de la formación Casapalca, pero por sus relaciones estratigráficas y tectónicas se le limita, en la región central del país, entre el Cretáceo superior y el Eoceno medio.

2.1.2. Rocas Intrusivas

En este complejo se han considerado grupos de intrusiones menores distribuidos aisladamente en la zona alta de la Cordillera Occidental correspondiente al este y norte de la hoja de Matucana. Las unidades intrusivas varían en composición de básicas a ácidas, pues se ha reconocido diorita, tonalita, granodiorita, monzonita, también cuerpos de riodacita y andesita.

La mayoría de las unidades de intrusivos menores intruyen a las unidades formacionales de rocas mesozoicas; las zonas de contacto de las rocas encajonantes presentan en mayor o menor grado metamorfismo termal y de contacto; ésto sugiere que las unidades intrusivas del área en referencia corresponden al emplazamiento de las intrusiones menores ocurridas durante el Terciario medio a superior.

De los grupos de intrusiones menores reconocidos en el área de estudio se pueden resumir los siguientes:



Grupo Cochalupe-Cachipampa.- Aflora en los sectores este y central de la hoja de Huarochirí y consiste de diorita, tonalita, monzonita, granodiorita e hipabisales de dacita, andesita y cuerpos pequeños no reconocidos en zona de alteración.

Grupo Mesapata-Total.- Aflora en el sector EN de la hoja de Huarochirí y SE de la hoja de Matucana, está representado por unidades de diorita, andesita y riodacita.

Grupo Pacococha-Huarascancha.- Aflora en el área sur y central de la hoja de Matucana. Se han reconocido unidades de diorita, monzonita-granodiorita y riodacita.

Grupo de Huamparcocha-Paticocha.- Aflora al norte de San Mateo, en el sector NO de la hoja de Matucana. Las unidades reconocidas son: diorita, tonalita, monzonita- granodiorita, andesita y riodacita.

Grupo Colqui-Huasa.- Aflora entre la mina Colqui, y el túnel trasandino en el sector NO de la hoja de Matucana. Comprende cuerpos de diorita, granito y andesita.

Grupo de Morococha.- Aflora en el área de Ticlio-Morococha en el sector NE de la hoja de Matucana. Está integrada por unidades de diorita, monzonita, andesita y trquiandesita.

Sub-Grupo de Pomacocha-Casapalca.- Aflora entre ambas localidades, al NE de la hoja de Matucana. Comprende cuerpos pequeños, hipabisales y silla de diorita, tonalita, andesita.

Grupo de Azulcocha.- Aflora en el área de la laguna Azulcocha y nevados de Collquepucro, en el ángulo SE de la hoja de Matucana. Comprende pequeños cuerpos de diorita y un stock de granodiorita que intruyen a roca calcárea del Cretáceo.

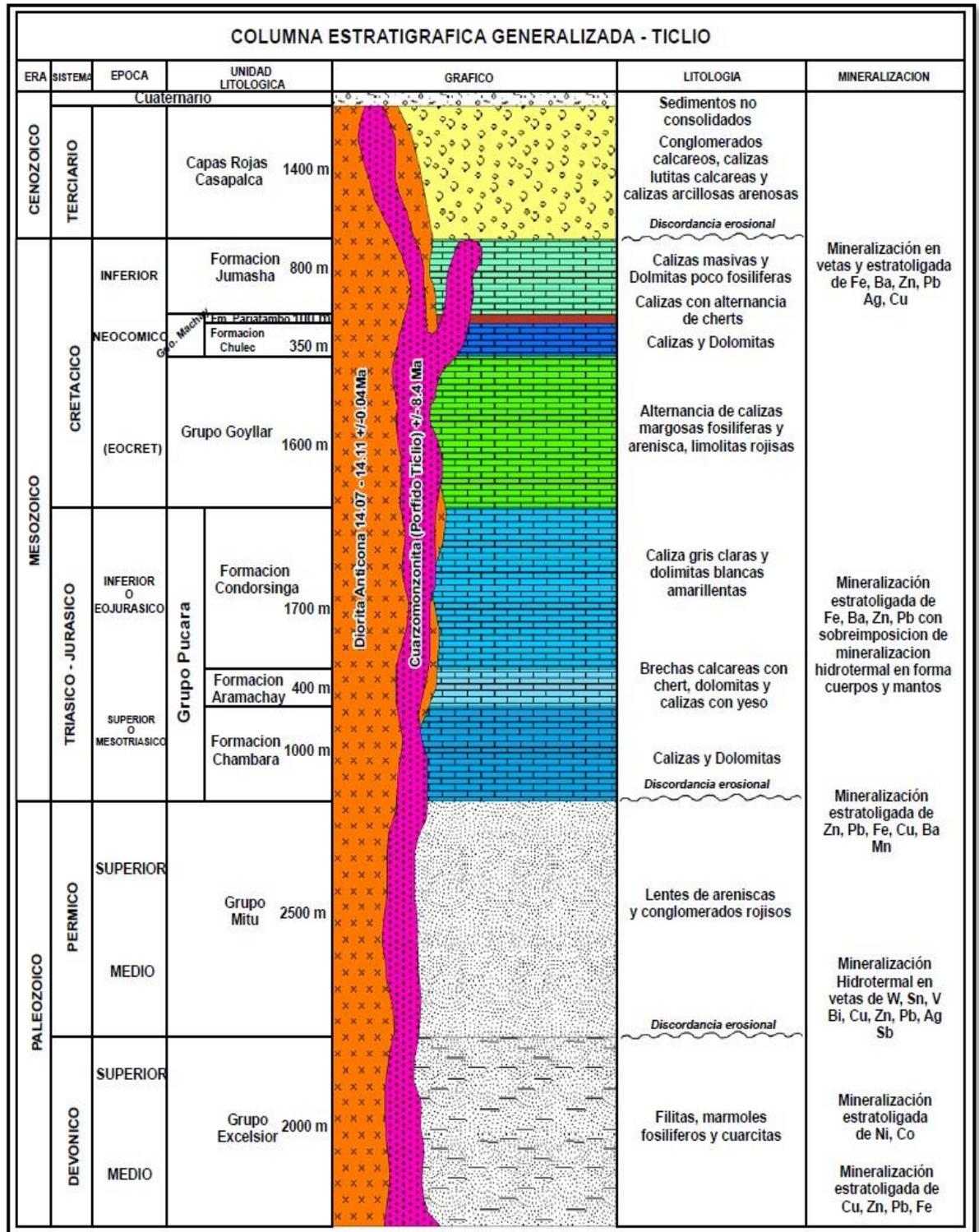


Figura 1: Columna litoestratigrafica Regional Ticlio

Fuente: Elaboración Propia

2.2. CONTEXTO GEOTECTONICO Y ESTRUCTURAL



La zona de estudio está asociada a la cordillera occidental de los andes centrales Peruano, cuya evolución está relacionada a la orogenia Andina, como resultado del proceso de subducción oblicua entre placas de Nazca y Sudamérica, las cuales convergen desde el comienzo del Ciclo Orogénico Andino (Cretáceo Superior – Plioceno) con una velocidad entre 5 a 15 cm/año con un promedio de 10 cm/año. (Carlotto, y otros, 2009).

2.2.1. Ciclo orogénico andino

2.2.1.1. Fase Mochica (Albiano medio-cenomaniano)

Se produce una fase tectónica compresional, definida como la orogenia Mochica (Megard et al., 1984), esta fase genera pliegues en dos direcciones, uno principalmente oblicuo al rumbo andino (ENE-WSW) y la otra más joven, normal al rumbo andino (NE-SW) asimismo, durante esta fase se desarrollaron sistemas de fallas en echelón y fallas con movimientos dextrales y que aparentemente permitieron el emplazamiento de gabros y diques toleíticos sinplutónicos del Batolito de la Costa relacionado a la superunidad de Pataz, se propone una edad de entre 100–107 M.A (Cobbing, 1978)

2.2.1.2. Fase Peruana (Campaniano temprano-Medio)

Investigada por Megard (1984) y propone una edad de 80 M.A. esta fase originó pliegues NW–SE en el grupo Yura y unidades más antiguas, fallas longitudinales NW–SE y el emplazamiento de plutones graníticos de las superunidades de Incahuasi y Tiabaya del Batolito de Costa (Benavides-Cáceres, 1999).

Entre los pulsos finales de la fase Peruana y el inicio de la fase Incaica I (Campaniano tardío–Paleoceno), se produce un régimen extensional manifestado por la presencia de cuencas intermontañas, rellenas por capas rojas como es el caso de la Formación Casapalca (Benavides-Cáceres, 1999).

2.2.1.3. Fase Inca (Campaniano Tardío-Paleoceno temprano)

2.2.1.3.1. Fase Inca I

Durante el Paleoceno tardío y Eoceno temprano se desarrolló esta fase fase compresiva Incaica I (Noble, 1990) Este evento generó ejes de pliegues NW-SE en las capas rojas de la formación Casapalca, seguido de levantamiento y erosión



2.2.1.3.2. *Fase Inca II*

En los estadios tardíos del Eoceno medio, se da lugar a una nueva fase compresiva NE–SW, Incaica II que genera pliegues y fajas corridas en las cuencas sedimentarias. Mientras que, los afloramientos de rocas graníticas del Batolito de la Costa son truncados por la generación de centros volcánicos que permitieron la deposición tobas del Eoceno tardío, estas secuencias tobáceas muestran una discordancia angular entre 43–42 M.A. (Noble, 1990).

2.2.1.3.3. *Fase Inca III*

Esta fase se produce en el Oligoceno, caracterizada por un brusco acortamiento NNE–SSW; paralelo a la dirección de convergencia en el Oligoceno (Sebrier et al., 1991). De igual manera destaca la presencia de superficies de erosión. En el área Castrovirreyna–Huachocolpa, se ha identificado hitus deposicional a los 30 M.A. dentro de los niveles inferiores de los volcánicos oligocenos que posiblemente corresponda a esta fase (Noble, 1998; en Benavídes – Cáceres, 1999).

2.2.1.3.4. *Fase Inca IV*

En estadios tempranos del Mioceno temprano (22 M.A.) registra la fase compresiva Incaica IV (Noble et al., 1979). Este evento generó ejes de pliegues NW–SE en los volcánicos del Oligoceno (Este y Noreste de la localidad de Laramate) y superficies de erosión en los niveles más expuestos del Batolito de la Costa; que sirvieron para la deposición de secuencias volcánicas del Grupo Nazca de 20 M.A. (Noble et al., 1979)

2.2.1.4. *Fase Quechua (Mioceno-Medio)*

2.2.1.4.1. *Fase Quechua I*

Alrededor de los 17 M.A. (Mioceno medio) se evidencia una fuerte fase compresiva definida como Quechua I (McKee & Noble, 1989) Relacionada a esta fase se tiene la presencia de extensas superficies de erosión denominada como Superficie Puna. Esta fase está representada por la discordancia angular entre tobas del Mioceno temprano y Tobas del Mioceno superior, datadas en 12 M.A. (McKee et al., 1982); pero los volcánicos de 12 M.A. muestran pliegues NW–SE que indicaría que la fase compresiva Quechua I tuvo efecto hasta aproximadamente los 11 M.A.

2.2.1.4.2. *Fase Quechua II y III*

Entre los 9.5 M.A. y 10 M.A. y registran un régimen extensional que permitió la erupción de lavas y emplazamiento de domos en el distrito de Huachocolpa. Wiese et al. (2001), registran entre los 9.5–3.9 M.A. una fase compresiva E-W, que produce movimiento Sinistral en la falla Chonta NE-SW y sistemas de fallas conjugadas NE-SW. Esta fase compresiva E- se correlaciona con las fases compresivas Quechua II (8 – 7 M.A.) y Quechua III (5 – 4 M.A.)

2.2.2. **Geología Estructural**

2.2.2.1. *Terminología Estructural e indicadores cinemáticos*

2.2.2.1.1. *Terminología Estructural*

- **Fuerza.-** Es un tipo de acción que cuando actúa sobre un cuerpo, de cierta masa, le provoca un efecto (ej. cambio de posición) (Rivasplata, 2017)

$$\mathbf{F} = \mathbf{m} * \mathbf{a}$$

- **Esfuerzo.-** Stress se define como la fuerza por unidad de superficie que soporta o se aplica sobre un plano cualquiera de un cuerpo (Rivasplata, 2017)

$$\sigma = \mathbf{F}/\mathbf{A}$$

- **Deformación.-** El término se refiere a la distorsión en forma o tamaño que se expresa como resultado del esfuerzo sometido a una roca (Fossen, 2010)
- **Deformación Frágil.-** Implica una deformación elástica con pérdida brusca de la resistencia, a través de un plano o conjunto de planos, sin ningún o muy poca deformación plástica. Esta deformación es común en rocas coherentes sanas, las típicas rocas duras (Oyarzun & Lillo, 2013)
- **Deformación Dúctil.-** Implica deformaciones plásticas (no recuperables), la resistencia se mantiene constante aunque la deformación aumenta. En sales o en otras rocas sometidas a alta temperatura y/o circulación de fluidos (Oyarzun, 2013).
- **Deformación Frágil-Dúctil.-** Consiste en deformaciones elásticas y plásticas, con una resistencia residual mayor. Este comportamiento es común en rocas con discontinuidades preexistentes y arcillas, las típicas rocas blandas (Oyarzun, 2013).

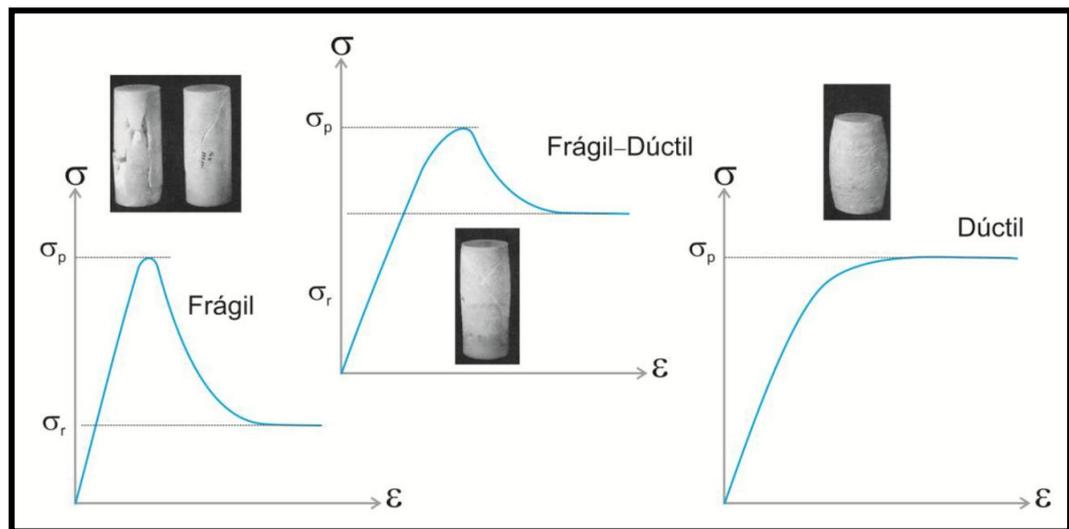


Figura 2: Curvas Esfuerzo – Deformación para comportamiento frágil, frágil-dúctil

Observese como en el caso del comportamiento frágil, la resistencia residual es mucho más baja que la resistencia máxima (límite elástico). En el caso del comportamiento dúctil, la resistencia residual es prácticamente la misma que la resistencia máxima. En el caso frágil-dúctil se produce una deformación plástica inmediatamente antes de la rotura (σ_p), y por tanto el límite elástico tiene un valor inferior a σ_p

- **Fracturas.-** Es una discontinuidad cortante (sub) planar. El término fractura abarca *Fracturas de Corte (superficies deslizantes)* sobre una mano, y *Fracturas de Extensión (juntas, vetas y fisuras)* en la otra (Fossen, 2010).
- **Fallas.-** Las fallas son fracturas o zonas de deformación localizada que acomodan movimientos paralelos a la superficie de la fractura. el movimiento es usualmente mayor o igual a 1 m. Las estructuras más pequeñas similares a fallas son comúnmente llamadas fracturas de corte. Las fallas presentan una zona compuesta de cizallamiento frágil de espesor medible, compuesta de varias fracturas y típicamente un plano de deslizamiento bien desarrollado. (Fossen, 2010).

Las fallas se clasifican basados en el movimiento del bloque/caja techo con respecto del bloque/caja piso: Falla normal, Falla inversa y Falla de Desgarre; sin embargo en la naturaleza predomina la presencia de Fallas

Oblicuas que no son más que la combinación de las tres mencionadas anteriormente.

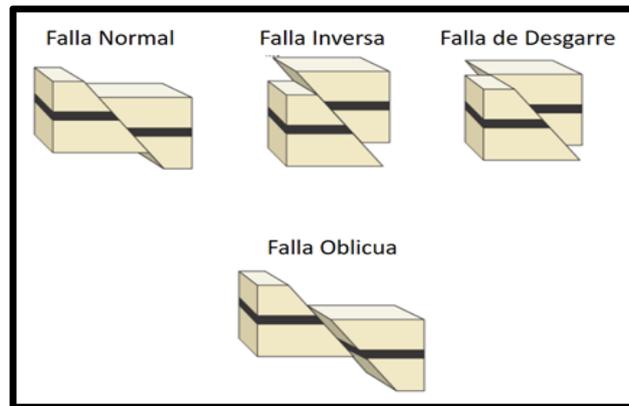


Figura 3: Tipos de falla por procesos extensivos (falla normal), compresivos (falla inversa) y de cizalla (falla de rumbo)

Fuente: Elaboración propia

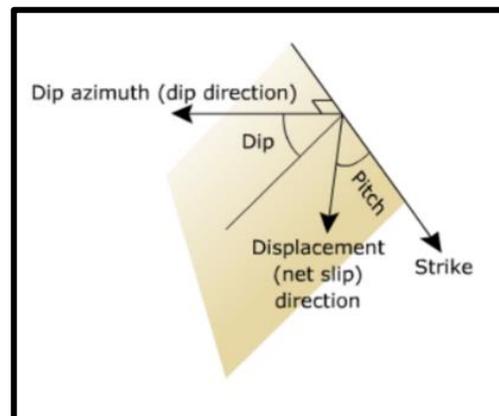


Figura 4: Datos estructurales a obtener en el campo

Fuente: Fossen, 2010

- **Juntas.**- Es una fractura de extensión con muy pequeño (microscópico) movimiento de bloque (Fossen, 2010).
- **Fisura.**- Es una fractura donde el movimiento normal a la fractura de la superficie es fácilmente reconocido (Fossen, 2010).
- **Veta.**- Es un fisura rellena, vetas de calcita y cuarzo son los más comunes (Fossen, 2010).

- **Teoría de Fracturación de Anderson.-** Esta teoría predice que se formaran fallas normales allí donde el esfuerzo vertical sea el esfuerzo máximo, fallas inversas donde el esfuerzo vertical sea el mínimo y fallas de desgarre donde el esfuerzo vertical sea el intermedio. La teoría también predice que las fallas se formarán en dos familias conjugadas, que las fallas de desgarre serán verticales y que las fallas normales buzarán más que las inversas. Esto último se debe a que el ángulo que forman con el esfuerzo mayor debe ser entre 25° y 35° . Por tanto, el máximo buzamiento de las fallas inversas previsto es de 35° y el mínimo buzamiento de las normales será de 55° (Martinez, 2003)

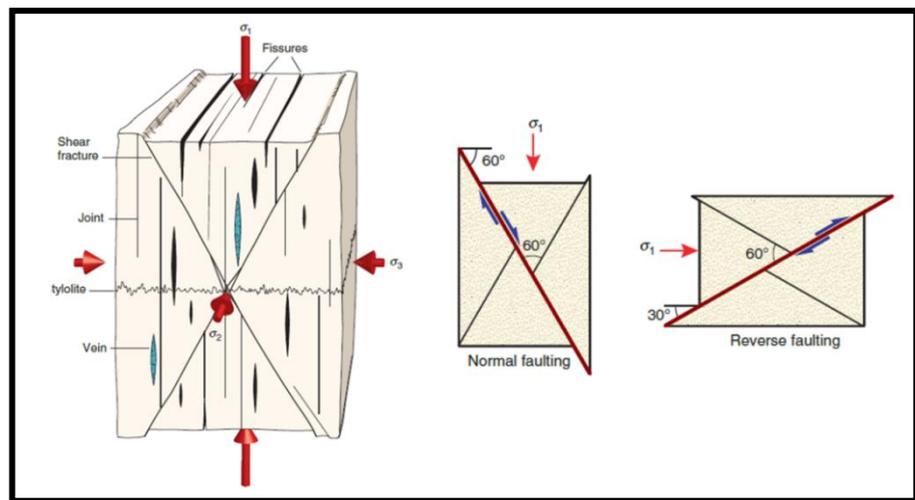


Figura 5: Fracturamiento según Anderson

Fuente: Fossen 2010

Nota: Las fallas normales tendrán más de 60° de buzamiento y las fallas inversas no excederán los 30° de buzamiento. En base a su dirección de esfuerzo principal

- **Modelo de Fracturamiento Riedel en zona de Cizallamiento.-** (Closs & Riedel, 1928-1929) fueron los pioneros en realizar experimentos de cizallamiento y determinaron dos tipos de fallas a las que denominaron R1 y R2. Posteriormente, numerosos autores complementaron el modelo inicial, proponiendo otros tipos de deformación asociadas a zonas de cizallamiento; en base a observaciones de campo y serán expuestas a manera de resumen a continuación:

- **Fallas conjugadas R1 y R2**, hacen ángulos aproximados de $\Phi/2$ con las direcciones teóricas de máximo cizallamiento.
- **Grietas tensionales GT** desarrolladas por tracción indirecta, aproximadamente forman un ángulo de 45° con la dirección de cizallamiento principal. Determinadas por (Closs & Riedel, 1928-1929)
- **Fracturas tipo P**, simétricas a las fallas o R1; definidas en zonas de cizallamiento natural.
- **Pliegues en echelón**, formando un ángulo de 45° con el cizallamiento principal y perpendiculares a las grietas tensionales **GT**
- **Desarrollo de esquistocidad** perpendicular a los planos de las grietas tensionales **GT**.

Por lo expuesto en el modelo descrito las fracturas tensionales asociadas a cizallamiento son muy importantes, debido a que son las más

favorables para albergar mineralización, ocurren a diferentes escalas y pueden adoptar geometrías complejas.

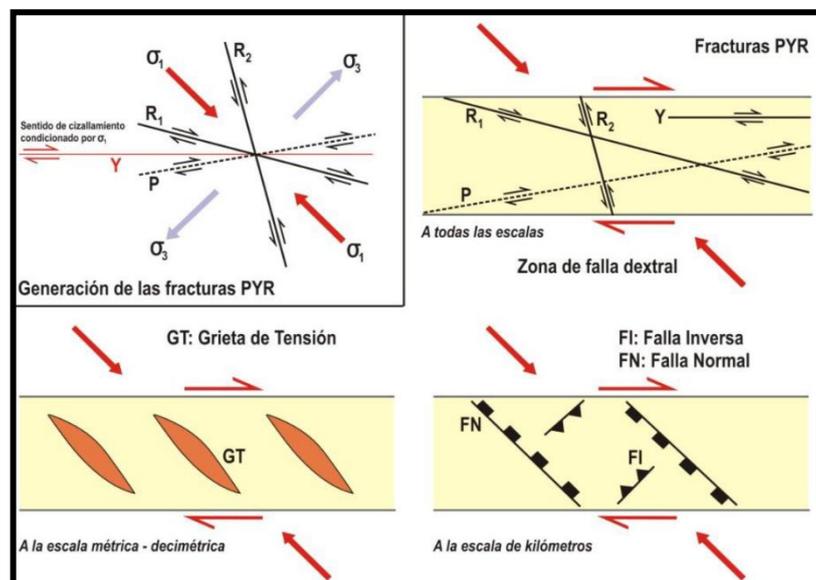


Figura 6: Resumen sobre las diferentes estructuras asociadas que podemos encontrar en una zona de falla a diferentes escalas

- **Extensión y Compresión en zonas de falla.-** Cuando hablamos de masas de minerales necesitamos tratar el tema del “espacio disponible”, ya que mientras mas grande este, mayor podrá ser el cuerpo mineral. Como sabemos las fallas se “curvan” en el espacio; puesto que el esfuerzo que

las genera tiene una dirección específica , se desarrollaran entonces sectores que acumulen o liberen energía en el entorno de la falla. Allí donde se “libere energía” se generaran espacios y por lo tanto, existirá una mayor probabilidad de encontrar mineralizaciones importantes.

El movimiento de las fallas a lo largo de las superficies planares perfectas (cosa poco común en la naturaleza) se desarrolla sin complicaciones, deslizándose una pared sobre la otra sin interferencias. Bajo estas condiciones la aparición de ramales a partir de la falla principal es de mínima a inexistente. Sin embargo, si una falla presenta una inflexión abrupta o gradual se producen situaciones complejas, que dan a lugar a procesos de estiramiento o acortamiento.

La curvatura de las fallas puede ser descrita en términos de las inflexiones y saltos que se suceden a lo largos de las mismas (Davis y Reynolds, 1996).

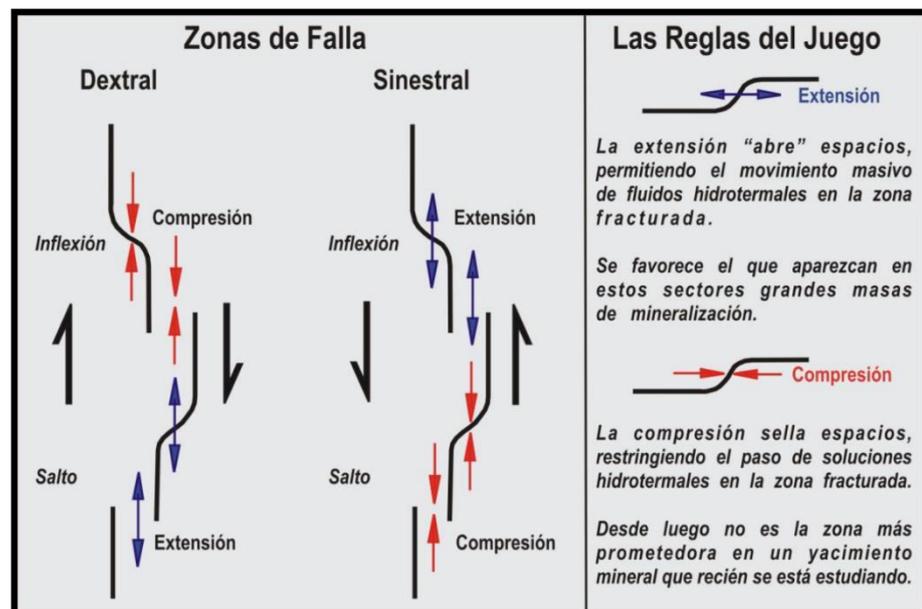


Figura 7: Izq: resumen para la compresión-extensión más típicas que puede encontrarse en una zona de falla, Der: probabilidad de encontrar grandes o pequeñas masas minerales.

2.2.2.1.2. Análisis Cinemático Estructural

Fuente: Oyarzun 2013

El análisis cinemático de fallas consiste en determinar el sentido de movimiento (transcurrente, normal o inverso) de fallas, a través de la interpretación de



una variedad de pequeñas estructuras asociadas a las estrías en el plano de falla, denominadas “tectoglifos”.

Las fallas son muy importantes, debido a que influyen en la deposición de menas y geometría de un yacimiento (si estas se encuentran activas durante la circulación de fluidos mineralizantes) o cambian la geometría inicial del yacimiento (si son posteriores al evento mineralizante).

Por ello, es de gran importancia conocer los diferentes modelos de fracturación y la cinemática de fallas, a fin entender los estilos de deformación espacial y temporal a los que esta sujeto un determinado yacimiento; de manera que pueda ser una guía complementaria para la exploración.

Principio

El desplazamiento relativo entre dos bloques a ambos lados de un plano de falla es el dato esencial para todo análisis cinemático. Si bien de manera simple, se dice que una falla es normal o inversa (si su desplazamiento es principalmente vertical) o que es dextral o siniestral (si el desplazamiento es principalmente horizontal), lo cierto es que la mayoría de las fallas tiene desplazamientos oblicuos. Así, las fallas resultan siendo normal-siniestral o todas las otras combinaciones.

La dirección de desplazamiento está dada por las estrías de fricción, cuyo pitch (ángulo entre la dirección de las estrías y la horizontal del plano de falla, medido sobre este plano) es fácilmente medido con brújula o transportador, en el campo.

Las mediciones de campo útiles para el análisis cinemático de fallas son las siguientes:

- Rumbo y buzamiento del plano de falla principal
- Sentido de movimiento de la falla
- Pitch y dirección de inclinación de las estrías de falla

Estos datos estructurales son plasmados en proyecciones estereográficas y permiten determinar la dirección e inclinación de los esfuerzos principales σ_1 (compresivo), σ_2 (intermedio) y σ_3 (tensional), responsables de la deformación.



Indicadores Cinemáticos (Tectoglifos)

Los indicadores cinemáticos o tectoglifos son una serie de estructuras pequeñas (milimétricas a métricas), desarrolladas en medio frágil y asociadas a fallas. Se emplean para determinar la dirección y sentido de desplazamiento sobre un plano de falla.

En la Figura se muestran los principales tectoglifos empleados para definir el sentido del bloque faltante. Seguidamente se procederá a describir las características más relevantes de cada uno de ellos.

- ***Elemento estriador*** al cabo de la estría. Este puede ser un fragmento de roca.
- ***Material triturado al cabo de la estría***. Está constituido por material arrancado del plano de falla y depositado a un extremo de la estría.
- ***Banqueta al cabo de la estría***. En este caso, el material arrancado del plano de falla es acumulado al extremo de la estría en forma de un pequeño promontorio.
- ***Escama de arrastre***. El material arrancado del plano de falla es depositado al extremo de la estría en forma de una escama.
- ***Nichos de arranque***. Se manifiestan como microdeslizamientos.
- ***Escama de arranque***. Cuando se presentan este tipo de tectoglifos, las estrías tienen uno de sus extremos levantados, arrancando material del plano de falla y dejando como resultado una superficie irregular.
- ***Colas de mineral***. Durante este proceso se tiene presencia de minerales a un extremo de las estrías, mientras que hacia el lado opuesto se tiene polvo de mineral, dispuesto a manera de microbandas.
- ***Lomos al abrigo***. Para que se genere este tectoglifo se requiere de un elemento estriador endentado en el plano de falla, de tal manera que durante el desplazamiento relativo de bloques, el material arrancado del plano de falla se deposita a manera de lomas y es protegido por el elemento estriador endentado.
- ***Planos ondulados***. Según sea el movimiento, los planos de falla ondulados presentan facetas estriadas y lustradas ó no estriadas y con

presencia de óxidos. El sentido de movimiento, será determinado por la orientación de las facetas estriadas.

- **Cristalización al abrigo.** Dentro de las estrías se producen ciertos desniveles y se produce el crecimiento de minerales como el cuarzo, calcita, zeolitas o sulfatos, en la dirección del movimiento.
- **Fallas de Ridel.** Este tipo de falla se producen por esfuerzos de cizalla en la proximidad del plano de falla. Se generan dos tipos de fallas una denominada
- R1 y otra R2. Las R1 forman un ángulo de 15° a 20° con el plano de falla principal y son sintéticas (movimiento en el mismo sentido que la falla mayor). Las fallas R2 forman un ángulo de 70° a 80° con el plano de falla principal y son antitéticas.
- **Lúnulas de tracción.** Son fracturas abiertas algunas veces a manera de semicírculos. La superficie de fractura es irregular y no presenta estrías. Forman un ángulo entre 30° y 40° con el plano de falla principal. La dirección de buzamiento de las fracturas o la parte cóncava de los semi-círculos nos indican el sentido de movimiento.
- **Lenticulaciones.** Este tipo de tectoglifos son los únicos que se generan en medio dúctil entre los descritos. Son Microestructuras penetrativas con planos curviplanares que determinan la deformación de las rocas en lentes. La orientación de las lenticulaciones determinan el sentido de movimiento de la falla principal.

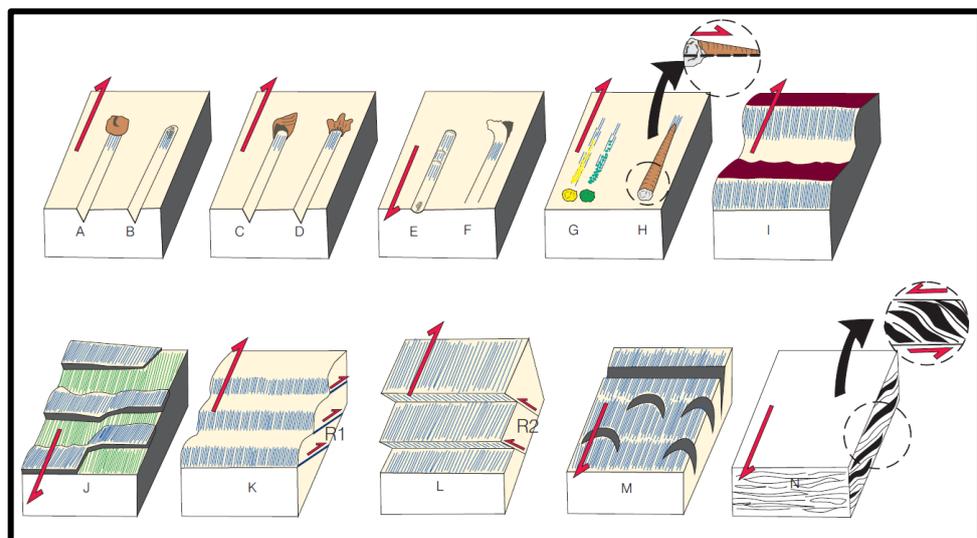


Figura 8: Tectoglifos – Criterio de sentido de movimiento de fallas.

Fuente: (Quispe, 2016)

Nota: A) Elemento estriador al cabo de estría, B) Material triturado al cabo de estría, C) Banqueta al cabo de estría, D) Escama de arrastre, E) Nichos de arraque, F) Escamas de arranque, G) Colas de mineral, H) Lomos al abrigo, I) Planos ondulados: Faceta estriada, J) Cristalización al abrigo, K) Riedel R1, L) Riedel R2, M) Lúnulas de tracción y N) Lenticulaciones.

2.3. CONTEXTO METALOGENETICO

La información de la franja correspondiente al proyecto fue extraída de la Memoria del Mapa Metalogenético 2009 (Acosta, 2009)

2.3.1. Franja de Porfidos de Cu – Mo(Au), Skarns de Pb-Zn-Cu (Ag) y depósitos Polimetálicos Relacionados con Intrusiones del Mioceno

Se ubica en la Cordillera Occidental del Norte y centro del Perú (5°-12°). Esta franja está controlada por el sistema de fallas y cabalgamientos NO-SE de los sistemas Chonta y Punre-Canchis-Magistral, este último conforma la faja corrida y plegada del Marañón (MTFB). En el Norte del Perú, las fallas van cambiando a WNW-ESE y finalmente N-S, al aproximarse a la deflexión de Huancabamba. Esta franja presenta tres eventos magmáticos relacionados con la mineralización, estimados en 22-20 M.A., 18-13 M.A. y 10-5 M.A. Los eventos magmáticos están manifestados por el emplazamiento de stocks intrusivos calcoalcalinos dioríticos a granodioríticos. El primer evento de 22-20 M.A. se asocia con los depósitos tipo pórfido de Cu-Mo de Michiquillay y Aurora Patricia. El segundo evento de 18-13 M.A. contiene mineralizaciones tipo pórfido de Cu-Mo y Cu-Au, que algunas veces desarrolla skarns y cuerpos de reemplazamiento de Pb-Zn-Ag, en el contacto con rocas carbonatadas del Cretácico, como Chungar, Iscay Cruz y otros depósitos. Los pórfidos de Cu-Mo (18-13 M.A.) están relacionados con intrusiones intermedias a ácidas, tal como El Galeno, La Granja, Cañariaco, Parón y Magistral. Mientras que los pórfidos de Cu-Au están asociados con intrusiones básicas a intermedias, como es el caso de Minas Conga (El Perol y Chailhualgón) y Cerro Corona. Otros sistemas porfiríticos similares a los anteriores se exponen puntualmente en sectores erosionados del dominio volcánico Miocénico (franja XXI), donde se puede mencionar a los depósitos de Chamis, Colpayoc, Cascabamba, San José, La Arena, Alto Dorado, Pashpap, Los Latinos, así



como al depósito en la transición pórfido-epitermal El Toro y al skarn de Pb-Zn-Cu, El Extraño. El tercer evento magmático de 10-5 genera depósitos tipo pórfido Cu-Mo (Au), como Río Blanco al norte, y Toromocho y Puy Puy al centro. Los intrusivos de 10-5 M.A. controlados por el dominio de las fallas del sistema Chonta y ChurínSan Mateo, en contacto con rocas calcáreas del Cretácico (9° - $12^{\circ}30'$), presentan skarns y cuerpos de reemplazamiento de Cu-Zn y Pb-Zn-Ag, como Antamina, Huanzalá, Pachapaqui, Raura, Ucchuchacua, Huarón, Yauricocha y otros. Igualmente, generan vetas y cuerpos de reemplazamiento de Pb-Zn-Ag, similares a YauliyacuCasapalca, Morococha, Mina Solitaria y San Cristóbal, este último con una edad ~6 M.A. (Noble y McKee, 1999).

2.3.2. Yacimientos Cordilleranos

Los términos “Cordillerano/Butte tipo metal base” vienen siendo usados desde al menos en 1960, representan en gran medida una mineralización típicamente de metales base encontrado sobre la parte superior de sistemas porfiríticos que cortan las vetas anteriores con ensambles potásico y fílica (Fontboté, 2013).

Las principales características de un depósito Cordillerano son los siguientes:

Alta sulfuración y estados de oxidación de los minerales de ensamble asociado con alteración argílica avanzada a sericítica (Bendezú, 2007).

- Mineralización masiva: El contenido de sulfuros de los cuerpos hasta más de 50% de volumen. Considerablemente más alto que otros tipos de sistema relacionado a pórfidos. (Bendezú, 2007).
- Deposición “posterior” en el sistema de pórfidos (Fontboté, 2013)
- Un conjunto polimetálico común de metales económicamente interesantes, principalmente Cu-Zn-Pb-(Ag-Au-Bi) (Bendezú, 2007).
- Principal ocurrencia como relleno de espacios abiertos (fallas, fisuras, etc.) en rocas silíceas y reemplazamiento en rocas carbonatadas (ej. Cuerpo Ariana) (Fontboté, 2013)
- Depósitos donde el término “Cordillerano” ha sido empleado en Morococha, Cerro de Pasco, Colquijirca y muchos más (Fontboté, 2013).

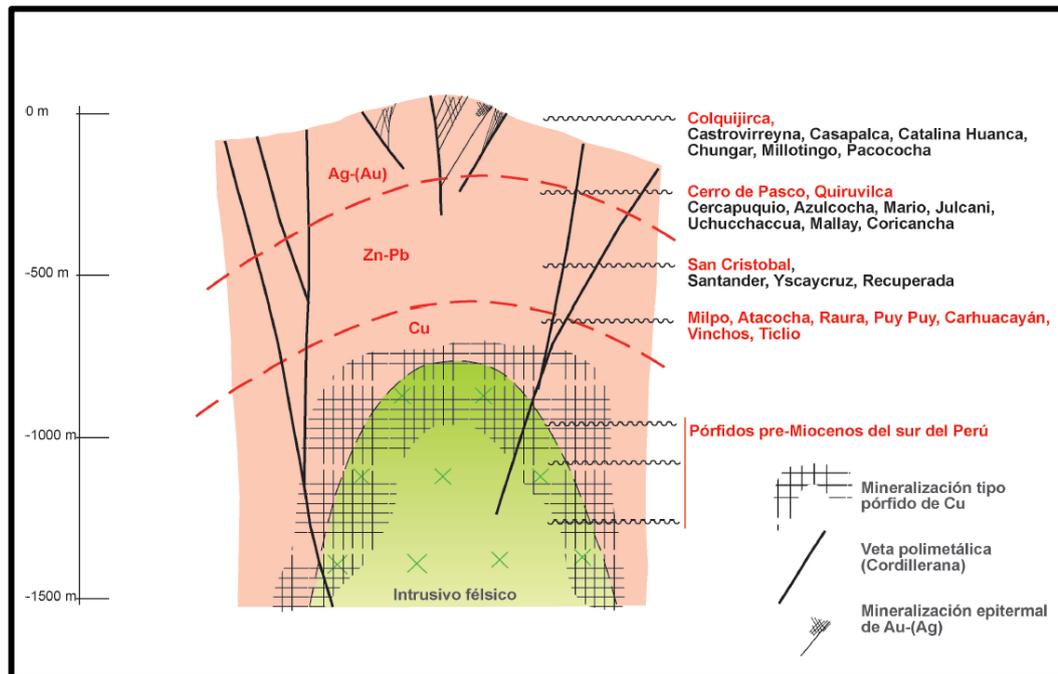


Figura 9: Zonación normal

Fuente: Fontboté 2013

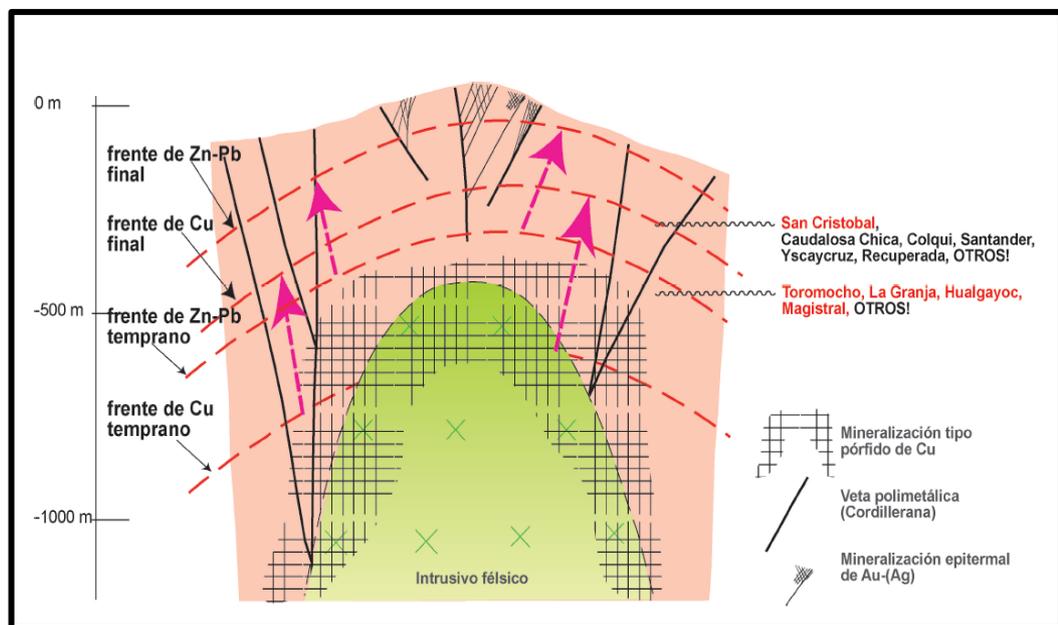


Figura 10: Zonación Contraída

Fuente: Fontboté 2013

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. GENERALIDADES

3.1.1. Ubicación y Accesibilidad

El yacimiento minero de Ticlio de propiedad de Cía. Minera Volcán S.A.A. está ubicado entre la divisoria de las cuencas del Rímac y el Mantaro, entre las coordenadas UTM N-8716000 – 8717500 y E-370500 – 372500 (WGS-84).

Se ubica políticamente entre los distritos de Chicla (provincia de Huarochirí, departamento de Lima) y Morococha (provincia de Yauli, departamento de Junín) respectivamente, a una altitud promedio de 4800 msnm. Se encuentra a altitudes que fluctúan entre los 4,600 a 5,000 msnm.

La Mina Ticlio es accesible desde Lima por la carretera Central hasta el Km.135 (Abra de Anticona) y por vía férrea con el Ferrocarril Central hasta la Estación de Ticlio. La accesibilidad desde la ciudad de Lima es la siguiente.

Tabla 1: Acceso a la Unidad Ticlio

Trayecto	Km	Tiempo	Estado
Lima-Ticlio	130	03:30 Hrs	Asfaltada
Oroya - Ticlio	40	01;00 Hrs	Asfaltada

Elaboración Propia

3.1.2. Propiedades Mineras

VOLCAN posee 315000 has. de concesiones mineras en total, estas se dividen en tres grandes Cluster: Norte, Centro y Sur. El Cluster Sur corresponde a la Unidad Económica Administrativa Yauli comprendida por las unidades San Cristobal, Andaychagua, Carahuacra y Ticlio, Yauli administra un total de 58076 has. de los cuales 6267 has. corresponden a la Unidad Operativa Ticlio

3.1.3. Rasgos Fisiográficos, Flora y fauna

La propiedad está ubicada a una altitud promedio de 4,800 m.s.n.m. La zona está representada por un área de relieve moderado con formas topográficas de típico modelado glaciar y fluvio-glaciar integrado por pampas, colinas, cadena de cerros suaves y concordantes, Corresponde geográficamente a las regiones Puna y Janca. La



Puna está comprendida entre los 4,000 y 4,800 m.s.n.m. y la región Janca para las zonas encima de los 4,500 m.s.n.m.

La vegetación está en íntima relación con el clima. En el altiplano, entre los 4,000 y 5,000 msnm, la agricultura desaparece, en cambio predominan los pastos naturales como el ichu; en el fondo de los valles y en las proximidades de lagunas hay turba delgada que constituye bofedales y champas; además existen algunos pastos y hierbas pequeñas. Esta vegetación sirve de forraje para el poco ganado ovino, vacuno y auquénido de la zona (Petersen, 2014).

3.1.4. Aspectos Sociales

En el área de estudio la población se dedica principalmente a la actividad minera, relacionada en fuentes de trabajo directo o indirectamente para proyectos mineros como Casapalca, Ticlio, Toromocho, Austria Duvaz, Argentum, San Cristobal, etc. Una ínfima cantidad de la población se dedica a la ganadería por ser una zona de muy poca vegetación favorable para el pastoreo y cuidado de animales

3.2. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS

3.2.1. Altiplano

La zona está representada por un área de relieve moderado con formas topográficas de típico modelado glaciar y cuya altitud va ascendiendo progresivamente desde los 4,000 m.s.n.m. hasta la divisoria continental. Además está disertada por ríos con valles de típico modelado glaciar y fluvio-glaciar, pues destacan formas topográficas de valles glaciares, con formas en “U”, valles colgados, superficies estriadas, circos glaciares, lagunas glaciares y depósitos morrénicos y fluvio-glaciares (Petersen, 2014).

3.2.2. Altas Cumbres

Constituye una muralla continua de cerros suaves y abruptos de típico modelado glaciar y algunos con restos de nieve perpetua, así tenemos el de Ticlio a 4,850 m. por donde cruza la carretera Central. Junto hay un conjunto de lagunas glaciares que constituyen las nacientes de los ríos que drenan hacia el Pacífico y hacia el Atlántico (Petersen, 2014).

3.2.3. Valles

Los valles presentan características morfológicas que varían a través del Altiplano, aquí los valles son de típico modelado glaciar, destacándose valles en “U”, valles colgados, superficies estriadas, circos glaciares y lagunas glaciares. Además las altas cumbres por encima de los 5,000 m.s.n.m., están coronadas por nevados en proceso de desglaciación y que tienen actualmente influencia directa sobre las formas topográficas indicadas anteriormente (Petersen, 2014).

3.3. MARCO GEOLOGICO LOCAL

3.3.1. Estratigrafía local

La columna estratigráfica de la zona está conformada por:

3.3.1.1. Depósitos Cuaternarios

Compuesta por depósitos coluviales y aluviales en las laderas y pequeñas áreas planas que se puedan identificar por la geomorfología de alta montaña, existen zonas donde se identifican algunas morrenas producto de la presencia constante de nieve y hielo en la zona.

3.3.1.2. Formación Jumasha

Está conformada por capas medias a gruesas de Calizas de coloración gris y blanquesino en las zonas de contacto a fuentes calientes; el contacto con la Diorita es generalmente una falla inversa de buzamiento 37° - 42° , esto producto del levante ocasionado al momento de intruirse en la zona, la intrusión ha generado intenso fracturamiento, fallamiento de tipo compresivo en la zona de contacto. y en algunos casos que las Calizas Jumasha se encuentren con alto grado de buzamiento 65° - 75° (superficie). Según la información diamantina ejecutada en el año 2016, se ejecutó el sondaje más profundo de la mina, este impacto sobre la estructura principal Ramal Techo ha cortado en todo su trayecto Calizas de grano fino a medio, con venilleo milimétrico de Calcita esporádico en tramos hasta el NV14 (4200 msnm), corroborando la continuidad de la formación Jumasha en profundidad.



Figura 11: Contacto de la Diorita Anticona con la Formación Jumasha (Calizas)

3.3.1.3. Formación Casapalca

Está conformado por capas intercaladas de lutitas y limolitas, su reconocimiento se debe a afloramientos que son en mayor presencia por la zona W de la unidad operativa Ticlio, como resultado del proceso orogénico andino se encuentran con un buzamiento promedio de 35°-40° en dirección al WSW, no existe información en interior mina sobre alguna labor que haya intersectado a la formación Casapalca debido a su lejanía en el extremo W de la unidad operativa. Esta formación sobreyace a la formación Jumasha con una discordancia erosional. Por sus relaciones tectónicas y estratigráficas se le asigna una edad Cretáceo Superior e inicios del Neógeno.

3.3.2. Rocas Intrusivas

3.3.2.1. Cuarzo-monzonita Ticlio

Aflora en la parte N, NE e y E del campamento. Es un apófisis alargado de rumbo NW – SE e intruyen a la diorita Anticona. En la parte Norte del campamento, intruye a los carbonatos de la formación Jumasha.

Es leucócrata, de color blanquecino a rosáceo, grano grueso, textura porfirítica, con fenocristales de hasta 3 cm., de diámetro de k-feldespatos euhedrales (10-15%). Está constituido por plagioclasas euhedrales a subhedrales (10%), ojos de cuarzo (5–10%), hornblendas y biotita subhedrales; como accesorios a manera de alteración, se observan clorita, sericita y argilita. Los Feldespatos están moderadamente argilizados y esporádicamente sericitizados.

Dataciones Radiométricas han reportado 8.31 ± 0.03 M.A., (Bendezú, et al, 2,012)

3.3.2.2. *Diorita Anticona*

Constituye un “Stock” que se extiende entre Morococha y Anticona con una dirección general hacía el NE. Hacia el E, ha sido intruido en varios lugares por el Pórfido Cuarzo Monzonita de Morococha y Ticlio.

Estas rocas constituyen la intrusión Miocénica más antigua existente en el Domo de Yauli y aún no está relacionada a ningún tipo de mineralización polimetálica, excepto por la formación de hornfels y pequeños cuerpos de magnetita en las calizas huéspedes. Esta ausencia de mineralización en skarn y su asociación a minerales de naturaleza hidratados sugiere la ausencia de fluidos durante el emplazamiento del cuerpo intrusivo de diorita hace 14.07 ± 0.04 M.A.

La Diorita Anticona es color verde oscuro, textura porfirítica, mesócrata, con una matriz compuesta de plagioclasas, cuarzo y óxidos; los fenocristales consisten en plagioclasas, biotita y hornblenda; como minerales accesorios se incluye al apatito y el circón. Las plagioclasas en algunas zonas están parcialmente alteradas a illita-sméctica, algo caolinizado y esporádicamente epidotizadas.



Figura 12: : Dique de Cuarzomonzonita cortando a la Diorita Anticona. ACC 562, Veta Kelly.

Fuente: Fotografía Tomada en campo

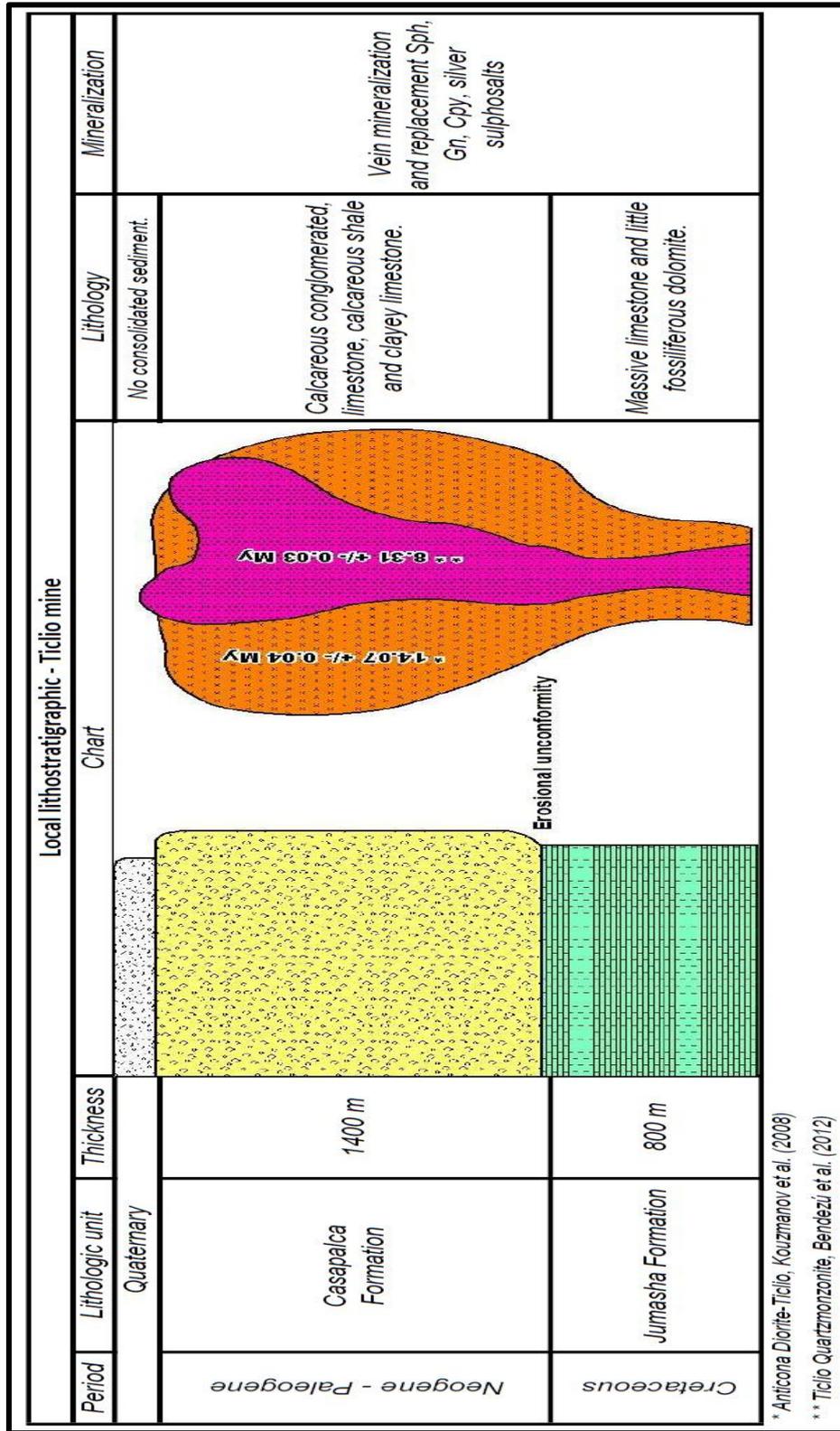


Figura 13: Columna Estratigráfica de la Unidad Ticlio

Fuente: Elaboración Propia



3.3.3. Geología Estructural Local

3.3.3.1. Fallas

La zona de trabajo presenta un intenso fallamiento de tipo transcurrente compresivo, dentro de las Principales tenemos:

- **Fallas de Rumbo Andino.** - Al extremo W del proyecto se identifican dos fallas regionales con un rumbo NW y azimuth promedio de 140° (RHR) a quienes denominaremos Falla Casapalca, Falla Carhuacoto y Falla Ticlio (esta última según varios autores como (Lepry, 1981) Son fallas de tipo Inverso producto de un efecto compresivo de la Orogenia Andina.
- **Fallas Inversas en zona de plegamiento .-** En el extremo E del proyecto se ubica el yacimiento minero de Argentum donde se aprecian una cantidad significativa de fallas inversas de un origen compresivo, estas fallas mantienen un rumbo promedio de NNW con buzamiento que cambian de E a W. El plegamiento se da en rocas del Mitu y Pucará.
- **Fallas Normales .-** Se ha ubicado en la zona de Almacen Ticlio evidencia de 2 fallas de tipo Normal con un azimuth promedio de 050° (RHR). Estas fallas cortan a una falla de tipo inverso. Es evidente que en la zona existieron eventos de compresión y extensión.
- **Fallas Inversas .-** En el mismo punto de Almacen Ticlio se identificó una falla de bajo ángulo, tipo inverso, esta falla tiene un azimuth promedio de 120° (RHR). La falla presenta eventos de corte por fallas de tipo Normal con dirección 050° (RHR)

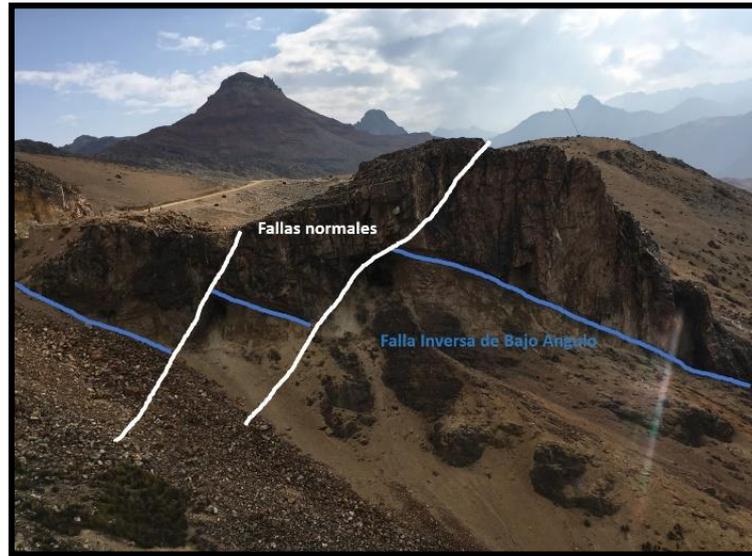


Figura 14 : Intersección de fallas inversas por fallas normales

Nota: evidencia de un primer evento compresivo seguido de un evento extensivo

3.3.3.2. *Pliegues*

La evidencia de plegamiento visible en superficie, se ubica al extremo E del proyecto, específicamente en el yacimiento minero Argentum de PAN AMERICAN SILVER, en esta zona se identificaron pliegues de tipo Anticlinal y Sinclinal con ejes perpendiculares a la dirección del esfuerzo compresivo de la Orogenia Andina. Los plegamientos de esta zona se dan en rocas sedimentarias del Grupo Mitu y Grupo Pucará.

En interior mina se identificaron varias zonas de plegamiento en las Calizas Jumasha, estas se ubican generalmente en cercanías a la zona de contacto con la Diorita Anticona; sin embargo, los mejores datos estructurales obtenidos se ubican en el NV 11, RP 572, AC 578 en dirección al SN 100 E-W, las lecturas que se hicieron en los flancos de anticlinales y sinclinales son con direcciones de 340 y 160 (RHR).

3.3.3.3. *Vetas*

- Las vetas de Ticlio tienen dos rumbos preferenciales NE y NW.

- Existen estructuras de rumbo NE actualmente en explotación y en su mayoría estructuras solamente reconocidas en superficie mas no exploradas.
- Las vetas actualmente en operación son: Ramal Techo, Principal, Giuliana, Julisa, Kelly, Escondida y Borrachitos.
- Las vetas que no se encuentran en operación son: Gina, Maria Pajuelo, Tensional Lady, Eliana, Luz, Falsa, Ivone, Lucy, Mariela, Margaret, Nadie, Rosaliz, Iris, Pelusa, Intrusa, Eva María y Caudalosa.
- Las estructuras con rumbo NW son las siguientes: Falla Ticlio R1 (actualmente en exploración), Susan y Diagonal.
- Cabe resaltar que las vetas con rumbo NE son dextrales y las NW son sinestrales según el análisis estructural que se hizo a las vetas en el capítulo IV.

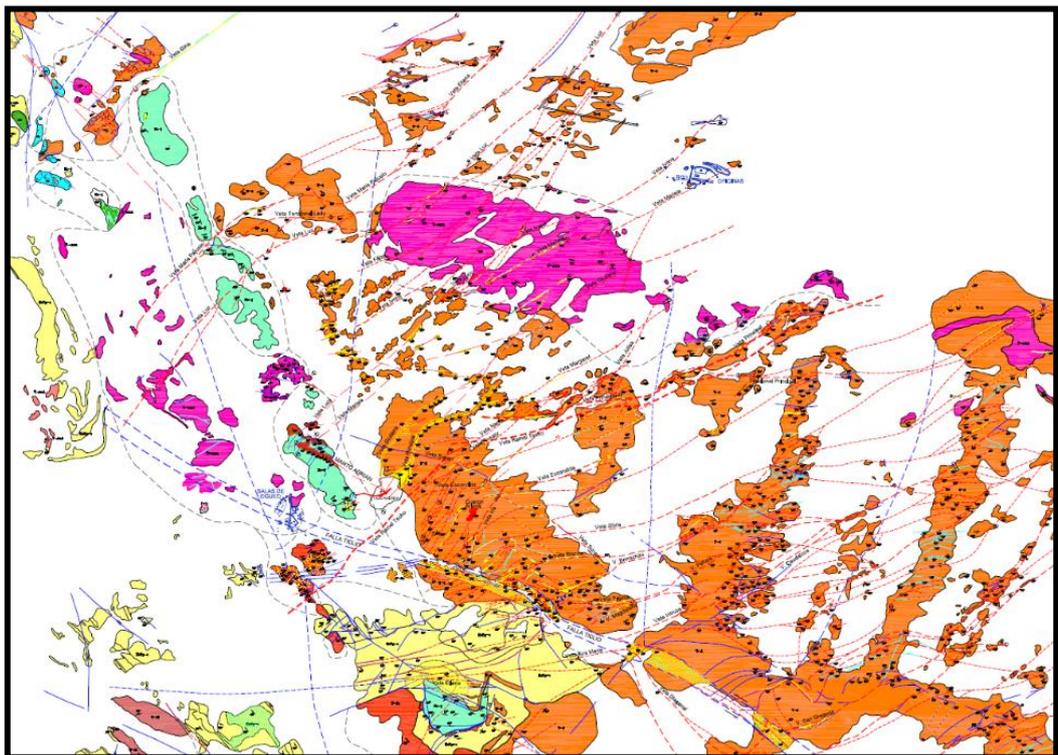


Figura 15: Mapa Geológico – Estructural de la Unidad Ticlio.(VOLCAN)

3.4. MATERIALES DE TRABAJO

Los materiales y equipos que se utilizaron para realizar el trabajo de campo y gabinete son los siguientes:

Tabla 2: Lista de materiales, equipos y softwares utilizados en el proceso de la investigación.

ITEM	DESCRIPCION	USO	CAMPO	GABINETE
EQUIPOS				
1	GPS Garmin 64S	Ubicación	X	
2	Brújula Bruntom 5006	Toma de datos estructurales	X	
3	Cámara Digital	Captura de imágenes	X	X
4	Laptop Thinkpad P50	Procesamiento de información		X
5	Lápiz rayador	Medida de dureza	X	X
6	Picsa	Fractura de rocas	X	X
7	Lupa 20X	Observación de minerales	X	X
8	Lupa 10X	Observación de minerales	X	X
9	Chaleco de Geólogo	Soporte para los equipos	X	
10	Equipo de Protección Personal	Seguridad Personal	X	
MATERIALES				
11	Libreta de Campo	Apunte de datos y croquis	X	X
12	Tablero de mapeo	Soporte de mapas	X	X
13	Lapices de color	Graficas y datos geológicos	X	X
14	Protractor	Ploteo de datos	X	X
SOFTWARES				
15	Leapfrog Geo	Procesamiento 3D		X
16	Arc Gis	Procesamiento planar 2D		X
17	Target Drill Hole	Secciones y Perfiles		X
18	Tectonics FP	Procesamiento data estructural		X
19	Faultkin	Procesamiento data estructural		X
20	Stereonet	Procesamiento data estructural		X
21	Dips	Procesamiento data estructural		X
22	Auto CAD	Procesamiento planar 2D		X

3.5. METODOLOGIA DE TRABAJO

Para la realización de esta investigación es muy importante tener en cuenta las siguientes etapas que son descritos a continuación

3.5.1. Recopilación de Información

Esta etapa comprende la recolección de toda la información necesaria como:

- **Mapeo Geológico:** Se realizaron en todos los niveles de exploración y operación subterránea, la escala de trabajo fue de 1/250 y 1/500, las características principales tomadas como registro en el mapeo fueron las delimitaciones de la veta con respecto a la roca encajonante, los anchos y tipos de alteración, la potencia de las bandas mineralógicas con su respectiva identificación macroscópica, las estructuras como



fallas y diaclasas fueron registradas con sus aptitudes principales, cabe mencionar que toda esta información en gran parte se encontraba en físico (folios de papel) y digitalmente en el software Auto CAD.

- ***Secciones Transversales y Longitudinales:*** Esta información consiste en todas las secciones elaboradas a base de una interpretación geológica por parte de los geólogos encargados de los procesos de Ore Control y Brownfield, la sistematicidad de las secciones transversales son cada 20 metros, las secciones longitudinales fueron elaboradas sobre las vetas principales en actual operación y exploración: Ramal Techo, Julisa, Kelly, Cuerpo Ariana, Falla Ticlio y San Gregorio.
- ***Perforación Diamantina:*** Esta data está constituida de collares, que son los puntos de inicio de los sondajes diamantinos, médicos en coordenadas UTM y levantados con estación total, desviación de los sondajes medidos con un instrumento llamado REFLEX, la data empleada son el azimuth y buzamiento por tramo cada 3 metros aproximado, y los logueos geológicos describen las características litológicas, de alteración y mineralización, las muestras de sondajes son de tamaño variable considerando los tramos mineralizados, las densidades han sido tomadas en los tramos mineralizados y unos cuantos fuera de los tramos mineralizados.
- ***Canales de Muestreo:*** Las muestras de canales provienen de las galerías principales y sub-niveles de explotación y exploración, ambas muestras son tomadas en el frente de la labor según el avance, el espaciamiento entre muestras es variable desde los tres metros a más, en el proceso de toma de muestra se considera los límites del tipo de mineralización y en algunos casos de hastial a hastial, los canales son levantadas topográficamente con un equipo de estación total, para posteriormente ser ploteadas en el software Arc GIS.

3.5.2. Trabajo de Campo

- ***Cartografiado geológico a escala 1:500:*** Esta etapa consiste en el cartografiado de todos los subniveles, galerías, tajos, rampas y demás labores subterráneas ubicadas entre los niveles 9, 10 y 11 de la unidad,



cabe resaltar la escala de detalle aplicada en el mapeo por el interés de identificar zonas controladas por un dominio estructural.

- ***Recolección de data estructural:*** Es una de las etapas fundamentales de la investigación por ser un trabajo netamente en campo, abarca todo el proceso de recolección de data estructural en todas las labores subterráneas ejecutadas dentro de los niveles 9, 10 y 11 de la unidad. Los datos obtenidos deberán ser en un 97% de data correcta, esto respetando las reglas para una buena toma de datos estructurales (RHR) y deberán ser útil para los softwares especializados.

3.5.3. Trabajo de Gabinete

- ***Procesamiento de la información:*** Toda la data recolectada de campo deberá ser procesada, pasar por un tratamiento estadístico para una respectiva validación, los softwares a emplear son especializados en el tratamiento de data estructural, la obtención de resultados cualitativos y cuantitativos serán plasmados y analizados en la elaboración de mapas geológicos para su interpretación final. Los softwares utilizados son Tactonics FP, Faultkin, Stereonet, Leapfrog Geo y Dips.
- ***Elaboración de mapas y generación de modelo estructural:*** Consiste en la fábrica de mapas con la ayuda de software especializado, los mapas a elaborar son: geológicos, geomorfológicos, litológicos, estructurales, etc. De igual modo se tomarán secciones transversales, longitudinales y planares del proyecto para la validación de un modelo estructural propuesto. Los softwares utilizados son: Leapfrog Geo, Arc Gis, Target Drill hole y Auto CAD.

CAPITULO IV

EXPOSICION Y ANALISIS DE RESULTADOS

Para el siguiente trabajo se realizaron la toma de datos en siete estructuras mineralizadas que a su vez fueron estaciones estructurales: Ramal Techo W, Ramal Techo E, San Gregorio, Julisa, Kelly, Lorena y Falla Ticlio R1.

Toda la información fue procesada en software especializado de geología estructural, las vistas generadas son bidimensional y en algunos casos en una vista tridimensional.

4.1. DETERMINACION DE LA DIRECCION DE ESFUERZOS PRINCIPALES QUE CONTROLAN EL SISTEMA PRINCIPAL DE CIZALLAMIENTO

4.1.1. Veta Ramal Techo W

Se obtuvieron 697 datos estructurales de campo correspondiente a Azimuth, Buzamiento y Dirección de Buzamiento.

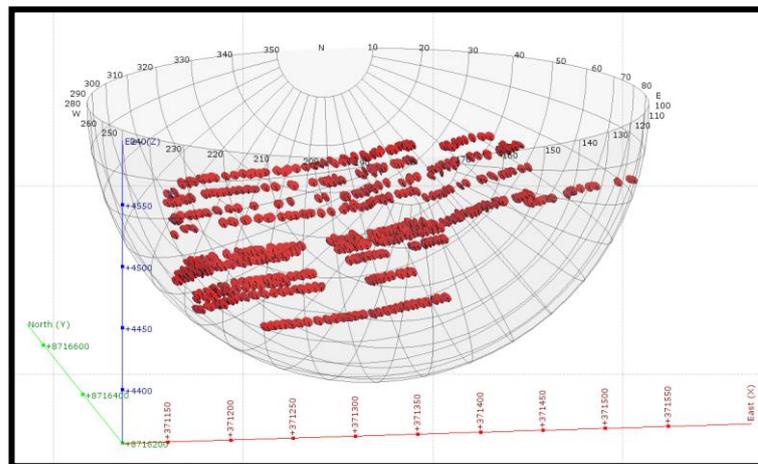


Figura 16 Data estructural – Ramal Techo W en vista 3D.:

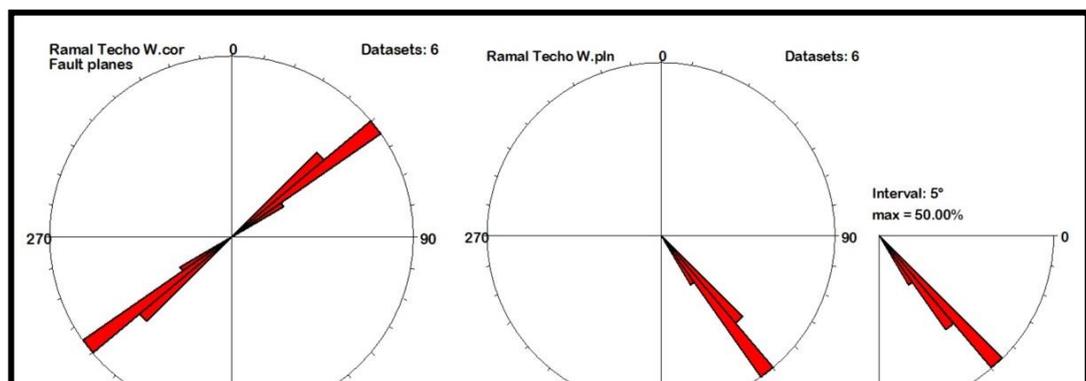
4.1.1.1. Diagrama de Rosas

4.1.1.1.1. Azimuth / Dirección de Buzamiento

El Azimuth de la veta Ramal Techo W según el diagrama de rosas es 048° (RHR), por ende, la dirección de buzamiento en promedio es 138° .

4.1.1.1.2. Buzamiento

El Buzamiento de la veta Ramal Techo W según el diagrama de rosas, indica un buzamiento promedio de 48° .



4.1.1.2. *Proyección Estereográfica*

Diagrama de polos y planos de los 697 datos estructurales obtenidos en campo sobre la veta Ramal Techo W.

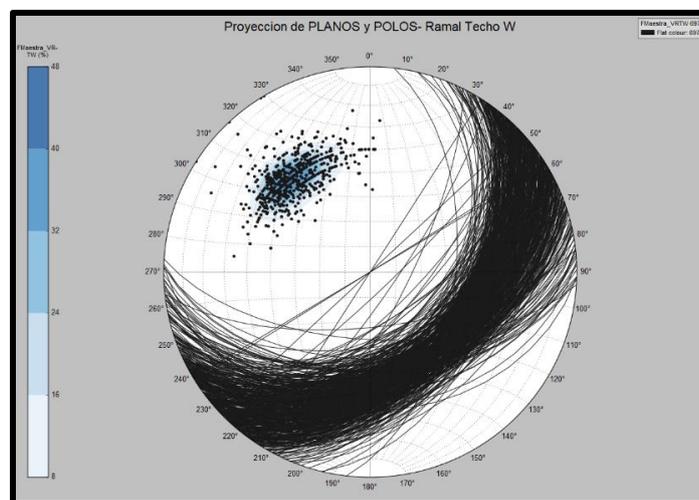


Figura 18: Vista de los planos y polos de la veta Ramal Techo W

4.1.1.3. *Cinemática*

La veta Ramal Techo W presenta una cinemática DEXTRAL, esto como resultado de la lectura y toma de datos (tectoglifos) en sus 6 estaciones estructurales. Además de la existencia de un JOG (Extensional Overlap Zone) en el NV 10 de la mina.



4.1.1.4. Dirección de Esfuerzos

El análisis de esfuerzos en el Tectonics FP indica las siguientes direcciones:

- σ_1 : 288/05
- σ_2 : 194/35
- σ_3 : 026/55

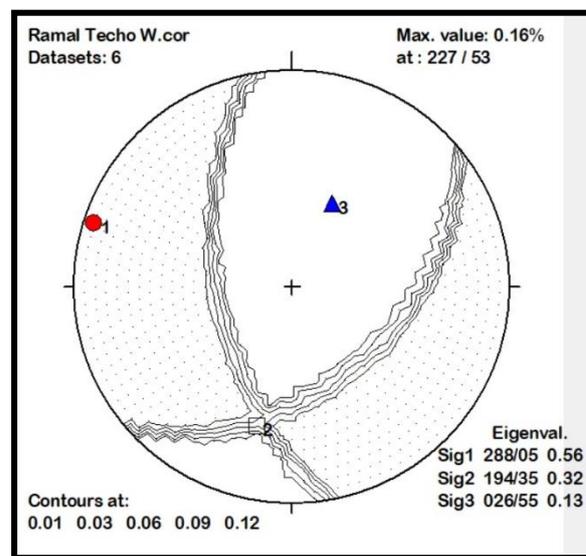


Figura 20: Dirección de esfuerzos principales sobre la veta Ramal Techo W.

4.1.2. Veta Ramal Techo E

Se obtuvieron 275 datos estructurales de campo correspondiente a Azimuth, Buzamiento y Dirección de Buzamiento.

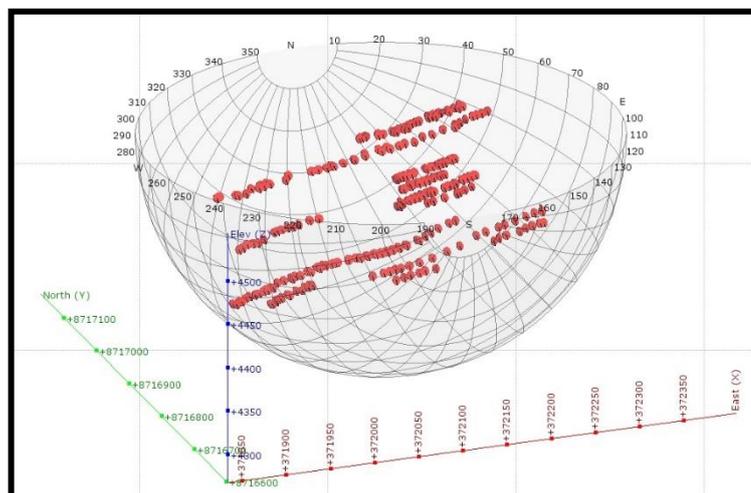


Figura 21: Data estructural – Ramal Techo E en vista 3D.

4.1.2.1. Diagrama de Rosas

4.1.2.1.1. Azimuth / Dirección de Buzamiento

El Azimuth de la veta Ramal Techo E según el diagrama de rosas es 065° (RHR), por ende, la dirección de buzamiento en promedio es 155° .

4.1.2.1.2. Buzamiento

El Buzamiento de la veta Ramal Techo E según el diagrama de rosas, indica un buzamiento promedio de 60° .

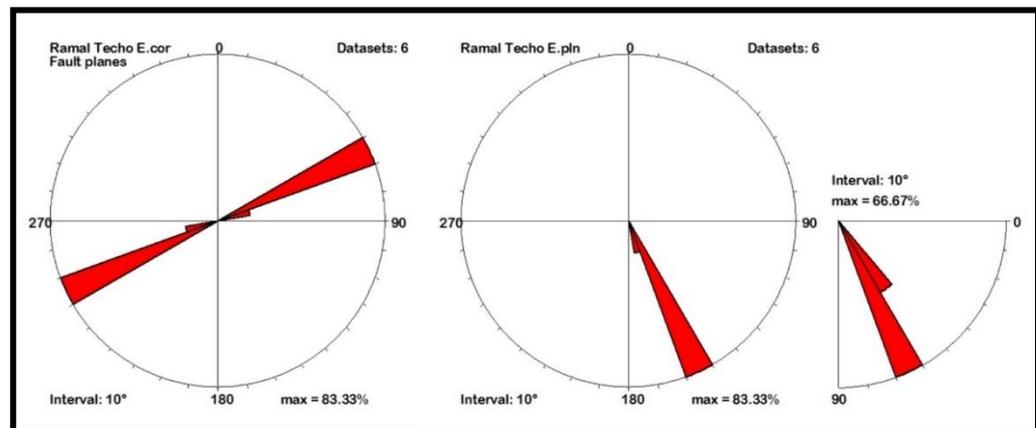


Figura 22: Diagrama de Rosas para la dirección, dirección de buzamiento y buzamiento de la veta Ramal Techo E.

4.1.2.2. Proyección Estereográfica

Diagrama de polos y planos de los 275 datos estructurales obtenidos en campo sobre la veta Ramal Techo E.

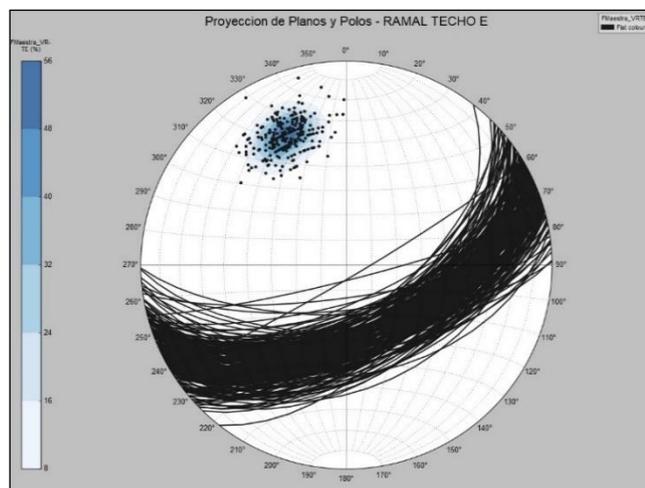


Figura 23: Vista de los planos y polos de la veta Ramal Techo E.

4.1.2.3. *Cinemática*

La veta Ramal Techo E presenta una cinemática DEXTRAL, esto como resultado de la lectura y toma de datos (tectoglifos) en sus 6 estaciones estructurales. Además de la existencia de JOGs (Extensional Overlap Zone) en los niveles 9, 10 y 11 de la mina.



Figura 24: Recristalización al abrigo de la falla Principal Veta Ramal Techo E.

4.1.2.4. *Dirección de Esfuerzos*

El análisis de esfuerzos en el Tectonics FP indica las siguientes direcciones:

- σ_1 :122/02
- σ_2 :214/40
- σ_3 :030/50

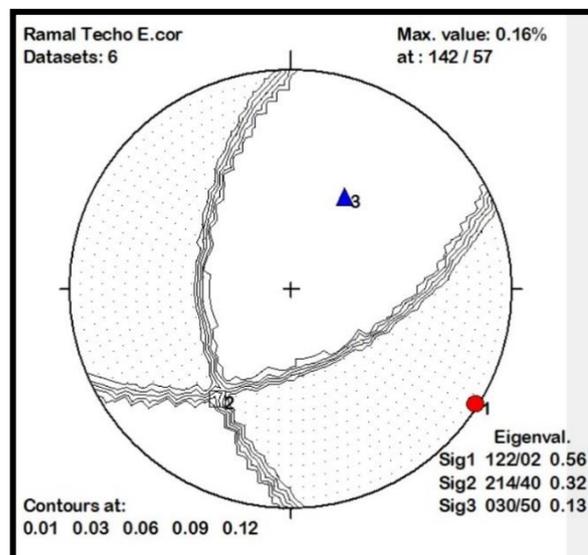


Figura 25: Dirección de esfuerzos principales sobre la veta Ramal Techo E.

4.1.3. Veta San Gregorio

Se obtuvieron 30 datos estructurales de superficie correspondiente a Azimuth, Buzamiento y Dirección de Buzamiento.

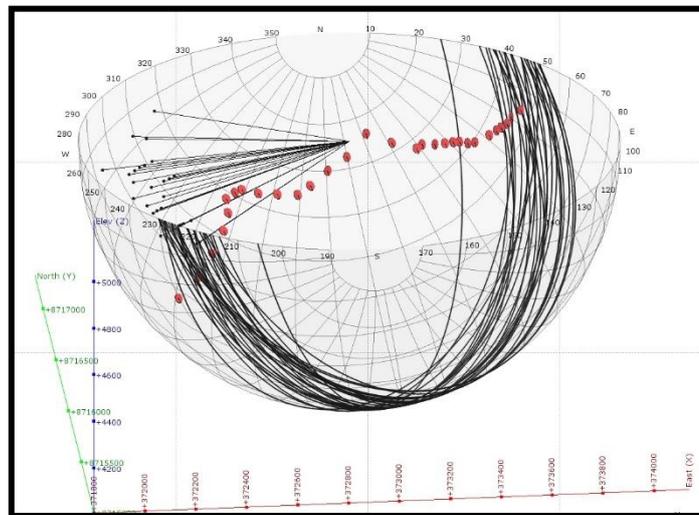


Figura 26: Data estructural – San Gregorio en vista 3D.

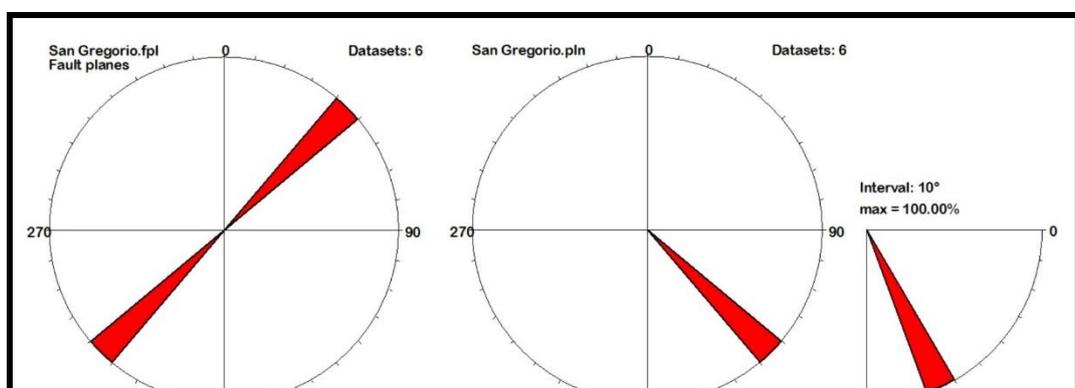
4.1.3.1. Diagrama de Rosas

4.1.3.1.1. Azimuth / Dirección de Buzamiento

El Azimuth de la veta San Gregorio según el diagrama de rosas es 043° (RHR), por ende, la dirección de buzamiento en promedio es 133° .

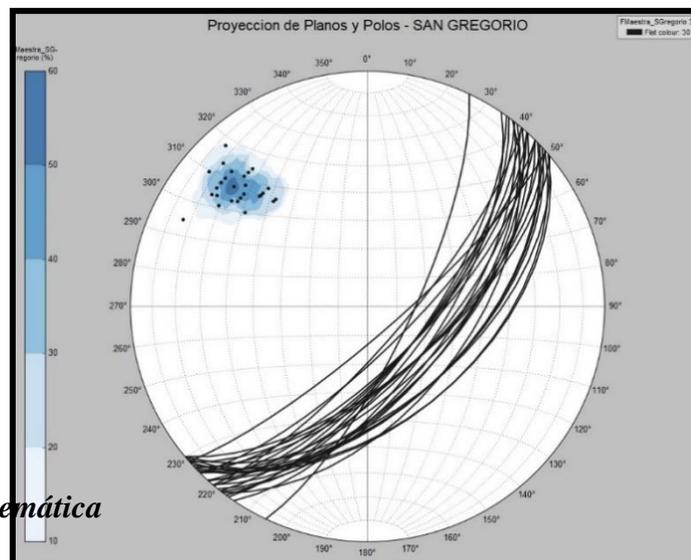
4.1.3.1.2. Buzamiento

El Buzamiento de la veta San Gregorio según el diagrama de rosas, indica un buzamiento promedio de 64° .



4.1.3.2. *Proyección Estereográfica*

Diagrama de polos y planos de los 30 datos estructurales obtenidos en campo sobre la veta San Gregorio.



4.1.3.3. *Cinématica*

La veta San Gregorio presenta una cinemática DEXTRAL, esto como resultado de la lectura y toma de datos (tectoglifos) en sus 6 estaciones estructurales en superficie.

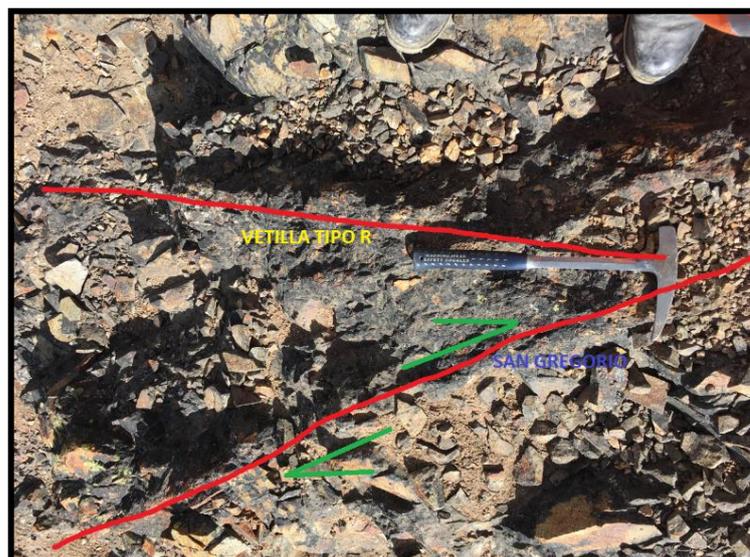


Figura 29: Estructuras de tipo R1 asociada a los planos de falla de la veta San Gregorio.

4.1.3.4. Dirección de Esfuerzos

El análisis de esfuerzos en el Tectonics FP indica las siguientes direcciones:

- σ_1 : 122/16
- σ_2 : 215/11
- σ_3 : 338/70

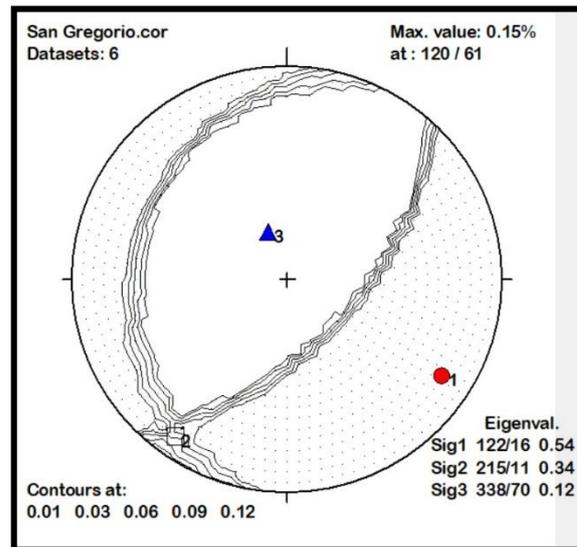


Figura 30: Dirección de esfuerzos principales sobre la veta San Gregorio

4.1.4. Veta Julisa

Se obtuvieron 163 datos estructurales de interior mina correspondiente a Azimuth, Buzamiento y Dirección de Buzamiento.

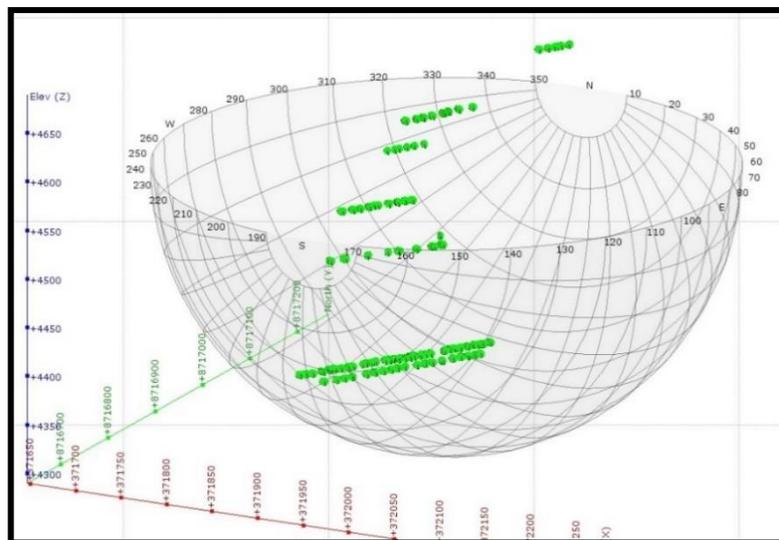


Figura 31: Data estructural – veta Julisa en vista 3D.

4.1.4.1. Diagrama de Rosas

4.1.4.1.1. Azimuth / Dirección de Buzamiento

El Azimuth de la veta Julisa según el diagrama de rosas es 032° (RHR), por ende, la dirección de buzamiento en promedio es 122° .

4.1.4.1.2. Buzamiento

El Buzamiento de la veta Julisa según el diagrama de rosas, indica un buzamiento promedio de 65° .

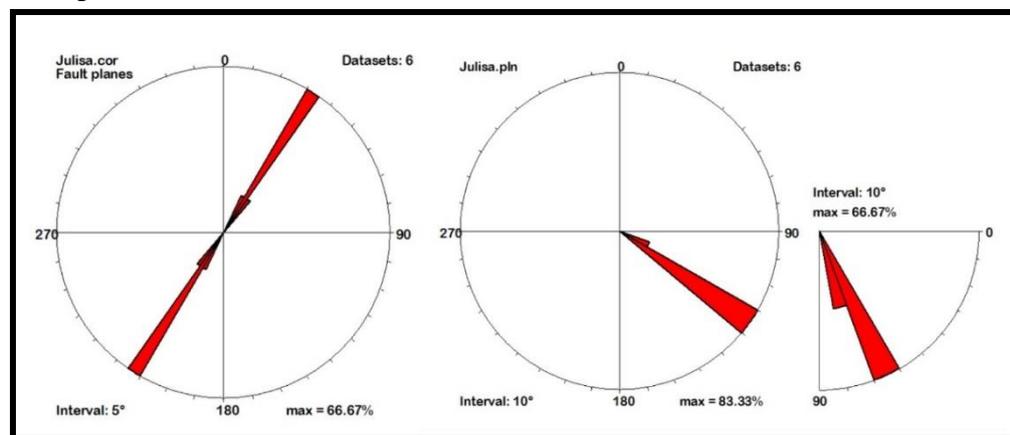


Figura 32: Diagrama de Rosas para la dirección, dirección de buzamiento y buzamiento de la veta Julisa.

4.1.4.2. Proyección Estereográfica

Diagrama de polos y planos de los 163 datos estructurales obtenidos en campo sobre la veta Julisa.

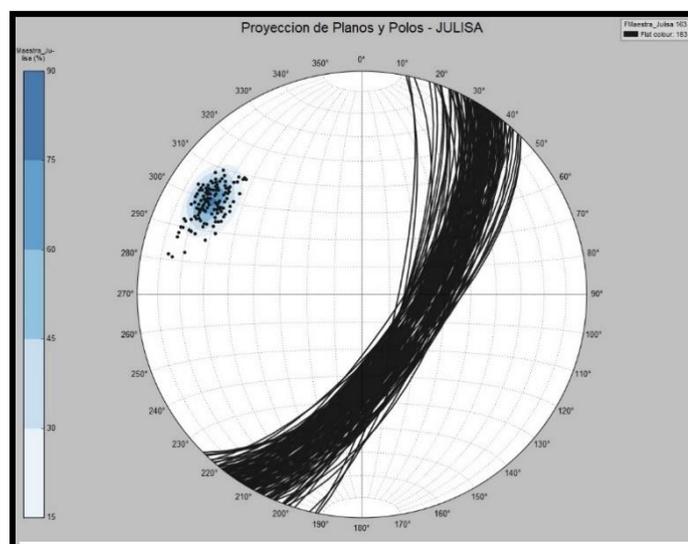


Figura 33: Vista de los planos y polos de la veta Julisa

4.1.4.3. Cinemática

La veta Julisa presenta una cinemática DEXTRAL, esto como resultado de la lectura y toma de datos (tectoglifos) en sus 6 estaciones estructurales en interior mina.

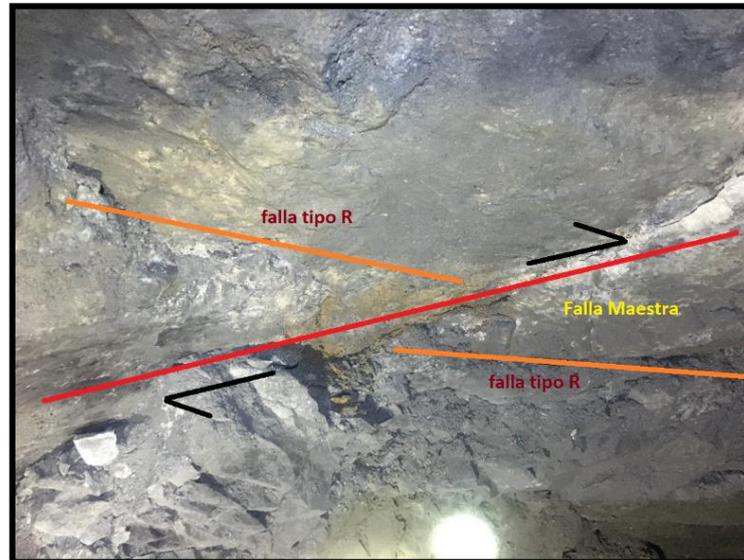


Figura 34: Fallas asociadas a la falla principal de la veta Julisa, nótese las fallas de tipo R1 que se desprenden tanto al piso y techo de la falla.

4.1.4.4. Dirección de Esfuerzos

El análisis de esfuerzos en el Tectonics FP indica las siguientes direcciones:

- σ_1 : 261/02
- σ_2 : 168/60
- σ_3 : 352/60

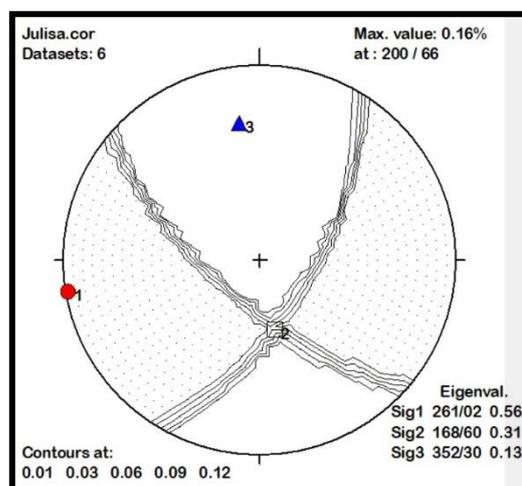


Figura 35: Dirección de esfuerzos principales sobre la veta Julisa

4.1.5. Veta Kelly

Se obtuvieron 348 datos estructurales de interior mina correspondiente a Azimuth, Buzamiento y Dirección de Buzamiento.

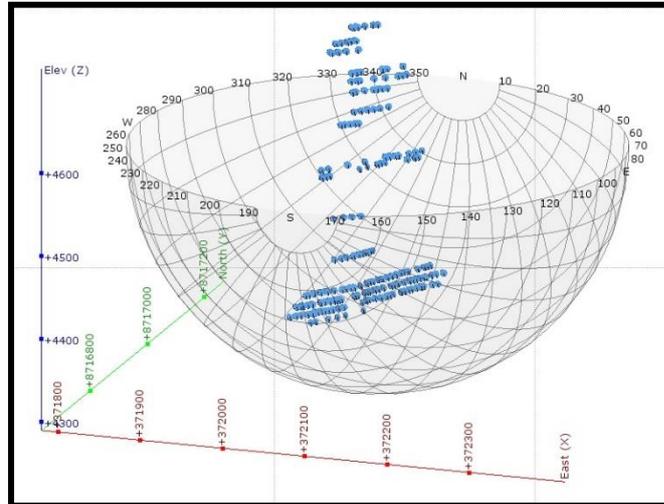


Figura 36: Data estructural – veta Kelly en vista 3D.

4.1.5.1. Diagrama de Rosas

4.1.5.1.1. Azimuth / Dirección de Buzamiento

El Azimuth de la veta Kelly según el diagrama de rosas es 033° (RHR), por ende, la dirección de buzamiento en promedio es 123° .

4.1.5.1.2. Buzamiento

El Buzamiento de la veta Kelly según el diagrama de rosas, indica un buzamiento promedio de 67° .

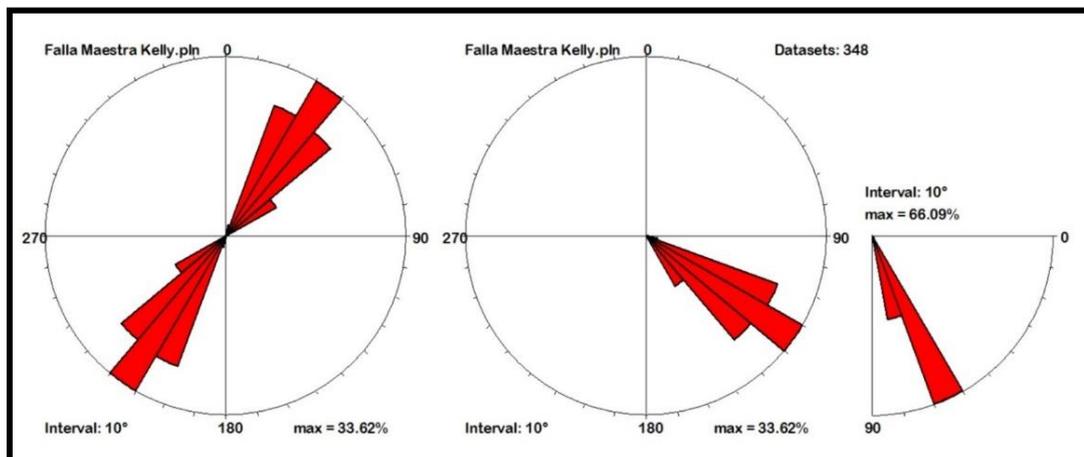
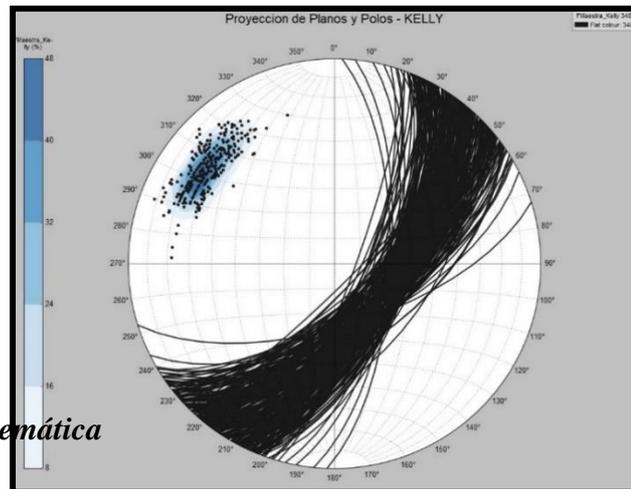


Figura 37: Diagrama de Rosas para la dirección, dirección de buzamiento y buzamiento de la veta Kelly.

4.1.5.2. *Proyección Estereográfica*

Diagrama de polos y planos de los 348 datos estructurales obtenidos en campo sobre la veta Kelly.



4.1.5.3. *Cinemática*

La veta Kelly presenta una cinemática DEXTRAL, esto como resultado de la lectura y toma de ~~Kelly~~ (tectoglifos) en sus 6 estaciones estructurales en interior mina.



Figura 39: Recristalización al abrigo de la falla Principal veta Kelly

4.1.5.4. *Dirección de Esfuerzos*

El análisis de esfuerzos en el Tectonics FP indica las siguientes direcciones:

• σ_1 : 265/03

• σ_2 : 170/59

• σ_3 : 57/30

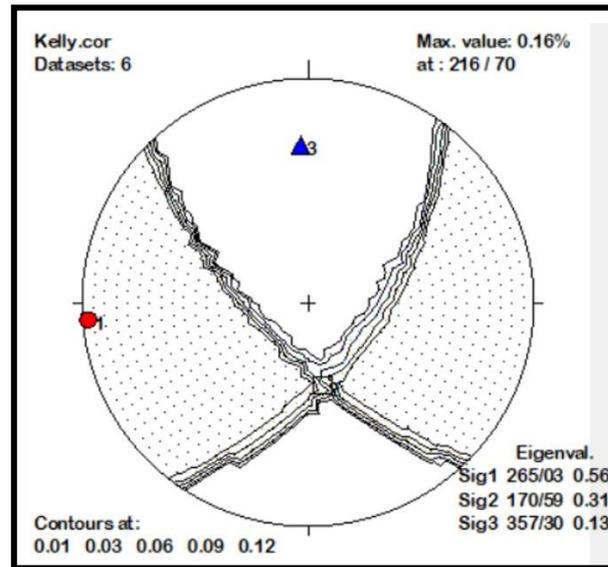


Figura 40: Dirección de esfuerzos principales sobre la veta Kelly.

4.1.6. Veta Lorena

Se obtuvieron 16 datos estructurales de interior mina correspondiente a Azimuth, Buzamiento y Dirección de Buzamiento.

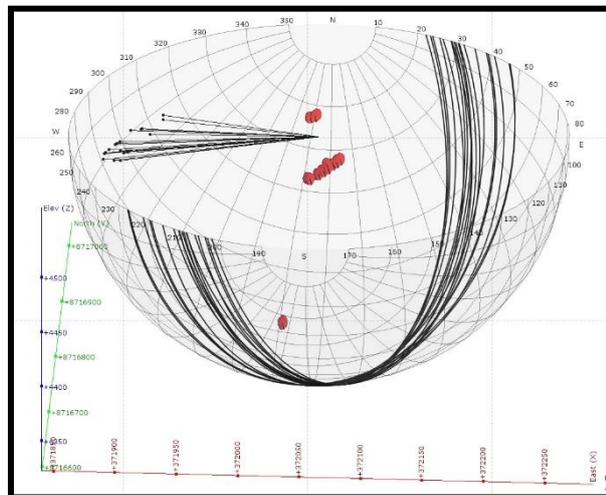


Figura 41: Data estructural – veta Lorena en vista 3D.

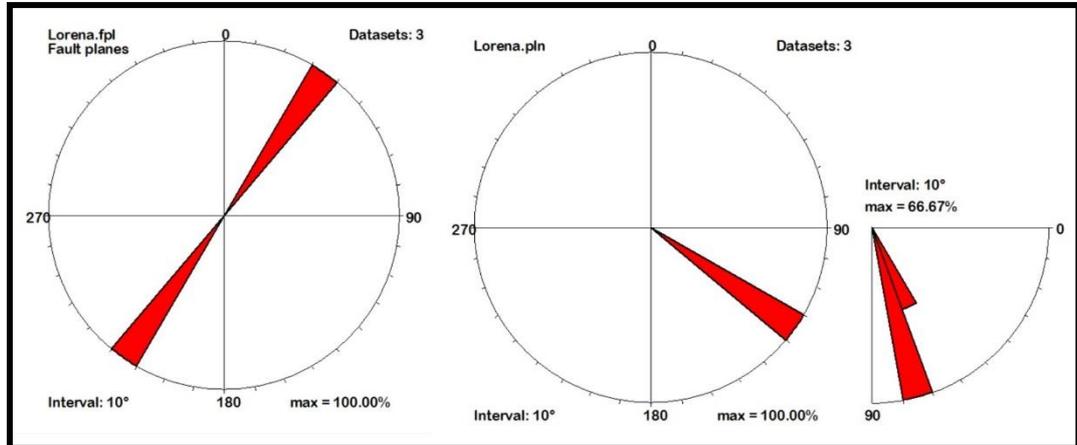
4.1.6.1. Diagrama de Rosas

4.1.6.1.1. Azimuth / Dirección de Buzamiento

El Azimuth de la veta Lorena según el diagrama de rosas es 034° (RHR), por ende, la dirección de buzamiento en promedio es 124° .

4.1.6.1.2. Buzamiento

El Buzamiento de la veta Lorena según el diagrama de rosas, indica un buzamiento promedio de 72° .



4.1.6.2. **Proyección Estereográfica**
Figura 42: Diagrama de Rosas para la dirección, dirección de buzamiento y buzamiento de la veta Lorena.

Diagrama de polos y planos de los 16 datos estructurales obtenidos en campo sobre la veta Lorena.

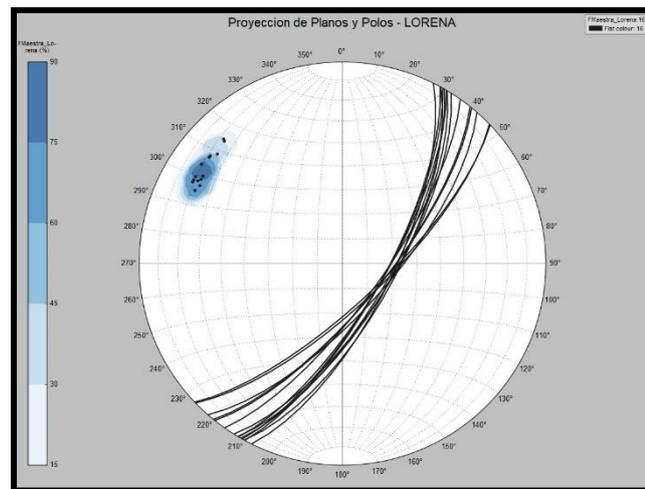


Figura 43: Vista de los planos y polos de la veta Lorena.

4.1.6.3. Cinemática

La veta Lorena presenta una cinemática DEXTRAL, esto como resultado de la lectura y toma de datos (tectoglifos) en sus 3 estaciones estructurales en interior mina.



Figura 44: Recristalización al abrigo de la falla Principal veta Lorena

4.1.6.4. Dirección de Esfuerzos

El análisis de esfuerzos en el Tectonics FP indica las siguientes direcciones:

- σ_1 : 261/02
- σ_2 : 166/67
- σ_3 : 352/23

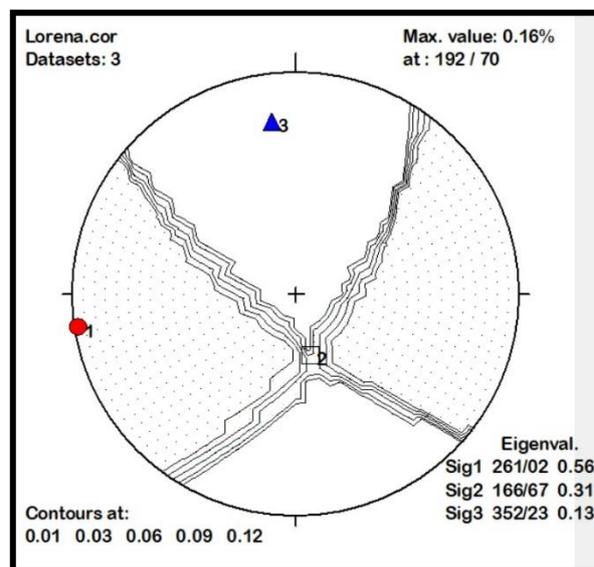
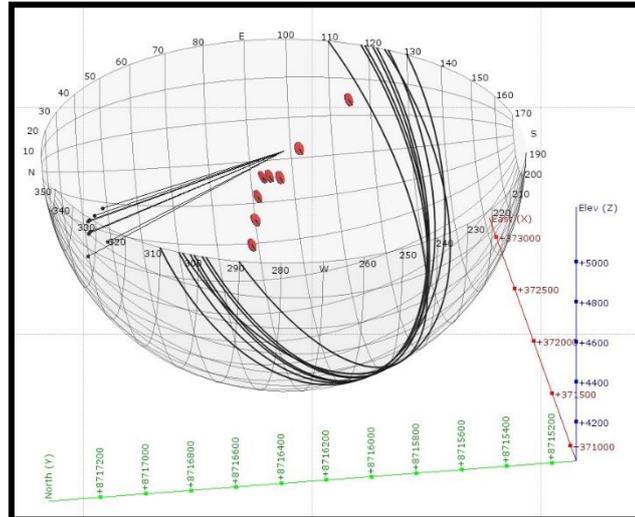


Figura 45: Dirección de esfuerzos principales sobre la veta Lorena.

4.1.7. Veta Falla Ticlio R1

Se obtuvieron 8 datos estructurales de superficie correspondiente a Azimuth, Buzamiento y Dirección de Buzamiento.



4.1.7.1. Figura 46: Data estructural – Falla Ticlio R1 en Diagrama de Rosas vista 3D.

4.1.7.1.1. Azimuth / Dirección de Buzamiento

El Azimuth de la veta Falla Ticlio R1 según el diagrama de rosas es 121° (RHR), por ende, la dirección de buzamiento en promedio es 211° .

4.1.7.1.2. Buzamiento

El Buzamiento de la veta Falla Ticlio R1 según el diagrama de rosas, indica un buzamiento promedio de 58° .

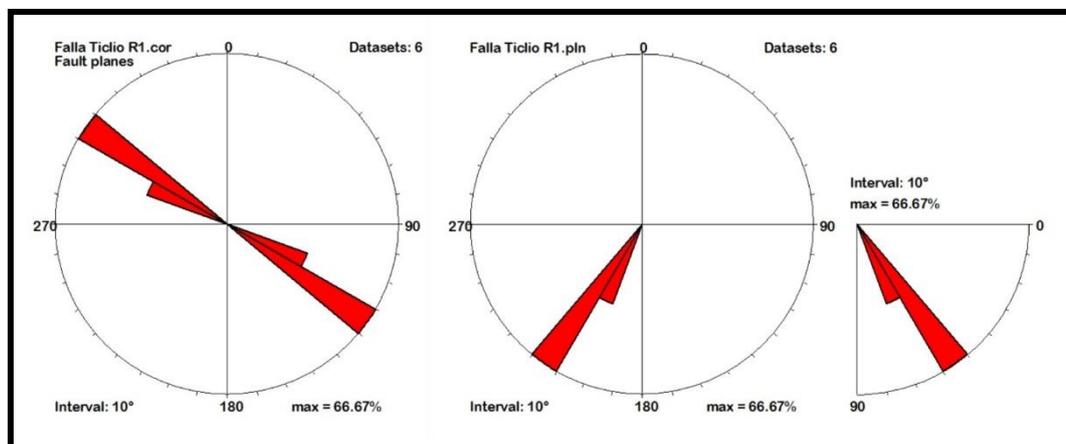
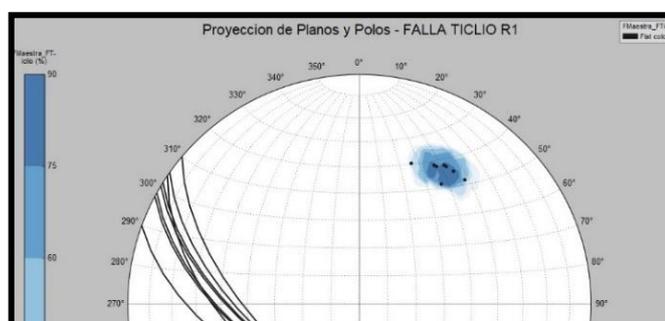


Figura 47: Diagrama de Rosas para la dirección, dirección de buzamiento y buzamiento de la Falla Ticlio R1.

4.1.7.2. Proyección Estereográfica

Diagrama de polos y planos de los 16 datos estructurales obtenidos en campo sobre la veta Falla Ticlio R1.



4.1.7.3. *Cinemática*

La veta Falla Ticlio R1 presenta una cinemática SINISTRAL, esto como resultado de la lectura y toma de datos (tectoglifos) en sus 6 estaciones estructurales en superficie, además con la evidencia de un JOG (Extensional Overlap Zone).

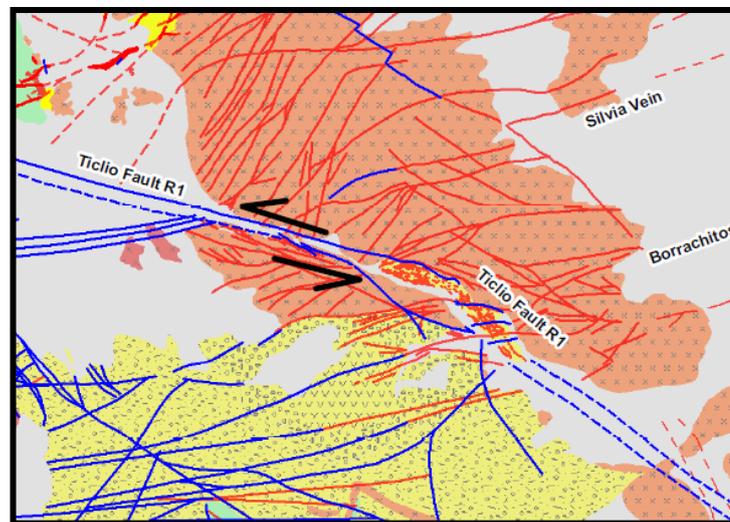


Figura 49: JOG en superficie de afloramiento de la Falla Ticlio R1.

4.1.7.4. *Dirección de Esfuerzos*

El análisis de esfuerzos en el Tectonics FP indica las siguientes direcciones:

- σ_1 : 087/46
- σ_2 : 271/44
- σ_3 : 179/02

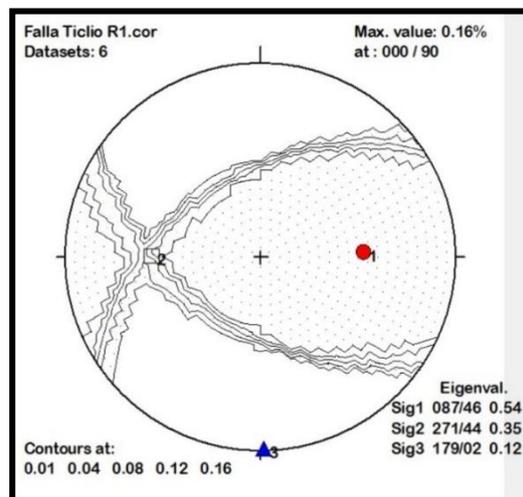


Figura 50: Dirección de esfuerzos principales sobre la Falla Ticlio R1

4.2. PROPUESTA DE MODELO ESTRUCTURAL PARA EL CONTROL DE LA MINERALIZACIÓN

4.2.1. Modelo Estructural Ticlio

4.2.1.1. Diagrama de Rosas

Se plotearon los 39 datos de las 7 estaciones estructurales: Ramal Techo W, Ramal Techo E, San Gregorio, Julisa, Kelly, Lorena y Falla Ticlio R1. Esto con la finalidad de obtener un modelo estructural en base a toda la información procesada. En el diagrama de rosas identificaremos las direcciones de las estructuras analizadas.

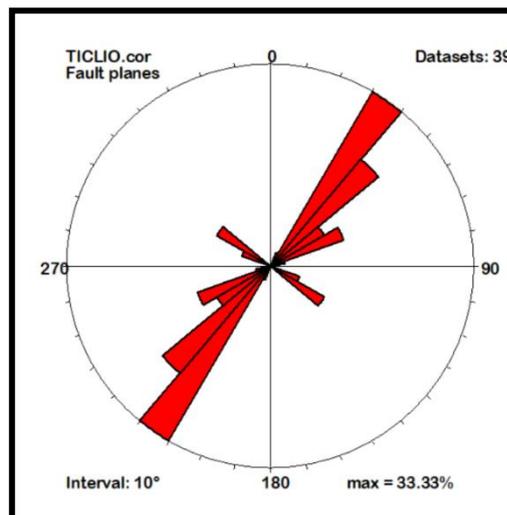
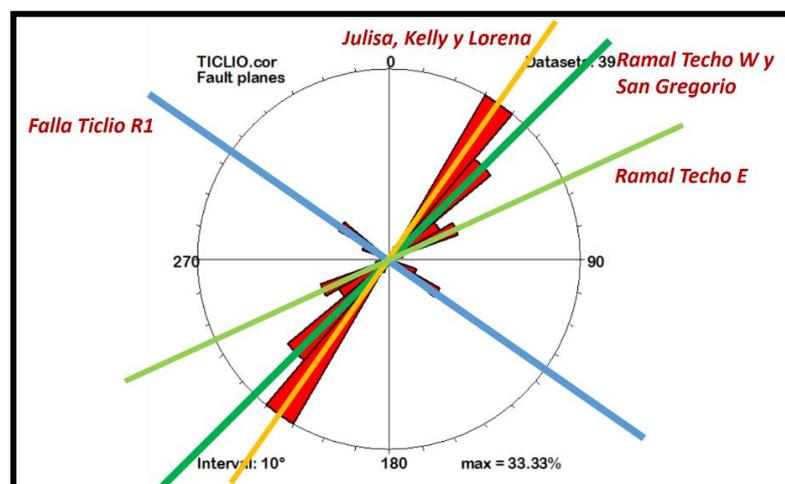


Figura 51: Diagrama de Rosas de las 7 estructuras analizadas.

4.2.1.2. Interpretación Diagrama de Rosas

Se logran identificar claramente las direcciones de las siete estructuras analizadas.



4.2.1.3. Modelo de Fracturamiento Riedel

Al realizar la comparación de las direcciones y sentidos de cada estructura analizada, podemos obtener el siguiente resultado:

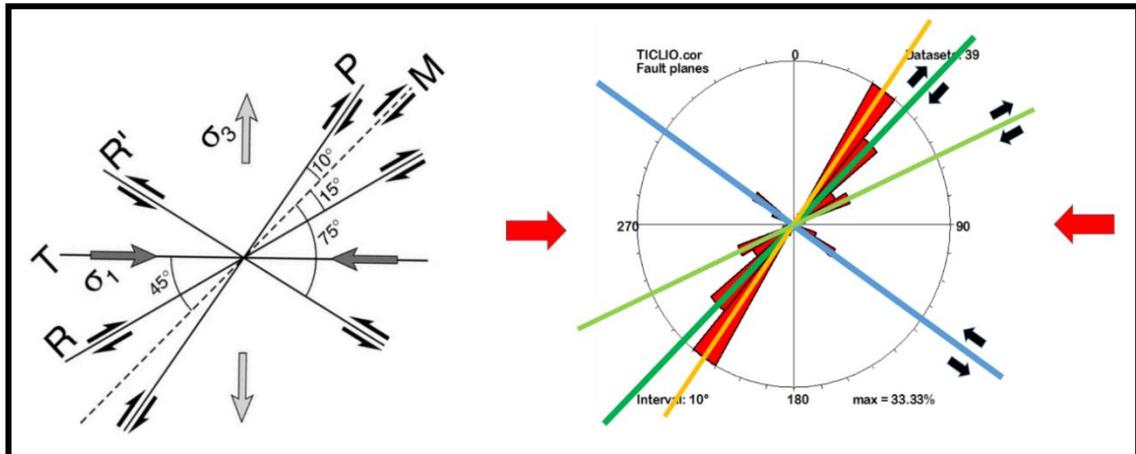


Figura 53: Estructuras analizadas y relacionadas con los componentes de un fracturamiento tiempo Riedel.

4.2.1.4. Dirección de Paleoesfuerzos

El análisis del Paleoesfuerzo ha sido resultado del procesamiento a todo el conjunto de estaciones estructurales, indicando las siguientes direcciones para los esfuerzos:

- σ_3 : 097/04
- σ_2 : 192/49
- σ_1 : 004/41

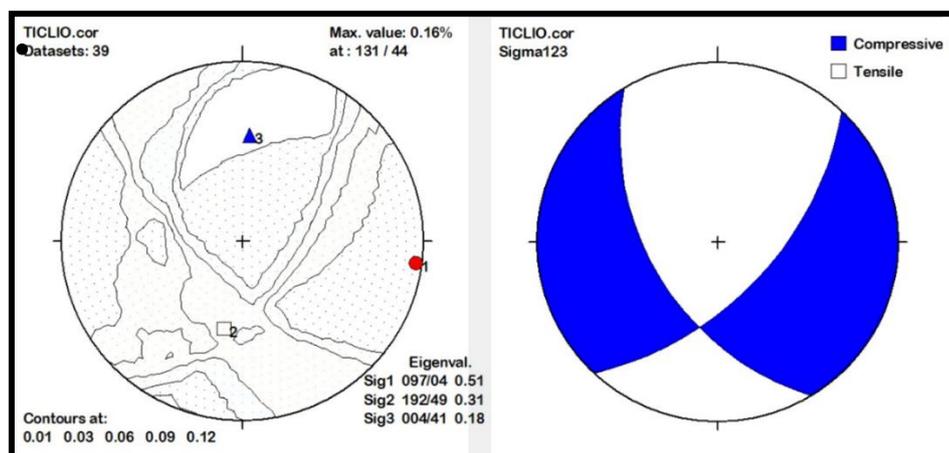


Figura 54: Dirección de los Paleoesfuerzso principales en la Unidad Ticlio.

4.3. IDENTIFICACION DE TARGETS DE EXPLORACIÓN

Los targets para una exploración brownfield superficial son resumidas en tres zonas con alto potencial en base a su cercanía con las operaciones:

- Target 1 = Zona de fracturamiento tipo R entre las estructuras Ramal Techo y San Gregorio, la distribución geométrica es evidente por la presencia de estructuras como Borrachitos, Pelusa, Caudalosa, etc.
- Target 2 = Extremo SW de la veta Ramal Techo W, cabe indicar que en la unidad operativa Casapalca existe una estructura denominada M-L con similares características estructurales a Ramal Techo W.
- Target 3 = Existen concesiones al norte de la Unidad Operativa Ticlio con muy poco detalle de exploración, con el modelo estructural propuesto la zona retoma un gran interés a la U.O. Ticlio.



V. CONCLUSIONES

- A. Las direcciones de sigma 1 (σ_1) (compresión) y sigma 3 (σ_3) (extensión) para las diferentes estructuras analizadas son los siguientes:
- Ramal Techo W $\sigma_1= 288/05$ y $\sigma_3= 026/55$
 - Ramal Techo E $\sigma_1= 122/02$ y $\sigma_3= 030/50$
 - San Gregorio $\sigma_1= 122/16$ y $\sigma_3= 338/70$
 - Julisa $\sigma_1= 261/02$ y $\sigma_3= 352/30$
 - Kelly $\sigma_1= 265/03$ y $\sigma_3= 357/30$
 - Lorena $\sigma_1= 261/02$ y $\sigma_3= 352/23$
 - Falla Ticlio R1 $\sigma_1= 087/46$ y $\sigma_3= 179/02$
- B. Se propone un modelo estructural que obedece a la combinación de la teoría de fracturamiento de Anderson donde se aprecia claramente un paleoesfuerzo compresivo-extensivo ($\sigma_1= 097/04$ y $\sigma_3= 004/41$) y el modelo de fracturamiento Riedel, esto como resultado de la distribución geométrica y cinemática del sistema de fallas conjugadas que existen en la zona de trabajo.
- C. Los targets para una exploración brownfield superficial son resumidas en tres zonas con alto potencial en base a su cercanía con las operaciones:
- Target 1 = Zona de fracturamiento tipo R entre las estructuras Ramal Techo y San Gregorio, la distribución geométrica es evidente por la presencia de estructuras como Borrachitos, Pelusa, Caudalosa, etc.
 - Target 2 = Extremo SW de la veta Ramal Techo W, cabe indicar que en la unidad operativa Casapalca existe una estructura denominada M-L con similares características estructurales a Ramal Techo W.
 - Target 3 = Existen concesiones al norte de la Unidad Operativa Ticlio con muy poco detalle de exploración, con el modelo estructural propuesto la zona retoma un gran interés a la U.O. Ticlio.



VI. RECOMENDACIONES

- Realizar una interpretación estructural de vetas y fallas (que se han identificado en los trabajos de campo) asociadas a una formación pos-mineral, ya que la elaboración de este trabajo obedece a una fase de formación syn-mineral.
- Diseñar y ejecutar un programa de perforación diamantina en el extremo SW de la veta Ramal Techo W, existen indicios de sondajes antiguos (2006 – 2010) que evidencian la presencia de una estructura en el rumbo de Ramal Techo W, además existe continuidad de afloramiento pasando la Falla Ticlio R1.
- Generar un plan de exploraciones Brownfield sobre la zona Norte de las concesiones que tiene la Unidad Operativa Ticlio.
- Realizar trabajos similares a las demás unidades que pertenecen al Cluster Yauli, como es el caso de San Cristobal, Andaychagua y Carahuacra.
- Asociar la dirección de los esfuerzos y paleoesfuerzo a una fase de deformación dentro de la Orogenia Andina.
- Realizar estudios de datación sobre las vetas mineralizadas principales de la Unidad Ticlio, a fin de correlacionarlos con la Orogenia Andina



VII. BIBLIOGRAFIA

(s.f.).

Acosta, A. (2009). *Memoria : Mapa Metalogenético del Peru*. Lima. Peru: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET.

Benavides , V. (1956). *Cretaceous System in northern Perú*. Bull. Amer. Mus. Nat. Hist. Vol. 108. art. 4, pp.

Benavides , V. (1999). *Orogenic evolution of the Peruvian Andes: the Andean cycle*, In: Skinner, B.J. (Ed.), *Geology and ore deposits of the central Andes*. Lima: Society of Economic Geologists, Special Publication 7, Littleton, Colorado, pp. 61–107.

Bendezú, R. (2007). *Cordilleran Epithermal Cu-Zn-Pb-(Au-Ag) Mineralization in the Colquijirca District, Central Peru: Deposit-Scale Mineralogical Patterns*.

Calvo , G., Rodriguez, O., Serrano, M., Tornos , F., Rodriguez , R., Velazco , F., . . . Sapacayo, M. (2012). *El skarn magnésico de Pampa de Pongo: Un megayacimiento de hierro en la Cordillera de la Costa del Sur del Perú*. Lima - Peru: Ponencia presentada en el XVI Congreso Peruano de Geología & SEG 2012 Conference.

Carlotto, V., Quispe, J., Acosta, H., Romero, D., Cerpa , L., Mamani, M., . . . Cueva, E. (2009). *Dominios Geotectónicos y Metalogenéticos del Perú*. Lima: Boletín Sociedad Geológica del Perú, 103, 1-89.

Closs, H., & Riedel, W. (1928-1929). *Analisis de microestructuras fragiles*.

Cobbing, E. (1978). *The Andean geosyncline in Peru and its distinction from Alpine geosynclines*. London: Jour. Geol. Soc. London, 135, p. 207-218.



- Davila, J. (2011). *Diccionario Geologico*. Callao - Perú: INGEMMET.
- Davis, G., & Reynolds, S. (1996). *Structural Geology of Rock and Regions*.
- Fontboté , L. (2013). *Zinc, Lead, Silver in Porphyry Sistems from Byproducts to World Class Deposits. "Cordilleran" of "Butte-Type" deposits*.
- Fossen, H. (2010). *Structural Geology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Harrison , J. (1943). *Geología de los Andes Centrales en parte del departamento de Junín*,. Lima: Boletin de la Sociedad Geologica del Peru.
- Jenks, W. (1945). *La geologia de Arequipa y sus alrededores*. Informaciones y memorias de la sociedad de ingenieros del Peru.
- JORC. (2012). *The Join Ore Reserves Committee Code*. Australian: Australian Institute of Geoscientists.
- Lepry, L. (1981). *The Structural Geology of the Yauli Dome Region, Cordillera Occidental Perú*.
- Macharé, J. (1987). *La margen continental del Perú: regimen tectonico y sedimentario cenozoico de los Andes centrales. (Disertacion doctoral no publicada)*. Paris: Université de Paris XI,.
- Martinez, J. (2003). *Geologia estructural y Dinamica global*. Departamento de geologia - universidad de Salamanca, adaptado por gutierrez Gabriel.
- Mc Laughling, D. (1924). *Geology and Physiography of the Peruvian Cordillera, Departments of Junin and Lima*. Lima.



- McKee, H., & Noble, D. (1989). *Cenozoic Tectonic Events magmatic pulses, and base and precious metal mineralization in the central andes*. Houston, Texas: Reinemund J.A, Editors.
- Noble, D. (1990). *Cenozoic Stratigraphy, Magmatic Activity, Compressive Deformation and Uplift in Northern Perú*.
- Oyarzun, R., & Lillo, J. (2013). *Geología estructural aplicada a la minería y exploración minera - principios basicos*. Madrid-España: Ediciones GEMM -Aula 2punto.net.
- Petersen, P. (2014). *Evaluación y Clasificación de Recursos Minerales en la Veta Ramal Techo, Unidad de Ticlio, Volcan Cia. Minera, Junin – Peru*. Lima: Tesis pregrado UNMSM.
- Quispe, J. (2016). *Características estructurales e isótopos de plomo de las de las Mineralizaciones Auríferas de la Franja Tantará – Huaytará*.
- Rivasplata , V. (2017). *Geología Estructural Aplicada a la Exploración Geológica – Minera* . Lima: 1er Congreso Internacional de Geociencias.
- Salazar, H. (1983). *Geologia de los cuadrangulos Matucana y huarochiri carta Geologica Nacional*. Lima: INGEMMET, Boletín serie A.
- Sylvester, A. (1988). *Strike-slip faults*. Geological Society of America p 1666-1703.
- Terrones. (1949). *Metallogenic evolution of the yauliDome central Peru*. Lima: Book series Mineral deposit.



ANEXOS

- A. Datos Estructurales de las Vetas
- A. Estaciones data estructural para Tectonics FP
- B. Estaciones data estructural para Faultkin
- C. Mapa de Ubicación Mina Ticlio
- D. Mapa de Propiedades Mineras – Ticlio
- E. Mapa geomorfológico - Ticlio
- F. Mapa Litoestratigráfico Regional – Ticlio
- G. Mapa Estructural - Ticlio
- H. Mapa Estructural – Ramal Techo W
- I. Mapa Estructural – Ramal Techo E
- J. Mapa Estructural – San Gregorio
- K. Mapa Estructural – Julisa
- L. Mapa Estructural – Kelly
- M. Mapa Estructural – Lorena
- N. Mapa Estructural – Falla Ticlio R1
- O. Mapa Modelo Estructural Ticlio
- P. Mapa de targets de exploración Ticlio