

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA



**“EVALUACIÓN LITOLÓGICA Y ESTRUCTURAL DEL SISTEMA
DE FALLAS MINA ORIÓN – ATIQUIPA”**

TESIS

PRESENTADA POR:

BACH. KEPLER HUISA BOMBILLA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

**PUNO – PERÚ
2019**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

TESIS

"EVALUACIÓN LITOLÓGICA Y ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE FALLAS
MINA ORIÓN - ATIQUIPA"

PRESENTADA POR:

BACH. KEPLER HUISA BOMBILLA


PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

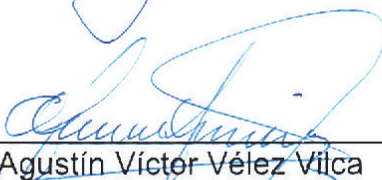
APROBADA POR EL JURADO REVISOR:



PRESIDENTE:


M. Sc. Newton Víctor Machaca Cusilayme

PRIMER MIEMBRO:


Ing. Agustín Víctor Vélez Vilca

SEGUNDO MIEMBRO:


Ing. Luis Alberto Maydana Vilca

DIRECTOR / ASESOR:


Ing. Luis Vicente Ortiz Gallegos

ÁREA: GEOLOGÍA DE MINAS
TEMA: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 02 DE SETIEMBRE DEL 2019

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía espiritual y con mucho amor y cariño les dedico a mis padres, Mauricio Huisa y Juana Bombilla, por creer en mí, por estar siempre conmigo, por el sacrificio que hicieron para darme un futuro mejor; estoy orgulloso de ustedes.

A mis hermanos Wingston, Lucy, Walter y Saúl por los años compartidos, por hacerme sentir querido, por las alegrías vividas; sus éxitos son un estímulo para mí.

A Edith C., mi mejor amiga, por su apoyo y exigencia, gracias por tu comprensión y compartir momentos gratos conmigo.

K. Huisa

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a la empresa Analytica Mineral Services S.A.C. por el apoyo brindado para realizar este proyecto; y mi mayor consideración al Gerente General Ing. Bernardo Álvarez Calderón, y al Superintendente de Geología Ing. Abad Yábar Calamullo por la iniciativa y sugerencia para llevar acabo el trabajo de tesis.

Doy mi más profundo agradecimiento cordialmente a mi alma mater, la “Universidad Nacional Del Altiplano - Puno” a los docentes de Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (EPIG), por brindarme la oportunidad y facilitarme las herramientas necesarias para lograr mis objetivos.

A mi maestro y gran amigo, el Ing. Luis Vicente Ortiz Gallegos gracias por su gran apoyo, motivación, confianza y por sus valiosos comentarios durante la realización del presente trabajo.

Al Ing. Valentín E. Fernández Valdivia gracias por la amistad, la confianza y los conocimientos que me ha brindado durante los años de aprendizaje, por el apoyo inicial de este trabajo.

Al Ing. Mauricio Peralta Molina, gracias por el apoyarme y motivarme siempre y valiosos comentarios durante el desarrollo y la revisión de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ANEXOS	vii
ACRÓNIMOS.....	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 GENERALIDADES	11
1.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.3.1 PROBLEMA GENERAL.....	15
1.3.2 PROBLEMA ESPECÍFICOS.....	15
1.4 OBJETIVOS.....	15
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	15
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.5 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL	15
1.6 JUSTIFICACIÓN	16
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1 INTRODUCCIÓN	17
2.2 MARCO TEÓRICO	17
2.2.1 FISIOGRAFÍA	17
2.2.2 GEOMORFOLOGÍA	18
2.2.3 ESTRATIGRAFÍA.....	18
2.2.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	25
2.2.5 METALOGENIA	32
2.3 MARCO CONCEPTUAL	34
2.3.1 DEFINICIONES BÁSICAS.....	35
2.3.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL	42
2.3.3 GEOLOGÍA ECONÓMICA	53
2.3.4 ALTERACIONES HIDROTERMALES	56
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	58
3.2 UBICACIÓN DEL PROYECTO	58
3.2.1 ACCESIBILIDAD	59
3.2.2 CLIMA	59
3.2.3 FAUNA Y FLORA	60
3.2.4 GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	60
3.2.5 FISIOGRAFÍA	61
3.2.6 HIDROGRAFÍA.....	62
3.3 ETAPAS DE INVESTIGACIÓN.....	62
3.3.1 ETAPA I: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	62
3.3.2 ETAPA II: DESCRIPCIÓN Y TOMA DE DATOS EN CAMPO.....	63
3.3.3 ETAPA III: REDACCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	64

CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1 UNIDADES LITOLÓGICAS.....	68
4.1.1 GEOLOGÍA LOCAL.....	68
4.1.2 PETROGRAFÍA.....	76
4.1.3 CONTROL LITOLÓGICO.....	83
4.1.4 CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS.....	84
4.1.5 ESTRUCTURAS MINERALIZADAS.....	86
4.1.6 CONTROL MINERALÓGICO.....	88
4.2 CINEMATICA Y LOS ESFUERZOS DEL SISTEMA DE FALLAS.....	89
4.2.1 GENERALIDADES.....	89
4.2.2 CRITERIOS PRÁCTICOS SOBRE LA APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE FALLAS.....	89
4.2.3 SISTEMA DE FALLAS.....	89
4.2.4 ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL SISTEMA DE FALLAS ORIÓN.....	92
4.3 MODELO ESTRUCTURAL.....	108
4.3.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN.....	110
CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES	
CAPÍTULO VI	
RECOMENDACIONES	
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	115
ANEXOS.....	119

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura N° 01: Los cinco (5) segmentos del batolito de la Costa peruano (B. Mukasa, 2019).</i>	23
<i>Figura N° 02: Extensión del Sistema de Fallas Iquipi-Clavelinas (SFIC)</i>	30
<i>Figura N° 03: A) y B) Se observa la escarpa de falla Cateador al extremo SW</i>	31
<i>Figura N° 04: A) Falla Ángela con una potencia de 4.5m al norte de la zona de estudio.</i>	31
<i>Figura N° 05: Mapa metalogénico del sur del Perú entre las latitudes 14 - 18°30'S</i>	33
<i>Figura N° 06: Relación espacio entre los tipos de yacimiento y magmatismo asociado</i>	34
<i>Figura N° 07: Modelos de Fracturamiento de Riedel Izquierdo (A) y Derecho (B)</i>	43
<i>Figura N° 08: Esquema de movimientos en una zona transcurrente</i>	43
<i>Figura N° 09: e) Distintos tipos de fracturas secundarias asociadas a un plano de falla principal M.</i>	45
<i>Figura N° 10: Clasificación de indicadores cinemáticos de ambientes de formación</i>	45
<i>Figura N° 11: A) y B) planos estriados, estrías sub horizontales,</i>	46
<i>Figura N° 12: Tipos de fallas según dirección de esfuerzos y compresión máximo</i>	46
<i>Figura N° 13: Las relaciones entre la orientación de los esfuerzos principales</i>	47
<i>Figura N° 14: Datos numéricos que se utilizan en los métodos de inversión.</i>	48
<i>Figura N° 15: Relaciones entre mecanismos focales y estructuras activas para los tres regímenes de esfuerzos</i>	49
<i>Figura N° 16: Proyección de planos nodales en el hemisferio inferior de la red de estereografía</i>	50
<i>Figura N° 17: Planos nodales, trazados a partir de poblaciones de polos.</i>	50
<i>Figura N° 18: Distinto tipos de movimientos representados en la representación gráfica de planos modales</i>	51
<i>Figura N° 19: La ciclográfica cuyo polo es B contiene a los polos de los planos nodales, a P y a T, todos ellos separados 45°</i>	52
<i>Figura N° 20: Bloque diagrama (arriba) de una falla con estría de deslizamiento y de los ángulos de buzamiento</i>	52
<i>Figura N° 21: A) Criterios para la nomenclatura de fallas normales</i>	53
<i>Figura N° 22: Ubicación de la micro cuenca honda donde está influenciado en área de estudio.</i>	62
<i>Figura N° 23: A) Y B) Medidas de los ángulos de inmersión y cabeceo</i>	64
<i>Figura N° 24: Software Fault Kin 7.5 para el análisis de esfuerzo a gran y menor escala</i>	66
<i>Figura N° 25: Faulkin 7.5, Interfaz en Windows (bottom) y Mac OS (top)</i>	66
<i>Figura N° 26: Faulkin 7.5, Interfaz para ingreso y edición de datos estructurales en la data</i>	67
<i>Figura N° 27: Columna estratigráfica local mina Orión</i>	69
<i>Figura N° 28: A) y B) Muestras sienitas y el contacto</i>	70
<i>Figura N° 29: A) y B) Fotografía de muestras de diorita sin alteración donde mantienen su textura original.</i>	71

<i>Figura N° 30:</i> Roca intrusiva de composición diorítica.....	71
<i>Figura N° 31:</i> A) y B) Muestras de Pórfido Andesita pseudosedimentaria.....	72
<i>Figura N° 32:</i> A) y B) Muestras de rocas Meta Andesitas,	73
<i>Figura N° 33:</i> A) Muestra de Ignimbrita (toba) riolíticas con afloramiento puntuales al N y S	73
<i>Figura N° 34:</i> A) Muestra de arenisca cuarcíticas y areniscas grises, se aprecian en la parte superior	74
<i>Figura N° 35:</i> A) y B) Muestra de lutitas con horizontes de areniscas cuarcíticas y hornfels,.....	75
<i>Figura N° 36:</i> Afloramiento de formaciones geológicas en el área de estudio,.....	76
<i>Figura N° 37:</i> Representa los intrusivos de diorita y monzonitas	78
<i>Figura N° 38:</i> Cristales de plagioclasas (Plgs) alteradas por las arcillas-sericita (Ser),	79
<i>Figura N° 39:</i> A), B) y C) Cristales de plagioclasas (Plgs) alterados por las arcillas carbonatos	80
<i>Figura N° 40:</i> A) y B) Fenocristales de plagioclasas (Plgs)	81
<i>Figura N° 41:</i> A) Fenocristales de plagioclasas (Plgs)	82
<i>Figura N° 42:</i> Meta arenisca con clastos de granos de cuarzo (Cz)	83
<i>Figura N° 43:</i> A) Minerales de las vetas en zonas de sulfuros	86
<i>Figura N° 44:</i> A). El Diagrama de Rosetas superficie Orión	90
<i>Figura N° 45:</i> Diagrama de rosetas según zonas	90
<i>Figura N° 46:</i> A) Modelo estructural propuesto para el yacimiento Orión	92
<i>Figura N° 47:</i> A) Análisis cinemático de la falla (Falla Verónica) ENE-WSW, B) Fallas dextrales NW-SE	94
<i>Figura N° 48:</i> Análisis cinemático del sistema de fallas zona Chinchilico	96
<i>Figura N° 49:</i> Falla dextral componente normal NNE-SSW, y fallas que tienen compatibilidad cinemática.	98
<i>Figura N° 50:</i> Falla Ángela en el Cx470 con una potencia de 0.15 cm.....	98
<i>Figura N° 51:</i> Fallas dextrales, con presencia de fallas normales.	99
<i>Figura N° 52:</i> Fallas dextrales, con presencia de fallas transcurrentes.....	101
<i>Figura N° 53:</i> Fallas dextrales, que tiene un desplazamiento decenas de metros.....	101
<i>Figura N° 54:</i> Fases de deformación, generados en la zona de estudio.....	103
<i>Figura N° 55:</i> La sección longitudinal muestra las fallas principales y el sentido de desplazamiento de la falla Ángela.	104
<i>Figura N° 56:</i> A) Plano de falla Ángela que tiene un Pich promedio de <math><45^\circ</math>,	105
<i>Figura N° 57:</i> Franja mineralizada con desplazamiento de 209 metros aprox.	107
<i>Figura N° 58:</i> Vista Panorámica del yacimiento	108
<i>Figura N° 59:</i> A) Esfuerzos finales propuesto para el yacimiento Orión,	110

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1, Las Dataciones K/Ar Son Realizados Por Stewart Et Al (1974) And U/Pb Cobbing Et Al (1981).....	22
Cuadro 2, Entre El Barremiano Y El Aptiano El Acoplamiento Entre Las Placas Convergentes Phoenix Y Sudamericana.	28
Cuadro 3, Ubicación Política.	58
Cuadro 4, Ubicación Geográfica.....	59
Cuadro 5, Acceso Al Área De Estudio.....	59

ANEXOS

- Anexo N° 01:* Vista panorámica del yacimiento Orión, foto mirando al NW.
- Anexo N° 02:* Campamentos mina, en la zona Chinchilico.
- Anexo N° 03:* Veta Indio (fragmento de andesita, piritita, pirrotita, diseminaciones de calcopirita).
- Anexo N° 04:* Veta Francia (Brecha, con núcleos de goethita con cristales de cuarzo blanco).
- Anexo N° 05:* Veta Chinchilico (Nv1600).
- Anexo N° 06:* Veta Chinchilico (Profundización Nv1550).
- Anexo N° 07:* Datos estructurales.
- Anexo N° 08:* Mapa de ubicación.
- Anexo N° 09:* Mapa geomorfológico local.
- Anexo N° 10:* Mapa geológico regional.
- Anexo N° 11:* Mapa geológico local.
- Anexo N° 12:* Sección transversal +280 (A-A').
- Anexo N° 13:* Mapa de modelo estructural propuesto.

ACRÓNIMOS

Ma: Millones de Años	INGEMMET: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
N: Norte	Px: Piroxenos
S: Sur	AMS: Analytica Mineral Services SAC
E: Este	Bt: Biotita
W: Oeste	AndPorf: Andesita porfirítica
Az: Azimut	PorfAnd: Pórfido andesita
Bz: Buzamiento	Lat: Latita
DBz: Dirección de buzamiento	Ign: Ignimbrita
SFIC: Sistema de Fallas Iquipi-Clavelinas	Horf: Hornfels
Plag: Plagioclasas	Qzta: Cuarzitas
Fk: Feldespato potásico	Lt: Lutita
Mz: Monzonita	A-Fk: Areniscas feldespático
Mzdi: Monzodiorita	A-Qza: Arenisca cuarzosa
Di: Diorita	T: Fracturas de tensión
Py: Pirita	R: Fracturas Sintéticas
Cpy: Calcopirita	R': Fracturas Antitéticas
Cz: Cuarzo	Mus: Muscovita
Cal: Calcita	Op: Opacos
And: Andesita	IOCG: Iron Oxide Copper Gold
Ser: Sericita	SUI: Súper Unidad Incahuasi
Anf: Anfiboles	SUPa: Súper Unidad Patap
V: Venilla	SUT: Súper Unidad Tiabaya
Lim: Limonita	SUL (Ica): Súper Unidad Linga
SGP: Sociedad Geológica del Perú.	
SUL (Arequipa): Super Unidad Linga	

RESUMEN

La mina Orión es un yacimiento de tipo mesotermal con posible relación al yacimiento IOCG, ubicado en el flanco occidental de la cordillera de la Costa en el distrito de Atiquipa, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa, aproximadamente a 33 km del distrito de Chala. El presente trabajo tiene como objetivo de la investigación, identificar las unidades litológicas, dirección de esfuerzos y cinemática del sistema de fallas aplicando metodología de: diedros rectos. El área de estudio presenta relieve abrupto con quebrada profundas y pendientes elevadas. El marco geológico del yacimiento emplazado dentro de las Súper Unidades Tiabaya y Linga del Cretáceo Superior, también conformado por rocas sedimentarias del Jurásico Superior (Fm. Labra, Fm Cachíos), rocas hipabisales del Cretáceo Inferior a Superior (Volcánico Bella Unión). Los intrusivos se caracterizan por diorita y monzonita (monzogranito) donde presentan leve metasomatismo potásico y microdiques de monzonita. Además, la existencia de diques andesíticos (brecha) son un metalotécto para la mineralización del yacimiento. Sin embargo, en la zona Laura la litología corresponde a horizontes de lutitas, areniscas cuarzosas, andesitas porfiríticas con niveles de carbón. Se han identificado cinco (5) sistemas de fallas lo cual el I y II sistema corresponde a vetas y fallas reactivadas, III, IV y V corresponde a fallas, controlados por sistema de fallas regionales del sistema Iquipi - Clavelinas. El yacimiento tiene diferentes tensores de esfuerzos según la fase tectónica: σ_1 = vertical, σ_2 = horizontal máximo, σ_3 = horizontal mínimo, con una orientación del esfuerzo resultante σ_3 noroeste a sureste (NW-SE). El análisis cinemático demuestra que la falla Ángela tiene un movimiento dextral con componente normal lo cual desplaza las vetas Indio – Francia en vertical de 209.00 metros y en la horizontal 286.00 metros respectivamente, generados por activación y reactivación de fallas, en algunos casos acompañan a las vetas. La mineralización del yacimiento consiste principalmente de oro nativo asociado a pirita aurífera, calcopirita, bornita, goethita, limonita, cuarzo, yeso, calcita, pirrotina, magnetita, raras veces actinolita, especularita y molibdenita.

PALABRAS CLAVES: Fallas, desplazamiento, sistemas, deformación, esfuerzos.

ABSTRACT

The Orion mine is a mesothermal type deposit with possible relation to the IOCG deposit, located on the western flank of the Cordillera of the Cost in the district of Atiquipa, province of Caravelí, department of Arequipa, approximately 33 km from the district of Chala. The present work has the objective of the investigation is to identify the lithological units and the direction of efforts, kinematics of the fault system applying methodology of: straight dihedral. The study area presents steep relief with deep ravines and high slopes. The geological framework of the site located within the Tiabaya and Linga Super Units of the Upper Cretaceous, also made up of sedimentary rocks of the Upper Jurassic (Fm. Labra, Fm Cachíos), hipabisal rocks of the Lower to Upper Cretaceous (Bella Unión Volcanic). The intrusives are characterized by diorite and monzonite (monzogranite) where they have mild potassium metasomatism and monzonite microdiques. In addition, the existence of andesitic dykes (gap) is a metallotect for mineralization of the deposit. However, in the Laura zone the lithology corresponds to horizons of shales, quartz sandstones, porphyritic andesites with carbon levels. Five (5) fault systems have been identified which I and II system corresponds to veins and reactivated faults, III, IV and V correspond to failures, controlled by the regional fault system of the IQUIPI-Clavelinas system. The reservoir has different stress tensors according to the final tectonic phase: σ_1 = vertical, σ_2 = maximum horizontal, σ_3 = minimum horizontal, with an orientation of the resulting stress σ_3 northwest to southeast (NW-SE). The kinematic analysis shows that the Angela fault has a dextral movement with a normal component which displaces the Indio - Francia veins vertically is 209.00 meters. and in the horizontal 286.00 meters respectively, generated by activation and reactivation of faults, in some cases they accompany the veins. The mineralization of the deposit consists mainly of native gold associated with gold pyrite, chalcopyrite, bornite, goethite, limonite, quartz, gypsum, calcite, pyrrotine, magnetite, rarely actinolite, specularite and molybdenite.

Key Words: Failures, displacement, systems, deformation, stress.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

El presente trabajo de investigación contiene los resultados de la descripción litológica y estructural con fines de analizar el sentido de esfuerzos en base a la metodología de diedros rectos, Fault Kin y la cartografía geológica, recolección de muestras, datos estructurales, datos petrográficos, secciones geológicas estableciendo áreas posibles con potencial económico.

1.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Los trabajos de exploración geológica en la región sur del Perú, se iniciaron desde tiempos remotos, quedando una serie de trabajos desde la época pre-Inca a la época colonial en el área de Orión, Víbora, Chaparra, Española, los Reyes entre otras.

Los estudios realizados continuaron en el siglo XX, a partir del año 2000 se establece la empresa siendo la razón social Sociedad Minera Orduz hasta el año 2006 y hoy Analytica Mineral Services S.A.C. donde inició una campaña de mapeo, muestreo del sistema de vetas en el distrito minero Orión (Fuente: AMS).

E. Olchanski (1980) Boletín N°34, Serie A; cuadrángulos de Jaqui, Coracora, Chala y Chaparra del INGEMMET, están ubicados en los departamentos de Ayacucho y Arequipa, comprenden una extensión aproximada de 11,000 km². Se han distinguido ocho unidades geomorfológicas, las que se denominan: Faja Litoral, Cadena Costanera, Peniplanicie Costanera, Peniplanicie Sub-andina, Cadena Andina, Pampa Parinacochas, Lomadas Andinas y Valles Transversales. La columna estratigráfica del área la conforman rocas

metamórficas, sedimentarias y volcánicas de origen tanto marino como continental con un rango vertical comprendido entre el Precambriano y el Cuaternario Reciente. Las rocas plutónicas varían en composición desde los gabros hasta los granitos y han sido agrupados de acuerdo a su relación, composición y tiempo de emplazamiento. Grandes cuerpos de rocas hipabisales están asociados a intrusiones pequeñas y a rocas volcánicas, formando lo que se ha denominado **Complejo Bella Unión**. Estructuralmente, el área estudiada presenta sectores de diferente deformación, así tenemos la zona oeste, zona de emplazamiento del batolito, zona plegada y zona este. Los depósitos metálicos son muy restringidos y se hace especial mención a depósitos de cobre, oro, plomo y fierro, los yacimientos no metálicos, los cuales tienen poco o ningún valor económico.

J. Santos (2009) realizó un estudio de Tesis titulada “controles geológicos – estructurales de la mineralización aurífera en el sistema de vetas de la mina Orión Chala” teniendo como objetivo de elaborar un modelo geológico estructural, sistematizar y organizar la información geológica recopilada, determinar la distribución espacial de clavos mineralizados y definir nuevas áreas de interés, donde indica el afloramiento de rocas sedimentarias y volcánicas del Mesozoico al Cenozoico, intruídas por stocks generalmente correspondientes a las súper unidades Linga y Tiabaya, también por diques/sills pórfido dioríticos (cristales de hornblenda de 2 cm) y algunos escasos diques andesíticos. Las estructuras mineralizadas tienen un rumbo promedio de N20°-60°W buzando generalmente 45°-75° al NE, emplazadas en los intrusivos de diorita – tonalita ricos en biotita, en las secuencias sedimentarias y volcanoclásticas de la formación Guaneros y del grupo Yura, generando hornfels en los sedimentos y diseminación de pirita (óxidos de hierro, zona flor del desierto). La mineralización está dividida en dos sectores, uno secundario de óxidos - mixtos de hierro (hematita - jarosita - goethita) de entre 200 a 400 m de profundidad y otra de sulfuros primarios, ensamble de pirita – calcopirita, magnetita - covelita. Las zonas enriquecidas en óxidos – mixtos, se extienden en “clavos” a lo largo de la falla con un plunge 75° con longitudes entre 200 y 300 m con zonas estériles de entre 6 y 20 m. Los clavos de mineralización primaria se distribuyen de forma irregular a lo largo de 400 a 600 m en la horizontal y en unos 400 m conocidos hasta ahora en la vertical. La alteración hidrotermal, se manifiesta en un ensamble de cuarzo sericita intenso en las estructuras y en las cajas adyacentes como sericitización – caolín cloritización seguida por una propilitización marginal con clorita, epidota, pirita, carbonatos, siendo la propilitización la de mayor difusión en los intrusivos. Se han determinado 04 fases de deformación en la mina Orión

que están relacionadas a procesos tectónicos desde la orogenia Mochica y todo el ciclo andino, primera fase transcurrente en la dirección $N03^{\circ}E - S03^{\circ}W$, pre – mineralización; la segunda fase extensional en la dirección $N19^{\circ}E - S19^{\circ}W$, está relacionada a los eventos de mineralización; tercera fase transcurrente en la dirección $N22^{\circ}W - S22^{\circ}E$, considerada post – mineralización; la cuarta fase es transcurrente en la dirección $N16^{\circ}E - S16^{\circ}W$, corresponde a una etapa post – mineralización.

Jensen E. (2008) Tesis “Deformación progresiva de fallas de rumbo” Determinar la naturaleza de las fracturas menores generadas durante la propagación y desarrollo de una falla de rumbo mayor y comprender los procesos de desarrollo progresivo de las fallas de rumbo. Usando como caso de estudio la falla Bolfín, El fracturamiento progresivo en planos orientados dentro del diedro de compresión, (entre 15° y 75° de la falla principal en el sentido del cizalle) es el principal proceso de deformación que ha construido la estructura interna de las en fallas del SFA al sur de la ciudad de Antofagasta. Desde las etapas más primitivas del fracturamiento, durante la interacción de fallas centimétricas, hasta dentro de las cataclasitas en núcleos métricos.

M. Mamani & F. Rivera (2011), Bol. Soc. Geol. Perú 105: Pág. 37-50, realizaron un estudio acerca de “Sistema de Fallas Iquipi – Clavelinas: zona de transición cortical e implicancias para el emplazamiento de depósitos minerales” indica que han combinado información de datos de Metalogenia, tectónica, isótopos de Pb y Nd, datos geofísicos y distribución de pequeños centros volcánicos a lo largo del área del Sistema de Fallas Iquipi – Clavelinas (SFIC) para entender mejor este transecto respecto a la localización de depósitos minerales. Esta combinación sugiere que en la zona de transición entre dos dominios corticales (Paracas y Arequipa) se formaron varias fallas corticales importantes de dirección E-O y que la actividad tectónica de las mismas originó el metamorfismo de las rocas, formando en muchos casos textura gneisosa y milonitas. El SFIC atraviesa la Cordillera Occidental y el Altiplano, esto es definido por los cambios bruscos en los datos isotópicos de Pb-Nd y por la profundidad de los macrosismos continentales. La zona de fallas corticales tiene una amplitud de 90 km, esto inferido por la distribución y petroquímica de los pequeños centros volcánicos localizados en esta zona de transición. El SFIC sería un sistema estructural trans cortical por donde magmas ascendieron subverticalmente desde profundidades que corresponden a la corteza inferior-media y al manto superior. Es por esta razón, que este sistema tectónico representaría un ambiente favorable para el emplazamiento de depósitos minerales y pequeños centros volcánicos monogenéticos.

M. Valencia et al. (2018), realizaron un estudio metalogenético de la faja magmática del jurásico – cretácico, asociado a los depósitos minerales de tipo IOCG y pórfidos de cobre entre Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna. Indican que las rocas son más evolucionadas e intrusivos que muestran influencia de metasomatismo y la Súper Unidad Linga presenta unas características preferentemente calcoalcalinas, mientras que la Súper Unidad Tiabaya si bien predomina la calcoalcalinidad, muestra cierta tendencia shoshonítica (valores altos de K). en Orión se ha identificado, una diorita de grano medio a grueso masivo melanocrata y un monzogranito de biotita y anfíboles sericitizados con abundante pirita aurífera. También mencionan que los magmas se generaron en una corteza notablemente delgada y el ascenso de magmas primitivos mediante fallas corticales caso que se presenta para magmas de Hierro Acarí y Orión.

O. Mariño et al. (2017) ejecutaron un estudio de caracterización de la cinemática y cálculo de paleo – tensores para el conjunto principal de fallas en el valle de Aburrá, implicaciones tectónicas, donde es producto de los sistemas de fallas en los márgenes de la cuenca, desplazamiento de bloques hacia a su zona axial y formación de una cuenca de tipo “pull – apart”. Sin embargo, a la fecha no se tiene un modelo cinemático concreto para su desarrollo, el presente trabajo, atreves de un proceso de análisis poblacional de fallas e inversión de estrías por el método de diedros rectos, propone que el valle de Aburrá fue formado como una cuenca de “pull-apart” inmersa en un régimen de cizalla lateral – derecho producto de un tensor principal de esfuerzos con dirección NE-SW.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El control estructural conformado principalmente por un conjunto de fallas con comportamiento cinemático denominado como Sistema de Fallas Iquipi – Clavelinas (SFIC), considerado como un sistema regional donde se ubica el yacimiento de Mina Orión, los cuales tienen sistemas de vetas de óxidos de fierro, cuarzo y pirita aurífera, es posible que estén relacionadas a yacimientos de tipo IOCG, sin embargo, no se realizó ningún estudio sobre las unidades litológicas favorables para la mineralización y un estudio de microtectónica del sistema de fallamiento de la mineralización ya que en la actualidad se plantea la profundización en la zona Chinchilico. El estudio del control litológico y estructural puede llegar a predecir el emplazamiento de diques e intrusivos, así mismo el control estructural del sistema de vetas.

Por lo tanto, es necesario realizar el cartografiado geológico – estructural en superficie e interior mina, así determinar las características mineralógicas, estructurales, litológicas y alteraciones hidrotermales, con la información de perforación diamantina realizado hasta la fecha.

1.3.1 PROBLEMA GENERAL

- ¿Es posible identificar las unidades litológicas y el sentido de esfuerzos con el comportamiento cinemático del sistema de fallas de manera que permita proponer un modelo estructural?

1.3.2 PROBLEMA ESPECÍFICOS

- ¿Es posible establecer las unidades litológicas que favorecieron la mineralización de las vetas?
- ¿El estudio del sentido de esfuerzos y la cinemática nos ayudará a definir el desplazamiento de las fallas y la ocurrencia de clavos mineralizados?
- ¿Será posible construir un modelo estructural considerando el fracturamiento de Riedel?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Identificar las unidades litológicas y los esfuerzos, cinemática del sistema de fallas mediante el análisis estructural, de la mina Orión, en Atiquipa.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reconocer en campo las distintitas unidades litológicas aflorantes.
- Identificar la cinemática y los esfuerzos del sistema de fallas, así como el desplazamiento de la falla principal.
- Construir un modelo estructural de la mina Orión, considerando los sistemas de fracturamiento de Anderson y Riedel.

1.5 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL

- La identificación de las unidades litológicas, el sentido de esfuerzos y las características cinemáticas del sistema fallas de la mina Orión, en base al cartografiado geológico – estructural y aplicando el método de diedros rectos, Faul Kin y Riedel en Atiquipa, nos permitirá definir la ocurrencia de clavos mineralizados y construir el modelo estructural.

1.6 JUSTIFICACIÓN

La importancia de los conocimientos sobre una diversidad de unidades litológicas y sistema de fallas que tienen que ver con los procesos de mineralización.

Los resultados obtenidos de la investigación son parámetros usados como referencia en la orientación de las operaciones de explotación y exploraciones de las vetas auríferas del yacimiento, estableciendo la importancia económica del yacimiento, además permitirá identificar y conocer el comportamiento litológico y estructural de guía para posteriores estudios geológicos en la zona de estudio.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 INTRODUCCIÓN

El marco teórico es el conjunto de principios teóricos que guían la investigación estableciendo unidades relevantes para cada problema a investigar. Se establece que el Marco Teórico cumple las siguientes funciones (Tamayo y Tamayo M. 2004).

- Delimitación el área de la investigación; para ello habrá que seleccionar los hechos que tengan relación entre sí, mediante una teoría que dé respuesta al problema en cuestión.
- Sugerir guías de investigación, para encontrar nuevas alternativas de solución del problema.
- Compendiar conocimientos existentes en el área que se esté investigando.
- Expresar proposiciones teóricas generales, postulados, leyes que habrán de servir como base para la formulación más “adecuada” de la hipótesis, su operacionalización, e incluso para la determinación de los indicadores.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 FISIOGRAFÍA

La Fisiografía comprende el estudio y entendimiento de todos los fenómenos que determinan la apariencia y características de un paisaje. Lo más importante en este aspecto es la geomorfología del área, la hidrología, la vegetación y la identificación de los “procesos fisiográficos” (Bennema y Gelens, 1969).

2.2.2 GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología cuantitativa: en la delineación automática de variables relativas a las cuencas de drenaje, y en la delineación de formas del terreno (Zevenbergen y Thorne 1987, Dikau, 1989);

La geomorfología cuantitativa describe las formas del relieve como elementos tridimensionales de la superficie de la tierra tomando en cuenta su forma, tamaño, volumen y topografía, elementos que van desde paisajes a gran escala como llanuras y montañas a elementos individuales como valles y colinas (Blaszczynski 1997, p. 183).

2.2.2.1 Cordillera de la Costa

Se ha nombrado con este nombre a esta unidad topográfica accidentada, que se extiende en forma continua frente al mar y se levanta casi abruptamente desde el litoral hasta alcanzar altitudes medias que oscilan entre los 1,000 y 2,300 m.s.n.m. Sobre las partes altas de esta pequeña Cordillera se observan prominencias con superficies de erosión perfectamente delineadas y con una inclinación moderada hacia el Suroeste, que en ciertos lugares está recubierta por materiales cuaternarios clásticos y que posteriormente ha sido profundamente disectada por numerosas quebradas que bajan con dirección Norte-Sur y SSE.

En las peneplanicies constituye una superficie de erosión inclinada hacia el SSW, está cortada por numerosas quebradas y ríos que drenan hacia el pacífico. La diferencia de nivel aumenta progresivamente de SW a NE, desde los 2500 hasta los 3200 m.s.n.m. de altitud (Olchanski, 1980).

El modelado por acción fluvial nos indica que la mayor parte del área se encuentra en el estadio juvenil con fuerte pendiente, desarrollo de valles en V y valles encañonados. (Olchanski, 1994)

2.2.3 ESTRATIGRAFÍA

Una gran megasecuencia caracteriza la evolución sedimentaria de la cuenca, la cual consiste a la base en una potente serie de volcánicos y sedimentos arrecifales denominado Grupo Chocolate; le sigue, concordantemente, la plataforma carbonatada de la Formación Socosani, el cual, a la parte superior, presenta numerosas estructuras de distensión, los que ya evidencian un proceso de subsidencia de la corteza que dará paso a sedimentos

turbidíticos de la formación Puente y depósitos de prodelta de la formación Cachíos; gradualmente sobreviene una progradación deltaica, que corresponde a la Formación Labra, al tope sedimentos de lagoon con Patch Reef, correspondientes a la Formación Gramadal (León, 1981 y Vicente et al, 1982). (*Ver Anexo N°10. Mapa Geológico Regional*).

2.2.3.1 MESOZÓICO

Formación Chocolate – Jurásico Inferior (Ji-cho)

Se describe una secuencia de rocas volcánicas compuestas de derrames de andesita, basalto, traquita, tobas, aglomerados con algunas intercalaciones de lutitas, cuarcitas, calizas con calcáreos de arrecife, (Jenks W., 1948).

Aflora al centro y SE del Cuadrángulo de Chala. Yace en discordancia angular sobre el Complejo Basal de la Costa y Grupo Yura.

Formación Guaneros – Cretácico Inferior (Ci-gu)

Se ha observado una secuencia de lava andesítica, color gris – verdoso, textura porfirítica, matriz afanítica, intercalado con niveles delgados de areniscas cuarzosas blancas compactas; seguido de bancos de areniscas cuarzosas de color blanco, grano medio a grueso: cortados por diques porfiríticos (horbléndico) y pequeños stocks de diorita, en la zona de estudios se presenta a manera de relictos metamorfizados por contacto de los intrusivos.

La columna estratigráfica de la “Formación Guaneros” tiene intercalaciones de rocas volcánicas andesítica con areniscas y calizas fosilíferas, lo que significa que esta secuencia corresponde a la Formación Chocolate Superior (H. Acosta, & A. Alván, 2009).

Formación Cachios – Jurásico Superior (Js-Ca)

Su litología está constituida de una intercalación de areniscas y limolitas arcillosas de grano fino en algunos casos metamorfizados (hornfels), pasan en forma gradacional a lutitas de color marrón oscuro en estratos potentes, en forma esporádica se presentan niveles de areniscas cuarzosas y feldespáticas; Las lutitas debido a incompetencia que presenta ha sido afectado por la erosión e intemperización llegando a conformar relieves suaves, mientras que las areniscas cuarcíticas han llegado a conformar elevaciones macizas formado escarpas con relieves a brutos, empinados.

Gradualmente sobreviene una progradación deltaica, que corresponde a la Formación Labra, al tope sedimentos de lagoon con Patch reef, correspondientes a la Formación

Gramadal (León, 1981 y Vicente et al, 1982). Sin embargo, son formados en ambientes de depósitos marinos profundos y de prodelta (depósito de fondos oceánicos) (Sempere et al, 2004). De acuerdo a su posición estratigráfica, se le asigna una edad kimeridgiano – titoniano (V. Benavides, 1962).

Formación Labra – Jurásico Superior (Js-La)

Se encuentra supra yaciendo a la formación Cachíos. Su litológica constituida hacia a la parte inferior es de horizontes de areniscas, areniscas cuarcíticas de grano fino a medio de color gris blanquecinas en superficie fresca, de color amarillos rojizo en superficie intemperizada, se presenta en bancos con presencia de restos de plantas, los granos son bien seleccionados de forma redondeada, con poco contenido de granos de feldespatos.

Hacia a la parte intermedia se expone lutitas de color rojizas, con niveles de limolitas de color grisáceas, mientras que en la parte superior se distingue horizontes calcáreos con intercalaciones de areniscas marrones amarillentas con contenido de restos orgánicos de ostras, lamelibranquios y gasterópodos. La presencia de fósiles calcáreos indica que estos sedimentos fueron depositados en un mar de aguas poco profundas, las plantas sugieren proximidad a tierras sumergidas. La potencia estimada es de 1000m.

Estos afloramientos se encuentran intruídas, metamorfozados por apófisis hipabisales de andesitas porfiríticas y pórfido andesitas del Complejo Bella Unión, son formados en ambientes de progradación deltaicos a marinas someros (borde de cuenca), (Sempere et al., 2004).

Edad y Correlación

El tiempo de sedimentación de las formaciones Cachíos y Labra de la región Arequipa, ha sido datado entre el Titoniano - Oxfordiano, (Jurásico superior) (Benavides V, 1962), (García W, 1968 y Vicente et al, 1981, 1989).

2.2.3.2 CENOZÓICO

Formación Huaylillas – Mioceno medio (Tm-hu)

Litológicamente compuesto por flujos piroclásticos traquíticos, formada principalmente por tobas riolíticas y riodacíticas de colores claros (blanco crema a rojizo), compuesta de feldespatos fragmentados, cantidades variables de granos de cuarzo, vidrio, biotita, (matriz: 60% de la roca); dentro de la matriz se encuentran litoclastos de andesita y basaltos. El

carácter petroquímico del vulcanismo Huaylillas, equivalente a la tendencia calco alcalina, rico en K.

La intercalación de niveles de toba hacia el techo del Grupo Moquegua indica que existe una transición hacia la Formación Huaylillas (Jacay et al, 2004), se le asigna una edad del Mioceno medio.

2.2.3.3 INTRUSIVOS (Batolito de la Costa)

El Batolito de la Costa comenzó a emplazarse paralela y cerca del litoral, con rumbo de grandes zonas de fallamiento, fracturamiento cortical de régimen andino a inicios del Cretácico Inferior y finalizó en el Mioceno, con una duración aproximada de 70 millones de años; durante ese tiempo se registraron varios eventos magmáticos (pulsos), separados por periodos de menor actividad. En el Oligoceno la actividad magmática disminuyó notablemente registrándose muy pocos plutones reflejando la disminución generalizada de la actividad magmática en toda la Cordillera de los Andes, lo que origina un leve metamorfismo en las unidades adyacentes.

El emplazamiento del Batolito de la Costa fue controlado por fracturas de crecimiento a todas las escalas y los magmas fueron canalizados a niveles altos de la corteza a lo largo de un mega lineamiento único, para finalmente intruir en la forma de centenares de plutones separados. (Pitcher, 1978); El Batolito de la Costa consta de cinco segmentos que son: Piura, Trujillo, Lima, **Arequipa** y Toquepala (Pitcher, 1974).

El segmento Arequipa por su composición a su vez está subdividido en cinco **súper unidades**, cada una de estas se caracteriza por un ensamble litológico particular (Cobbing et al, 1977) como son: Patap, Pampahuasi, Inga, Incahuasi y Tiabaya. A nivel regional solo afloran las tres últimas súper unidades; El segmento de Arequipa es de mayor longitud con 900km aprox. de largo, el porcentaje real para este segmento según (Jenks y Harris, 1979) es: gabrodiorita (7%), tonalita (55%), granodiorita y monzonita (32%) y granito (4%); sus características mineralógicas indican la pertenencia de estas rocas a una serie calco alcalina, confirmada por análisis químicos en el Sur del Perú (Bearth, 1938; Jenks y Harris, 1953).

El orden de emplazamiento de los plutones en el segmento de Arequipa está dado de la siguiente manera (*Ver: Cuadro N° 01*).

- 1) Súper-unidad Patap.
- 2) Súper-unidad Linga (Stewart, 1968),
- 3) Súper-unidad Pampahuasi el nombre corresponde a una localidad al este de Ica,
- 4) Súper-unidad Incahuasi, localidad al norte de Pisco.
- 5) Súper-unidad Tiabaya (Jenks, 1948; Jenks y Harris, 1953).

BATOLITO DE LA COSTA "SEGMENTO DE AREQUIPA"					
Unidad	Tipo	Características Petrográficas	Edad M.A.		Referencias
			K/Ar (Stewart 1974)	U/Pb (Cobbing et al)	
Linga (Arequipa)	Monzogranito	De grano fino anhedral a subhedrales de K-feldespato, cuarzo anhedral, plagioclasas anhedrales a subhedrales, biotita y hornablenda presentes.	68	67 - 71	Le Bel (1979): Cobbing and Pitcher (1983): Pitcher (1985)
	Monzonita				
	Monzodiorita				
Tiabaya	Monzogranito	El Plutón tiene predominancia de granodiorita, plagioclasa euhedral (An ₄₂ -An ₂₄)	81	78 - 86	Moore (1979, 1984): Pitcher (1985)
	Granodiorita				
	Tonalita				
Incahuasi	Diorita	Plagioclasa euhedral (An ₅₅ -An ₂₅), hornablenda y biotita presentes, cuarzo y feldespato potásico intersticial.	83	...	Moore (1979, 1984): Pitcher (1985)
	Monzotonalita				
	Tonalita				
Pampahuasi	Diorita	Dos eventos magmáticos, plagioclasa euhedral (An ₅₆ -An ₃₀), biotita poiquilitica con hornablenda, feldespato K y cuarzo intersticial.	97	94	Moore (1979, 1984): Pitcher (1985)
	Tonalita				
Linga (Ica)	Monzogranito	Plagioclasa euhedral (An ₅₅ -An ₄₅) Clinopiroxeno prismático y cuarzo intersticial con micropertita, K-feldespato euhedral.	97	101	Agar (1978): Pitcher (1985)
	Monzonita				
	Monzodiorita				
Patap	Gabro y Diorita		>102	>102	

Cuadro 1, Las dataciones K/Ar son realizados por Stewart et al (1974) and U/Pb Cobbing et al (1981).

Según el marco litológico el Batolito de la Costa, está constituido por diorita, granodiorita, monzonita, monzodiorita, monzogranitos y tonalitas, cuerpos que también fueron intruídas por rocas hipabisales más jóvenes de naturaleza sub volcánica en forma de dique.

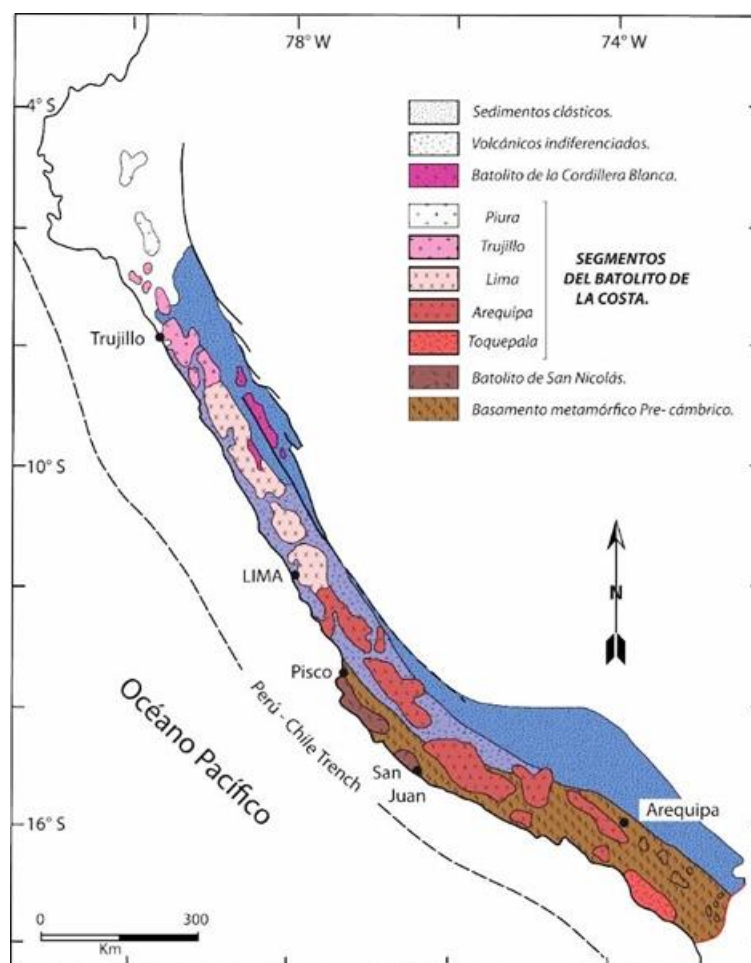


Figura N° 01: Los cinco (5) segmentos del batolito de la Costa peruano (Pitcher, 1985).

Súper Unidad Linga

La súper-unidad Linga (Ica), después de los gabros y gabro dioritas primarias de la súper unidad Patap, corresponde a los emplazamientos más antiguos del segmento Arequipa.

En el sector de Atiquipa (cuadrángulo de Chala), dicha súper-unidad es algo más básica variando entre el monzogabro y la meladiorita, pero en el sector central que ha sufrido un metasomatismo potásico varía a una monzonita cuarcífera; dentro de los plutones del segmento Arequipa, la súper-unidad Linga es muy importante, porque su emplazamiento está asociada la mineralización de soluciones de cobre y hierro (Agar, 1978); a este mismo Plutón, en el cuadrángulo de Acarí, donde se denomina monzonita Cobrepampa (Caldas, 1978) está estrechamente vinculado un sistema de vetas de cobre.

Con el estudio petrográfico se han reconocido 03 facies litológicas para la súper-unidad (**monzodioritas, monzonitas y monzogranítos**) cuyo contenido de SiO_2 varía entre 61 a 70 wt% encontrándose en el grupo de rocas intermedias a ácidas (Calderón, 2014).

Edad de Emplazamiento:

Después de los gabros precursores, la súper-unidad Linga (Ica) corresponde a las intrusiones más antiguas del segmento Arequipa, las dataciones radiométricas indican una edad de emplazamiento de 97 Ma (Cobbing, 1979). Por lo tanto, es algo más joven que la súper-unidad Paccho del segmento Lima (Pitcher, 1978).

Súper Unidad Tiabaya

La súper-unidad Tiabaya corresponde a la secuencia final de intrusión del Batolito de la Costa, tiene la particularidad, en forma general, de haberse emplazado a lo largo de una faja central y longitudinal, limitada en el SW por la súper-unidad Linga, en el NE por la Súper-unidad Incahuasi; corresponde a la secuencia de mayor volumen en esta porción del segmento Arequipa.

El proceso genético originado las rocas de la súper-unidad Linga y Tiabaya ha sido por cristalización fraccionada; según el estudio petrológico, la súper-unidad Tiabaya se halla compuesta por 04 facies litológicas (**dioritas, monzodioritas, tonalitas-granodioritas y monzogranitos**) cada una de estas con características propias (Calderón, 2014).

Edad de Emplazamiento:

La Súper-unidad Tiabaya está conformada por los plutones más jóvenes del Segmento Arequipa, las dataciones radiométricas indican una edad de intrusión de 80 Ma (Cobbing, 1979) que permite correlacionarla con la facies tonalítico – granodiorítica temprana de la Súper-unidad Santa Rosa del segmento Lima, las dataciones radiométricas han puesto en evidencia que, aunque los segmentos Lima y Arequipa iniciaron su desarrollo contemporáneamente, la duración del plutonismo no fue igual, pues mientras para el primero fue de cerca de 70 Ma, para el segundo fue de sólo 20 Ma. (Cobbing, 1979).

2.2.3.4 INTRUSIVOS SUBVOLCANICOS**Complejo Bella Unión**

La denominación corresponde a (Caldas, 1978), al describir un enorme volumen de rocas subvolcánicas, que en la localidad de Bella Unión (cuadrángulo de Acarí), donde intruyen a formaciones del Jurásico y Cretáceo Inferior.

En el área de estudio, el Complejo Bella Unión ocupa una faja continua e intermedia del cuadrángulo de Chaparra, con un rumbo que varía de EW a NW-SE, se prolonga en solución

de continuidad a los cuadrángulos de Chala y Jaquí, pero limitado marginalmente por grandes lineamientos estructurales del sistema de fallas Iquipi – Clavelinas (Mamani & Rivera, 2011), que probablemente controlaron su emplazamiento donde dio origen a la formación de pequeños yacimientos auríferos.

Litológicamente, el Complejo Bella Unión es muy variado, pero la roca predominante es una brecha de intrusión de naturaleza andesítica o dacítica, en grandes bloques angulosos, este tipo de rocas están intruídas a su vez por innumerables diques de andesitas porfiríticas; el feldespato principal es la andesina, los accesorios son clinopiroxenos, presentándose raras veces hornablenda, tienen abundantes minerales opacos y los minerales secundarios son sericita, hematita, calcita y cuarzo, se extiende a lo largo de la faja de dirección E-W a NW-SE, limitado por grandes lineamientos estructurales que posiblemente controlen su emplazamiento bajo un evidente control estructural (Olchanski, 1980).

2.2.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

2.2.4.1 TECTÓNICA DE LOS ANDES

Esta fase del tectonismo corresponde al ciclo Andino, es así como el batolito de la Costa se emplaza (fines del Cretácico inferior) conformando un gran cuerpo intrusivo. La secuencia composicional del Batolito oscila, de más básica a más ácida, cuyas pulsaciones van desde 100 hasta 40 Ma (Pitcher, 1978).

El ciclo Andino está caracterizado por un intenso magmatismo de borde continental activo, antes de producirse el emplazamiento del Batolito de la Costa, se inicia el emplazamiento de los gabros, dioritas y gabrodioritas de edad 103 Ma; se consideran además precursoras al emplazamiento del Batolito.

Anteriores a las fases relacionados con el batolito de la Costa en el Perú se puede reconocer la Orogenia Caledonica al NW, la Orogenia Hercinica en la Cordillera Oriental, con dos ciclos sedimentarios; uno en el Paleozoico inferior, otro en el paleozoico superior, culminando cada uno de ellos con una fase de deformación, se reconoce, como fase Eohercinica, la primera de ellas (340 Ma); Tardihercinica la segunda (280 Ma) y como fase Finihercinica la última fase (B. Dalmayrac, 1988)

Se define a partir del Campaniano temprano, se produjeron una serie de fases tectónicas compresivas; fase tectónica peruana: (84 Ma – 79 Ma), esta fase tectónica se produce en el

Cretáceo superior, la margen peruana registró varias transgresiones marinas y fases tectónicas compresivas, interpretadas como la “Fase Peruana”, (Boletín, 83 Sociedad Geológica Del Perú 1992).

La Orogenia Peruana: (Campaniano temprano – medio), originó ejes de pliegues NW - SE en el Grupo Yura, unidades más antiguas, fallas longitudinales NW – SE, el emplazamiento de plutones graníticos de las Súper unidades de Incahuasi y Tiabaya del Batolito de la Costa (Benavides-Cáceres, 1999).

Fase Tectónica Incaica: Incaica I (59 Ma – 55 Ma), Incaica II (43 Ma – 42 Ma), Incaica III (30 Ma – 27 Ma), Incaica IV (22 Ma), (Benavides-Cáceres 1999).

Fase Incaica I (59 Ma – 55 Ma): 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 el caso de la Formación Casapalca (Benavides-Cáceres, 1999).

Durante el Paleoceno tardío y Eoceno temprano se desarrolló la fase compresiva Incaica I (Noble et al., 1985), este evento generó ejes de pliegues NW - SE en las capas rojas de la Formación Casapalca, seguido de levantamiento y erosión; en los estadios tardíos del Eoceno medio, se da lugar a una nueva fase compresiva NE – SW.

Fase Incaica II (43 Ma – 42 Ma): Genera pliegues y fajas corridas, en las secuencias sedimentarias (Steinmann, 1929; Noble et al., 1979b, 1985, 1990); ejes de pliegues WNW – ESE, fallas inversas de tendencia NW a WNW; estudios recientes muestran que la deflexión de Abancay se habría formado en relación a este evento tectónico Inca que se inicia hace 43 Ma; la rotación antihoraria es la causa del cambio de dirección, además ha estado controlada por grandes estructuras antiguas como los sistemas de falla Cusco-Lagunillas-Mañazo y Urcos-Sicuani-Ayaviri (Carlotto, 2009).

Fase Incaica III (30 Ma – 27 Ma): En el Oligoceno, se produce la fase compresiva Incaica III, 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.

Entre los 27 Ma y 26 Ma, se registra una fase extensional en la dirección NW – SE, que generó fallas normales, como las identificadas al Este de la localidad de Laramate y zonas

de tensión NE - SW para el emplazamiento de la mineralización de 26.34 Ma en la Mina Antapite (Benavides-Cáceres, 1999).

Fase Incaica IV (22 Ma): En estadios tempranos del Mioceno (22 Ma) registra la fase compresiva Incaica IV (Noble et al., 1979a), este evento generó ejes de pliegues NW – SE en los volcánicos del Oligoceno 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 Ma (Noble et al., 1979a; Bellon et al., 1977), alrededor de los 17.0 Ma (Mioceno medio), se evidencia una fuerte fase compresiva definida como Quechua I (Steimann, 1929; MCKee et al., 1982; Mégard et al., 1985), relacionada a esta fase se tiene la presencia de extensas superficies de erosión denominada como superficie Puna (Benavides-Cáceres, 1999).

Fase Tectónica Quechua: La orogenia Quechua (Neógeno) se subdivide en tres fases: Quechua I (17 Ma), Quechua II (8 Ma – 7 Ma), Quechua III (5 Ma – 4 Ma). (Benavides-Cáceres, 1999).

La Fase Compresiva Quechua I (17 M.a.): Marca el final de la actividad volcánica del Tacaza, fue seguida por un levantamiento y activación de fallas normales. El movimiento diferencial resulto en bloques de falla conduciendo a la formación de cuencas cerradas que posteriormente se rellenaron con sedimentos lacustres del Grupo Puno. Esta fase fue acompañada por el volcanismo del Grupo Sillapaca (16 a 8 M.a.), (Klinck et al., 1986).

La Fase Compresiva Quechua II, (8 M.a. Lavenu, 1988): Esta fase condujo a la deformación de las rocas sedimentarias del Grupo Maure, el cese de la actividad volcánica del Grupo Sillapaca; después de un breve hiato en la actividad volcánica, está se reanuda con el volcanismo riolítico y dacítico del Grupo Barroso Inferior.

La Fase Compresiva Quechua III, (5 Ma. Lavenu, 1988): Está asociado a una interrupción de la actividad volcánica entre el Grupo Barroso Superior e Inferior. El Grupo Barroso Superior se caracteriza principalmente por lavas andesíticas.

EDAD (Ma)	ERA		SIGLO	FASE
1.8	CENOZOICO	CUATERNARIO	ANDINO	Fase Quechua 3: Levantamiento, fallamiento y vulcanismo.
		NEOGENO		Fase Quechua 2: Levantamiento, fallamiento y vulcanismo.
		PALEOGENO		Fase Quechua 1: Fallamiento, levantamiento y erosión (Puna) y vulcanismo.
64 130	MESOZOICO	CRETACICO		Fase Inca: Plegamiento, fallamiento, plutonismo y vulcanismo (Batolito de la costa).
		JURACICO	Fase Inter Albiana: Deformación, movimiento Nevadiano (Epirogénia): Levantamiento de bloques.	
		TRIASICO	HERCINICO	Fase Finihercinica: Deformación localizada, reactivación de la fase Tardihercinica.
190	PALEOZOICO	Fase Tardihercinica: Movimiento epirogénico con plegamiento y levantamiento.		
		Fase Eohercinica: Plegamiento, fallamiento y metamorfismo.		
265	PALEOZOICO	HERCINICO	FASE COMPRESIVA: Plutonismo en la costa	
570				CALEDONICO
	PRECAMBRICO			Fase 1, Fase 2, Fase 3 Fase 4

Cuadro 2, Entre el Barremiano y el Aptiano el acoplamiento entre las placas convergentes Phoenix y Sudamericana cambiaron de dirección de convergencia, con un vector NNE, generando un contexto tectónico de transtensión dextral, acompañado de intenso magmatismo (Polliand et al., 2005; Injoque, 2002). Este contexto generó en la zona de estudio fallas transcurrentes dextrales con componente vertical normal, (tercer sistema de fallas) con rumbos al NE a SO, generando horst y graben según la dirección NO a SE (Contreras, 2014).

El levantamiento de los Andes durante el Pleistoceno dio origen a la formación de abanicos aluviales, distribuidos en numerosas terrazas, que reflejan el levantamiento tectónico asociado con la subducción episódica de la dorsal de Nazca y su migración al sur (Macharé et al., 1986).

Posteriormente el frente andino sufrió un basculamiento hacia el oeste por efecto de un fallamiento gravitacional a lo largo de la depresión Ica-Nazca. la cordillera de la Costa quedó levantada en forma de un enorme horst, hasta que por fin tomó el perfil actual (Caldas, 1987); durante el cuaternario reciente, el relieve fue modificado incipientemente por la acción eólica.

En tiempos del **Jurásico inferior**, las transgresiones progresan lográndose unir el mar de Abancay con el del suroeste, la actividad volcánica continuaba en el noroeste, mientras que

en el sur se extendía hasta la región de Arequipa, más tarde, a Ica y a la costa Central, generalizándose así en todo el margen continental como consecuencia del desplazamiento del continente sudamericano hacia el oeste, por encima de la placa oceánica.

Al finalizar el **Jurásico inferior** se producen regresiones, tanto al sur como en el norte, quedando algunas áreas del Centro (Huancavelica, Ayacucho) y sur (Arequipa, Moquegua), sumergidas hasta el Jurásico medio, con subsidencias en tiempos del Bajociano, donde se depositan carbonatos (Fm. Socosani, Chunumayo); clásticos en las partes marginales (Fm. Cercapuquio).

Los movimientos epirogénicos vinculados a la tectónica Nevadiana del hemisferio norte, empiezan a presentarse hacia el Oriente y al norte de los 12° S formando una cuenca donde se depositaron areniscas, calizas y evaporitas que indican mares someros en retirada con fuerte evaporación, la actividad volcánica se prolonga por la parte Occidental hasta el nivel de Nazca.

En tiempos del Bathoniano, la sedimentación se interrumpe en la parte Occidental debido a un corto período de regresión, a fines del Jurásico medio (Caloviano) a lo largo de la Cuenca Sur Occidental se generaliza una nueva transgresión venida desde el norte de Chile llegando hasta Huancavelica (Cuenca Alta del Río Pisco), depositándose entonces en un medio somero y oscilante una potente secuencia clástica que pasa en la parte marginal a facies volcánicas (Grupo Yura); la Cuenca Oriental continúa su relleno con depósitos continentales rojizos hasta el Jurásico superior.

2.2.4.2 SISTEMA DE FALLAS IQUIPI-CLAVELINAS (SFIC)

El yacimiento de Orión presenta un fuerte dominio estructural a escala regional, distrital, con sistemas de fallas, fracturas que se repiten y controlaron el emplazamiento del batolito de la Costa, posteriormente la mineralización de pequeños yacimientos auríferos y una distribución espacial de los clavos mineralizados.

El área de estudio está controlada básicamente por dos sistemas estructurales regionales con direcciones NW-SE y E-W, éstas últimas relacionadas al sistema de fallas corticales Iquipi - Clavelinas que dividen dos dominios corticales denominados Paracas y Arequipa; por donde fluidos magmáticos ascendieron sub verticalmente, desde las profundidades que corresponderían a la corteza inferior- media, al manto superior probablemente por un sistema tectónico, por esta razón, este sistema tectónico representaría un ambiente favorable para el

emplazamiento de depósitos minerales y pequeños centros volcánicos monogenéticos (Mamani & Rivera, 2011).

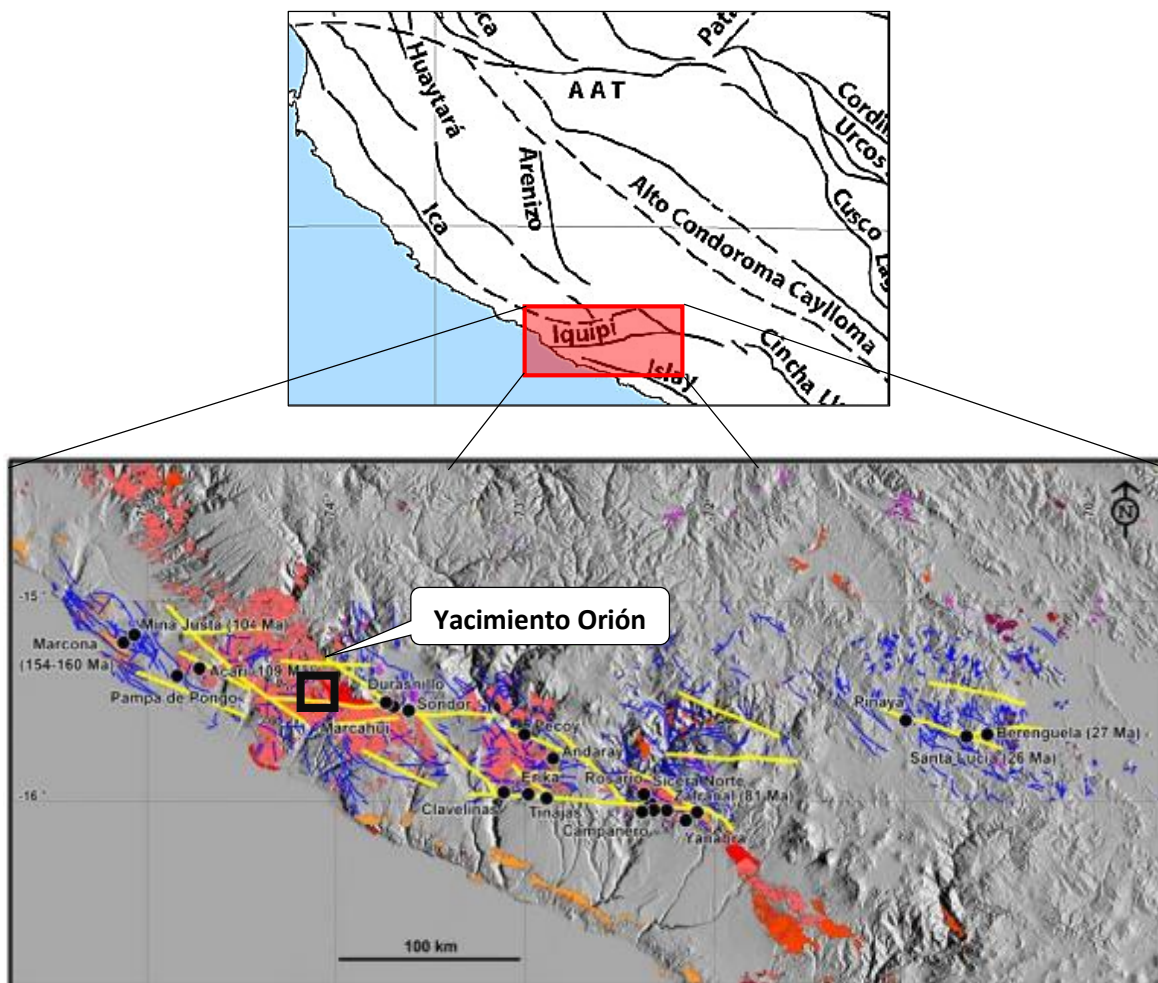


Figura N° 02: Extensión del Sistema de Fallas Iquipi-Clavelinas (SFIC) con los principales prospectos y depósitos minerales, en color amarillo las principales fallas E-W que conforman este sistema y en color azul fallas menores. Además, se observa las diferentes unidades intrusivas que conforman el arco magmático (Mamani & Rivera, 2011).

La configuración de fallas regionales Cateador (normal - dextral), Faro, Lagunillas, Ángela, Lagunillas, del Atado, Palomino que forman parte del sistema de fallas Iquipi – Clavelinas conocido como zona de transición cortical, representaría un ambiente favorable para el emplazamiento de depósitos minerales de oro, cobre y hierro, además pequeños centros volcánicos monogenéticos, se observa prospectos y yacimientos mineros dentro de este corredor estructural.

Falla Cateador: forma parte del sistema de fallas que debido al movimientos orogénicos y epirogénicos, durante el levantamiento de los andes que han sufrido una evolución estructural presentando una dirección E-W con cierta deflexión hacia el norte, contacto con

rocas de la formación Chocolate y formación Labra, evidencia bloques de colapso (Fig. 03, A, B).

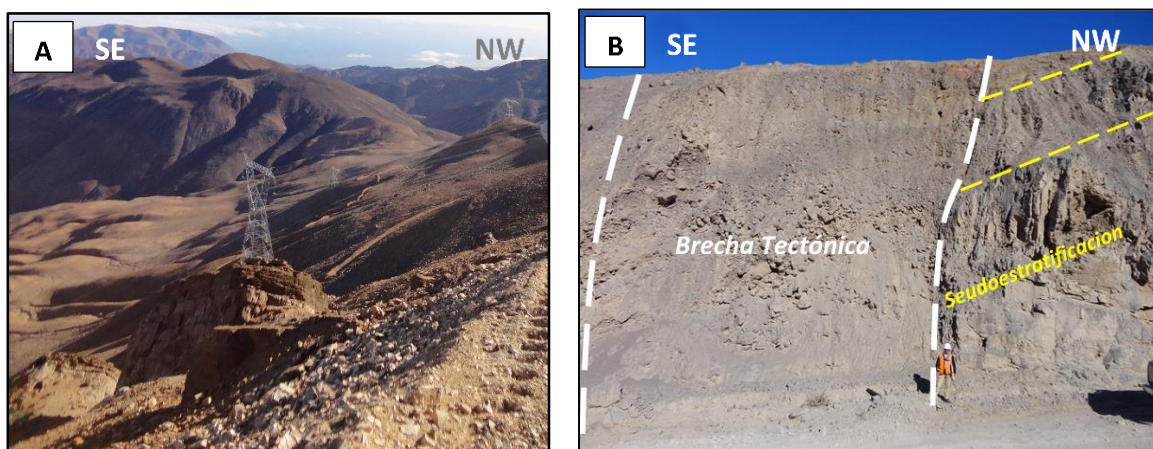


Figura N° 03: A) y B) Se observa la escarpa de falla Cateador al extremo SW, bloques de cuarcita, horizontes de caliza y areniscas cuarzosas.

Falla el Faro: Esta falla de tipo normal vertical tiene una dirección promedio a E-W situada al norte del cuadrángulo de Chala a la monzodiorita cuarcífera.

Falla Ángela: Esta falla dextral-normal presenta una orientación preferencial NE-SW, este sistema inflexióna tomando una dirección N-S (Fig. 04.A), que ha llegado a generar zonas de cizallamiento y desplazamiento de las estructuras mineralizadas.



Figura N° 04: A) Falla Ángela con una potencia de 4.5m al norte de la zona de estudio (corte de carretera).

2.2.5 METALOGENIA

La zona de Saramarca-Nazca-Ocoña es la más importante por la presencia de los prospectos y depósitos como Orión, Caravelí, Ishihuinca, Calpa, Arirahua, San Juan de Chorunga en el borde oeste de la Cordillera Occidental (*Fig. 05*); el basamento está conformado por rocas metamórficas del Complejo Basal de la Costa, que están sobreyacidas en discordancia por rocas sedimentarias de edad jurásica (Aplao, Cuno Cuno), conformadas por areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas de color negro y calizas de las formaciones Labra, Gramadal y Hualhuani, estas unidades son sobreyacidas por rocas sedimentarias de la Formación Moquegua (Eoceno-Oligoceno). Sin embargo, la ocurrencia de cuerpos intrusivos del Batolito de la Costa marca la importancia económica de esta franja, en efecto, se tiene las súper unidades Linga, Tiabaya (78 ± 1 Ma, Rb/Sr) e Incahuasi (82.5 ± 1.4 Ma, K/Ar en biotita hornblenda) del Cretácico superior (Beckinsale et al., 1985) que forma unos cuerpos discontinuos de granodiorita y monzogranito, los que intruyen a rocas intrusivas más antiguas y rocas sedimentarias del Grupo Yura.

La edad máxima de mineralización ha sido asumida como la edad de los granitoides que conforma la roca hospedante, la cual se encuentra entre 97 y 98 Ma (Acosta et al, 2008); en esta franja la mineralización es de Au en vetas de cuarzo, con pirita y contenidos menores de calcopirita, galena, esfalerita, calcita y en ocasiones specularita, magnetita, tetrahedrita, boulangerita y bournonita (De Montreuil, 1979), las alteraciones son de sericitita, inmediatamente al lado de la estructura, en tanto es argílica y clorítica a propilítica en halos más externos; as vetas son auríferas. Sin embargo, en el sector Nazca-Palpa, presentan además altos contenidos de Cu asociados al Au (Injoque y Aranda, 2005).

En general, las vetas pueden alcanzar longitudes de algunos cientos de metros incluso llegando rara vez a 800m o más, lo interesante es la profundización de estas vetas, así en Nazca-Palpa regularmente se considera entre 100 y 200 m, más al sur en Chala, Orión tiene las vetas que alcanzan los 400m de profundidad, en el sector de Caravelí, las vetas en Ishihuinca, Calpa, Posco, San Juan de Chorunga, profundizan casi hasta un kilómetro, con mineralización y leyes persistentes (De Montreuil, 1987).

En el sur del Perú el magmatismo, los eventos hidrotermales de mineralización han sido controlados por seis sistemas regionales de fallas NW-SE que delimitan seis dominios geotectónicos que contienen épocas de mineralización de diferentes tipos de yacimientos; se han reconocido doce franjas metalogenéticas que representan la edad de mineralización de

diferentes tipos de yacimientos, las edades de mineralización van desde el Jurásico medio-superior al Plioceno e involucran principales elementos económicos de hierro, cobre, oro y polimetálicos (Acosta J. et al., 2008).

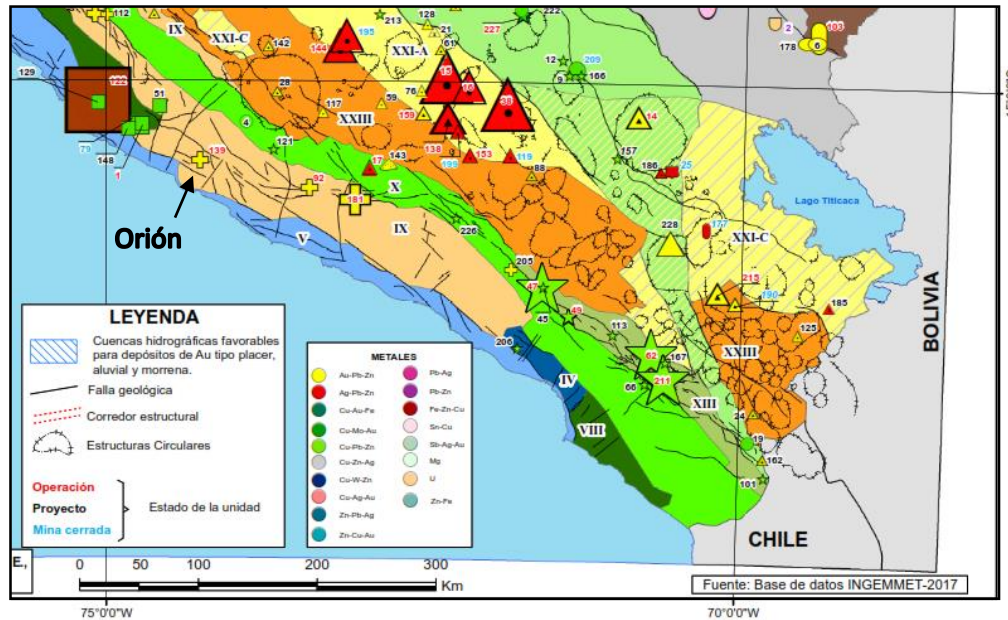


Figura N° 05: Mapa metalogénico del sur del Perú entre las latitudes 14 - 18°30'S. SFIII: Sistema de Fallas Ica-Islay-Ilo. SFNO: Sistema de Fallas Nazca-Ocoña. SFCLL: Sistema de Fallas Cincha-LLuta. SFI: Sistema de Fallas Icapuquio (Acosta J. et al., 2017).

2.2.5.1 YACIMIENTOS MINEROS

Las franjas metalogénicas representan épocas de mineralización que se extienden a lo largo de estructuras, litologías que han favorecido la mineralización del yacimiento Orión y otros (Fig. 06), se caracterizan por estar formados en los contactos y dentro de las unidades litológicas de cierta edad y estar limitados por grandes sistemas de fallas como fallas Ángela, El faro, Cateador.

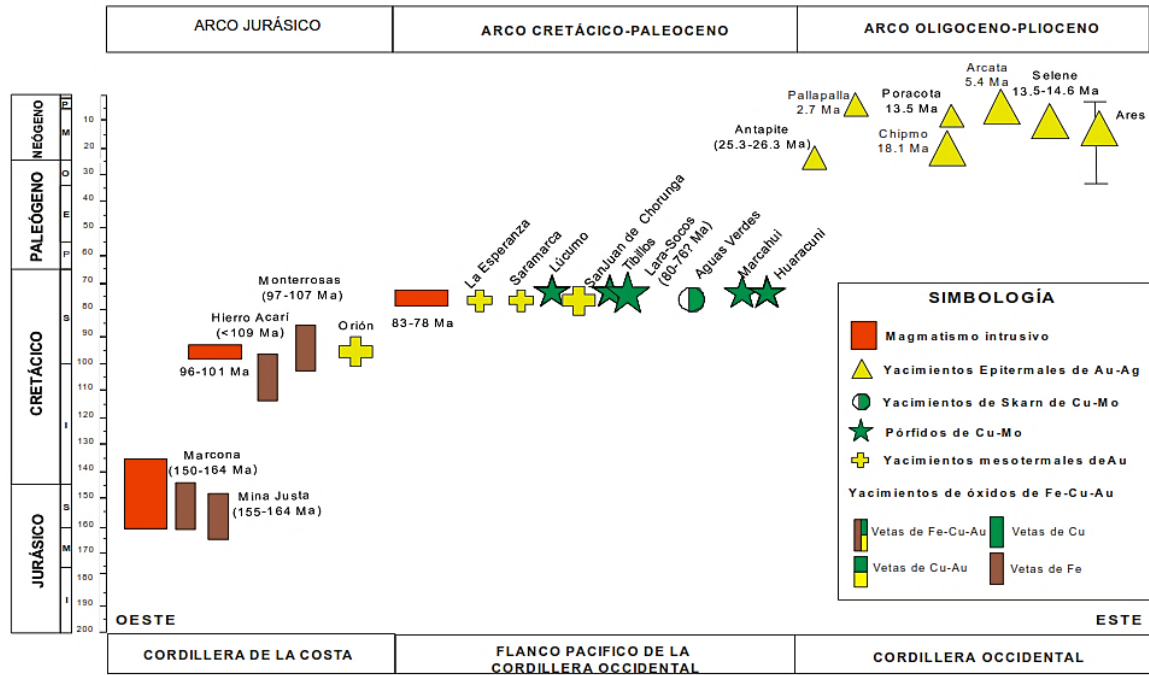


Figura N° 06: Relación espacio entre los tipos de yacimiento y magmatismo asociado (Acosta et al. 2008).

2.2.5.2 GEOLOGÍA DE LAS MINERALIZACIONES

Estructuralmente, la franja se encuentra limitado por fallas NO-SE del sistema Ica; mientras que el borde este está dado por fallas NW-SE, un aspecto a resaltar es la presencia de la falla Iquipi como prolongación del sistema Incapuquio NO-SE, pero que a la altura de 16° S cambia de dirección a E-W (Fig. 02). Así, al norte de la falla Iquipi se tienen los prospectos conocidos, en tanto que al sur son escasos, lo que tendría que ver con el espesor y origen diferente del substrato (Mamani et al., 2008) con su relación con los depósitos de mayor tonelaje y contenido aurífero.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

El investigador define y delimita según su criterio, de acuerdo a un marco teórico, conceptos involucrados en las variables de estudio, espacio y población.

Según (Torres Bardales, 1999) nos dice: “Comprende a todos los conceptos que tiene el investigador sobre el objeto de investigación adquiridos a través de la observación, el análisis y la síntesis. En este caso, el marco conceptual es la originalidad teórica que enriquece el desarrollo científico.

2.3.1 DEFINICIONES BÁSICAS

Falla normal

Falla geológica caracterizada porque el bloque situado sobre el plano de falla, desciende respecto al otro. Las fallas normales implican alargamiento horizontal en la dirección de sigma 3 (sigma 1 es vertical). Su plano de falla buza $\geq 45^\circ$, aunque también se reconocen fallas normales de bajo ángulo. Estas fallas se producen en condiciones de descompresión horizontal.

Falla inversa

Falla geológica caracterizada porque el bloque situado sobre el plano de falla asciende respecto al otro. Las fallas inversas implican acortamiento horizontal en la dirección de sigma 1 (σ_1) y crecimiento según sigma 3 (σ_3), que es vertical. Su plano de falla buza $\leq 45^\circ$, aunque también se reconocen fallas inversas de gran ángulo (por reactivación de fallas normales). Se generan en condiciones de compresión horizontal.

Falla de dextral

Falla de desgarre caracterizada porque, observada a lo largo de su traza, el bloque derecho aparece desplazado hacia el observador respecto al bloque izquierdo. Mirada en un mapa, la flecha situada sobre la falla indica hacia la derecha.

Falla sinistral

Falla de desgarre caracterizada porque, observada a lo largo de su rumbo, el bloque izquierdo aparece desplazado hacia el observador respecto al bloque derecho. Mirada en un mapa, la flecha situada sobre la falla indica hacia la izquierda.

Cizalla

Es el efecto de corte (a la manera del exhibido por las hojas de una tijera) que hace que las dos partes separadas por el esfuerzo se deslicen una respecto a la otra, en dirección paralela al plano que las separa. En geología, su efecto es la generación de fallas.

Cizalla de Riedel

Corresponden a planos de corte (R1 y R2) que se generan por cizalla simple. Dichos planos forman respectivamente ángulos aproximados de 80° y 15° respecto a los planos que definen una zona de falla. Las cizallas de Riedel pueden ser interpretadas como planos de cizalla simple generados subsecuentemente por σ_1 (sigma 1) en la zona de falla. Ver, además: esfuerzo.

Cizalla pura

Aquella cizalla que es producto de esfuerzos coaxiales opuestos.

Cizalla simple

Cizalla producida por un par de fuerzas que actúa presionando oblicuamente en un bloque geológico limitado por dos fallas paralelas o subparalelas de movimiento opuesto (zona de falla). Ver, además: cizallas de Riedel y estructuras S-C.

Deformación

Es un término amplio que engloba procesos estructurales como plegamiento y fallamiento, debido a esfuerzos tectónicos y al propio peso de las rocas. Si los esfuerzos tectónicos son isótropos, sólo se producirá una reducción de volumen. En cambio, si son anisótropos, ocurrirá plegamiento y fracturación, con disminución de volumen en una dirección y aumento relativo en otra.

Al igual que el esfuerzo, la deformación en el espacio es una cantidad tensorial, cuyos componentes principales son:

- X: eje de alargamiento
- Y: eje intermedio
- Z: eje de acortamiento

Dirección o rumbo

Parámetro expresado en grados, normalmente sexagesimales, que define, junto con el buzamiento (= manteo), la orientación de un plano geológico. La dirección indica el ángulo formado por la línea de intersección entre un plano geológico y el plano horizontal y la línea

N-S. Se puede medir de diferentes maneras, pero siempre con respecto al norte. Por ejemplo, dirección N30°W, o expresada de otra manera, N150°.

Dúctil

Se denomina así a una roca que se deforma con facilidad, comportándose plásticamente. Es el comportamiento opuesto al de tipo frágil.

Dúplex

Se denomina así al efecto de bifurcación de una falla transcurrente (o falla de desgarre, o rumbo) en dos fallas paralelas, que más adelante se vuelven a unir. Según la naturaleza del movimiento relativo y la geometría del sistema, el dúplex puede ser extensional o compresional, y originar estructuras internas llamadas flor negativa (hundimiento en zonas de extensión) y flor positiva (alzamiento en zonas de compresión).

Esfuerzo

También denominado estrés (en inglés: stress). Es la fuerza por unidad de área (presión) que actúa sobre una roca o un bloque geológico. El esfuerzo se puede calcular para cualquier sección del bloque considerado y ser expresado según las tres componentes de los ejes coordenados (del mismo modo que se descompone cualquier vector). La componente mayor se denomina sigma 1 (σ_1), la intermedia sigma 2 (σ_2) y la menor sigma 3 (σ_3). En Geomecánica se expresa generalmente en mega pascales (MPa). Un Pascal corresponde a la presión que ejerce un peso de 100 g sobre un m². Un MPa es un millón de Pa. Un plano en el interior del bloque geológico puede estar afectado por esfuerzos compresivos (si es perpendicular a σ_1), extensionales (si es paralelo a σ_1) o de cizalla (si es oblicuo respecto a ese eje de esfuerzo).

Falla de desgarre (o de rumbo)

Falla geológica caracterizada porque su plano es vertical y el movimiento relativo de los bloques es horizontal. Tanto sigma 1 (σ_1) como sigma 3 (σ_3) son horizontales. Pueden ser sinestrales o dextrales. También se denomina Falla transcurrente (en inglés: strike-slip fault).

Graben

Es un valle (o fosa) generado por efecto tectónico, en condiciones extensionales. Está limitado por grandes fallas normales. El valle longitudinal de Chile (de Rancagua al sur) es un ejemplo de graben. En castellano se traduce por cuenca, aunque ello puede confundir respecto a su forma.

Zona de falla

Las grandes fallas geológicas no constan de un solo plano de falla bien definido, sino que corresponden a un volumen tabular denominado zona de falla, constituido por rocas muy fracturadas (ver cataclasita) y numerosos planos de fallas a través de los cuales se realizan los desplazamientos. Es común que las rocas de la zona de falla presenten alteración hidrotermal, así como metamorfismo dinámico, con formación de cataclasitas en la zona superior y milonitas en la inferior.

Fanerítica

Textura de las rocas ígneas caracterizada porque todos los cristales presentan buen desarrollo (en general del orden de unos 3 a 10 mm). Se desarrolla en condiciones de cristalización lenta, como las que caracterizan a grandes masas de magmas intrusivos como los batolitos.

Fenocristal

Se denomina así a un cristal de buen tamaño (unos 0.5 a 20 mm) que se encuentra en una masa de cristales pequeños. Es típico de la textura porfídica.

Intrusivo

El término se usa normalmente para cuerpos ígneos emplazados en cualquier tipo de roca. Dicho emplazamiento puede ocurrir por relleno de fracturas (diques), intrusión forzada (tipo “diapírica”, algunos macizos), levantando estratos superiores (lacolitos), o por hundimiento y asimilación de las rocas preexistentes (batolitos andinos).

Lacolito

Cuerpo de roca ígnea intrusiva, subvolcánico y concordante, cuyo emplazamiento implica una presión que pliega en forma anticlinal los estratos superiores. Esto da al lacolito la forma de una “seta”.

Listricas

Se denomina así a fallas normales que se curvan, y cuya inclinación disminuye progresivamente en profundidad, hasta que su plano llega a ser casi horizontal. Se forman en condiciones fuertemente extensionales, como las de la región Basin and Range del Oeste de Norte América. Su forma tiene cierta similitud con el plano de deslizamiento de los hundimientos rotacionales. Las fallas lístricas alcanzan gran magnitud.

Modelo

Es una representación idealizada y simplificada de la realidad que se utiliza para explicar un fenómeno físico o para caracterizar los rasgos comunes de un conjunto de objetos naturales. Por ejemplo, modelo del interior de la Tierra, modelo del ascenso de cuerpos magmáticos en la corteza, modelo de yacimientos cupríferos de tipo porfídico, etc. Los modelos acompañan y completan la elaboración de hipótesis. Pueden ser de carácter conceptual y utilizar ecuaciones (generalmente diferenciales) en la descripción de sus distintos componentes, o bien ser de carácter empírico (descriptivos, más que interpretativos).

Pull-Apart

Cuencas estructurales “descomprimidas” por efecto de la intersección y desplazamiento de fallas de desgarre (= rumbo), cuya geometría da lugar a condiciones locales extensionales y por lo tanto, subsidencia. La presencia de estas condiciones estructurales facilita también el emplazamiento de cuerpos ígneos intrusivos.

Regolito

Cubierta de fragmentos líticos de distinto tamaño que cubre una superficie rocosa. El regolito se desarrolla en las colinas y montañas de las zonas desérticas donde hay escaso o

nulo desarrollo de suelos. También existe regolito sobre la superficie lunar y en la del planeta Marte.

Reología

Estudio físico del comportamiento de materiales que son capaces de fluir en relación a los esfuerzos a que están sometidos y su deformación subsecuente.

Sigmoide

Plano de falla o veta en forma similar a una letra S alargada. Cuando la estructura se cierra, se habla de lazo sigmoide, con forma de sigma minúscula (σ). También se suele escribir cimoide, aunque no es la forma correcta.

Textura

Rasgos estructurales finos (a pequeña escala) de las rocas. Por ejemplo, el tamaño y relaciones geométricas de sus cristales.

Bandeamiento (bandeo)

Estructura o textura que presentan algunas menas que han sido depositadas en un medio abierto y en un proceso “por etapas”, por ejemplo, en un plano de falla que se fue abriendo por pulsos sucesivos, cada uno de los cuales dio origen a una banda de minerales. Los minerales sulfurados de cobre del Distrito Talcuna (Chile: Quebrada Marquesa, Región de Coquimbo) presentan atractivas estructuras bandeadas.

Bonanza

La parte más ancha y más rica en minerales de valor económico de un filón (= veta). En filones polimetálicos, es también la más enriquecida en plata. Una zona de bonanza puede originarse por la intersección de dos fallas mineralizadas (“clavo de bonanza”).

Brecha

Roca constituida por clastos angulares de tamaño centimétrico, decimétrico o métrico (megabrecha), que contiene un material más fino (matriz) y un cemento que los une. Las brechas tienen distintos orígenes: sedimentarias, piroclásticas, magmáticas, tectónicas

(brechas de zona de falla), hidrotermales, etc. En depósitos como los del tipo “chimenea de brecha” pueden contener parte importante de la mineralización del yacimiento.

Control

Se denomina así al efecto regulador de un agente o parámetro sobre la evolución de un sistema o proceso. En el estudio de los yacimientos metalíferos es esencial determinar el control ejercido por la litología (control litológico) y por las estructuras (control estructural) en la distribución de la mineralización económica. De igual manera, ambos controles influyen en la distribución de los cuerpos mineralizados a escala local, distrital, regional y de fajas metalíferas a escala continental. En consecuencia, son factores claves en la exploración geológico-minera.

Esfuerzo

Cuando una Fuerza (F) se aplica sobre un plano de superficie S, genera una Presión (P). Entonces: $P = F/S$. El esfuerzo es el límite de dicha Presión cuando la superficie se hace pequeña. Entonces: (Pascal) = dF (Newton)/ dS (m²). El esfuerzo en el espacio es una cantidad tensorial, representada por las 9 componentes de una matriz, y que actúan sobre las caras de un cubo:

Donde σ_1 , σ_2 y σ_3 son mutuamente ortogonales y se denominan componentes principales del esfuerzo. Así:

- σ_1 : es el esfuerzo más compresivo (+)
- σ_2 : es el esfuerzo intermedio (+/-)
- σ_3 : es el esfuerzo menos compresivo, entonces es el más tensional (-)

Cuando: $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$, el esfuerzo es de tipo isótropo o hidrostático. Si los tres son diferentes el esfuerzo es desviatorio. Estos esfuerzos se pueden representar mediante una esfera y un elipsoide respectivamente.

Bituminoso

Carbón mineral de calidad intermedia caracterizado por su mayor contenido de hidrocarburos sólidos (bitumen).

Chert

(En español: jaspe). Precipitado silíceo de origen sedimentario o hidrotermal. Si es rico en Fe se denomina jaspe ferruginoso. Puede presentar variada coloración, siendo el rojo un color frecuente y es normal que presente bandeo (con bandas de distinto color).

Contacto

Plano o volumen recto o curvo que separa dos unidades geológicas. Puede corresponder a planos nítidos y objetivos, como las paredes de un dique que corta rocas estratificadas. También puede corresponder a un volumen, en el caso de un contacto transicional, difuso. El término metamorfismo de contacto se refiere a los efectos mineralógicos producidos en rocas estratificadas por una intrusión ígnea que las corta. Estos efectos se localizan en la aureola de contacto que rodea a dicha intrusión.

Cuenca De Sedimentación

Dominio geológico deprimido y generalmente subsidente, que recibe sedimentos provenientes de la erosión de otros dominios situados a mayor altura. Las cuencas de sedimentación pueden ser continentales, transicionales, como el ambiente de los deltas o bien marinas. La plataforma marina es un ambiente de sedimentación muy importante para la formación de yacimientos de petróleo, así como lo son los ambientes transicionales subsidentes de zonas húmedas para la formación de depósitos de carbón.

Diseminada

Tipo de textura en la cual la mineralización se presenta bajo la forma de una fina impregnación de la roca mineralizada. Su presencia indica que la roca encajadora permitió el paso de la solución hidrotermal a través de su permeabilidad primaria o de una red muy fina de fracturas.

2.3.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

2.3.2.1 ANÁLISIS GEOMÉTRICO

Los modelos de cizallamiento han sido obtenidos desde Cloos (1928) y Riedel (1929) a partir de múltiples observaciones de ensayos en el laboratorio de mecánica de rocas o en zonas de cizalla naturales (*Fig. 07*). Estos autores determinaron dos tipos de fallas a las que

denominaron R1 y R2, posteriormente fueron denominadas como falla sintética y antitética (Harding, 1974).

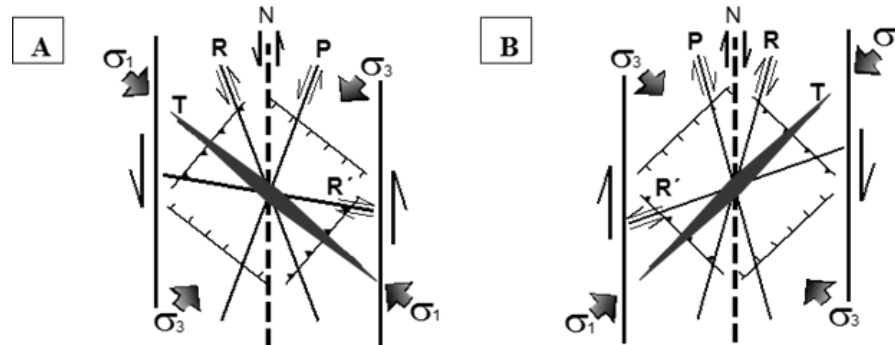


Figura N° 07: Modelos de Fracturamiento de Riedel Izquierdo (A) y Derecho (B). (Modificado de Sylvester, 1988 y Valenzuela et. al 2005). Se observa fallas normales con direcciones paralelos al esfuerzo principal (σ_1) y fallas inversas (y/o pliegues) perpendiculares al esfuerzo principal (Velarde, 2015).

Las estructuras originadas por movimientos transcurrentes (Fig. 08) son:

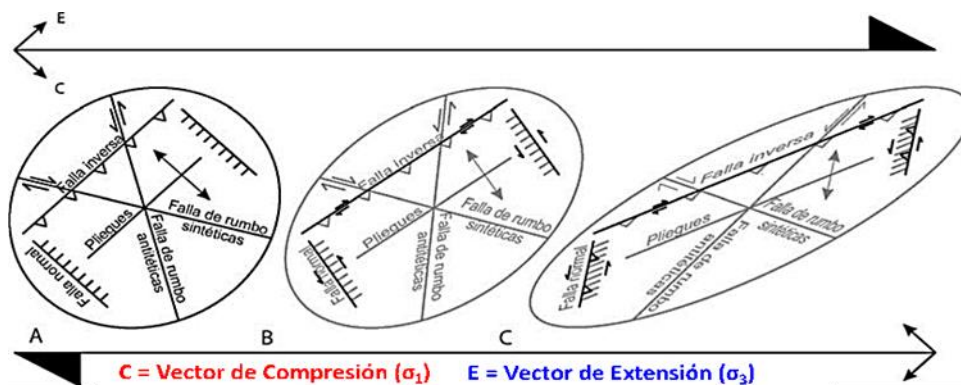


Figura N° 08: Esquema de movimientos en una zona transcurrente (Waldron, 2005). (A) Deformación asociada con el cizallamiento simple en una zona de transcurrente (Harding, 1974). (B) Modificación del (A) por la continuación de cizalla simple, las fallas de (A) en color gris, adquieren movimientos transcurrentes (negro). (C) incremento mayor del cizallamiento conduce a la inversión (negro) de las anteriores fallas normales (color gris).

- Fallas sintéticas (R): se forman a unos 12° a 18° con el límite de los bloques o de la dirección de movimiento del sistema transcurrente y tienen el mismo sentido de desplazamiento del dicho sistema.
- Fallas antitéticas (R'): se forman a unos 72° a 78° con respecto a la dirección de los bloques, su movimiento es al contrario de las fallas sintéticas.
- Fallas normales e inversas, se presentan en forma oblicua al sistema de fallas mayor, las fallas inversas son perpendiculares a la dirección del esfuerzo principal y las fallas normales paralelas (Fig. 08.A). Al seguir el cizallamiento, una falla inversa cambia

de orientación y adquiere un movimiento inverso con componente de transcurrente (*Fig. 08.B*). Si sigue el cizallamiento, la falla inversa rota y se convierte en falla transcurrente puro con su desplazamiento en el mismo sentido que el desplazamiento del sistema mayor, o sea pasa a ser una falla sintética (*Fig. 08.C*). En cambio una falla normal pasa a ser antitética (Waldron, 2005).

- Los Pliegues se encuentran paralelos a las fallas inversas debido a un acomodo del componente de acortamiento en una deformación dúctil asociada a fallas inversas.

a) Indicadores Cinemáticos de Fallas

Los indicadores cinemáticos son rasgos de origen tectónico o conjunto de fallas generadas bajo un mismo estado de esfuerzos que permiten determinar el sentido del desplazamiento en zonas de cizalle y fallas. Estos rasgos son visibles desde escala microscópica hasta megascópica que deben reunir las relaciones angulares que se muestran en la (*Fig. 09*). Asimismo, deben tener compatibilidad cinemática; si hubiese planos de falla con orientación incompatible estos serían interpretados como fallas bajo un estado de esfuerzos diferentes.

En la actualidad, existe un interés renovado en el estudio de los diferentes criterios para determinar el sentido de movimiento de fallas o criterios cinemáticos, gran cantidad de autores han dedicado papers específicos al tema, entre los cuales los más usados son el de Petit (1987) y Petit et al. (1983).

Los diferentes criterios se basan en la aparición de fracturas secundarias en un experimento de tipo **Riedel**, en que se somete a cizalle una capa de arcilla húmeda sobre un par de bloques rígidos de madera, que se deslizan paralelamente. Un experimento tal como ese reproduce bien las condiciones de fracturamiento que se dan en la naturaleza, y según sea la orientación y el sentido de deslizamiento de las fracturas se las acostumbra a denominar con iniciales características.

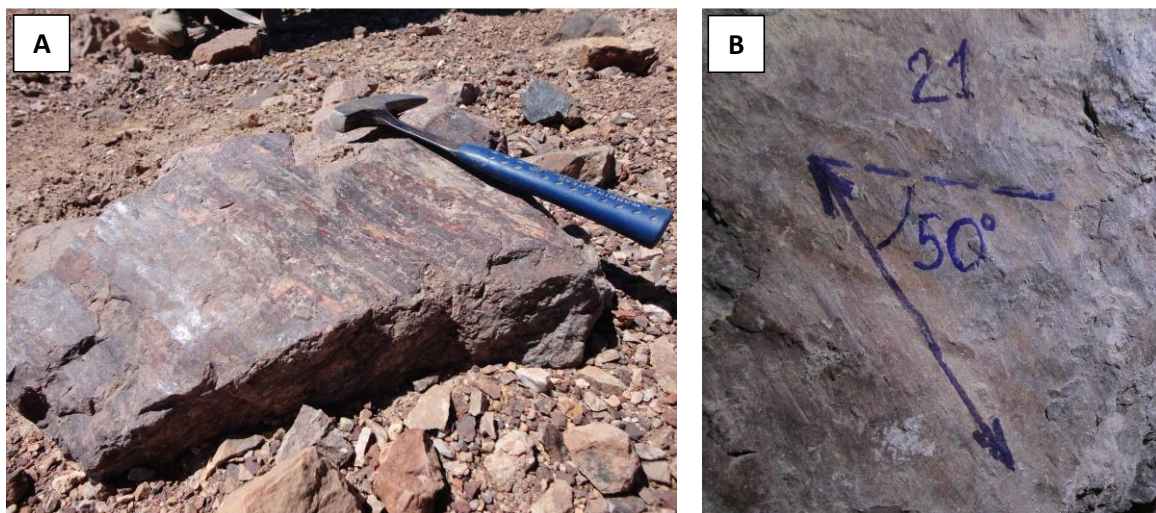


Figura N° 11: A) y B) planos estriados, estrías sub horizontales, obsérvese el elemento estriador indicando el ascenso y descenso de la caja techo de una falla.

b) Clasificación de fallas según Anderson

Basándose en el criterio de fracturación de Mohr Coulomb, (Anderson, 1951) establece que, como norma general, las fallas aparecen según dos familias conjugadas que se cortan formando un diedro agudo y otro obtuso. Las estrías situadas sobre ellas son perpendiculares a la línea de intersección de los planos. En la bisectriz de los diedros agudo y obtuso se sitúan los ejes de compresión máxima (σ_1) y mínima (σ_3), respectivamente; en la línea de intersección de las dos familias de planos se halla el eje intermedio (σ_2).

Normal	Transcurrente	Inversa
$\sigma_1 = \sigma_v$	$\sigma_2 = \sigma_v$	$\sigma_3 = \sigma_v$
$\sigma_2 = \sigma_{hmax}$	$\sigma_1 = \sigma_{hmax}$	$\sigma_1 = \sigma_{hmax}$
$\sigma_3 = \sigma_{hmin}$	$\sigma_3 = \sigma_{hmin}$	$\sigma_2 = \sigma_{hmin}$

Figura N° 12: Tipos de fallas según dirección de esfuerzos y compresión máximo (Fossen, 2010).

- Cuando σ_1 y σ_2 son horizontales, el estado de esfuerzos efectivo es tipo compresivo en la dirección de σ_1 .
- Cuando σ_2 y σ_3 son horizontales, el estado de esfuerzos efectivo es tipo tensional en la dirección de σ_3 .
- Cuando σ_1 y σ_3 son horizontales, el estado de esfuerzos efectivo es tipo cizallante o transcurrente.

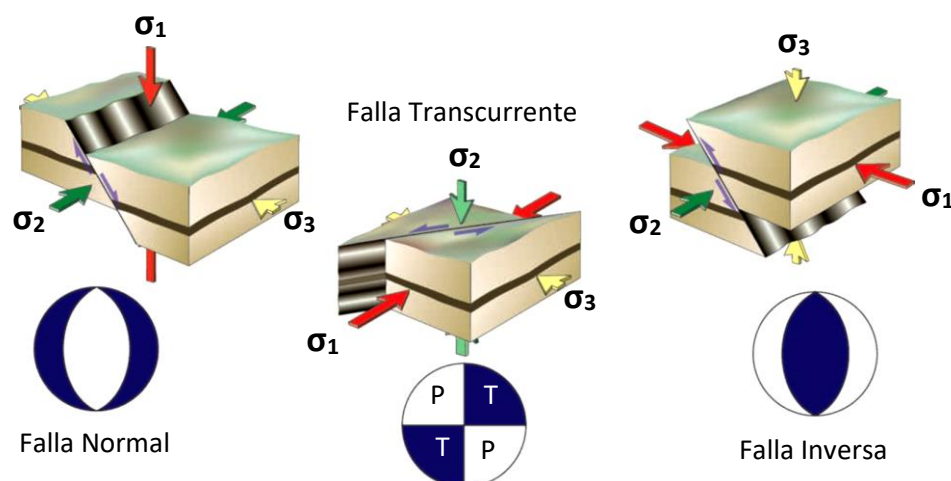


Figura N° 13: Las relaciones entre la orientación de los esfuerzos principales (esfuerzo a los regímenes) y los regímenes tectónicos según (Anderson, 1951), (Fossen, 2010).

c) El método de los diedros rectos

Los datos numéricos que se utilizan en los métodos de inversión parten del par de medidas estría-falla. Aunque puede utilizarse la inmersión para describir la orientación de la estría, resulta mucho más práctico utilizar el ángulo de cabeceo sobre el plano de falla. De este modo, el ángulo de buzamiento (B) de la falla puede variar entre 0° y 90° , mientras que para medir el cabeceo se pueden utilizar varios criterios: Anotar siempre el ángulo agudo y decir hacia dónde se abre ($0^\circ < C < 90^\circ$); Medir siempre en sentido horario con la falla buzando hacia nosotros ($0^\circ < C < 180^\circ$). La relación entre ambas medidas es inmediata (Fig. 14). Además, hay que notar en qué sentido se mueve el techo (flecha roja): normal o inversa, excepto cuando $B=90^\circ$ (lateral-derecha o izquierda). El segundo criterio para la medida de C es mejor en campo, sin embargo, conviene no olvidar el primero (ej. $C=170^\circ$ es una falla muy direccional, $C=10^\circ$). El plano cuyo polo (normal) es la estría resulta interesante desde el punto de vista mecánico y resulta ser el plano nodal complementario a la falla en los mecanismos focales de terremotos (Fig. 13 y 14).

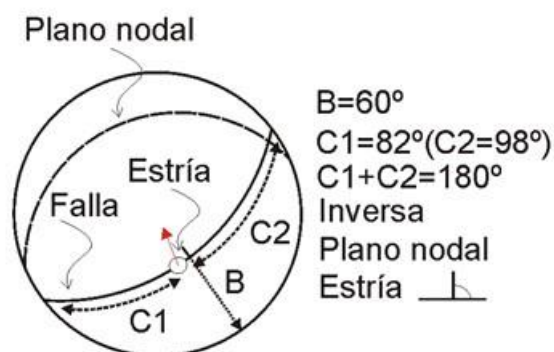


Figura N° 14: Datos numéricos que se utilizan en los métodos de inversión. B, buzamiento del plano de falla (0-90). C, cabeceo de la estría sobre el plano de falla (0-180). La flecha roja sobre la estría indica cómo se mueve el bloque de techo de la falla. La orientación de la falla suele definirse por la línea de máxima pendiente (sentido de buzamiento, flecha negra) (0-360).

El método de los diedros rectos se fundamenta en el concepto de plano nodal y de mecanismo focal. Es uno de los métodos gráficos más utilizados. Fue concebido por (Pegoraro, 1972) y difundido y aplicado mediante ordenador por (Angelier & Mechler, 1977). Es aplicable de forma directa, tanto a fallas, como a mecanismos focales de terremotos. Se trata de un método geométrico que se basa en limitar para cada falla, las zonas del espacio compatibles en compresión y extensión (Fig. 15). Normalmente se emplea acudiendo a la proyección estereográfica. Cada plano de falla y su estría sirven para dividir el espacio en cuatro cuadrantes (los planos nodales en mecanismos focales de terremotos), siendo los planos que los limitan el plano de falla y otro auxiliar (perpendicular) y cuyo polo es la estría. No conviene olvidar que, mientras que el plano de falla es una discontinuidad real en la roca, el plano auxiliar sólo existe como construcción geométrica (Muñoz, 2019).

Este método se usa únicamente como indicador, a grandes rasgos, de estados de esfuerzo medios de toda la población. La buena calidad de sus resultados es indicadora de la existencia de un único estado de esfuerzo (o bien de estados de esfuerzo parecidos o que comparten alguno de los ejes del elipsoide). El problema principal del método estriba en la imposibilidad de separar las fallas compatibles con tensores de esfuerzos diferentes (Muñoz, 2019).

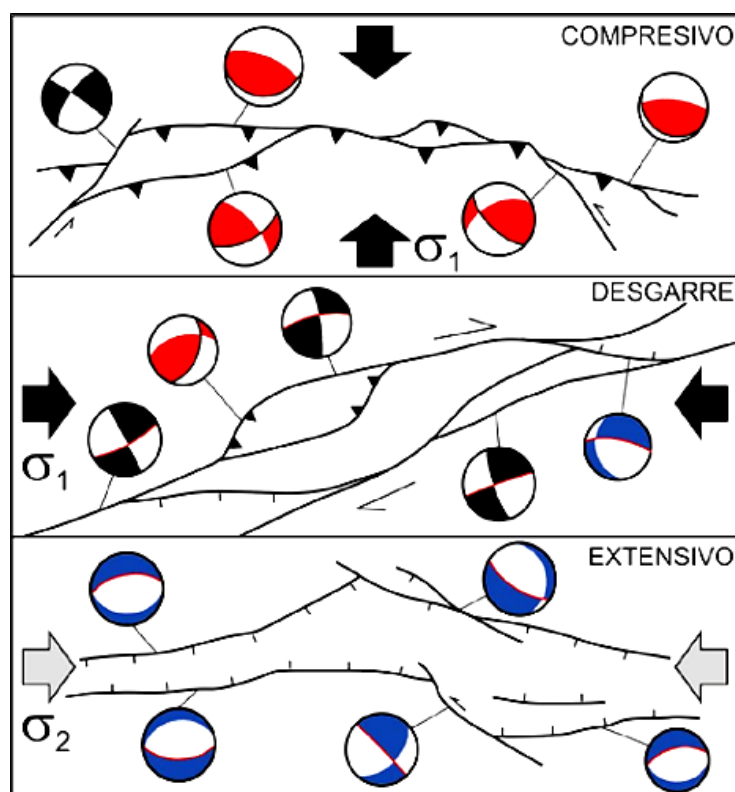


Figura N° 15: Relaciones entre mecanismos focales y estructuras activas para los tres regímenes de esfuerzos principales, incluyendo mecanismos puros y oblicuos (Muñoz & Vicente G. 2010).

d) El método Fault Kin

Los datos de los planos de falla y de los σ medidos en cada estación estructural se procesaron mediante el Método de Fault Kin de Allmendinger (Marret y Allmendinger, 1990, 1991), dicho método consiste en un análisis cinemático de una población de fallas que genera gráficas de P&T (presión-tensión) con un principio similar a las gráficas de mecanismo focal utilizados en sismología. El nombre de la gráfica P&T alude a términos de esfuerzo, sin embargo, la construcción de la gráfica de mecanismo focal o P&T se realiza con base en criterios de deformación.

e) Planos Nodales

Los planos nodales son conocidos como ejes P (acortamiento) y T (extensión). Este método es uno de los más sólidos, aunque carecen de precisión en comparación con otros métodos numéricos (Allmendinger, 1989). P y T representan los ejes que se encuentran a 45° con respecto a los planos nodales de una falla y a 90° de la solución de la intersección de los planos nodales, la cual es conocida como el eje B (Fig. 16).

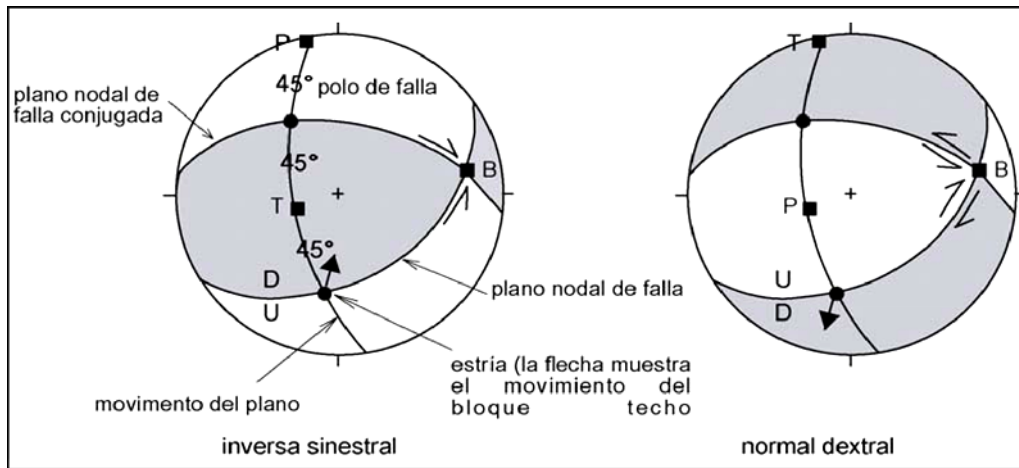


Figura N° 16: Proyección de planos nodales en el hemisferio inferior de la red de estereografía de Schmit de falla inversa sinistral y falla normal dextral (Allmendinger, 1989).

Tener en cuenta que el cálculo de P (acortamiento) y T (extensión) para una sola falla implica la suposición implícita de una falla de tensión, porque no hay desplazamiento sólo muestra fallamiento a escala invariable y la deformación es pequeña o la deformación tiende a ser coaxial. Este método, es una primera aproximación a la determinación de la deformación por métodos cuantitativos y es siempre el primer análisis que se realiza (Allmendinger, 1989).

Para la representación gráfica de los planos nodales se debe determinar primero los polos de cada plano de falla y luego determinar las fallas con componente inversa o normal, de tal forma que se determinen poblaciones y realizar 4 cuadrantes (Fig. 17).

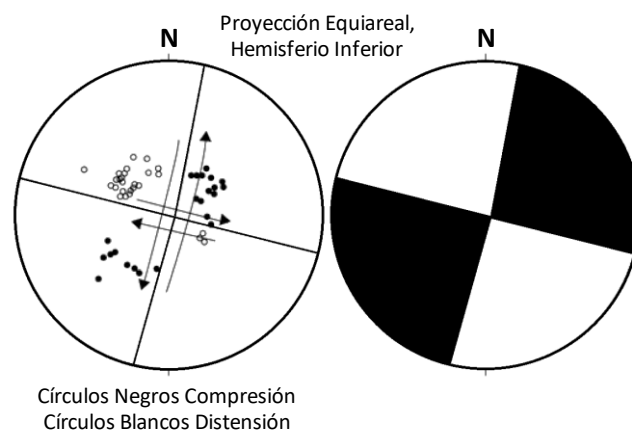


Figura N° 17: Planos nodales, trazados a partir de poblaciones de polos. Círculos blancos son polos compresivos y círculos negros son polos extensivos.

Para definir las orientaciones de los ejes de esfuerzos, podemos bisectar los cuadrantes compresivos y distensivos, si se denomina P al eje de máxima compresión y T al eje de compresión mínima, se les puede asignar por analogía de los criterios de mecánica de rocas σ_1 y σ_3 respectivamente, El eje P se puede asignar como la bisectriz de los cuadrantes distensivos y T como la bisectriz de los cuadrantes compresivos (*Fig. 17*). En la (*Fig. 18*) podemos observar la correspondencia entre las distintas configuraciones de los tipos de fallas que pueden existir.

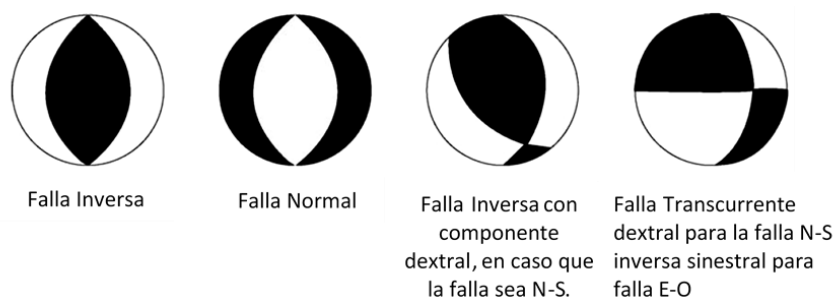


Figura N° 18: Distinto tipos de movimientos representados en la representación gráfica de planos modales (R. Rodríguez, 2008).

f) Relaciones entre mecanismos focales de terremotos y fallas

Como el de esfuerzo y deformación, el tensor momento puede describirse en términos de tres ejes ortogonales: P (presión, el eje compresivo), T (Tensión, eje extensivo) y B (nulo). La orientación de los ejes P y T del tensor del momento forma 45° con el plano de falla, que contiene al eje B. El significado mecánico de estos tres ejes es el de en qué direcciones radia más energía el terremoto, y no debe confundirse con la orientación de los esfuerzos tectónicos principales que originaron el sismo.

Para cualquier tensor momento, hay dos planos posibles que siguen estos criterios. Estos dos planos se denominan planos nodales, son mutuamente perpendiculares y se cortan a lo largo de B. Uno de los dos planos es la falla, mientras que al otro se le denomina plano auxiliar (*Fig. 19*). La posición de los ejes P y T depende del tipo de falla, pudiendo dos mecanismos tener los mismos planos nodales, pero distinta posición de los ejes P y T (intercambiados) (*Fig. 19*).

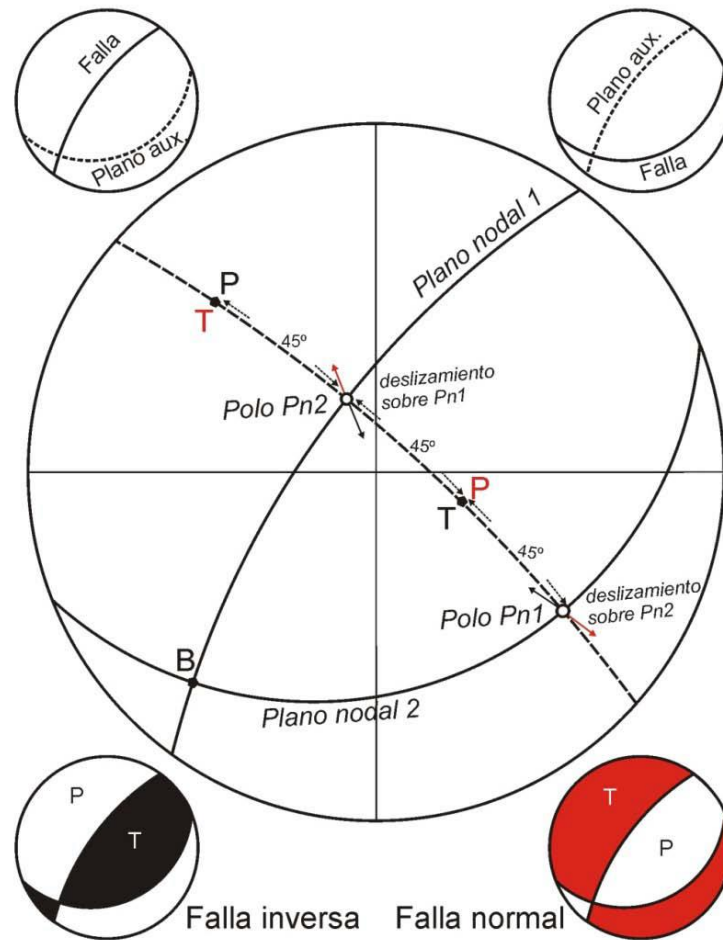


Figura N° 19: La ciclográfica cuyo polo es B contiene a los polos de los planos nodales, a P y a T, todos ellos separados 45°. Los polos de los planos nodales resultan ser también las orientaciones en que deslizan las fallas. Para señalar el sentido del movimiento se dibuja una pequeña flecha en el círculo que representa la orientación del deslizamiento según la línea que lo une con el centro de la falsilla. La flecha indica el sentido en el que se mueve el bloque del techo de la falla: hacia fuera en fallas normales, y hacia adentro en inversas. Desde un punto de vista sismológico, los planos nodales no son distinguibles, lo que hace necesario implementar criterios geológicos para elegir entre de entre las dos posibles soluciones cuál es la falla (Fig. 20).

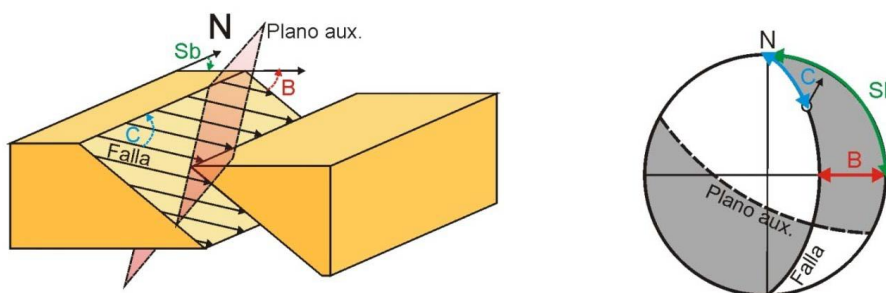


Figura N° 20: Bloque diagrama (arriba) de una falla con estría de deslizamiento y de los ángulos de buzamiento (B). Cabeceo (C) y sentido de buzamiento del plano (Sb). Abajo se muestra la representación en proyección

estereográfica de estos elementos, lo que junto con el plano auxiliar (cuyo polo es la estría de la falla) permite construir el mecanismo de foco de la falla.

2.3.2.2 ANÁLISIS CINEMÁTICO

La nomenclatura utilizada para clasificar las fallas se basa en el ángulo de pich que tiene las estrías sobre el plano de la falla de acuerdo a la zonificación que se ilustra en la (Fig. 21), de esta forma se define si una falla es de movimiento lateral ($pich < 10^\circ$), lateral con componente normal ($pich$ de 10° a 45°), normal con componente lateral ($pich$ de 45° a 80°) o netamente normal ($pich > 80^\circ$). Así mismo para el caso de las fallas inversas, las fallas son de movimiento lateral ($pich < 10^\circ$), lateral con componente inverso ($pich$ de 10° a 45°), inversa con componente lateral ($pich$ 45° a 80°) o netamente inversa ($pich > 80^\circ$) (Vicente P., 2010).

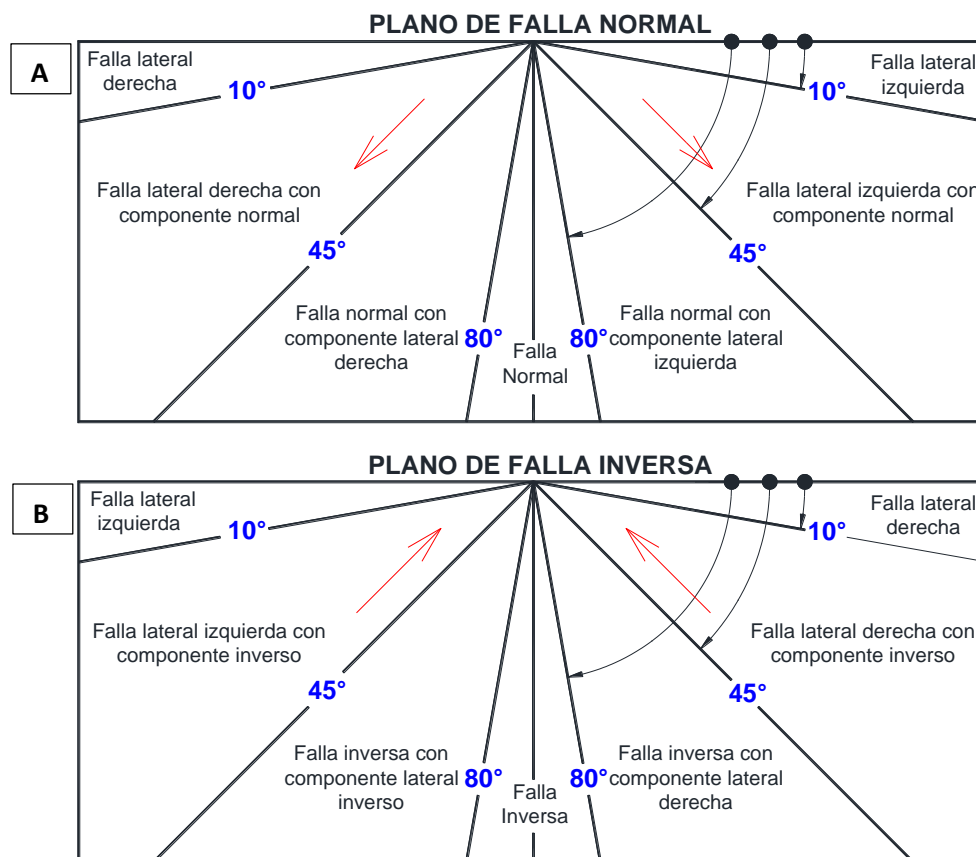


Figura N° 21: A) Criterios para la nomenclatura de fallas normales con base en el ángulo pich de la estría, B) Criterios para clasificación de fallas inversas (modificado de Vicente P.,2010).

2.3.3 GEOLOGÍA ECONÓMICA

La geología regional presenta diferentes litologías del batolito de la Costa, rocas intrusivas de monzonita cuarcífera de Atiquipa, están localizados varios yacimientos de

cobre, originados por emanaciones acidas tardías por este intrusivo. El complejo bella unión también ha dado lugar a varios yacimientos (Olchauski, 1980).

2.3.3.1 FLUIDOS HIDROTÉRMICOS COMO MINERALIZADORES

Los agentes que han producido la mineralización en los yacimientos peruanos en orden de importancia son:

- Los fluidos hidrotermales.
- El agua de mar.
- Las aguas meteóricas.
- Las aguas de origen metamórfico.
- El magma.

Los fluidos hidrotermales se formaron al final de la consolidación del magma, el mismo que tiene de 1% a 5% lo de agua. En el Perú, el magma corresponde a rocas ígneas, mayormente de composición félsica a intermedia.

En profundidad se tiene mayor presión y mayor temperatura, cerca de superficie la presión y la temperatura disminuyen. En esta última condición decrece la solubilidad de los iones complejos en los fluidos hidrotermales, produciéndose las precipitaciones para formar las estructuras mineralizadas. El flujo hidrotermal a profundidad es ligeramente ácido, al reaccionar dicho flujo con la roca encajonante durante su ascenso, baja la acidez y se produce la precipitación de los minerales.

a) Migración de fluidos mineralizantes

En las estructuras mineralizadas existentes en el Perú, la migración de los fluidos hidrotermales se ha realizado, de zonas de mayor presión y temperatura a zonas de menor presión y temperatura, por los sectores más permeables.

Las estructuras mineralizadas, en profundidad están sometidas a una mayor presión y temperatura respecto a las partes de menos profundidad. Estas condiciones favorecieron una migración de los fluidos hidrotermales, a manera de diseminación en las cajas de los conductos mineralizantes visibles, en las vetas del Stockwork de los pórfidos de cobre en el Perú. la migración ha producido reemplazamiento en rocas favorables a este proceso de

mineralización, como en los diferentes tipos de rocas calcáreas, en las vetas y fallas de los yacimientos de Uchuchacua y Raura (Oyón-lima).

La migración de los citados fluidos hidrotermales en el Perú tuvo lugar por fallas y fracturas formando vetas, por brechas volcánicas originando cuerpos mineralizados como en el yacimiento de Llipa en la Cordillera Negra (Ocos-Oyón).

Como controles estructurales comunes que han influenciado en la migración de los fluidos hidrotermales del Perú se tiene:

- Fallas normales, más anchas, con mayor permeabilidad en los sectores con mayor buzamiento, como ocurre en las vetas del yacimiento de plata de Caylloma (Arequipa).
- Fallas inversas, más anchas, con mayor permeabilidad en los sectores con menor buzamiento, tal es el caso de las vetas del yacimiento poli metálico de Hércules (Cordillera Negra, Ancash).
- Fallas dextrales, más anchas, con mayor permeabilidad en los sectores de la veta con cambio de rumbo a la derecha.
- Fallas sinestrales, más anchas, con mayor permeabilidad

En varias cajas de las vetas se observan estrías de movimientos horizontales, verticales o inclinados, si estas estrías representan los movimientos iniciales sin reactivación. los cambios de rumbo ubicarán los sectores más permeables, cuando las estrías son horizontales. Los cambios de buzamiento ubicarán los sectores más permeables cuando las estrías son verticales. los cambios de rumbo y buzamiento ubicarán los sectores más permeables cuando las estrías son inclinadas.

En muchas estructuras filonianas, en sentido horizontal y en secciones verticales transversales se tiene lazos cimoides, como en la veta Hércules en la Cordillera Negra Ancash. Estos lazos cimoides y la presencia de vetas tensionales han dado lugar a zonas más permeables, dando origen al relleno de las fallas del cimoides y de las fracturas tensionales, así como la diseminación de sus cajas.

En algunas fallas se ha observado en sentido horizontal y vertical, fracturas tensionales con un ángulo de alrededor de 30° con la falla. Colineal a la fractura tensional se ejerció la fuerza de compresión con lo cual se determina si la falla es dextral o sinistral (en plano

horizontal), normal o inversa (en plano vertical transversal), los cuales se mineralizan para formar vetas.

Con frecuencia la intersección de las vetas es el lugar más permeable para la migración de los fluidos mineralizantes (Tumialan, 2003).

2.3.4 ALTERACIONES HIDROTERMALES

Las soluciones hidrotermales, tienen varios orígenes y de diferente composición, junto con su capacidad para transportar metales de interés económico que interactúan con las rocas alterando su mineralogía y composición química, se asocian con determinados tipos de mineralización, Por ejemplo, la alteración potásica se relaciona con la principal mineralización hipógena de los pórfidos cupríferos. En general, los tipos de alteración hidrotermal se pueden agrupar en dos principales:

- Alteraciones por metasomatismo de elementos alcalinos o alcalino-térreos: alteración potásica, alteración calco-sódica y alteración propilítica.
- Alteraciones por metasomatismo de hidrogeniones (H^+): alteración fílica, alteración argílica y alteración argílica avanzada.

El estudio de la alteración hidrotermal desempeña un papel central en la exploración principalmente de yacimientos metalíferos.

2.3.4.1 ALTERACIÓN PROPILÍTICA

Se caracteriza por minerales como ricas en clorita, epidota, albita con transición a sericita, calcita y hematita (= hematites). Esta alteración afecta la mineralización original, dándole a la roca un aspecto de color verde, por reemplazamiento de hornablendas, biotita, biotita secundaria y feldspatos, generalmente esta alteración acompaña la mineralización principal de los yacimientos ferríferos (magnetita).

2.3.4.2 ALTERACIÓN FÍLICA

Se caracteriza por razones Metal/ H^+ intermedias. Donde los feldspatos se convierten en una variedad fina de muscovita (= moscovita), mientras se libera SiO_2 que cristaliza como cuarzo. Es decir, se sobre imponer a minerales producidos por las alteraciones potásica o propilítica de acuerdo a un patrón estructural, destruyendo y reemplazando los minerales de la roca, por la asociación cuarzo-sericita-pirita, dándole una coloración gris-blanquecina, en

este tipo de alteración es casi nulo el aporte de minerales de cobre y la intensidad depende del número vetillas y distancia entre vetilla (a 500°C).

2.3.4.3 ALTERACIÓN POTÁSICA

Es una alteración de origen hipógeno (= hipogénico) y de alta temperatura (600°- 400°C), que da lugar a la formación de minerales propios de las últimas etapas de la cristalización magmática, como feldespato potásico (ortoclasa = ortosa) y biotita, a expensas de plagioclasas y de piroxenos o anfíbol respectivamente, donde afecta a la mineralogía primaria, dándole a la roca un aspecto de color café, reemplazando los minerales máficos (hornablenda) y plagioclasas por biotita secundaria, en menor proporción se forma feldespato potásico, la anhidrita también es parte de este ensamblaje y en menor proporción la magnetita. La presencia de regeneración de cuarzo puede darse, como producto de la alteración.

2.3.4.4 ALTERACIÓN ARGÍLICA (SUPÉRGENA)

Se caracteriza por que genera la destrucción de los feldespatos, dando lugar a la formación de caolinita y/o montmorillonita (según la mayor o menor intensidad del metasomatismo de H⁺). En el depósito esta alteración es producida por factores de inyección de aguas meteóricas, se encuentra reemplazando los minerales de las alteraciones anteriores, y se caracteriza por la asociación caolinita y/o montmorillonita-illita, y va disminuyendo con la profundidad, sin embargo, dependen del grado de lixiviación, total, parcial o mínima.

2.3.4.5 SILICIFICACIÓN

Alteración hidrotermal consistente en la adición de sílice (SiO₂) a una roca. La sílice es un componente común de las soluciones hidrotermales. En su mayor parte se origina en la destrucción total de los silicatos por efecto de la acidez, por ejemplo: $MgSiO_3 + 2H^+ \rightarrow Mg_2 + H_2O + SiO_2$. La solubilidad de la sílice se facilita si el pH es alcalino: $SiO_2 + OH^- \rightarrow HSiO_3$. También se incrementa con la temperatura. El proceso de silicificación de una roca aumenta su dureza y resistencia a los esfuerzos, a diferencia de otras formas de alteración que tienden a debilitarlas.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La metodología de investigación se encarga de elaborar, definir, sistematizar el conjunto de técnicas, métodos y procedimientos que se deben seguir durante el desarrollo para la producción de conocimiento; la metodología aplicada es de diedros rectos, Fault Kin de Allmendinger y Riedel, en su primera fase de carácter descriptivo, pasando a una segunda fase analítica y finalmente de carácter interpretativa.

El análisis estructural es la parte del proceso de proyecto que comprende el diseño, cálculo de comprobación de la estructura, donde esta es una disciplina técnica, científica que permite establecer las condiciones de idoneidad de la estructura, respecto a su cometido o finalidad: Por tanto, tiene establecido su objeto en la estructura y su finalidad en el cálculo como comprobación de lo diseñado.

3.2 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El yacimiento Orión esta que se ubica en el flanco occidental de la cordillera de la Costa, en el distrito de Atiquipa de la provincia de Caravelí, departamento de Arequipa, a una altitud de 1640 a 2200 m.s.n.m., aproximadamente a 33 km del distrito de Chala (*Ver: Anexo N° 08. Mapa de ubicación*).

Ubicación Política	
Departamento	Arequipa
Provincia	Caravelí
Distrito	Atiquipa
Zona de Estudio	Mina Orión

Cuadro 3, Ubicación Política.

Ubicación Geográfica			
Vértice	Coordenadas Centrales (UTM – WGS 84)		Zona de Estudio
	E	N	
V1	576487.85	8274281.77	1248.4 Has.
V2	576921.46	8278255.88	
V3	579405.28	8277984.89	
V4	579296.88	8276991.36	
V5	580290.14	8276883.22	
V6	580073.34	8274896.16	
V7	579576.85	8274950.10	
V8	579468.45	8273956.58	
Nuevo	-	-	708.86 Has

Cuadro 4, Ubicación Geográfica.

3.2.1 ACCESIBILIDAD

Es acceso principal es a través de la carretera panamericana Arequipa – Camaná – Ocoña – Chala, (398 km) o de Lima – Chala (615 km) y el acceso de Chala a la mina es de trocha carrozable, el trayecto toma aproximadamente 1:15 horas de viaje en camioneta (*Ver: Cuadro N°05*).

Tramo	Distancia (km)	Tiempo (hrs)	Tipo de vía	Vía principal
Arequipa - Chala	398 aprox.	7	Asfaltado	Arequipa - Lima
Lima – (Pan. Sur) Chala	615 aprox.	8	Asfaltado	Lima - Arequipa
Chala – Planta Orión	5	10 min	Trocha	Chala – Coracora
Planta Orión – Coracora	24	60 min	Trocha	Chala – Coracora
(Desv.) Coracora – U.E.A. Orión	4	5 min	Trocha	Desvió Coracora – U.E.A. Orión

Cuadro 5, Acceso al área de Estudio.

3.2.2 CLIMA

El área de estudio corresponde en su mayor parte al desierto costero del Pacífico, que tiene como características principales: un clima árido, seco y suelos eriazos con lluvias esporádicas en los meses de diciembre, enero y febrero, la temperatura mínima es de 14°C y 25°C como máximo rara vez sube a 27°C, las escasas precipitaciones de 1mm por año y presencia de neblinas que eventualmente se registran producto de las nubosidades (Fuente: Estación Meteorológica de Chala - Atiquipa).

Los vientos que dependen de la topografía local tienen variaciones estacionales en el transcurso del año aproximadamente 13.3 km/h del S y SE según estaciones meteorológicas Chala y Atiquipa.

3.2.3 FAUNA Y FLORA

Se registró especies de ave a lo largo de influencia del área de trabajo: Siendo la más numerosa el gallinazo cabecirojo (*Cathartes aura*), una especie de lagartija (*Podarcis*), serpientes, grillos y alacranes.

La vegetación se observa en el fondo de las quebradas secas aparecen en épocas de enero y febrero, algunas plantas ornamentales domesticadas.

3.2.4 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

En la zona de estudio se ha diferenciado una unidad geomorfológica a escala regional, originada por los diferentes agentes geológicos, ciclos erosivos, a consecuencia del levantamiento de los Andes centrales y estas unidades son las siguientes:

3.2.4.1 Montañas

Presenta grandes elevaciones naturales del terreno que poseen un desnivel desde la línea de base hasta la cumbre mayor a 300 m, cuya altura, formas se deben a diferentes procesos endógenos y exógenos e interacción de entre movimientos tectónicos de la corteza terrestre. Su cima puede ser aguda, subaguda, semi redondeada, redondeada y tabular, su pendiente es $>30\%$; las partes de una montaña son la cumbre, las laderas (vertientes) a la que está rodeado la zona de estudio (*Ver: Anexo N° 09. Mapa Geomorfológico*).

3.2.4.2 Escarpas

Es una vertiente de roca que corta el terreno abruptamente o producto de un fallamiento a la que se denomina escarpa de falla; la pendiente supera los 45° , donde se puede apreciar en la quebrada del cerro Orión, Tauro y cerro Cornac generados por erosión diferencial.

3.2.4.3 Laderas

Las laderas están relacionadas litológicamente a rocas volcánicas e intrusivos, es decir laderas moderadamente empinadas con denudaciones rocosas donde se han originado por erosión, coluviación y otros por fluvio-glacial, presentándose formas de pendientes moderadas a abruptas a lo largo de la quebrada Francia.

3.2.4.4 Glacis Depositional

Denostación gradual de los materiales rocosos arrastrados a lo largo de la ladera por las escorrentías eventuales, los coluviones, detrito leve a moderada erosión laminar, están relacionado a laderas altas, media o bajas en la quebrada Francia.

3.2.4.5 Abanicos Aluviales

La característica de los clastos (forma, litología, dimensiones) que constituyen estos depósitos de abanicos aluviales, sea partir de la sedimentación de la carga sólida transportada por una corriente fluvial, allí donde ésta pierde súbitamente fuerza debido a la brusca disminución del gradiente topográfico; de esta forma se genera la acumulación al pie de monte del cerro Orión y Cornac, ocurre por desconfinamiento, pérdida súbita de capacidad, competencia de los procesos sedimentarios intervinientes, flujos fluidales y flujos de gravedad.

3.2.4.6 Fondos de Valles

Esta unidad geomorfológica es el resultado de las etapas de erosión Valle y Cañón, las que durante su actividad han originado numerosas quebradas, valles profundos; por donde discurren en forma impetuosa, hacia la Costa; estos grandes valles transversales son extensos cañones muy profundos como son las quebradas de Francia que se extiende hasta Chala, las que erosionaron las pampas del piedemonte; estos presentan un aspecto senil y por temporadas se convierten en invernaderos por debajo de 1200 msnm.

3.2.5 FISIOGRAFÍA

En el contexto regional del área investigación se localiza en la unidad geomorfológica de la cordillera de la Costa, limitado por laderas de cadenas montañosas de fuerte relieve y abanicos aluviales de numerosos tributarios sobre todo quebradas secas, así como la quebrada Francia que presenta la pendiente moderada a fuerte, mayores a 30% lo registra el cerro Cornac llamado también “cerro gallinazo”.

La unidad minera se caracteriza por tener un relieve sumamente accidentado y desértico con quebradas secas, las elevaciones oscilan entre los 1400 hasta los 2200 msnm.

3.2.6 HIDROGRAFÍA

Hidrográficamente, el área de investigación se ubica en uno de las vertientes del Pacífico, ubicada en los distritos de Atiquipa y Yauca, dentro de la unidad hidrografía Honda (*Fig. 26*), donde predomina el clima árido, quebradas secas, intermitentes e inactivas, cada una de estos sistemas son dependientes del comportamiento atmosférico cuenca arriba o cabecera de la micro cuenca Honda.

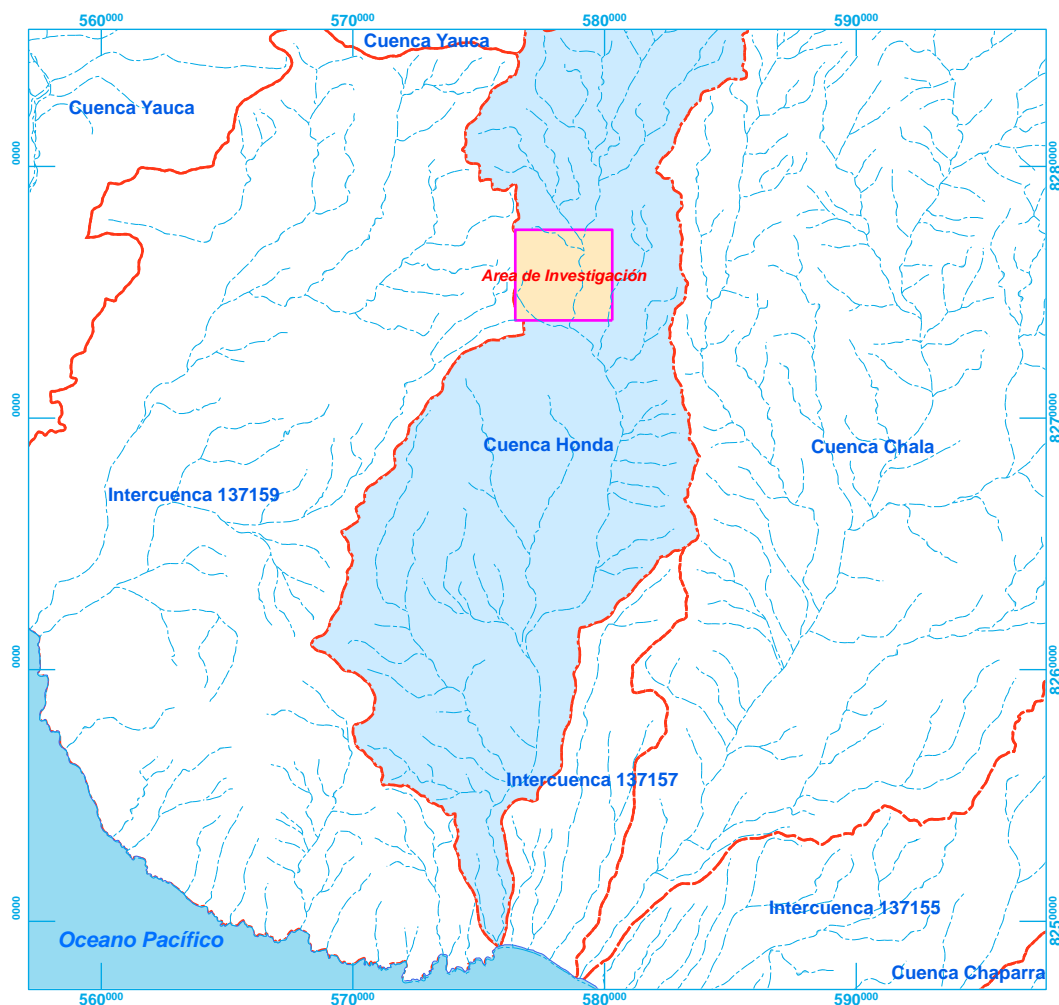


Figura N° 22: Ubicación de la micro cuenca honda donde está influenciado en área de estudio.

3.3 ETAPAS DE INVESTIGACIÓN

3.3.1 ETAPA I: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

En el presente trabajo de investigación se recopila de estudios especiales existentes del área de geología Orión trabajos de influencias, así como: informes especiales AMS, papers de investigación científica, boletines de la SGP e INGEMMET, tesis, ortofotos e imágenes satelitales (Lansad, Áster, DEM), mapas geológicos 1/50 000 (Geología del cuadrángulo

Jaqui, Coracora, Chala y Chaparra, 31-ñ, 31-o, 32-ñ y 32-oChala), análisis petrográficos de rocas intrusivas, sedimentarias, también se compiló información de tesis y trabajos de investigación del relacionado al tema de estudio.

3.3.2 ETAPA II: DESCRIPCIÓN Y TOMA DE DATOS EN CAMPO

Toma de muestras de estructuras mineralizadas, rocas, toma de fotografía de la zona de estudio, descripción de las características litológicas, cartografiado geológico – estructural dando el uso de planos topográficos a una escala 1/5000 y 1/250 para interior mina, para la presentación de mapas del presente estudio se realiza a una escala 1/15000, secciones longitudinales a escala 1/5000 y 1/10000. Toma de fotografías a escalas.

3.3.2.1 TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

El objetivo de los datos obtenidos para realizar el análisis estructural de la deformación frágil fue tomado en cuatro estaciones de micro tectónica, así como en la traza del sistema de fallas Orión, fallas menores que presentan características cinemáticas.; se han considerado el rumbo, buzamiento de los planos de fallas, el ángulo de pitch, la cinemática de la falla, este último ha sido determinado tomando el criterio y método de los indicadores cinemáticos (tectoglifos). Luego los datos fueron tratados mediante análisis gráficos por cada estación, tales como comparación geométrica en un modelo de cizalla y mediante la proyección de planos nodales en la red estereográfica Equiareal de Schmit con el software Faulkin 7.5. de Allmendinger.

3.3.2.2 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

El procedimiento de recolecciones datos en primera instancia:

- Orientación de fracturas, fallas, vetas, diaclasas se determina tomando los datos de: Az, Rb, Bz, DBz.
- Cabeceo es el ángulo entre la línea (estría), la dirección del plano inclinado que la contiene, medido sobre el mismo plano inclinado, que nos sirve para analizar en el software Fault Kin.

- Inmersión de una línea (Plunge en los textos en inglés); es el ángulo que forma una línea (estría) con un plano horizontal, medido sobre un plano vertical que contenga esa línea, su valor varía entre 0° y 90° (Fig. 22).

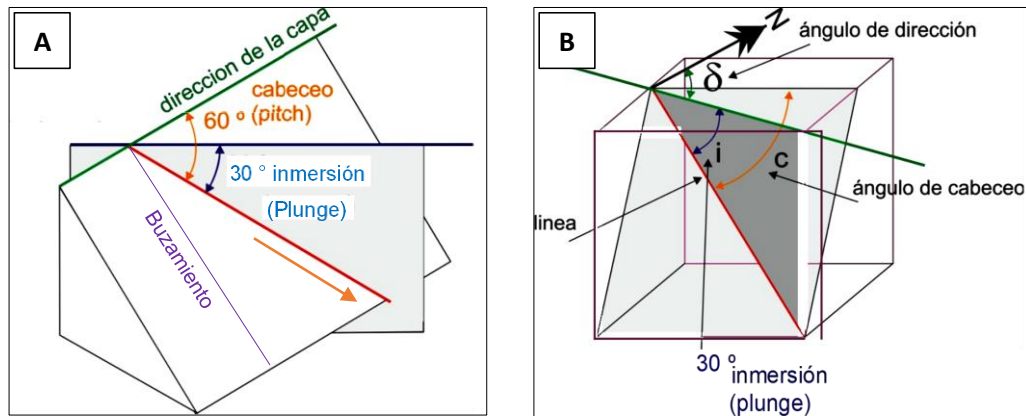


Figura N° 23: A) Y B) Medidas de los ángulos de inmersión y cabeceo durante la toma de datos estructurales de: falla, vetas, fracturas, pseudoestratos.

3.3.3 ETAPA III: REDACCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

El procesamiento de la información obtenida en situ de mapeos geológicos – estructurales, digitalización e interpretación de mapas geológicos, estructurales, secciones geológicas e interpretaciones con los datos estructurales obtenidos en campo con el uso de los siguientes programas; el AutoCAD 2013 y 2018, ArcGIS 10.1, Mini Sight 9.5, Faul Kin 7.5, EspheriStat 3.2.1, Dips 5.0, Global Mapper 18.0, SAS. Planet, redacción final del trabajo de investigación.

3.3.3.1 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Datos Utilizados: Los datos estructurales se obtienen de cuatro fuentes: interpretación de imágenes de satélite Landsat (ArcBrutile Para ArcGIS), Áster (MINAM), DEM (rasgos rectilíneos y circulares), cartografiado sistemática in situ (fallas, fracturas, vetas, vetillas y tectoglifos).

Durante la salida de campo se han realizado mediciones de varios planos de falla y sus estrías de fricción correspondientes a las zonas Valeria, Chinchilico, Francia-Bonanza. En cada medición se trató de encontrar fallas con diferentes rumbos, compatibles entre sí a fin de entender mejor los procesos ocurridos, definir la dirección de esfuerzos. No se han

incluido las estructuras cercanas a los “gouges” (panizo o brecha) de fallas muy desarrollados, para evitar el efecto de la deformación plástica.

Procesamiento Informático: Para el presente estudio se ha empleado el software estructural Faulkin 7.5, con la finalidad de determinar las direcciones/sentido de los tres esfuerzos principales σ_1 (compresivo), σ_2 (intermedio) y σ_3 (tensional). Para definir las familias estructurales de uso el software Dips 5.0.

Análisis de los Resultados: Los resultados del procesamiento informático se han obtenido estéreo diagramas, donde se grafica las mediciones de las estructuras frágiles y direcciones de los 3 esfuerzos principales que corresponden a diferentes fases de deformación correlacionando con las fases tectónicas regionales.

Empleo del Software Fault Kin 7.5: es un programa estructural que nos ayuda a analizar los esfuerzos que se originan en las fallas, con la finalidad de interpretar y plotear los esfuerzos mediante uso de los mecanismos focales con relación a los diedros que se forman (*Fig. 23*).

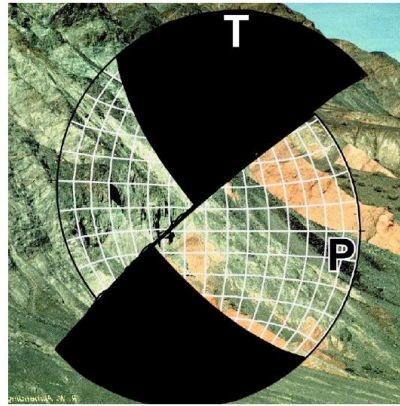
Los datos que necesitan son:

- Rumbo del plano de falla (por estría).
- Buzamiento del plano de fallas (por estría).
- Angulo de la estría.
- Cinemática de la falla (respecto a la estría)

El software es importante porque nos permite determinar los ejes de esfuerzo lo cual va a ser importante para hallar la dirección más favorable de abertura en las cuales es más probable el emplazamiento de la mineralización y también interpretar los distintos esfuerzos que se dan en una determinada zona local y regional determinando por la estructura (*Fig. 24*).

FaultKin 7.5

For Mac OS X, Windows, and Linux



Richard W. Allmendinger © 2016

Figura N° 24: Software Fault Kin 7.5 para el análisis de esfuerzo a gran y menor escala (Allmendinger, 2016).

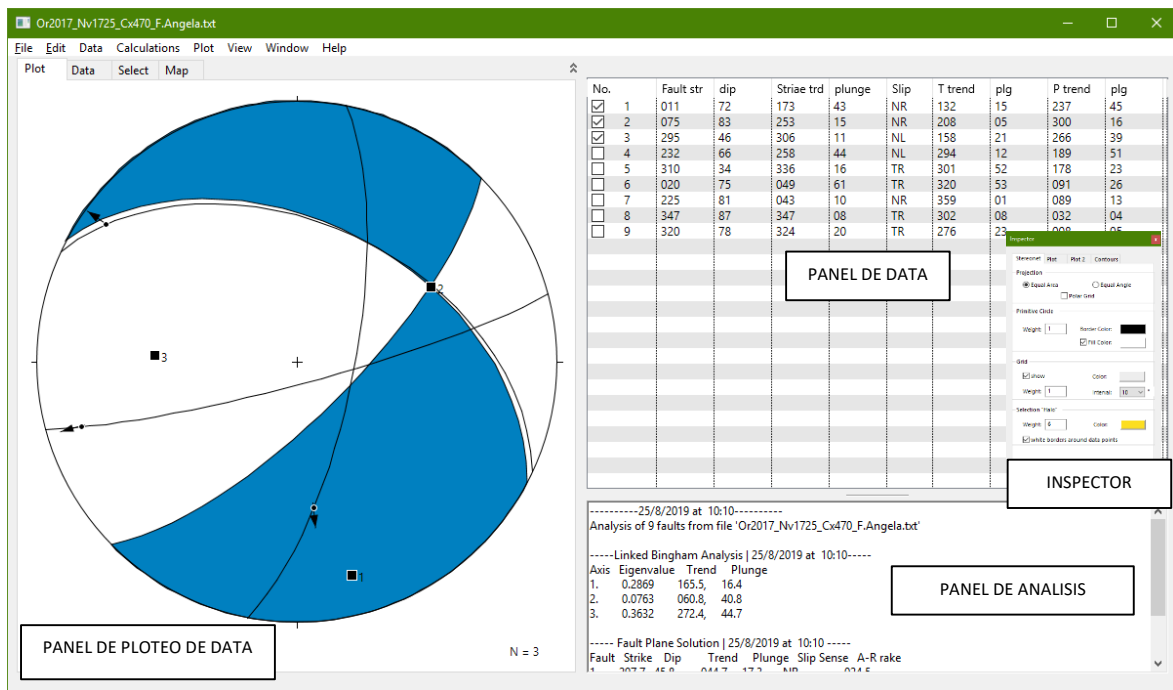


Figura N° 25: Faulkin 7.5, Interfaz en Windows (bottom) y Mac OS (top), para analizar y calcular zonas de esfuerzo (Allmendinger, 2016).

No.	Fault str	dip	Striae trd	plunge	Slip	T trend	plg	P trend	plg
1	011	72	173	43	NR	132	15	237	45
2	075	83	253	15	NR	208	05	300	16
3	295	46	306	11	NL	158	21	266	39
4	232	66	258	44	NL	294	12	189	51
5	310	34	336	16	TR	301	52	178	23
6	020	75	049	61	TR	320	53	091	26
7	225	81	043	10	NR	359	01	089	13
8	347	87	347	08	TR	302	08	032	04
9	320	78	324	20	TR	276	23	008	05

```

-----25/8/2019 at 10:10-----
Analysis of 9 faults from file 'Or2017_Nv1725_Cx470_F.Angela.txt'
-----Linked Bingham Analysis | 25/8/2019 at 10:10-----
Axis Eigenvalue Trend Plunge
1. 0.2869 165.5, 16.4
2. 0.0763 060.8, 40.8
3. 0.3632 272.4, 44.7
----- Fault Plane Solution | 25/8/2019 at 10:10 -----
Fault Strike Dip Trend Plunge Slip Sense A-R rake
1. 011 72 132 43 NR 132 15 237 45
2. 075 83 208 15 NR 208 05 300 16
3. 295 46 158 11 NL 158 21 266 39
4. 232 66 294 44 NL 294 12 189 51
5. 310 34 301 16 TR 301 52 178 23
6. 020 75 320 61 TR 320 53 091 26
7. 225 81 359 10 NR 359 01 089 13
8. 347 87 302 08 TR 302 08 032 04
9. 320 78 276 20 TR 276 23 008 05
    
```

Figura N° 26: Faulkin 7.5, Interfaz para ingreso y edición de datos estructurales en la data (Allmendinger, 2016).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 UNIDADES LITOLÓGICAS

4.1.1 GEOLOGÍA LOCAL

En el área de investigación predominan rocas vulcano sedimentarias e intrusivas del segmento Arequipa, sus edades que van del Jurásico al Cenozoico inferior, 58 Ma. a más de 102 Ma (*Fig. 27*).

La geología está formada por una serie de cuerpos intrusivos emplazados en direcciones preferenciales de orientación NW-SE, constituyendo un stock elongado en esa dirección, con dimensiones de 4.5 km de largo por 700 m de ancho, los mismo que se encuentran intruídas por las andesitas porfiríticas (*Ver Anexo 11: Mapa Geológico Local*).

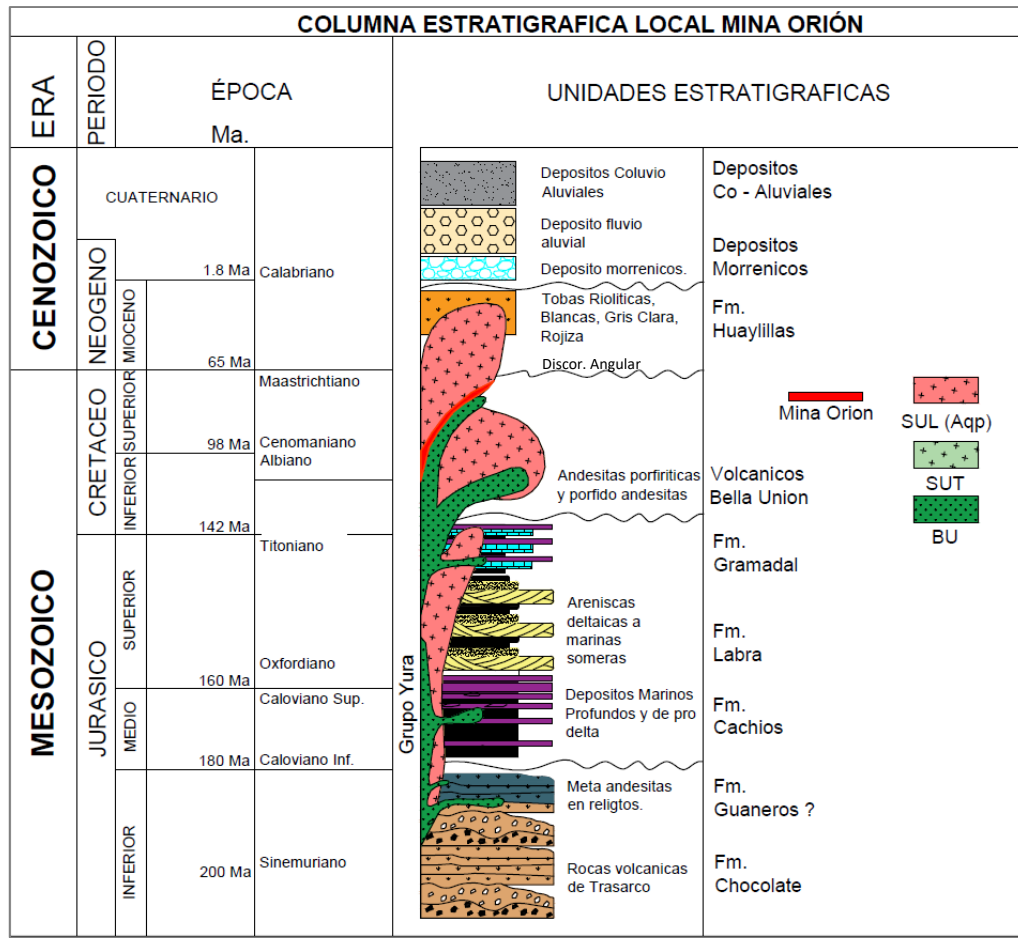


Figura N° 27: Columna estratigráfica local mina Orión.

4.1.1.1 INTRUSIVOS

a) Latita (Dique)

Se presenta en forma de diques con una dirección de E-W, con una potencia de 2m y longitud de más de 100m al SE del yacimiento Orión,

Estas rocas se caracterizan por contenido de feldspatos potásicos con una textura porfirítica, es probable que tengan una relación con la mineralización del yacimiento, atreves de la orientación y presentando alteración potásica (Fig. 28.A).

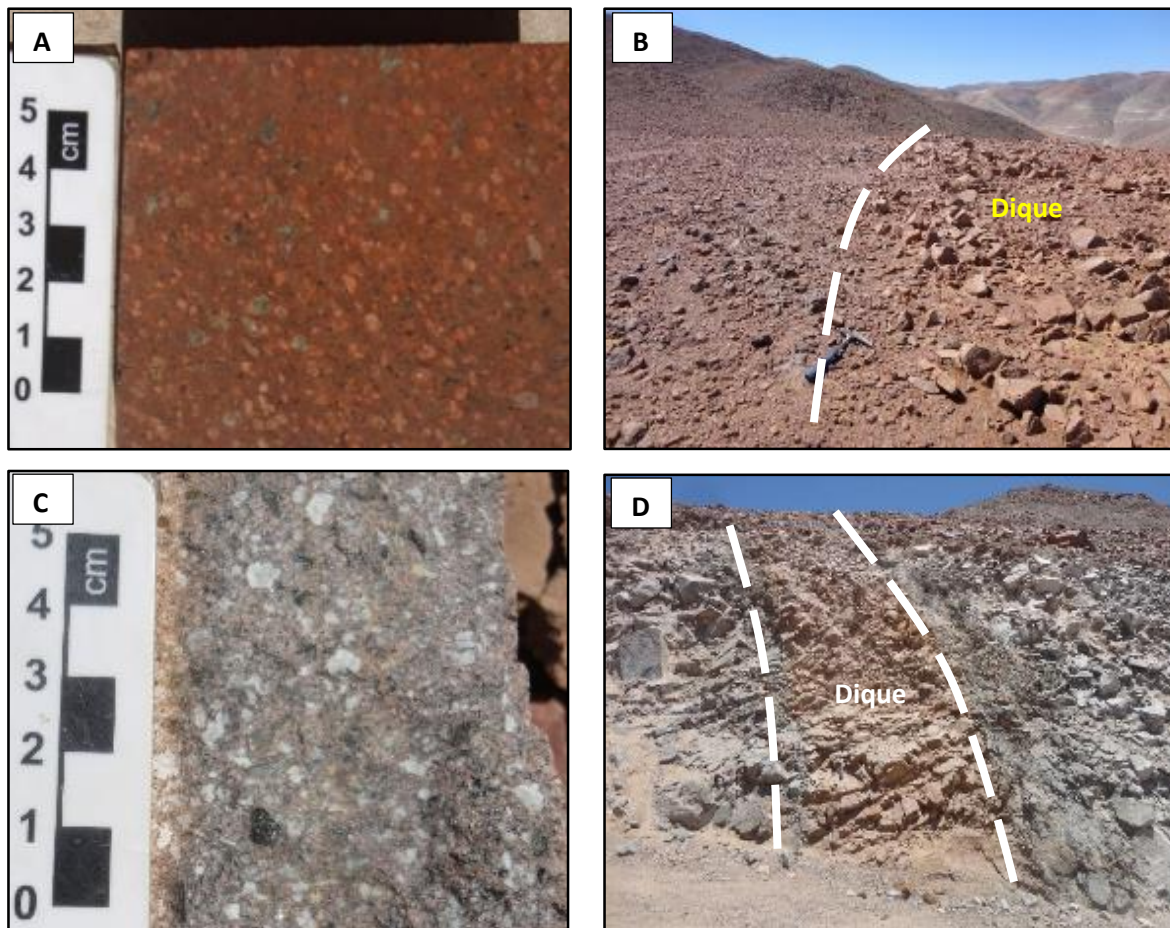


Figura N° 28: A) y B) Muestras sienitas y el contacto, C) y D) Diques de monzonitas porfíricas con cristales euhedrales de plagioclasa, emplazadas en rocas de composición diorítica, paralelamente a la veta Francia.

b) Monzonita/Diorita

Son de composición monzonita se caracterizan por emplazamiento de dique, micro diques con contenido de feldespatos lo que nos indica que sería posterior a la intrusión de las dioritas; las monzonitas llamado también monzogranitos por el tamaño de los cristales que contienen biotita, anfíboles sericitizados con abundante pirita aurífera que se aprecia como minerales opacos; las de composición diorítica que intruyen en forma de lopolitos a la formación Guaneros, y contienen fragmentos de roca andesítica en la zona Chinchilico, la diorita se presenta con cristales más desarrollados al igual que las monzonitas Linga, además está considerada como roca caja de la veta Chinchilico débilmente alterado en las cajas, en su contexto estructural local se muestra limitado por la falla Ángela en contacto del meta andesitas (Ver: Anexo N° 06: Sección +280 (A-A')).

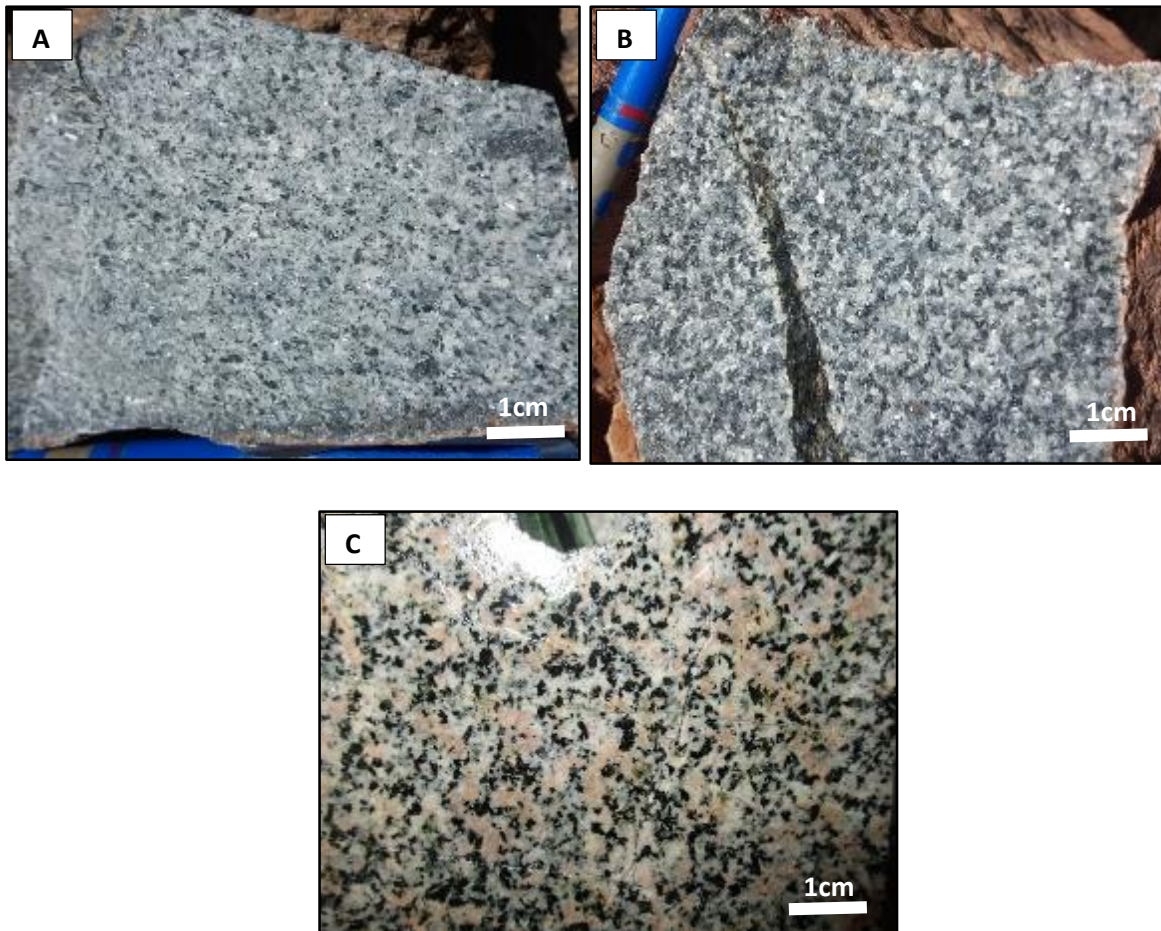


Figura N° 29: A) y B) Fotografía de muestras de diorita sin alteración donde mantienen su textura original. C) muestra de monzonita a monzogranito con cristalización desarrollada de la zona Chinchilico.



Figura N° 30: Roca intrusiva de composición diorítica que descansan sobre las rocas volcánicas de composición andesítica al SE de la zona Chinchilico.

4.1.1.2 ROCAS VOLCÁNICAS

a) Andesita Porfírica

Se caracteriza por un sub volcánico (hipabisales) con brecha de intrusión de naturaleza andesítica, conocido como volcánico intrusivo Bella Unión (*Fig. 31.A y B*), se presenta alrededores del yacimiento Orión, además se encuentra como un control litológico en la veta Indio, generando una guía para las exploraciones; en cuanto a rocas volcánicas andesítica por su textura se pueden diferenciar dos tipos de diques uno denominado andesita con textura porfíricas de un color gris verdoso oscuro a negruzco, la presencia de fenocristales indica un enfriamiento lento para la cristalización de las plagioclasas y hornblendas, el otro tipo de dique es la llamada andesitas con textura afanítica donde sus cristales de plagioclasa son de tamaño microcristalino. Estos diques presentan diferentes grados de alteraciones hidrotermales (propilitización, silicificaciones).

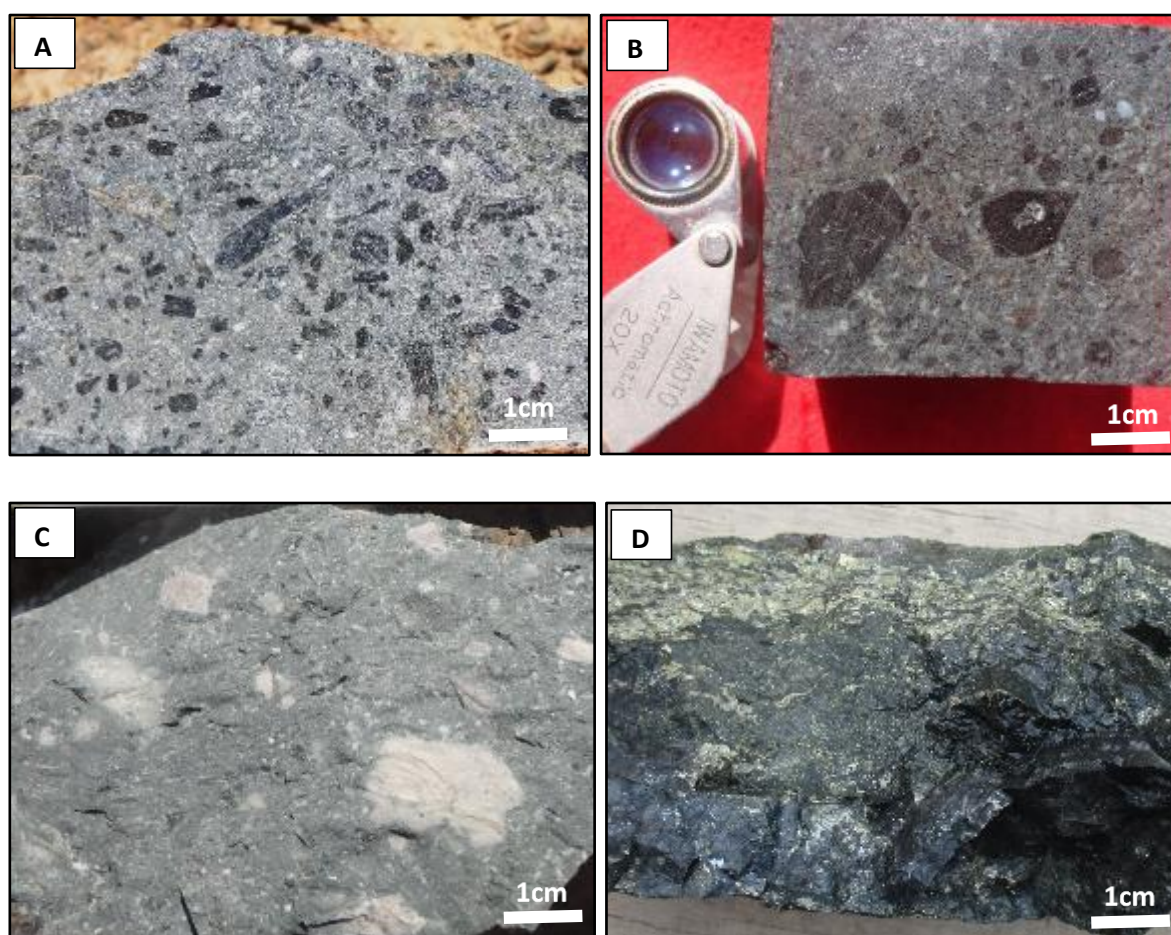


Figura N° 31: A) y B) Muestras de Pórfido Andesita pseudosedimentaria con fenocristales de hornblenda. C) aglomerado de vulcano clásticos y en asociación de rocas sedimentarias conglomerado o areniscas.

b) Andesita

¿Las andesitas de la formación Guaneros?, según estudios antes mencionado de su origen tipo pertenecen a la secuencia volcánico de la formación Chocolate Superior (H. Acosta & A. Alván 2008), sus características son meta andesitas de gris verdosa y color violáceo con una matriz afanítica, estas rocas se encuentran a manera de relictos y sobre yacen por encima de los intrusivos monzodioríticos y los volcánicos del complejo Bella Unión.

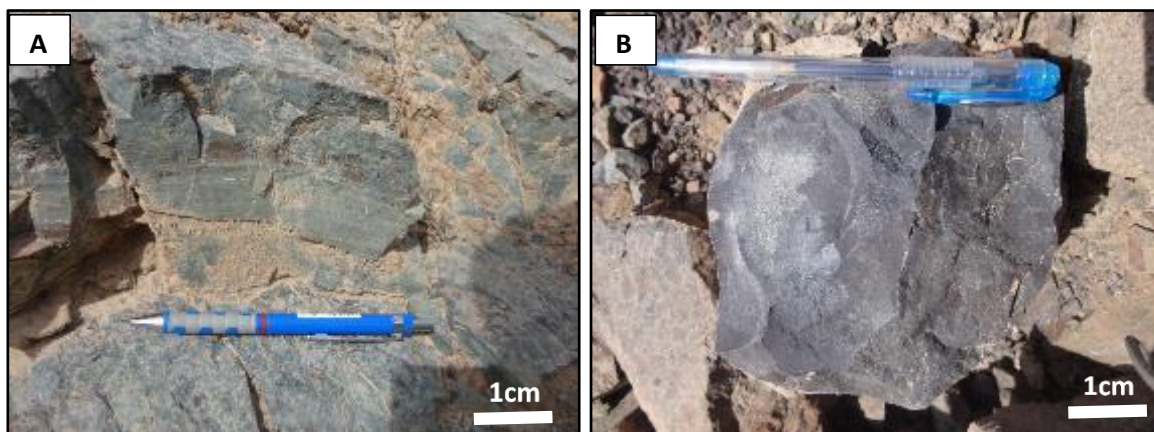


Figura N° 32: A) y B) Muestras de rocas Meta Andesitas, relictos de andesitas por metamorfismo de contacto.

c) Ignimbrita

Son rocas que tiene afloramiento producto de un vulcanismo piroclásticos a ignimbritico, se toma en consideración que no tienes una base continua y rectilínea, se puede apreciar como relictos en la zona de estudio.

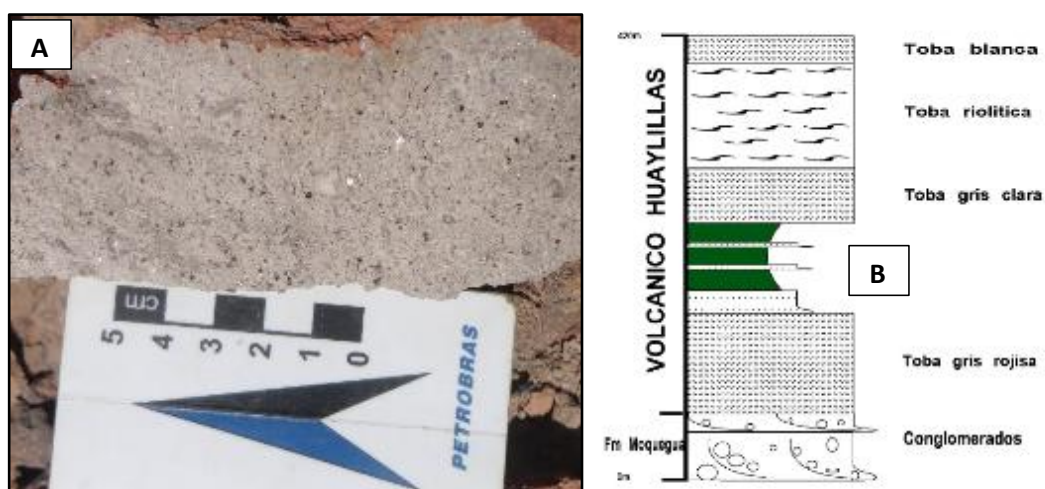


Figura N° 33: A) Muestra de Ignimbrita (toba) riolíticas con afloramiento puntuales al N y S del área de estudio, B) columna estratigráfica (Jacay J. et al 2010).

4.1.1.3 ROCAS SEDIMENTARIAS

a) Arenisca cuarzosa/arcósica

Rocas sedimentarias del Grupo Yura que pertenece a la Formación Labra ubicadas al SW y W del yacimiento, consta de areniscas cuarcíticas.

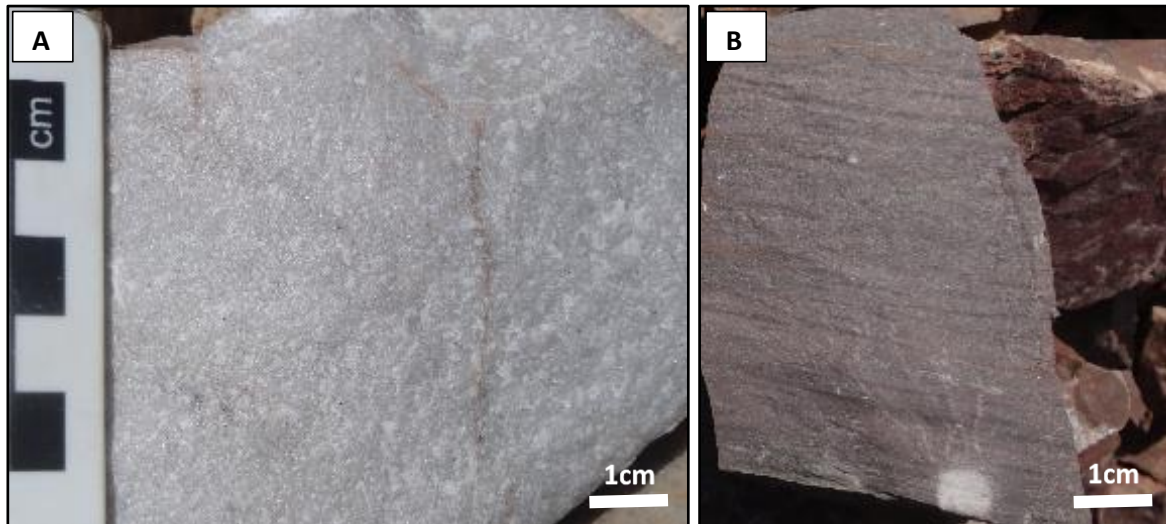


Figura N° 34: A) Muestra de arenisca cuarcíticas y areniscas grises, se aprecian en la parte superior NW y SW, B) areniscas arcósicas.

b) Lutitas/ Hornfels

Su litología consiste en lutitas de color rojizas con niveles de limolitas grisáceas y lutitas de color gris verdusca, se presentan en la base de la formación Labra; el hornfels compuesta principalmente de cuarzo, feldespato, mica formada en fondos oceánicos y son rocas generalmente de estructura masiva (*Fig. 35.D*).



Figura N° 35: A) y B) Muestra de lutitas con horizontes de areniscas cuarcíticas y hornfels, inicios de la deposición formación Labra. C) y D) Muestra de areniscas cuarcíticas, feldespáticas y hornfels indicadores de ambientes de formación de fondos oceánicos y/o pro delta.

c) Deposito glacial (Q-gl)

Se caracteriza por estar conformada por clastos, bloques sub redondeados estriados, distribuidos aleatoriamente en zonas elevadas sobre 2100msnm, que provienen de rocas cuarcitas (Labra), rocas volcánicas en su totalidad; estos depósitos se encuentran al NW y NE del área de estudio.

d) Depósitos aluviales (Q-al)

Esta unidad litología se caracteriza por estar conformada por depósitos aluviales, fluviales, coluviales y eluviales, se exponen en las laderas, depresiones, quebradas, conformando pequeñas terrazas principalmente en la quebrada Francia, etc.; los materiales están constituidos de rodados, gravas, arenas, limos, generalmente provienen de la

denudación existentes de las rocas circundantes, se exponen así mismo en las partes bajas, pendientes suaves a moderadas conformando rellenos, otros materiales han sido arrastrados por la erosión fluvial de los ríos; los depósitos coluviales se presentan por la gravedad, la inestabilidad de las laderas rodando pendiente abajo, mientras que los depósitos eluviales son disgregaciones de las rocas preexistentes cuyos materiales se depositan in situ sin ningún tipo de transporte, también podrían llamarse regolitos.

El espesor es variable de unos centímetros hasta decenas de metros, todos estos depósitos pertenecen al Cuaternario reciente.

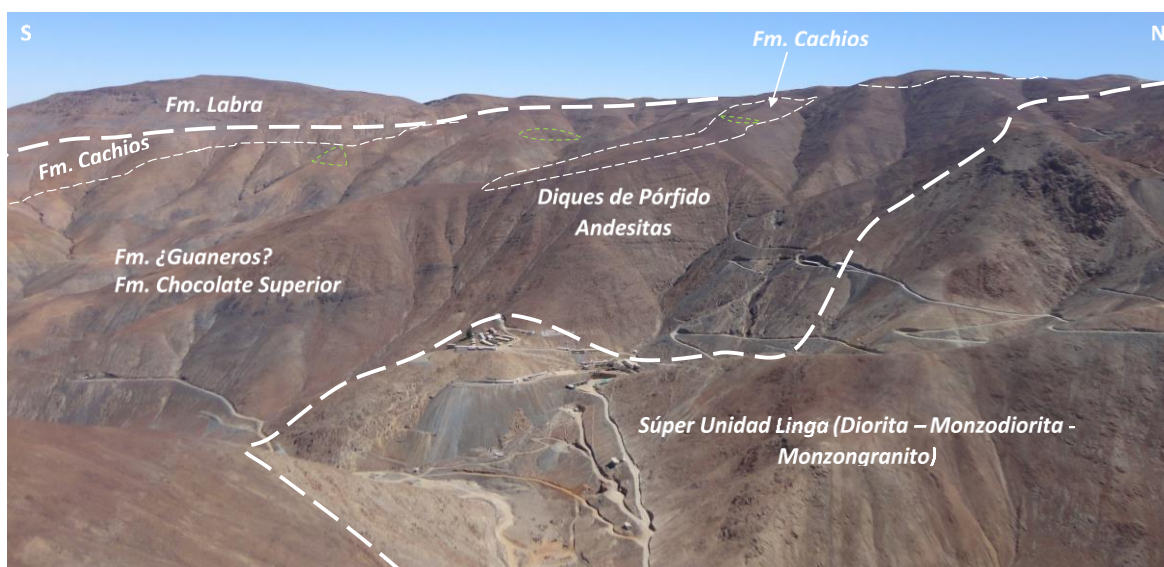


Figura N° 36: Afloramiento de formaciones geológicas en el área de estudio, seudoestratificación de rocas volcánica en contacto con el intrusivo de la Súper Unidad Linga.

4.1.2 PETROGRAFÍA

Los estudios microscópicos y en secciones delgadas realizados, muestran los siguientes resultados:

- a) Rocas intrusivas de tipo diorita, monzodiorita, probablemente asociadas a las primeras fases de diferenciación magmática del batolito del Costa, tienen un afloramiento de tipo sills.
- b) Rocas intrusivas de tipo monzonita, probablemente asociadas a un evento magmático de última fase del batolito de la costa.
- c) Rocas volcánicas de composición andesítica y andesita porfirítica perteneciente al complejo Bella Unión, que son asociadas a la mineralización en vetas Indio (diques) y Francia (brechas de andesitas).

- d) Rocas sub volcánicas de composición andesítica; secuencias de andesitas, pórfidos andesitas, cuarcitas que corresponden al Formación Guaneros.

Los estudios macroscópicos y microscópicos evidencian rocas volcánicas principalmente de composición andesítica, dioritas - monzonitas, estas andesitas, rocas hospedantes tuvieron un comportamiento favorable en el emplazamiento de fluidos mineralizantes.

Se ha realizado un reconocimiento semi detallado del área que abarca el yacimiento Orión, reinterpretando la influencia de los diferentes sistemas de fallas y vetas, así como también los tipos de litología en la formación del yacimiento; en interior mina se efectuó el cartografiado geológico necesario para interpretar la influencia de los sistemas de fallamiento con relación a la litología como controles de la mineralización.

El control litológico del yacimiento Orión son las dioritas, en algunos casos presentan metasomatismo potásico y dique de monzonitas que hospedan valores económicos de Au, por otro lado, estas vetas están también relacionados a los diques de andesitas con diseminaciones, núcleos de sulfuros que han sido emplazadas en el proceso de la mineralización o también son fuentes de la mineralización; en el área de investigación afloran principalmente rocas intrusivas, sedimentarias, se reconocen por lo menos hasta 2 eventos intrusivos que varían de composición diorítica hasta monzonitas, es decir; diorita y monzonita (monzogranitos), primer evento tardío relacionado a una fase monzonita, el segundo evento temprano, la intrusión de las dioritas.

Como también se tiene dos eventos extrusivos en forma de diques que van desde andesitas y latitas porfiríticas, se reconoce una fase de brecha intrusiva que contiene fragmentos de los eventos intrusivos hipabisales tempranos y también de rocas sedimentarias alteradas como cuarcitas y andesitas; estos eventos intrusivos del complejo bella unión se encuentran instruyendo al basamento Cretácico medio - superior, formada principalmente por intrusivos en la base.

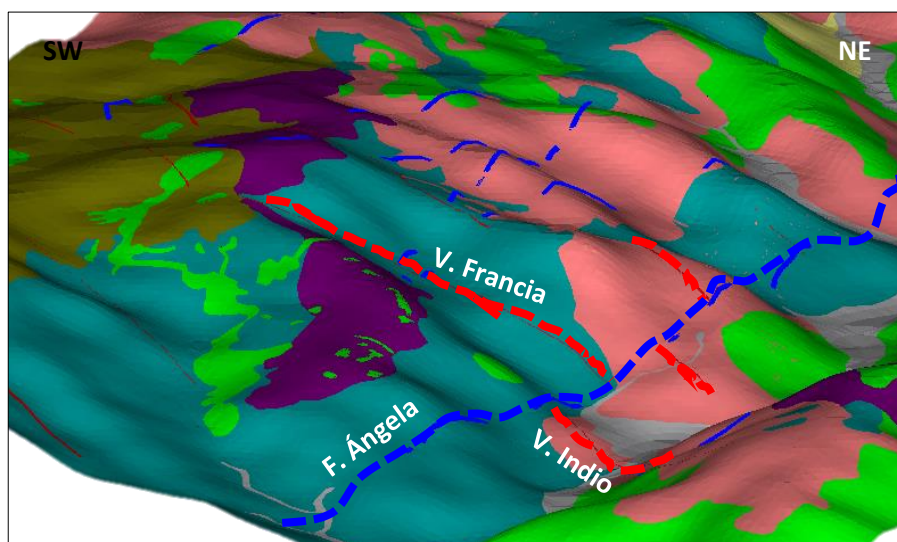


Figura N° 37: Representa los intrusivos de diorita y monzonitas interpretadas a base de mapeo geológico superficial, también se puede observar la intrusión de diques (andesita bella unión) asociado con la mineralización de la veta Indio.

4.1.2.1 CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS

a) MUESTRA 01: Monzonita/Monzodiorita

Los minerales esenciales plagioclasas, en proporciones variables feldespatos potásicos, arcillas, cloritas, epidotas y otros. Las venillas están rellenas por cuarzo, epidotas y otros.

Conformada fundamentalmente por cristales de plagioclasas en formas euhedrales de hábito tabular, con tamaños menores de 2.8mm, se alteran de moderada a intensamente a arcillas-sericita. Y los feldespatos potásicos tienen formas anhedrales con tamaños menores de 2.3mm, también se alteran débilmente a arcillas; anfíboles, sus cristales de formas subhedrales, de tamaños menores de 1mm, se encuentran alterados de débil a moderado a carbonatos, cloritas, epidotas y débilmente por las limonitas.

Se observa cristales de piroxenos de formas anhedrales de tamaños menores de 0.5mm, es reemplazado parcialmente por los anfíboles que dando relictos, en otros sectores los granos de piroxenos presentan alteración a cloritas-carbonatos, biotitas alterándose a cloritas, la esfena de formas subhedrales y anhedrales con tamaños menores de 0.5mm ocurren relleno intersticios entre los cristales de plagioclasas. Apatito, es de forma euhedral con tamaño de 0.1mm, ocurre como inclusión en feldespato potásico y plagioclasas.

Se observa a cristales de epidotas de tamaños de 0.6mm, los cuales se hallan relleno intersticios entre los cristales de plagioclasas.

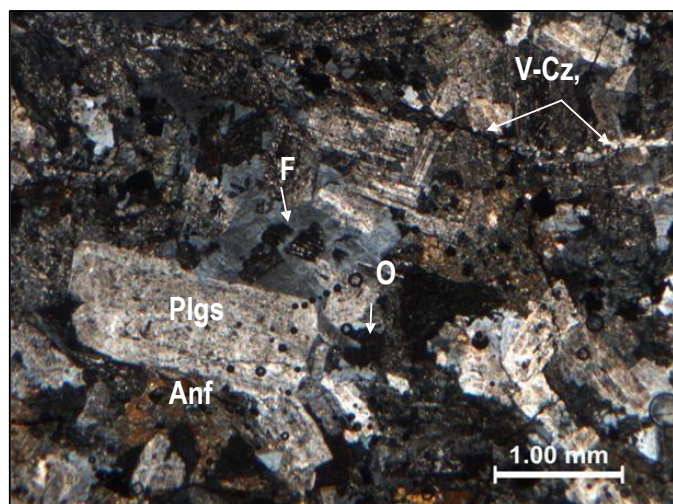


Figura N° 38: Cristales de plagioclasas (Plgs) alteradas por las arcillas-sericita (Ser), feldespatos potásicos (Fk) argilizados con inclusiones de plagioclasas, anfíboles (Anf), y minerales opacos (Op), se observa una venilla corta (V) de cuarzo secundario y limonitas (Cz-Lim) (Tomado de informes especiales AMS).

b) MUESTRA 02: Diorita

Se observa cristales de plagioclasas, ferromagnesianos y opacos diseminados. La muestra se encuentra alterada por la sericita-arcillas. Se observa venillas subparalelas rellenas por carbonatos- feldespatos.

Muestra ígnea intrusiva compuesta por cristales de plagioclasas zonadas y macladas de formas euhedrales y subhedrales con tamaños de 1.4mm, los cristales se presentan alterados en grado débil a moderado por las arcillas, sericita, muy débilmente por las epidotas y carbonatos.

Feldespatos potásicos, los cristales presentan formas anhedrales con tamaños menores de 2.5mm, es alterado débilmente por las arcillas, e incipientemente por epidotas, algunos cristales de feldespatos potásicos contienen inclusiones de plagioclasas y ferromagnesianos de grano fino. Piroxenos, ocurren como cristales de caras basales y prismáticos, maclados, de formas euhedrales a anhedrales con tamaños que varían de 0.2 a 1.0 mm, por sectores se hallan parcialmente reemplazados por los anfíboles. Biotita, se presentan cristales de formas subhedrales con tamaños menores de 1.3mm, mayormente se encuentran alterados por las cloritas en grado moderado, epidotas muy débilmente, reemplaza en parte a cristales de anfíboles y contiene inclusiones de piroxenos y minerales opacos.

Opacos, los cristales son de formas euhedrales a anhedrales con tamaños menores de 0.35mm, además se presenta diseminado en la roca (magnetita). Cuarzo, ocurre como

crisales de formas anhedrales con tamaños menores de 0.45mm, se halla en intersticialmente entre los granos de plagioclasas. Anfíboles, los crisales son de formas subhedrales y anhedrales con tamaños menores de 0.6mm, algunos crisales contienen inclusiones de grano fino de opacos y piroxenos, se hallan muy débilmente alterados por epidotas-carbonatos.

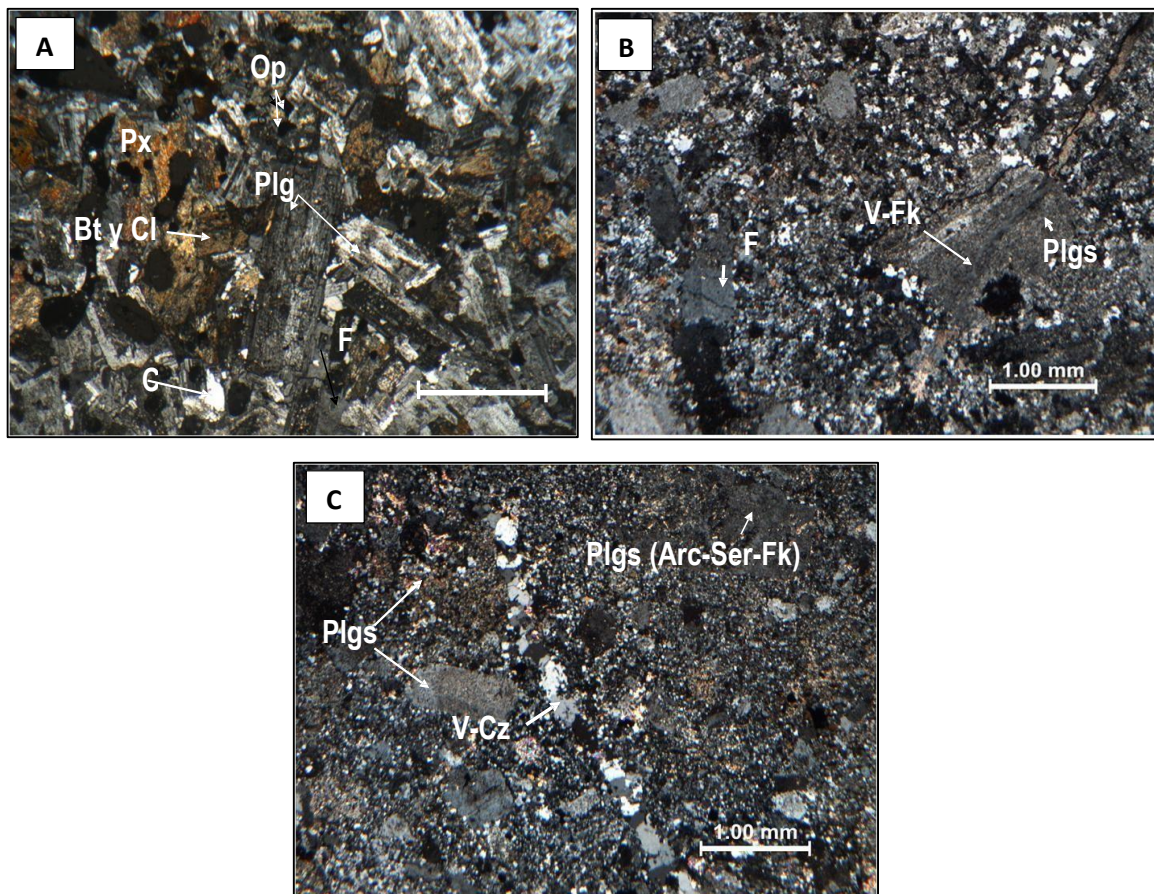


Figura N° 39: A), B) y C) Crisales de plagioclasas (Plgs) alterados por las arcillas carbonatos, feldespatos potásicos (Fk) argilizados, piroxenos (Px), biotita (Bt) cloritizada y cuarzo (Cz), minerales opacos (Op) (Tomado de informes especiales AMS).

c) MUESTRA 03: Andesita Porfirítica

Roca volcánica de textura parcialmente afanítica, en la que se observa crisales tabulares de diferente granulometría, ferromagnesianos, contenidos en una matriz afanítica, se observa una venilla rellena por cuarzo. Está conformada por fenocristales de plagioclasas euhedrales y subhedrales, de hábito prismático, con tamaños hasta de 2.65mm, presentan maclas y zonado, se encuentran alterados por las arcillas, sericita, epidotas, carbonatos y cloritas.

Los fenocristales de anfíboles algunos con maclados ocurren de formas euhedrales y anhedrales con tamaños menores de 2.4mm, contienen inclusiones granos de minerales opacos y plagioclasas.

Los micro fenocristales de biotita subhedrales con tamaño de 0.3mm se encuentran alterados además a modo de corona por las cloritas-opacos y/o sericita, asimismo contiene inclusiones de minerales opacos, por sectores la biotita reemplaza parcialmente a los anfíboles. La matriz micro criptocristalina conformada por plagioclasas de formas tabulares con tamaños menores de 0.1mm, débilmente alteradas por carbonatos; cuarzo de origen secundario, arcillas-actinolita intersticiales, carbonatos, disseminaciones de minerales opacos y apatito como inclusión. ¿La roca presenta venilla rellena por cuarzo, otras venillas subparalelas están rellenas por cuarzo-actinolita-carbonatos y están cortadas venillas subparalelas rellenas por carbonatos-yeso? -micas-arcillas criptocristalino? y epidotas – carbonatos-micas.

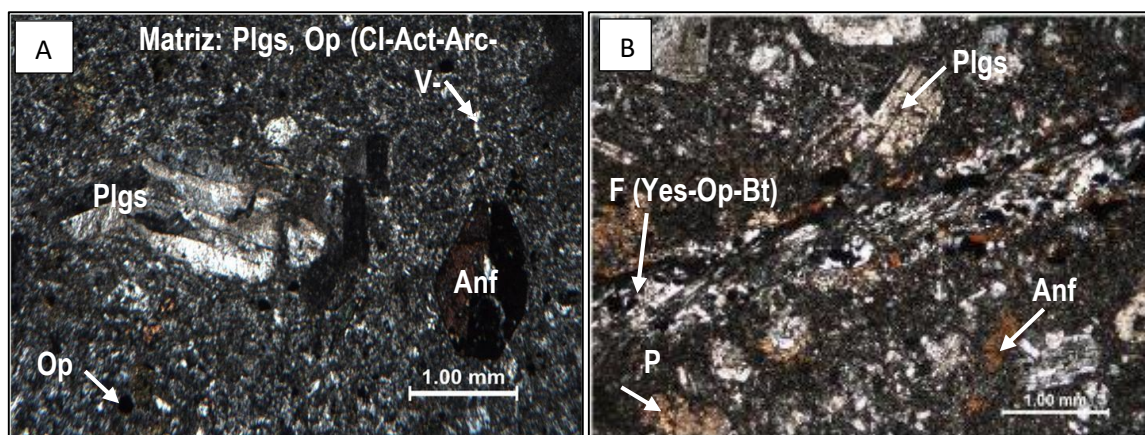


Figura N° 40: A) y B) Fenocristales de plagioclasas (Plgs) alteradas por las arcillas con poca sericita (Arc-Ser) anfíboles (Anf) incipientemente alterada a cloritas-epidotas (Cl-Ep), la matriz está constituida por plagioclasas con cloritas- actinolita – arcillas (Cl-Act-Arc) en intersticios, cuarzo de origen secundario (Cz) con disseminaciones de minerales opacos (Op). Se observa una venilla (V) rellena por cuarzo de origen secundario (Cz).

d) MUESTRA 04: Andesita

Roca volcánica con textura porfirítica compuesta por fenocristales de plagioclasas macladas y algunos fenocristales zonados, alterados de débilmente por las arcillas e incipientemente por las epidotas moldes de fenocristales alterados por agregados de granos de actinolita en una matriz compuesta por plagioclasas, actinolita, y disseminaciones de minerales opacos.

Las plagioclasas de tamaños menores de 0.9mm, de formas euhedrales y subhedrales, de aspecto tabular, ocurre como fenocristales maclados, en parte zonados, alterados débilmente por la actinolita, arcillas.

La actinolita Agregados de granos de tamaños menores de 0.13mm, ocurre a veces junto con biotita alterando totalmente a posibles fenocristales de ferromagnesianos (anfíboles), asimismo ocurre en la matriz como agregados de granos de formas anhedrales con tamaños menores de 0.1mm. junto con biotita y cuarzo secundario, minerales opacos y cloritas. La actinolita a veces se presenta en forma cúmulos en la matriz. Los minerales opacos ocurren de formas anhedrales con tamaños menores de 0.9mm (grano fino) ocurre reemplazando a posibles ferromagnesianos (anfíboles y biotita de origen primario). Cuarzo de granos con tamaños menores de 0.18mm, de formas anhedrales ocurre alterando en grado muy débil a las plagioclasas, a posibles ferromagnesianos.

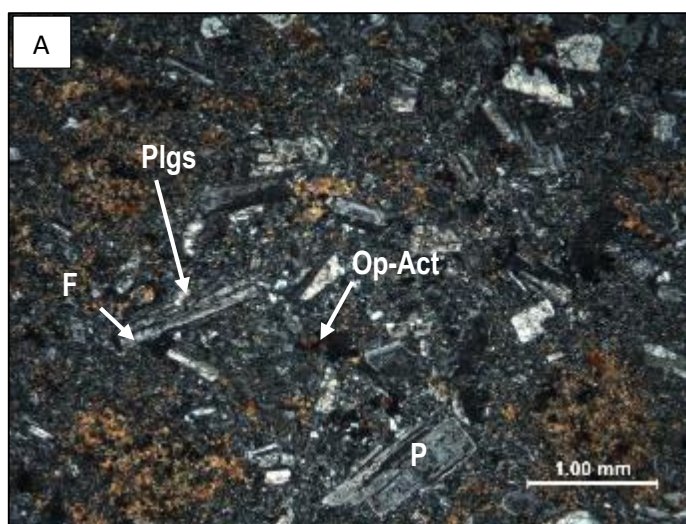


Figura N° 41: A) Fenocristales de plagioclasas (Plgs) alterados parcialmente por las arcillas (Arc), minerales ferromagnesianos (Fmgs) alterados por actinolita (Act) con inclusiones de minerales opacos (Op). También se observa a los minerales opacos (Op) asociados a actinolita, están contenidos en una matriz de laminillas de plagioclasas, actinolita, cuarzo secundario escasa biotita y diseminaciones de minerales opacos.

e) MUESTRA 05: Arenisca Cuarzosa

Arenisca está constituida principalmente por clastos principalmente de cuarzo de forma anhidra, con tamaños menores de 0.22mm, de bordes levemente suturados, o en parte recrystalizados en continuidad óptica con los granos (recrecimiento secundario), donde la superficie de los clastos está recubierta de una fina película de arcillas?, algunos granos son redondeados, y presenta bordes.

Feldespatos, ocurren de formas sub angulosas con tamaños menores de 0.2mm, se encuentran débilmente alterados por las arcillas sericita, se localiza entre los granos de cuarzo. Se observa clastos o fragmentos calcáreos de formas anhedrales y de bordes irregulares con tamaños menores de 0.15mm, a veces con inclusiones de cristales de moscovita o con impregnación de óxidos de hierro. Zircón de forma redondeada con tamaños menores de 0.06mm en intersticios, algunos granos se hallan incluidos en cuarzo.

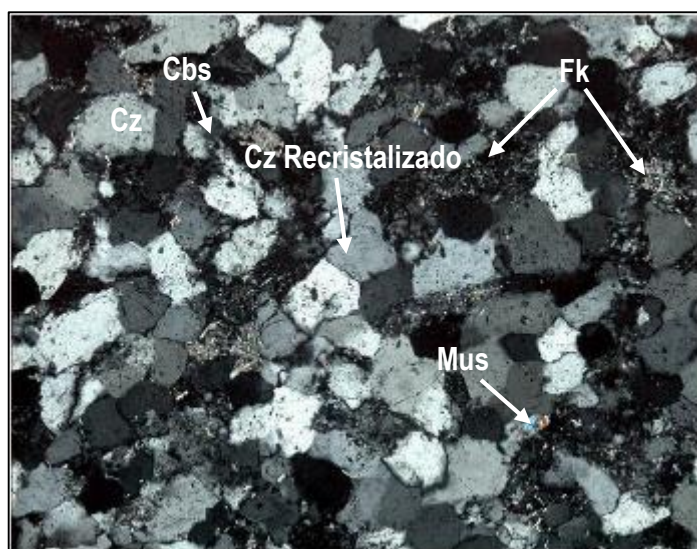


Figura N° 42: Meta arenisca con clastos de granos de cuarzo (Cz) ligeramente con bordes suturados y recristalizados, se observa cuarzo, feldespatos (Fk) alterados por las arcillas sericita (Arc-Ser), carbonatos Cbs), muscovita (Mus).

4.1.3 CONTROL LITOLÓGICO

En la zona Chinchilico básicamente se encuentra emplazadas en rocas de composición calco – alcalina caracterizados por diorita, monzodiorita, monzogranitos con xenolitos de andesitas, estas rocas son las que presentan las condiciones fisicoquímicas para la reacción con los fluidos mineralizantes, su posterior deposición en trampas estructurales. Existen sectores de composición básico de tipo andesítica que favorecen la mineralización, caso veta Indio con valores de 5-15gr/tn de Au. También se puede apreciar un metasomatismo potásico, micro diques de monzonitas en las dioritas que hospedan a las vetas en dicha zona con buen potencial económico (*Ver Anexo N° 12: Sección A-A'*).

Sin embargo, en la zona Francia – Bonanza la litología corresponde al contacto de intrusivo y andesitas con intrusión de andesitas Bella Unión, lo cual hace referencia a un sector principal de la mineralización de la veta Francia, Bonanza. También existe la

presencia de brecha hidrotermal constituida por fragmentos de andesitas con núcleos de goethita y cuarzo cristalizado a la cual se le considera roca metalotécto para la mineralización de esta zona; en la zona Valeria la mineralización se caracteriza en rocas intrusivas de la súper unidad Linga principalmente dioritas y monzonitas que hospedan las vetas en esta zona; en cuanto a la zona Laura la litología constituida por andesitas porfiríticas con horizontes de lutitas, cuarcitas, areniscas cuarzosas y metería orgánica (carbón); la mineralización en esta variedad litológica es desfavorable evidenciando tramos económicos de 10x10 metros aproximadamente.

4.1.4 CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS

- **Oro Nativo (Au)**

Oro nativo, de formas anhedrales con tamaños que varían de 0.003 a 0.014mm, ocurre rellenando una porosidad de la pirita. Posiblemente se trata de mineral de electrum, por su tamaño sub microscópico imposibilita exactamente aplicar todas sus propiedades ópticas, pero por su alta reflectividad, tienen tamaños de 0.006 y 0.005mm, se localiza como inclusión en la ganga de cuarzo.

- **Pirita (FeS₂)**

Se presenta como cristales de formas euhedrales, de tamaños que varían de 0.1 a >2.1mm, además hay granos que llegan a medir 2,5mm, ocurre en disseminación algunas veces formando agregados en la ganga, en zonas es alterado parcialmente o casi totalmente por las goethita-limonitas (OxFe). Así mismo otros granos de pirita se hallan rellenando fracturas de la ganga las que son cortadas por otras fracturas produciendo microfilamento. Según su textura se tienen la pirita deleznable (terrosa) y la pirita cristalizada que no va asociado al mineral económico.

- **Magnetita (FeO.Fe₂O₃)**

Se presenta como mineral accesorio de las rocas, pero también como mineral primario en disseminado y venillas en la veta Ana María en el nivel 1725, veta Francia.

- **Pirrotina (FeS₂)**

Granos de formas anhedrales con tamaños menores de con tamaños menores de 0.01mm,

ocurre acompañado con calcopirita los que rellenan porosidades de la pirita, se ha ubicado en la veta indio en el nivel 1600 y en la veta Ana María en el nivel 1725.

- **Calcopirita (CuFeS_2)**

Ocurre como granos anhedrales con tamaños menores de 0.5mm, se presenta relleno intersticios de la ganga, reemplaza y rellena porosidades de la pirita, asimismo la calcopirita es alterada parcialmente por la digenita la que también rellena sus cortas micro venillas, y por goethita-limonitas por los bordes y microfracturas.

- **Bornita (Cu_5FeS_4)**

Ocurre como cristales de formas anhedrales con tamaños menores de 0.07mm, la bornita reemplaza por los bordes de calcopirita, también se observa a bornita intercrecida con la calcopirita; se encuentra alterada por los bordes por digenita-calcosina, todos ellos son alterados por goethita – limonitas.

- **Calcosina (Cu_2S)**

Ocurre alterando por los bordes y relleno microfracturas de la calcopirita, posteriormente es alterado por la goethita – limonitas. Su presencia es en cantidades menores.

- **Limonitas-Goethita-Hematita**

Se presenta alterando parcial o totalmente a los sulfuros, en algunos casos se observa pseudomorfos posiblemente han alterado a la pirita, además ocurre alterando a la ganga.

- **Crisocola ($\text{Cu}_4\text{H}_4[(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}]$)**

Se presenta en masas concreciones e incrustaciones rellenas, color verde azulado, se forma en la zona de oxidación del yacimiento, especialmente en la veta Indio, Ruth, muy poco en la veta Chinchilico por encima del nivel 1600, muy puntual en niveles inferiores.

- **Yeso ($\text{Ca}(\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)**

Su ocurrencia es principalmente en niveles someros como en profundos de la veta Indio y Lisbeth. Este tipo de vetillas son posiblemente anteriores a la vetilla de carbonatos y están presentes cristalizados en textura fibrosa.

- **Cuarzo (SiO₂)**

Se presenta en cristales prismáticos tabulares del sistema hexagonal en las zonas Francia y Valeria, a veces amorfo. Presenta fractura concooidal, brillo vítreo, incoloro, casi presentes en varias estructuras, existen dos tipos de cuarzo gris con diseminaciones de pirita y calcopirita lo cual es muy importante y sirve como guía de exploración, el cuarzo lechoso se presenta puntualmente en algunos sectores.

- **Actinolita (Ca₂(Mg,Fe²⁺)₅Si₈O₂₂(OH)₂)**

Es una variedad de anfíbol que se presenta con textura acicular, raras veces en las vetas como Indio en el nivel 1600 y en la veta Martha acompañado de sulfuros de la zona Valeria del nivel 1960.

4.1.5 ESTRUCTURAS MINERALIZADAS

La mineralización en el yacimiento Orión su ocurrencia es principalmente en vetas y venillas sub verticales con buzamiento de 65° a 85°, teniendo como rocas encajonantes monzonitas, dioritas, andesitas porfiríticas y pórfido andesitas-cuarcitas-lutitas. Su mineralogía reconocida es el oro (Au) en estado libre, cuarzo blanquecino (Qz) raras veces cuarzo ahumado y pirita (Py) con textura azucarada, y en cantidades menores se aprecia bornita, calcopirita, calcita, hematita, limonita, goethita, malaquita, calcantita, magnetita, pirrotita, yeso, núcleos de molibdenita en profundidades.

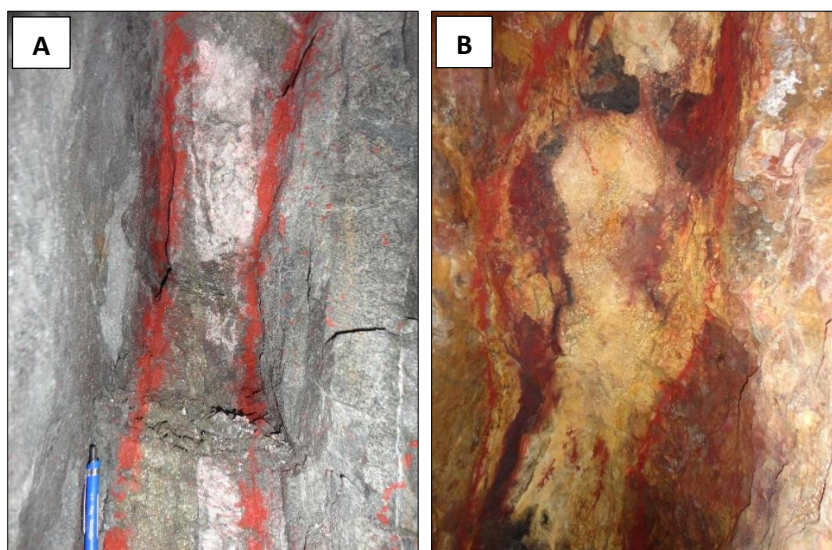


Figura N° 43: A) Minerales de las vetas en zonas de sulfuros con presencia de carbonatos y yeso (profundización veta Chinchilico - Lisbeth), y B) zona de óxidos (Zona Valeria).

El origen de la mineralización metálica asociada principalmente a las vetas mencionadas en la actualidad donde se realizan la exploración y operación.

4.1.5.1 VETA FRANCIA

Es una estructura mineralizada con Rb N53 a 62°W y Buz 45°a 54° NE ancho de 0.20m a 0.40m, emplazada en roca caja andesita, andesitas porfírica. Es una de las vetas con buenos antecedentes de leyes, su característica presenta brechas hidrotermales de fragmentos de andesita, cuarzo cristalizado y núcleos de óxido de fierro.

4.1.5.2 VETA BONANZA

Es una estructura mineralizada fallas con Rb N30 a 60°W y Buz 30°a 80° NE con un ancho promedio de 0.20m a 0.65m, emplazada en roca caja de andesita porfírica.

4.1.5.3 VETA CHINCHILICO

Es una estructura mineralizada con Rb N40 a 70°W y Buz 58°a 88°NE ancho promedio de 0.03m a 0.15m, longitud aproximada de 200 m emplazada en roca diorita – monzodiorita - monzogranito, con contenido mineralógico de pirita, cuarzo gris, calcita, calcopirita, bornita óxidos de fierro presente en la veta.

4.1.5.4 VETA INDIO

Es una estructura mineralizada con Rb N40 a 80°W y Buz 60°a 85°NE con un ancho promedio de 0.10m a 2.80m, emplazada en roca diorita, además controlados por fallas dextrales con orientación NNW y por una falla subhorizontal. Su mineralogía consta de pirita, pirrotita, calcita, malaquita, calcantita y yeso, asociado con dique de andesita.

4.1.5.5 VETA LAURA

Es una estructura que se ubica en la zona Tauro con Rb N40° a 60°W y Bz 50° a 75° NE con un ancho promedio de 0.25m emplazada cortando los horizontes de areniscas cuarzosas, cuarcitas, andesitas porfíricas y lutitas, a lo largo de la continuidad de la veta presenta mineralogía variable como calcita, limonitas, goethitas, malaquita y cuarzo en cantidades mínimas, acompañado con falla predominante al piso y techo.

4.1.5.6 VETA PAOLA

Es una estructura que se encuentra al piso de la veta Francia emplazada en rocas de naturaleza andesítica, su mineralogía principal es pirita, óxidos de fierro con una alteración fílica y propilítica.

4.1.5.7 VETA YOBANA

Esta estructura ubicada al SE del campamento, tiene un Rb N85° a 60°W y Bz 60° a 85°NE, su mineralogía es de limonitas, goethitas con minerales de malaquita y calcantita etc. Las rocas hospedantes son la diorita, tonalita asociado a una falla.

4.1.5.8 VETA LUZ

Esta estructura mineralizada probablemente la continuidad de la veta Francia al N65°W, donde se encuentran emplazados en cuarcitas y andesitas porfiríticas con una potencia de 1.2 metros con un contenido mineralógico de goethita, limonitas asociados con la falla muy similar a la veta Francia.

4.1.5.9 VETA ZOILA/YESICA

Esta estructura está caracterizada con un rumbo de N60°W y Bz 70° y por la presencia de minerales de óxidos, limonitas, jarosita, goethitas, cuarzo, calcedonia, calcita etc. Acompañado de una alteración argílica y propilítica, en algunos sectores presenta sericitización.

4.1.6 CONTROL MINERALÓGICO

El cuarzo blanco a gris y la pirita de textura fina deleznable (textura terrosa) representan el control de la zona económica (Chinchilico), adicionalmente se presenta este ensamble de la clorita con cuarzo gris relleno de fracturas; el óxido tiene un ensamble de hematita terrosa y la pirita fina, llevan el control en la zona de óxidos; la presencia de pirita cristalizada en la veta evidencia contenido de oro por debajo a 3g/tn.

4.2 CINEMATICA Y LOS ESFUERZOS DEL SISTEMA DE FALLAS

4.2.1 GENERALIDADES

El batolito de la Costa es controlado por fallamiento regional y se fundamenta por la geometría del cuerpo intrusivo (alongado paralelo al lineamiento andino o al litoral peruano).

En el mapeo superficial del yacimiento Orión se observan estructuras principales de alto y bajo ángulo con pequeñas variaciones en rumbo y buzamiento; las estructuras mineralizadas en el yacimiento se encuentran emplazadas con rumbo andino NNW - SSE. El sistema de fracturamiento se estaría asemejando un corredor estructural con relación a las vetas; las fallas subverticales con rumbo NNW y buzamiento al NE, se comportaron como vías para la circulación de los fluidos mineralizantes para la formación de la veta, incluso diseminaciones de sulfuro en estructuras principales y secundarias; entonces para establecer las relaciones estructurales entre la deformación y la mineralización, es fundamental entender el rol que cumplen tanto las estructuras pre como las posteriores a la mineralización, ya que éstas dislocan el yacimiento influyendo de forma directa en la exploración local: Los esfuerzos son relacionados con las deformaciones descritas a escala regional, teniendo en cuenta que esta relación presentada como resultado relativo, por no tener datos comprobables que verifiquen esta afirmación solo está basado en la comparación de eventos de esfuerzos y mineralizante de alcance regional.

4.2.2 CRITERIOS PRÁCTICOS SOBRE LA APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE FALLAS

Debido a las peculiaridades de los distintos métodos y a los problemas que se plantean, se hace necesario el uso combinado de varios de ellos para obtener de forma rápida los mejores resultados. es el uso combinado de los diedros rectos (Fault Kin), Riedel, Anderson. los dos primeros nos permitirán avistar de forma rápida el espectro de soluciones posibles.

4.2.3 SISTEMA DE FALLAS

En el diagrama de rosas se ha agrupado la dirección predominante de los sistemas existentes de la zona de investigación en intervalos de cada 10°, donde el intervalo medio es considerado como sistema de fracturamiento principal en la zona (*Fig. 44 y 45*).

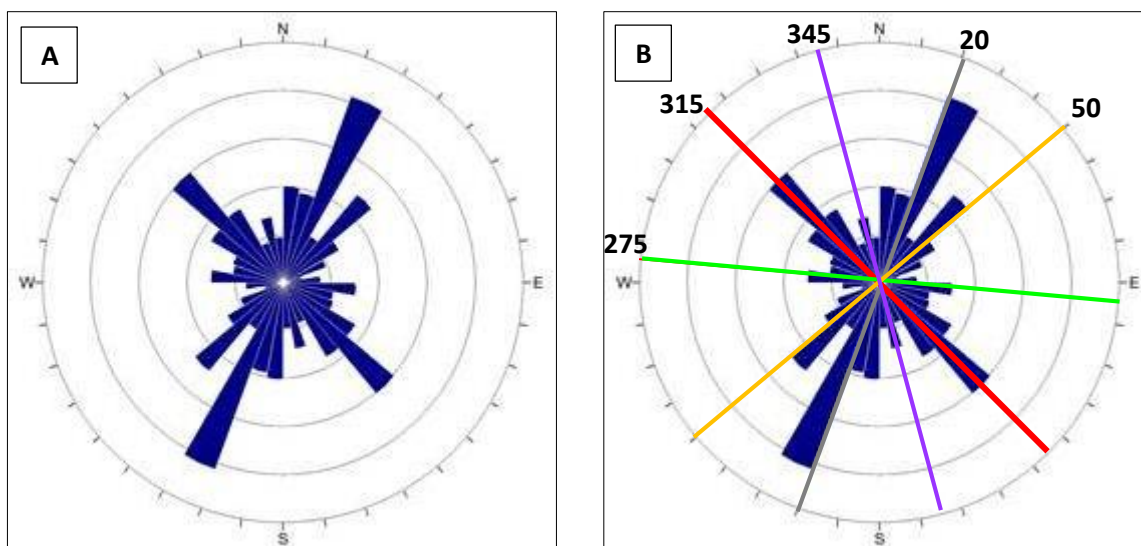


Figura N° 44: A). El Diagrama de Rosetas superficie Orión donde muestra la distribución de datos de azimut y dirección de buzamiento, B). El diagrama muestra la dirección predominante de N30°W – N60°W relacionadas a las estructuras mineralizadas y el resto relacionadas a las fallas post mineral.

Diagrama de rosetas según las zonas del yacimiento:

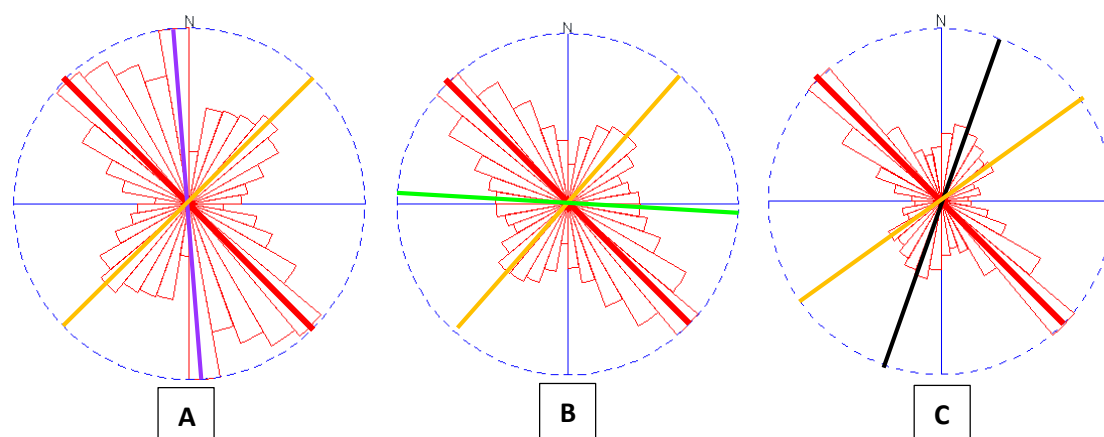


Figura N° 45: Diagrama de rosetas según zonas A) representa a la zona Valeria 573 planos ploteados, B) Zona Francia-Bonanza 5614 planos ploteados, C) Zona Chinchilico 3443 planos ploteados, lo cual muestran 5 sistemas de falla, 3 sistemas principales.

4.2.3.1 CATEGORIZACIÓN DE ESTRUCTURAS

Los sistemas de fracturamiento de acuerdo al diagrama de rosas son los siguientes:

- Sistema I: N315°E
- Sistema II: N275°E
- Sistema III: N50°E
- Sistema IV: N20°E

- Sistema V: N345E

El primer (I) sistema de acuerdo al diagrama de rosas, donde los datos estructurales predominan en dirección NW – SE, con un promedio de N45°W, en el cual fue emplazada las vetas Francia, Bonanza y veta Indio, proximal a este rumbo se encuentran las estructuras mineralizadas tensionales como las vetas Almacén, Vaduz, Chinchilico y Escondida. También este sistema controla el emplazamiento de diques de monzonita y monzodiorita que son principales causantes de la mineralización en las diferentes zonas. Estas fallas son clasificados como normal-sinistral del jurásico inferior, además tiene una cierta relación con la falla regionales con dicho azimut.

El segundo (II) sistema de fallas tiene la orientación de N275°E casi un sistema E – W, que corresponden a fallas tensionales normales, sinestrales.

El tercer (III) sistema en dirección N50°E, en la zona de acuerdo a lo datos tomados se presenta como fracturas y estructuras secundarias, ya que también en otras zonas son controladores de emplazamientos de estructuras mineralizadas con desplazamientos de la veta Indio en la zona Chinchilico, aparentemente con las fallas del sistema II forman fallas inversas con desplazamientos pequeños <5 metros de manera independiente, los dos sistemas afectan desplazando los sistemas de vetas de la zona Chinchilico.

El cuarto (IV) sistema con una dirección de N20°E relacionados a las fallas Ángela, Katty y Katya por reactivación, de tipo dextral con un componente normal, también relacionadas al III y IV sistema de fallas.

El quinto (V) sistema con una dirección de N345°E, muy relacionados y pertenecen a la conjugada de las fallas N-S y al sistema 4.

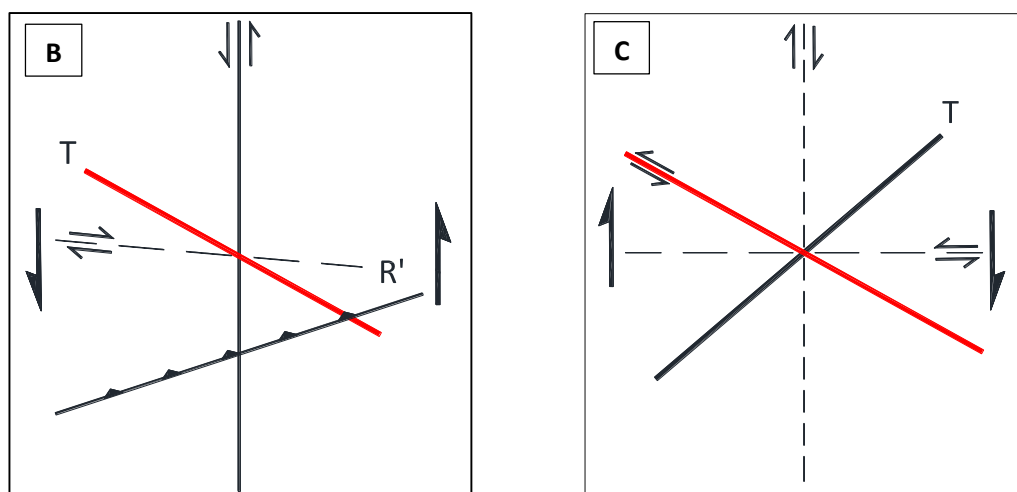


Figura N° 46: A) Modelo estructural propuesto para el yacimiento Orión, con relación cinemática y geométrica del modelo Riedel (1929), B) Modelo pre mineralización del sistema, C) Modelos post mineralización del sistema fallas por reactivación de fallas.

La afirmación de la mineralización del sistema de vetas pre mineral solo se basa en la comparación de eventos tectónicos y mineralizante cumpliendo en fracturamiento de Riedel, los cual que corresponde a la Fase II de deformación (Fig. 46).

4.2.4 ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL SISTEMA DE FALLAS ORIÓN

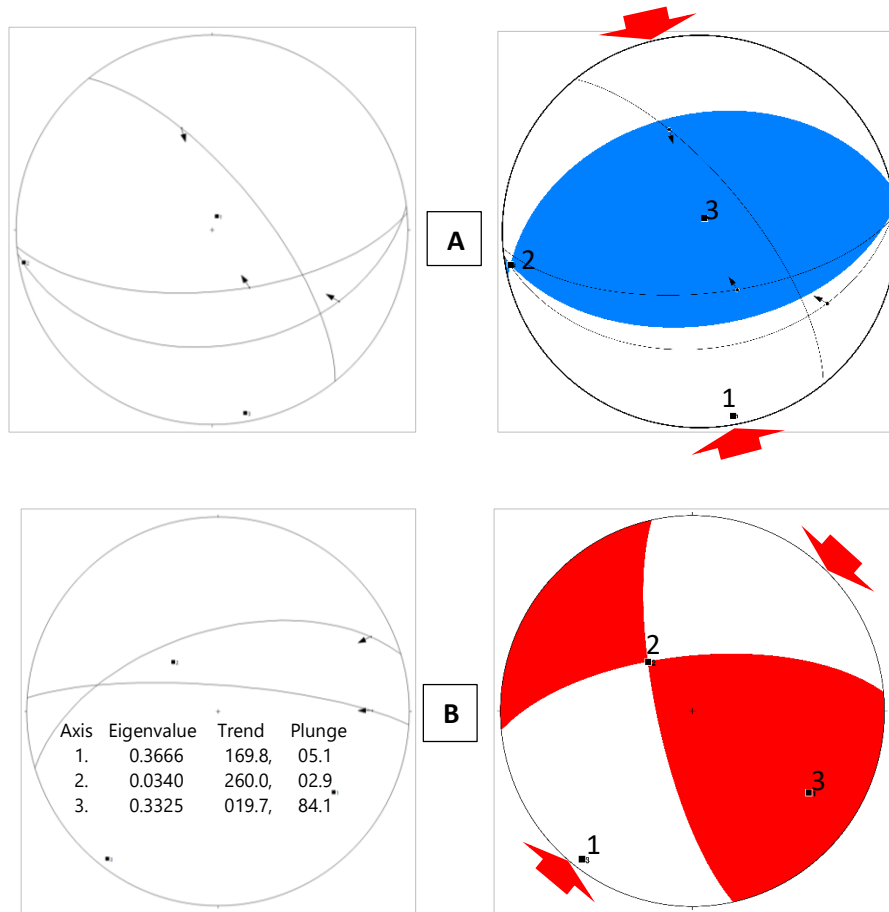
Los datos obtenidos son básicamente de interior mina, de diferentes niveles y por estaciones según descritas (Ver Anexo N° 07: Datos Estructurales).

4.2.4.1 ESTACIÓN 01: ZONA CHINCHILICO

Se observa una zona de falla sub horizontal de 0.50cm de espesor de los cual se encuentra una franja de 0.30cm de espesor de roca cizallada. Los planos principales de la falla muestran estrías con pich igual o mayor a 40° que indica una falla inversa. En el análisis cinemático de la falla principal en el Subnivel 205 norte, muestra (Fig. 47.A) σ_1 (170°/05°) y σ_2 (260°/03°) son sub horizontal y σ_3 (20°/84°) vertical, definiendo un estado de esfuerzos inverso para el sistema de fallas sub horizontal con una dirección de compresión N350°E afectando ligeramente a la veta Chinchilico. En consecuencia, el movimiento del sistema de fallas subhorizontales son inversas.

En el análisis cinemático en el Subnivel 205 norte (Fig. 47.B) muestra el σ_1 (218°/05°) y σ_3 (124°/28°) son subhorizontales y σ_2 (317°/62°) corresponde al esfuerzo subvertical, definiendo un estado de esfuerzos transcurrentes para el sistema de fallas en la zona

Chinchilico con la dirección de compresión N48°W – S48°E. Por lo tanto, el origen de estas fallas corresponde a un movimiento dextral del sistema de fallas subhorizontales.



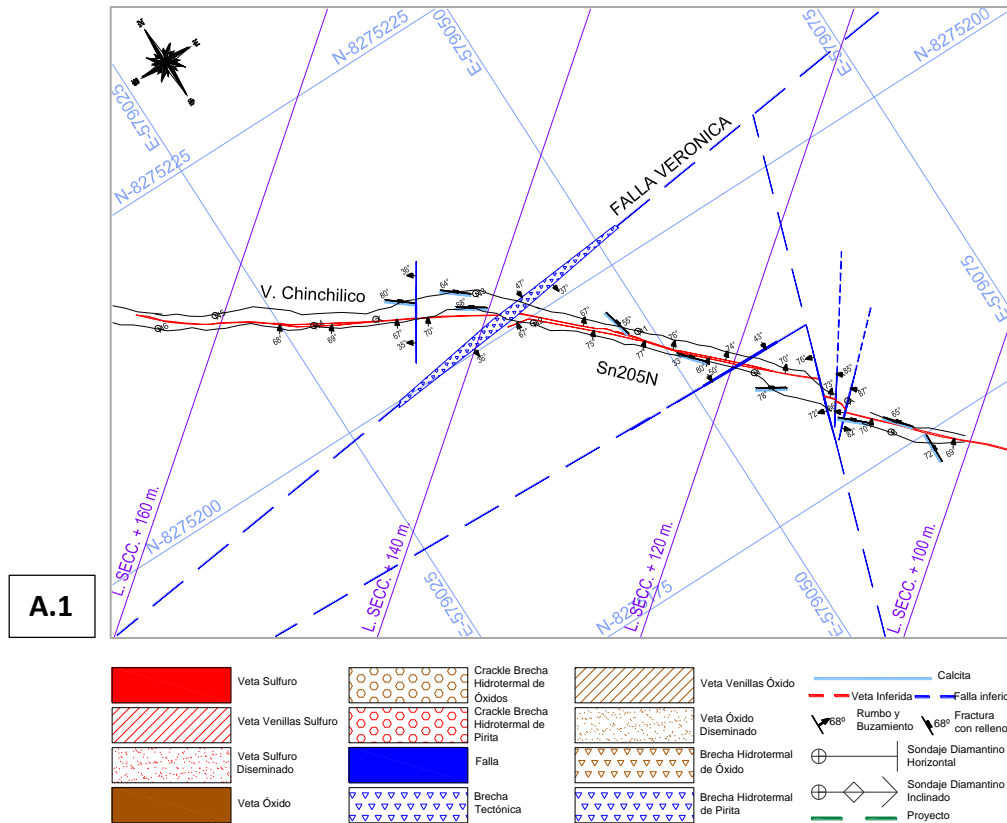


Figura N° 47: A) Análisis cinemático de la falla (Falla Verónica) ENE-WSW, B) Fallas dextrales NW-SE, que afectan a la estructuras Indio y Chinchilico. A.1) Mapeo estructural de falla Verónica Nv1570.

En el análisis cinemático en el Tajeo 270 norte de la veta Indio (Fig. 48.C) muestra σ_1 ($217^\circ/15^\circ$) y σ_3 ($308^\circ/03^\circ$) son subhorizontales y σ_2 ($48^\circ/75^\circ$) corresponde al esfuerzo vertical, definiendo un estado de esfuerzos transcurrentes para el sistema de fallas en la zona Chinchilico con la dirección de compresión $N37^\circ E - N37^\circ W$, en consecuencia, el movimiento del sistema de fallas Orión en la zona Chinchilico y en la estación I es dextral.

En el análisis cinemático Tajeo 270 norte (Fig. 48.D) muestra el σ_1 ($116^\circ/08^\circ$) y σ_3 ($22^\circ/22^\circ$) son subhorizontales y σ_2 ($225^\circ/66^\circ$) lo que se define un estado de esfuerzo transcurrente en dos fases.

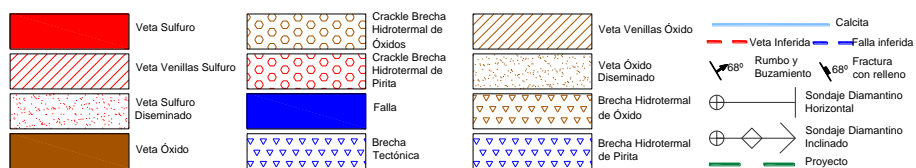
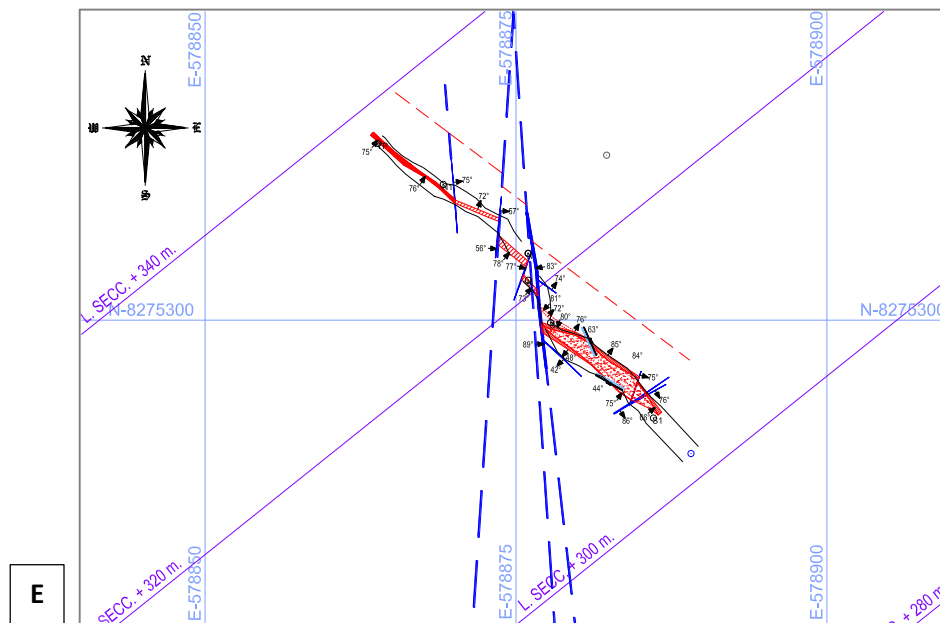
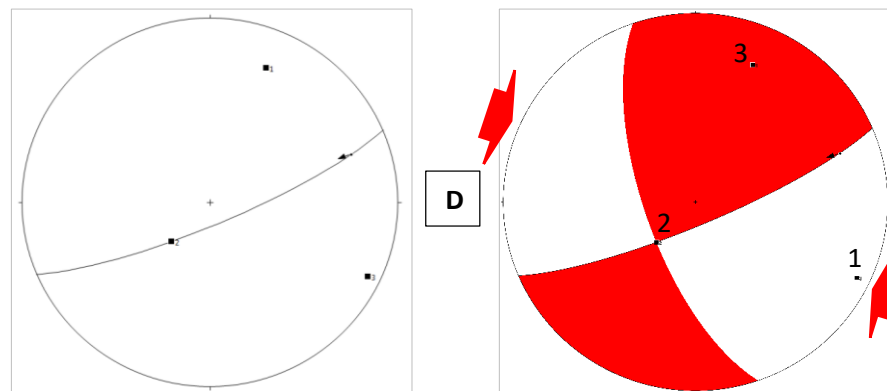
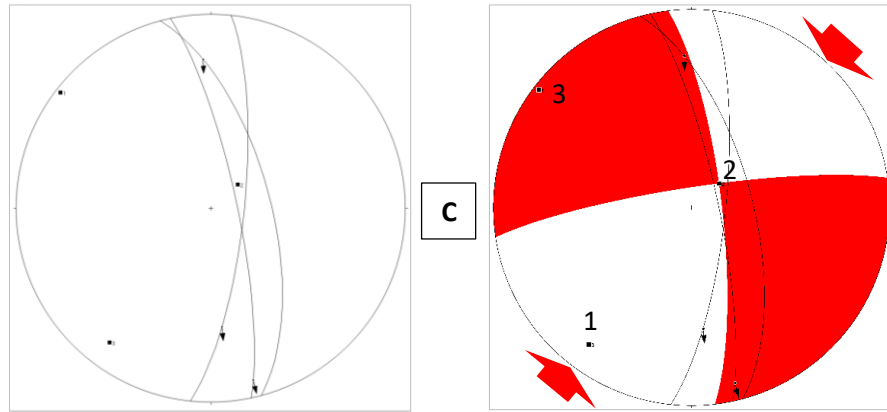


Figura N° 48: Análisis cinemático del sistema de fallas zona Chinchilico muestra fallas dextrales NNW-SSE, que desplazan a la veta Indio, E) Mapeo estructural Tj270.

4.2.4.2 ESTACIÓN 02: ZONA FRANCIA

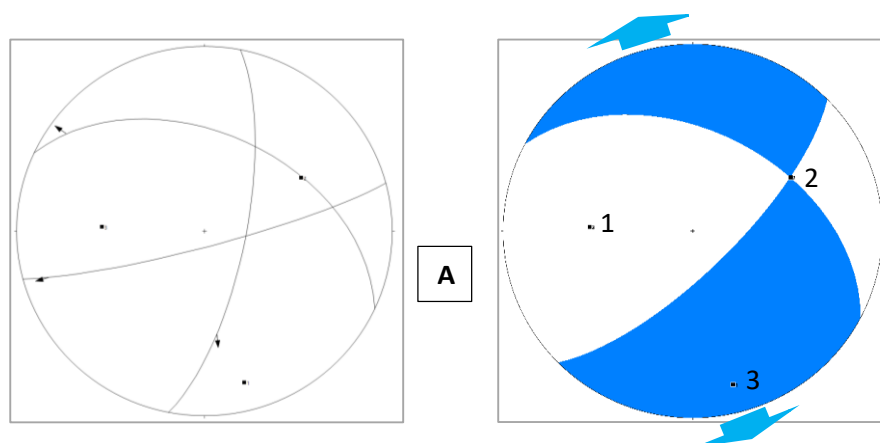
El análisis estructural de la falla principal Ángela es una falla dextral con un componente normal con una orientación de 11/72, donde el análisis cinemático es (Fig. 49):

En el cruceo 470 (Fig. 49.A), muestra σ_1 ($272^\circ/44^\circ$) corresponde al esfuerzo subvertical y σ_3 ($166^\circ/17^\circ$) y σ_2 ($61^\circ/41^\circ$) corresponde a esfuerzos subhorizontales, definiendo un estado de esfuerzos transcurrentes, normal y extensional para el sistema de fallas en la zona Francia con la dirección de extensión $S14^\circ E - N14^\circ W$, En consecuencia, el movimiento del sistema de fallas en la zona Francia y en la estación II es dextral con un componente normal.

(Fig. 49.B), muestra σ_1 ($206^\circ/10^\circ$) y σ_3 ($304^\circ/37^\circ$) son subhorizontales y σ_2 ($103^\circ/51^\circ$) es subvertical, también se define un esfuerzo transcurrente de una falla dextral con un componente normal del sistema de fallas NNE.

(Fig. 49.C), muestra σ_1 ($277^\circ/15^\circ$) y σ_3 ($173^\circ/41^\circ$) son subhorizontales y σ_2 ($22^\circ/45^\circ$) es subvertical, también se define un esfuerzo transcurrente de una falla dextral con un componente normal del sistema de fallas NNE.

(Fig. 49.D), Mapeo estructural nivel 1725 de la zona Francia resaltando a la falla Ángela y fallas secundarias.



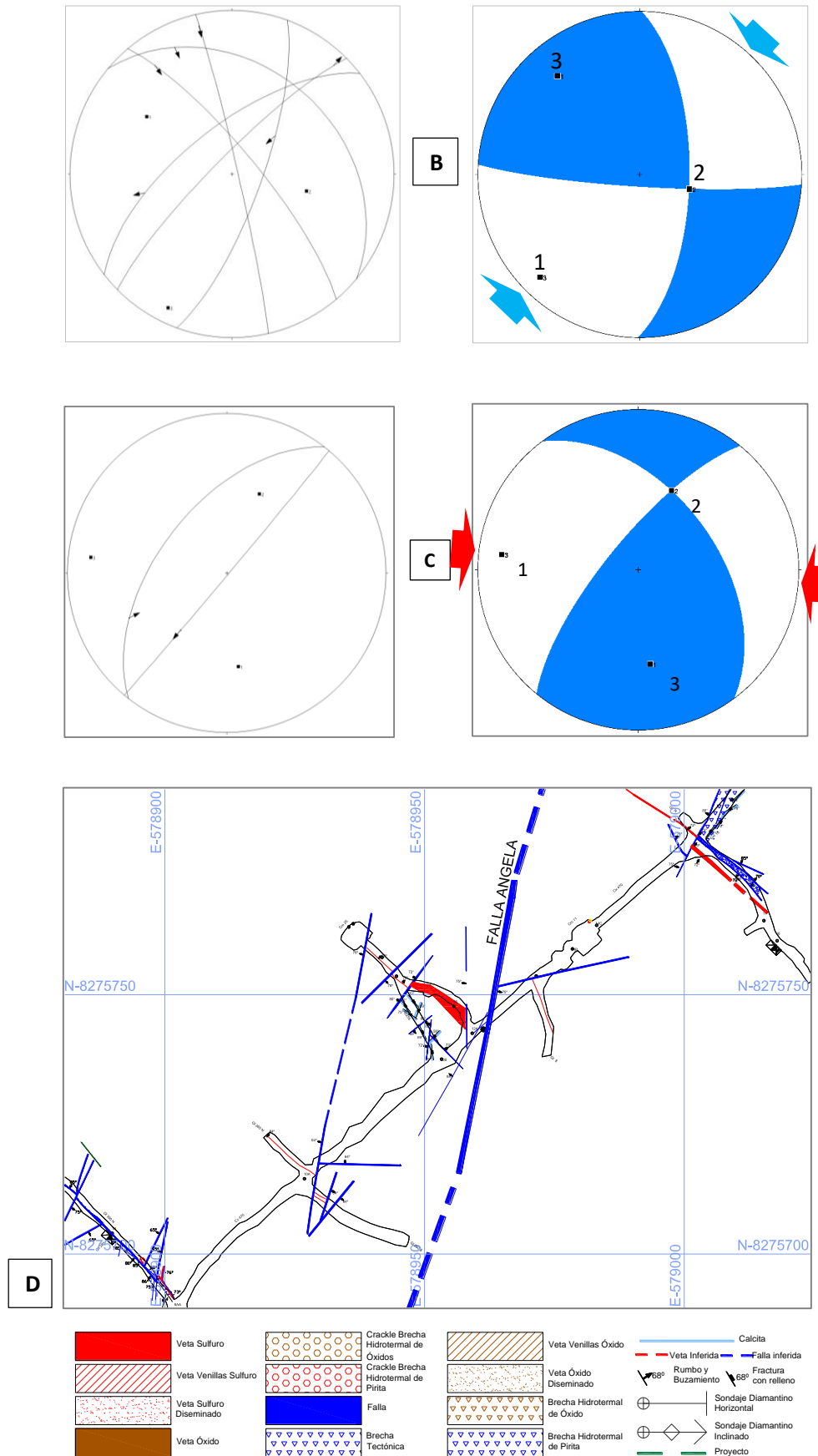


Figura N° 49: Falla dextral componente normal NNE-SSW, y fallas que tienen compatibilidad cinemática.

Falla Dextral con un Componente Normal

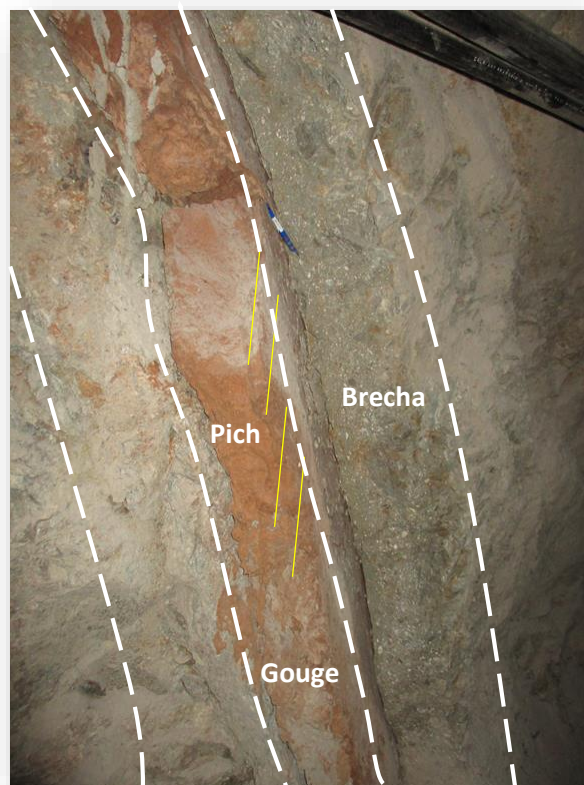


Figura N° 50: Falla Ángela en el Cx470 con una potencia de 0.15 cm de (gouges) y 0.30 cm de brecha, con una influencia de 20 metros, esta falla se expone bien desarrolla.

4.2.4.3 ESTACIÓN 03: ZONA BONANZA

Falla Mary: (Fig. 51.A1), muestra σ_1 ($257^\circ/18^\circ$) corresponde a esfuerzos subhorizontal σ_2 ($149^\circ/44^\circ$) y σ_3 ($3^\circ/40^\circ$) corresponde a esfuerzos subvertical, definiendo un estado de esfuerzos transcurentes, para el sistema de fallas en la zona Bonanza con la dirección de compresión ESE-WSW, En consecuencia, el movimiento del sistema de fallas en la zona Bonanza y en la estación III es transcurrente.

(Fig. 51.A2), muestra σ_1 ($314^\circ/74^\circ$) se define un esfuerzo subvertical, σ_3 ($99^\circ/13^\circ$) y σ_2 ($191^\circ/8^\circ$) son subhorizontales, también se define un esfuerzo transcurrente de una falla dextral con un componente normal del sistema de fallas NNE.

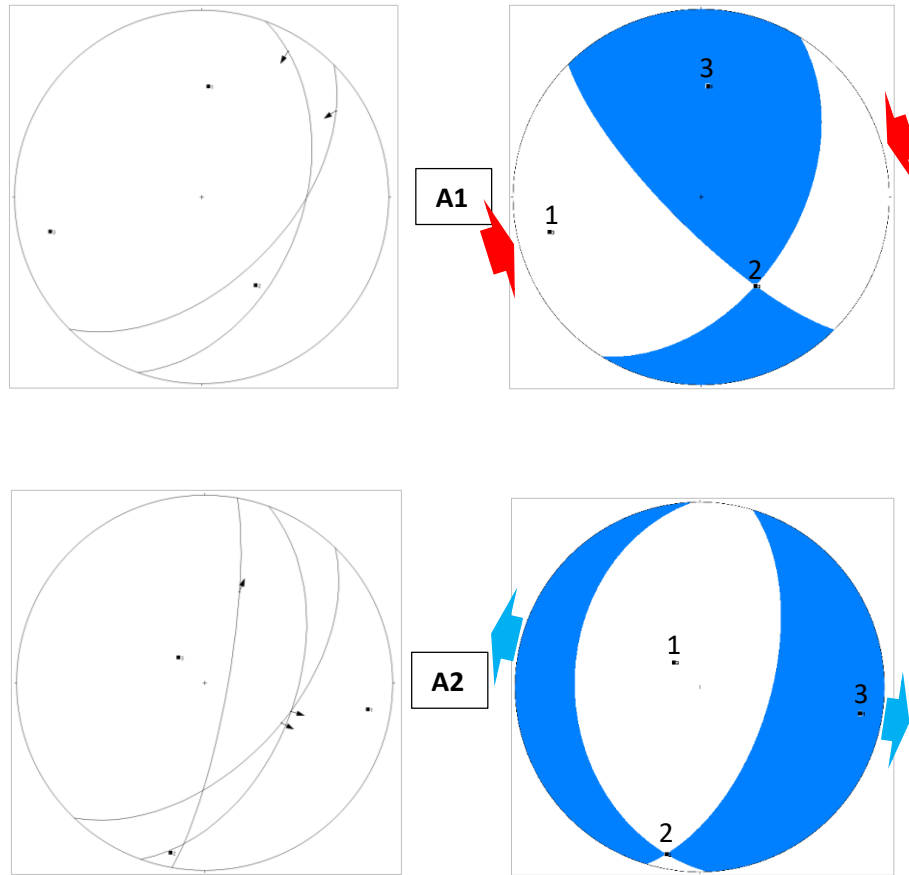


Figura N° 51: Fallas dextrales, con presencia de fallas normales e inversas.

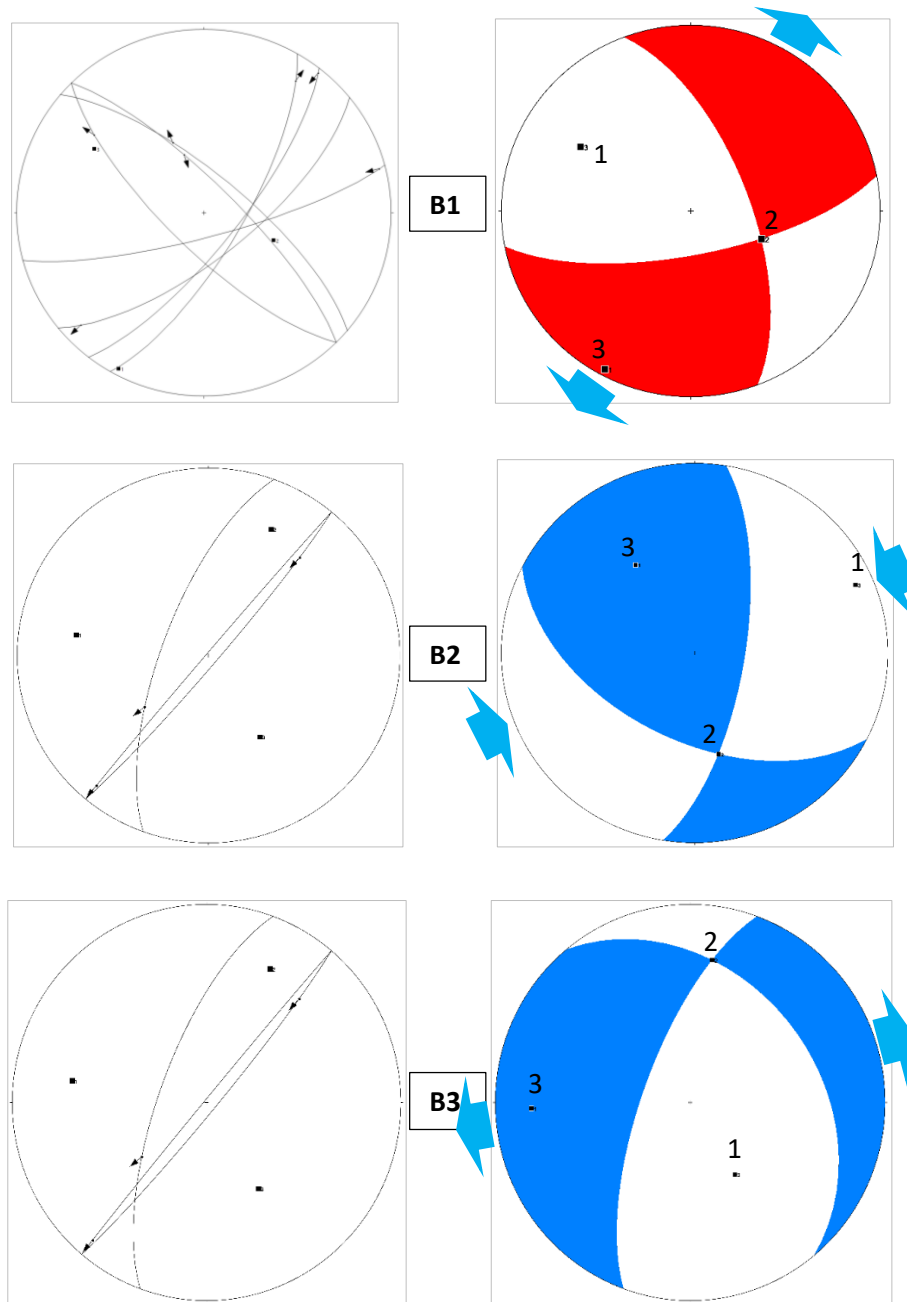
4.2.4.4 ESTACIÓN 04: ZONA BONANZA

Falla Katty: (Fig. 52.B1), muestra σ_1 ($301^\circ/32^\circ$) y σ_3 ($208^\circ/4^\circ$) corresponde a esfuerzos subhorizontal y σ_2 ($112^\circ/57^\circ$) corresponde a esfuerzos subvertical, definiendo un estado de esfuerzos transcurrentes, normal y extensional para el sistema de fallas en la zona Francia con la dirección de extensión $N30^\circ E - S30^\circ W$, En consecuencia, el movimiento del sistema de fallas en la zona Bonanza y en la estación III es transcurrente.

(Fig. 52.B2), muestra σ_1 ($62^\circ/2^\circ$) y σ_3 ($330^\circ/39^\circ$) corresponde a esfuerzos subhorizontal y σ_2 ($155^\circ/51^\circ$) corresponde a esfuerzos subvertical, definiendo un estado de esfuerzos transcurrentes, normal y extensional para el sistema de fallas en la zona Bonanza con la dirección de extensión $N30^\circ W - S30^\circ E$, En consecuencia, el movimiento del sistema de fallas en la zona Bonanza y en la estación III es transcurrente.

(Fig. 52.B3), muestra σ_1 ($148^\circ/48^\circ$) corresponde a esfuerzos subvertical, σ_2 ($26^\circ/26^\circ$) y σ_3 ($379^\circ/30^\circ$) corresponde a esfuerzos subhorizontal, definiendo un estado de esfuerzos transcurrentes, normal para el sistema de fallas en la zona Bonanza con la dirección de

extensión S58°W – N58°E, En consecuencia, el movimiento del sistema de fallas en la zona Bonanza y en la estación III es transcurrente.



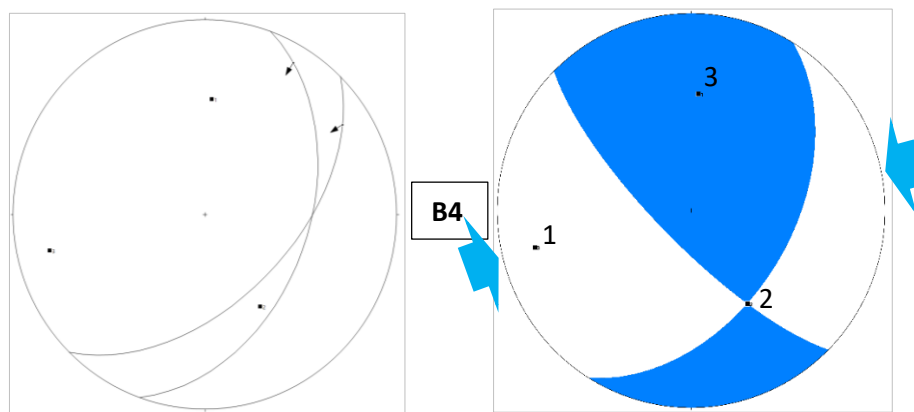


Figura N° 52: Fallas dextrales, con presencia de fallas transcurrentes.

Falla Kattya: (Fig. 53.C1), muestra σ_1 ($228^\circ/3^\circ$) y σ_3 ($319^\circ/20^\circ$) corresponde a esfuerzos subhorizontal y σ_2 ($130^\circ/70^\circ$) corresponde a esfuerzos subvertical, definiendo un estado de esfuerzos transcurrentes, normal para el sistema de fallas en la zona Bonanza con la dirección de extensión $N40^\circ W - S40^\circ E$, En consecuencia, el movimiento del sistema de fallas en la zona Bonanza y en la estación III es transcurrente.

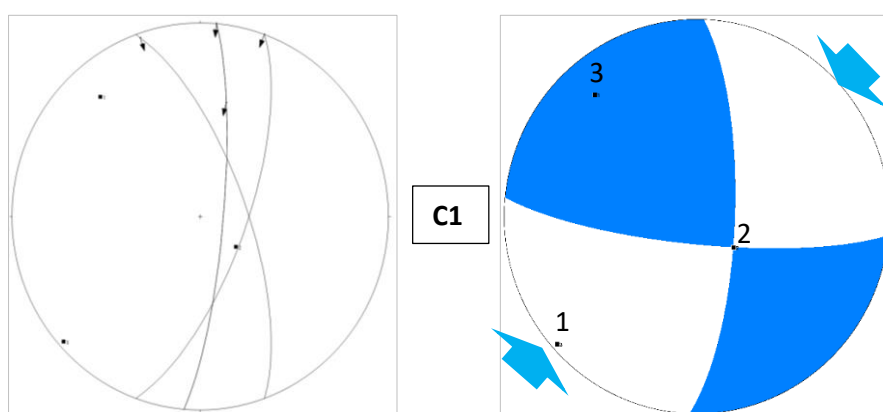


Figura N° 53: Fallas dextrales, que tiene un desplazamiento decenas de metros.

4.2.4.5 INTERPRETACIÓN

Las estructuras frágiles del yacimiento Orión tienen por lo menos tienen 5 fases de deformación. Para una mejor aproximación de los eventos tectónicos se procede a agrupar cada una de ellas, según su estado de esfuerzos efectivos aplicando el modelo de diedros rectos. Así mismo, se compara las fases como posibles discordancias y deformaciones reportadas en la geología regional, de tal manera cumpla el modelo estructural generado.

La apreciación estructural de la zona presenta fallamiento NNE – SSW y en algunas zonas casi N – S, NW – SE, las de orientación NNE – SSW con buzamientos de alto ángulo donde

sufrieron diferentes etapas de reactivación de tipo compresionales y extensionales, estos son los planos principales que hospedan y limitan la mineralización económica.

Los datos obtenidos por estaciones han sido evaluados y procesados estructuralmente, generando estereodiagramas que representan y diferencian cada fase de deformación; la evaluación de las estructuras principales y secundarias muestran la evolución de 5 fases de deformación en el contexto local o distrital del yacimiento Orión, donde son los siguiente (*Fig. 54*).

- a) **Fase I:** Este evento la dirección de esfuerzos está asociado a un desplazamiento ligero dextral con fallamiento inverso con una orientación **NE-SW**, además está relacionado a un evento de esfuerzos compresivo en la dirección **N-S, NNE-SSW**.
- b) **Fase II:** Este evento de esfuerzos estaría ligada a un régimen extensional con una dirección de extensión de **NE-SW**. Donde sería responsable de la generación de zonas de transtensión en la misma dirección que el esfuerzo compresivo y posibilitando el emplazamiento de la mineralización de las vetas generado por fallas con movimiento de naturaleza normal sinistral relacionado al I sistema de fracturamiento con una orientación **NW-SE**.
- c) **Fase III:** Este evento de esfuerzos compresionales **NW-SE** tiene relación con III sistema de fracturamiento de rumbo **N50°E** con estriaciones que evidencian un movimiento sinistral y deformación post mineral, afectando a las estructuras mineralizadas en la zona Chinchilico y Francia - Bonanza.
- d) **Fase IV:** Este evento de esfuerzos transcurrente y compresionales **NE-SW** relacionada con el sistema fracturamiento III y IV, manifestadas por fallas dextrales, afectando a las estructuras mineralizadas desplazándolas decenas y centenas de metros, también considerada como post mineral. Lo cual corresponde a un evento compresivo y se podría agrupar el movimiento extensivo en orientación **NW-SE**.
- e) **Fase V:** Evento de esfuerzo extensivo de **NW-SE**, que se asocia con fase IV, que implica un desplazamiento considerable de la falla Ángela afectando principalmente a las vetas Francia e Indio. Estas dos fases relacionado a un evento de esfuerzos transcurrentes con una dirección **NE-SW** de la fase IV.

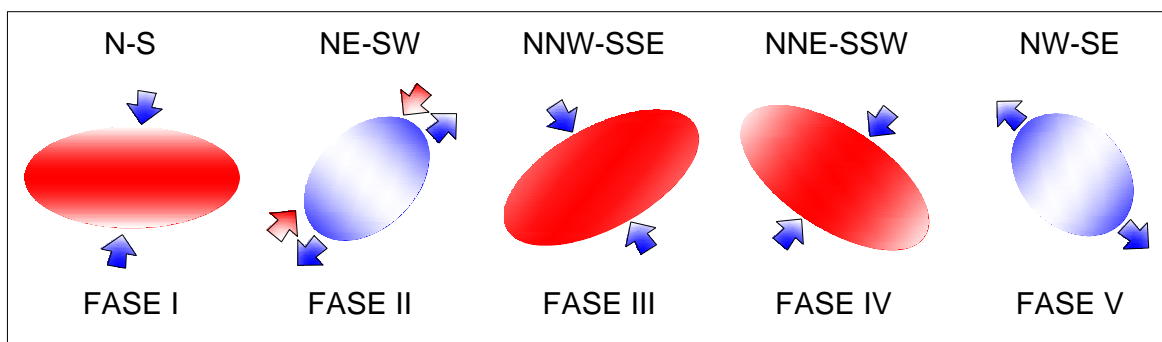


Figura N° 54: Fases de deformación, generados en la zona de estudio.

4.2.4.6 CONTROL ESTRUCTURAL

Los controles estructurales se basan en un rol fundamental en la deposición de la mineralización aurífera controlados por la falla Ángela donde han favorecido estructuralmente la formación de brechas hidrotermales en los sectores de intersección entre diferentes sistemas de fallas reactivadas; los sistemas más favorables en el emplazamiento de la mineralización, son los de orientación NW-SE y E-W (Fig. 55).

Las vetas Francia - Bonanza forma parte de un sistema típico de (lazo cimoide), éste ha sido controlado por movimientos compresivos tipo sinistral como pre mineral, la reactivación de las vetas Francia, Indio y Bonanza han generado zonas de alteración argílica o llamado zona de óxidos con leyes superiores a 20 gr/tn de Au y longitudes de hasta 60 metros.

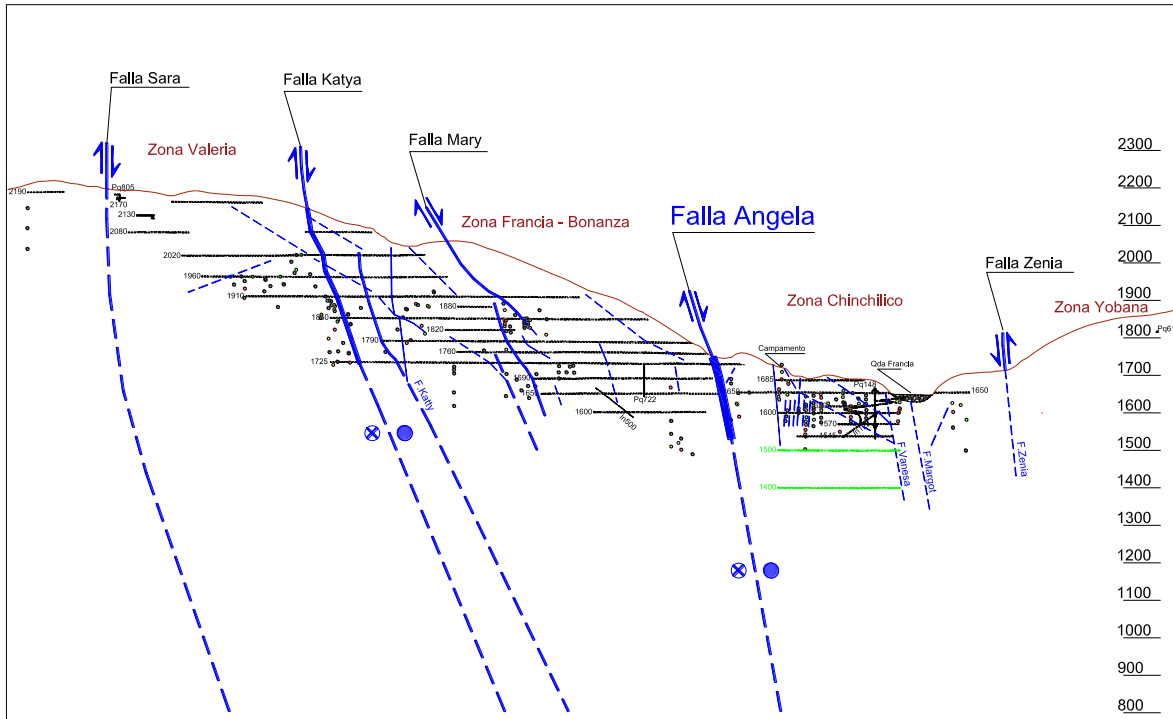


Figura N° 55: La sección longitudinal B – B’ muestra las fallas principales y el sentido de desplazamiento de la falla Ángela (Ver Anexo N° 05: Mapa Geológico Local).

4.2.4.7 CINEMÁTICA DE LA FALLA ANGELA

Es probable que las fallas presentes en el yacimiento Orión cuenten con múltiples períodos de deformación en donde la cinemática de estas ha tenido diferentes orientaciones. se lograr determinar el sentido de desplazamiento en la vertical y horizontal de la falla principal Ángela, siendo una falla normal con componentes dextral, esto corresponde al período más reciente y que son límites de los clavos mineralizados. La cinemática aquí expuesta corresponde a observaciones realizadas en terreno y aquellas obtenidas a través de la interpretación de la geometría de los cuerpos litológicos (Fig. 56).

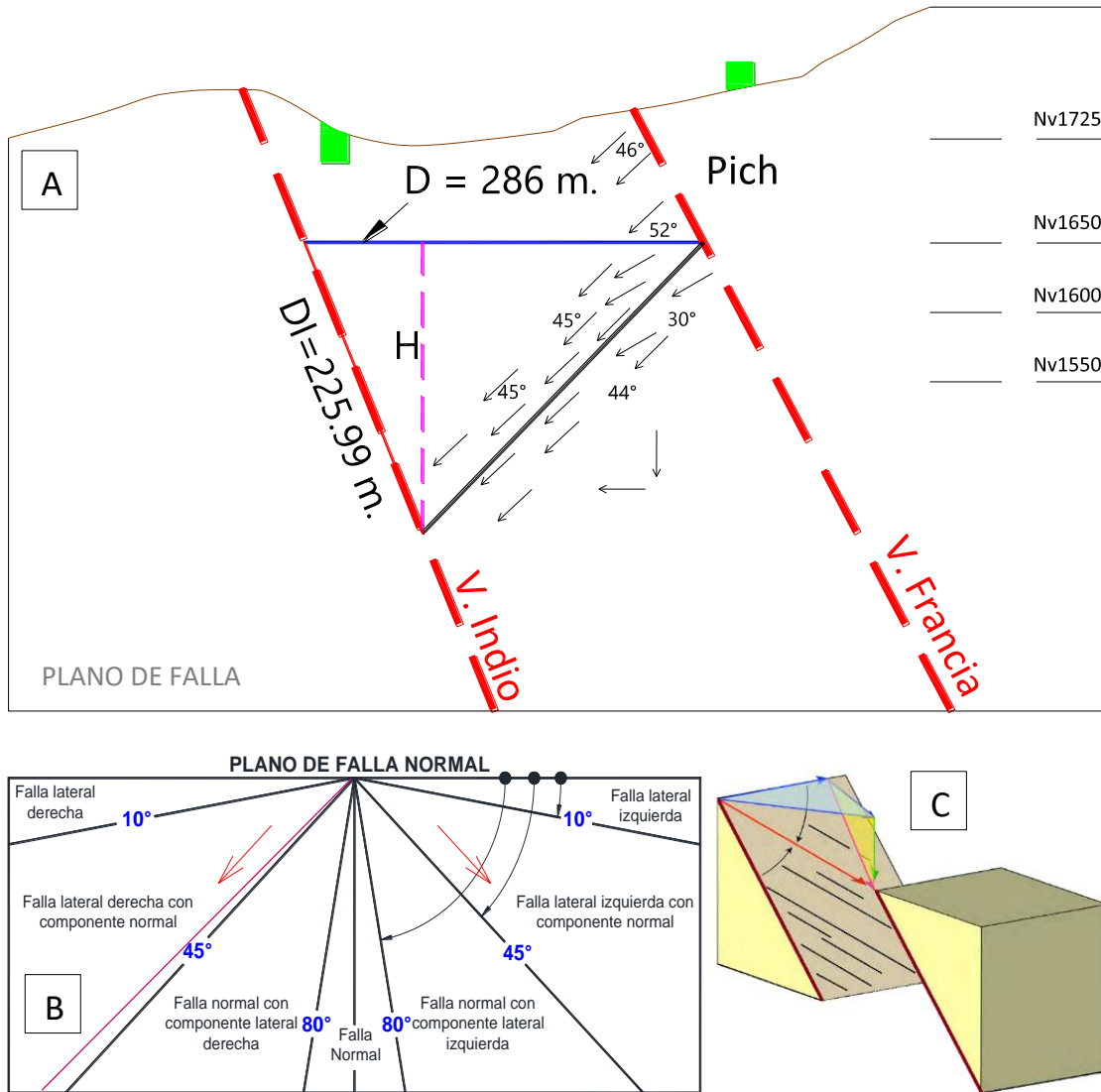


Figura N° 56: A) Modelo grafico del plano de falla Ángela que tiene un Pich promedio de $<45^\circ$, lo que indica que es una falla dextral con un componente normal según la (Figura N° 51.B), y las fallas Katty y Katya son fallas dextrales con un Pich de $<10^\circ$, C) modelos de desplazamiento de bloques.

4.2.4.8 FRANJA MINERALIZADA Y SU RELACIÓN CON LA FALLA ANGELA

Según a la profundidad con respecto a la corteza terrestre, las zonas de cizalla pueden tener un comportamiento frágil, dúctil-frágil o puramente dúctil.

Cameron (1989) indica que los niveles frágiles y transicionales son los más favorables para la mineralización, en la migración de los fluidos hacia niveles estructurales superiores ocurre una precipitación de su carga metálica preferentemente en las zonas de transición de dúctil a frágil que en las zonas profundas. Ángela es una de la falla muy importante que

limita la mineralización económica de las vetas principales como veta Francia y veta Indio donde se generó la reactivación de falla de tipo normal con un componente dextral formándose un ambiente extensivo a la anterior.

La veta **Indio** tiene un rumbo de $N50^\circ - 20^\circ W$ y buzamientos de $75^\circ - 85$ al NE. Sus anchos van de 0.10 m a 3.00 m, esta estructura se encuentra deformada y su potencia tiene fuertes variaciones en forma de trampas estructurales de fallas sub horizontales; es así que cerca de las intersecciones con ramales y fallas existe aumento de potencia en vetas. Mientras que, en sectores con intensa deformación y próximos a la falla principal la potencia disminuye notablemente, lo que sugiere concentraciones de esfuerzos.

La veta Chinchilico tiene una potencia es de 0.02m a 0.15m, esta estructura se encuentra con menos deformación, su potencia es definida tanto la mineralización, con venillas diminutas que tienen valores económicos; el control estructural de la veta Indio llega a ser desplazada incluso por fracturas rellenas de carbonatos con milímetros de ancho, asimismo se observa la concentración de sulfuros en forma de cristales dentro de una alteración propilítica moderada a fuerte.

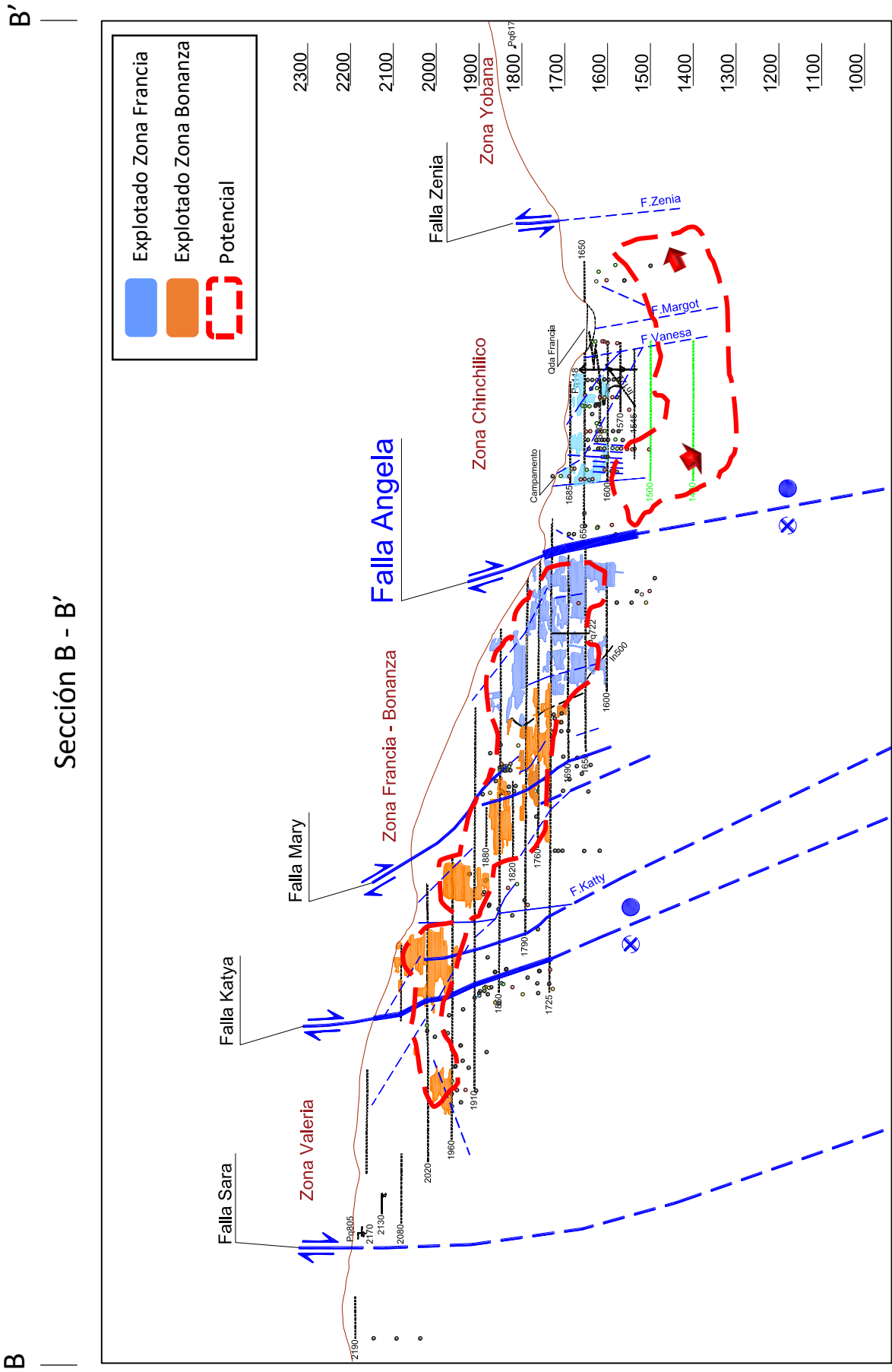


Figura N° 57: Franja mineralizada con desplazamiento de 209.00 metros aprox. en vertical, nos indica que en la zona Chinchillico probablemente las vetas profundizan irregularmente con valores económicos hasta el nivel 1250 metros (Ver Anexo: N° 05: Mapa Geológico Local).

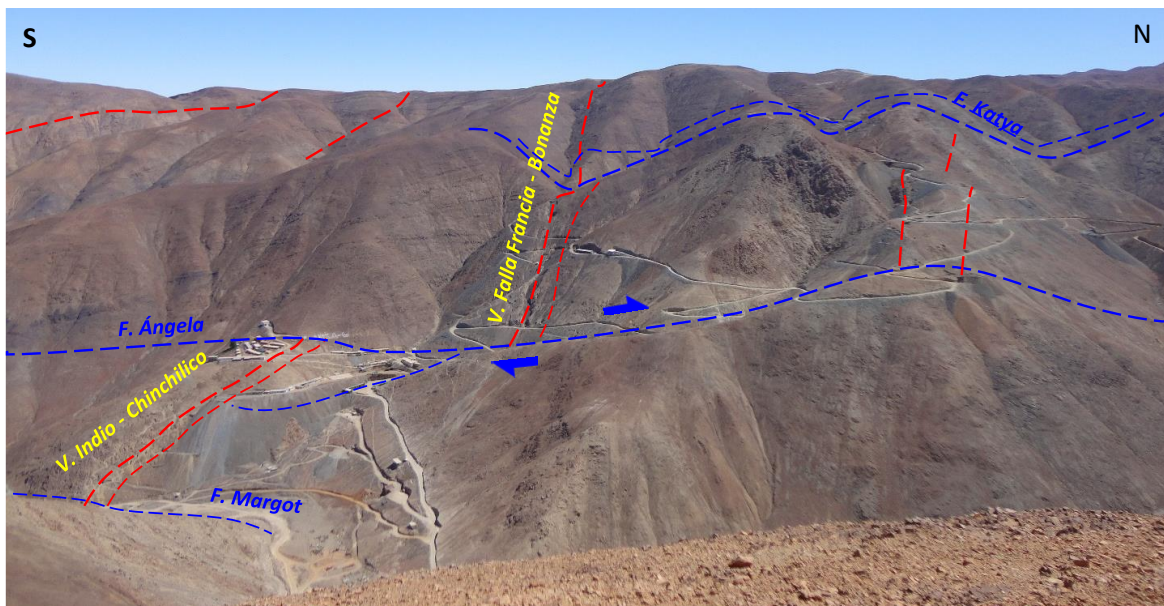
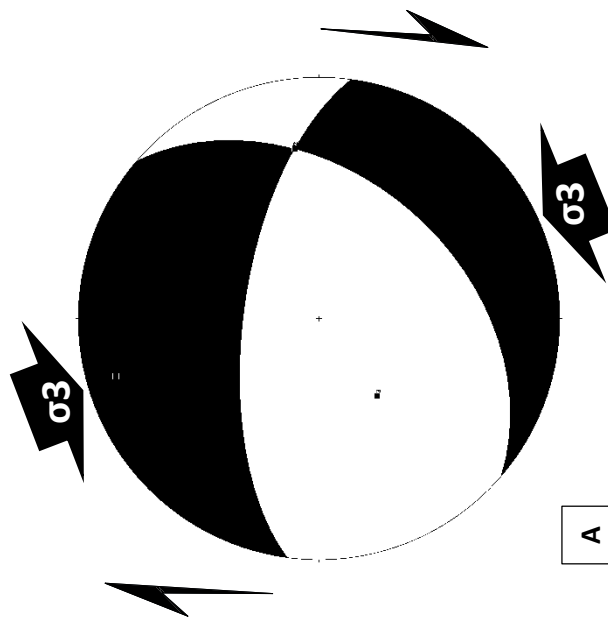
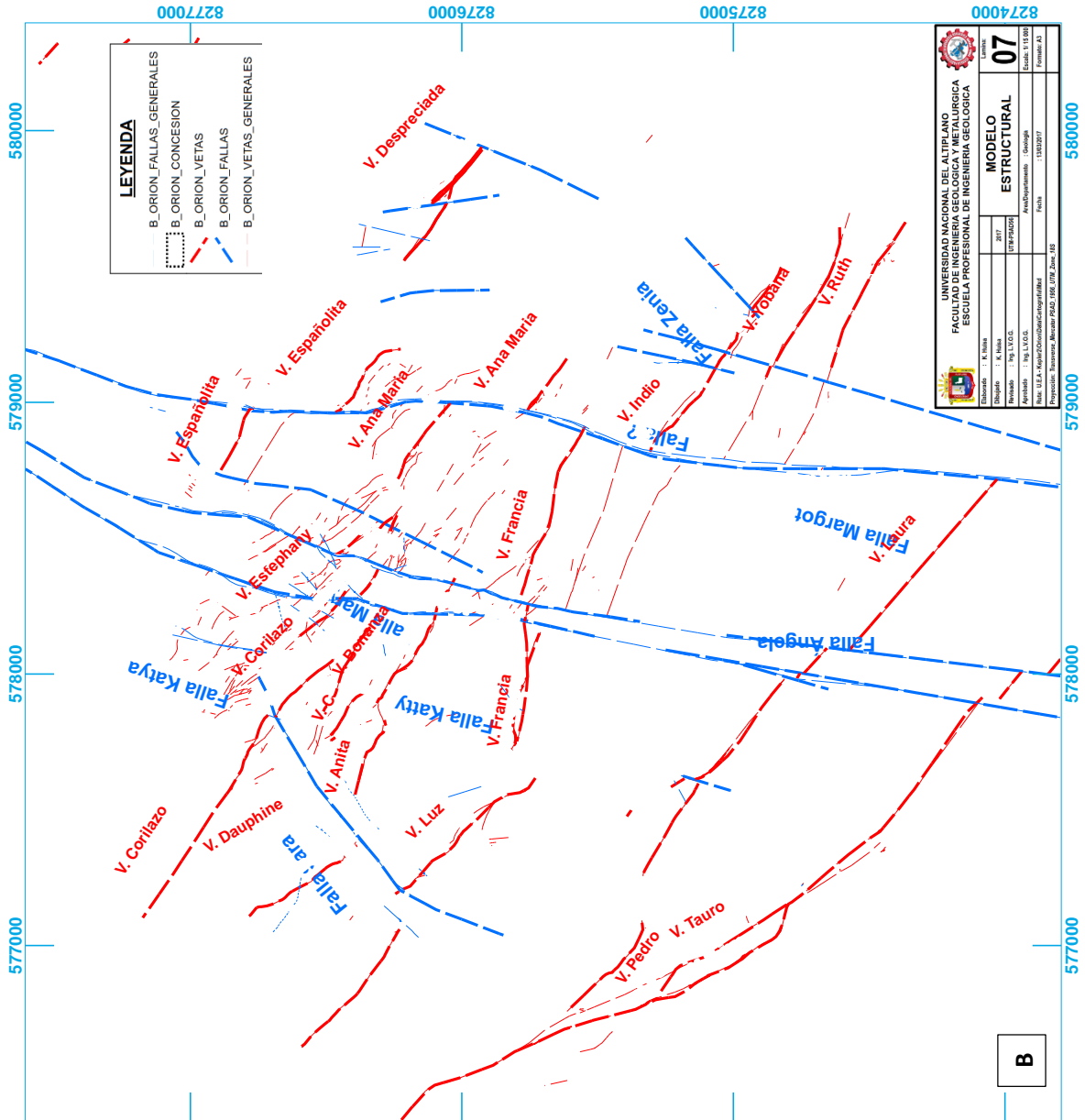


Figura N° 58: Vista Panorámica del yacimiento, se puede apreciar las fallas y vetas dos áreas de interés: foto mirando al oeste.

4.3 MODELO ESTRUCTURAL

Los esfuerzos aplicados al sistema de fallas del yacimiento corresponden a la reactivación por las últimas fases de deformación tectónica considerada como post mineral. Fase V; evento tectónico extensivo de **NW-SE**, que se asocia con fase IV, esto implica que hubo un desplazamiento considerable de las vetas Francia e Indio, donde el resultado de orientación de esfuerzos indica un régimen extensivo: $\sigma_1 = \sigma_V$ (Ver Anexo N° 13: Modelo estructural).



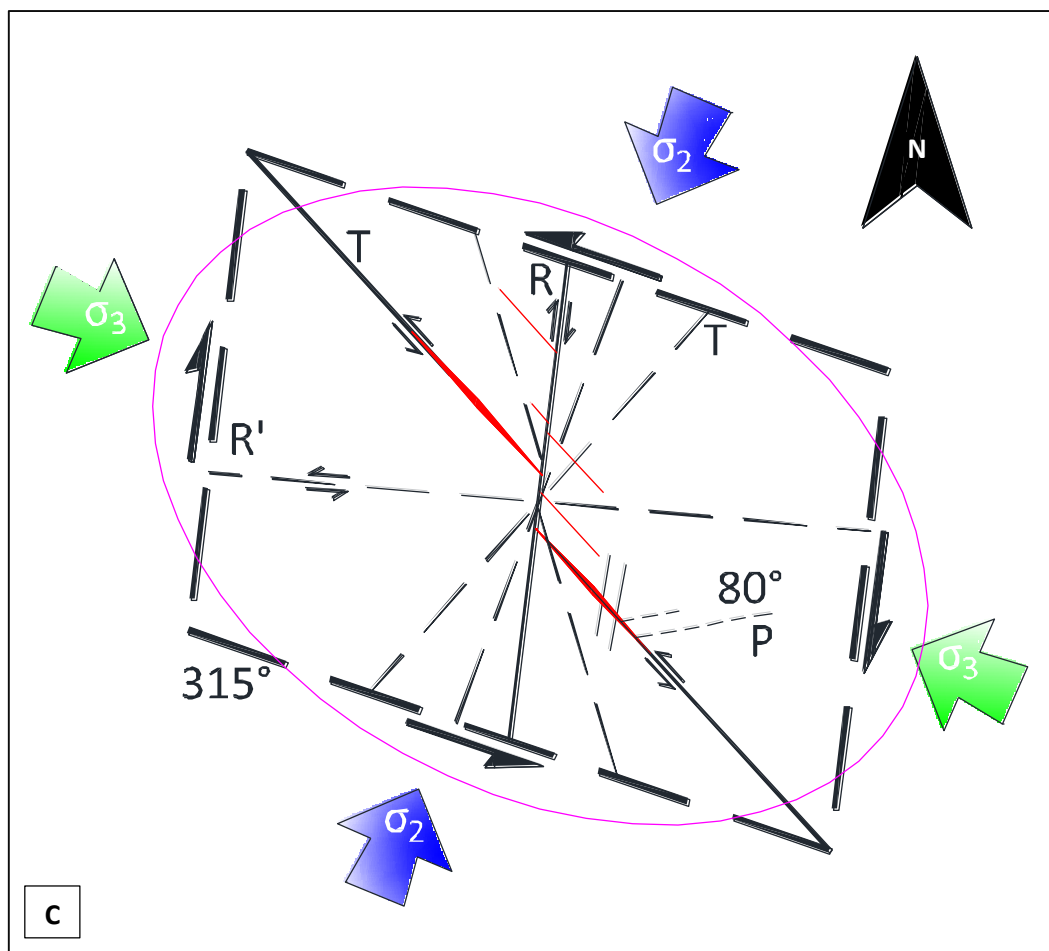


Figura N° 59: A) Esfuerzos finales propuesto para el yacimiento Orión, con relación cinemática y geométrica del modelo Riedel (1929) y Anderson, B) Mapeo estructural del sistema de fallas. C) Modelos estructural propuesto para el yacimiento Orión.

4.3.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

El contexto regional está definido por las rocas del Batolito de la Costa por la Súper Unidad Linga cuya edad oscila entre los 97 - 101 Ma y La Súper Unidad Tiabaya con una edad aproximada de 78 - 82 Ma que son limitadas a su vez por fallas regionales de dirección NO-SE y E-0. Esto permitió evaluar el potencial y zonas de interés económico.

Los estudios geológicos realizados en toda el área permitieron determinar los controles estructurales y el contexto petrográfico (ocurrencias), un aspecto importante a mencionar del control litológico de la mineralización el desplazamiento de la falla Ángela se ha determinado por análisis cinemático apreciándose el plano de ruptura bien definida, esta deformación está asociada a varios eventos tectónicos que se originan en el tiempo geológico afectada por las fases tectónicas.

En un régimen extensional limitado y en condiciones de deformación frágil se desarrollan sistemas de fallas normales, más o menos paralelas entre ellas, la fase de deformación V, está relacionado al desplazamiento de la falla Ángela que limita a las vetas Francia e Indio, donde el bloque Este desciende con respecto al bloque Oeste.

El yacimiento vetiforme del distrito minero Orión y otros prospectos mineros se encuentran ubicados ligados principalmente en el contexto del SFIC, donde sería un sistema estructural transcortical por donde magmas ascendieron subverticalmente desde profundidades que corresponden a la corteza inferior-media y al manto superior, por esta razón este sistema tectónico representaría un ambiente favorable para el emplazamiento de depósitos minerales y pequeños centros volcánicos monogenéticos. (Mamani & Rivera, 2011).

En la zona Valeria y Chinchilico las vetas encajadas en rocas intrusivas con una amplia heterogeneidad composicional (monzodiorita, monzonita y diorita), agrupadas dentro de lo que se conoce como batolito de la Costa de la Súper Unidad Linga presentando metasomatismo potásico con intrusiones de diques y micro diques monzonitas, mientras que hacia la zona Francia las vetas se encuentran tanto en rocas intrusivas de composición andesítica y andesitas porfíricas en el contacto de la monzonita y monzodiorita. La zona Laura corresponde a rocas sedimentarias lutitas, horizontes de andesita con niveles de cuarcitas, al S encontrándose fósiles, más al SW, constituida por las areniscas cuarcíticas de la Fm. Labra limitada para la falla Cateador.

Los sistemas de vetas se distinguen por un sistema principal: N45°W/NE, para el sistema de fallas principales, N20°E/SE, la mineralización observada en la zona Chinchilico corresponde a vetas de óxidos de hierro, cuarzo, pirita, calcopirita, yeso, calcita y raras veces bornita; donde estos sulfuros se disponen en bandas predominantes hacia el techo y piso. Se presenta oro libre relleno de fracturas asociado a los sulfuros, cuarzo; la principal alteración observada corresponde a cloritización y epidotización, aunque se presentan zonas de sericita, en algunos casos también alteración potásica en tramos.

En la zona Francia las vetas se caracterizan por ser de más baja inclinación de 60° y de espesores más grandes que hacia la zona norte. Hacia la zona Chinchilico, las vetas están constituidas principalmente por pirita de granulometría fina a media de textura azucarada con poco contenido de cuarzo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

1. La litología favorable en la mineralización económica son los diques de composición andesítica y las rocas hospedantes como diorita y monzogranito (monzonita); cabe indicar que posteriores pulsos de la súper unidad Tiabaya también podría estar ligado a la mineralización por presentar micro diques de monzonita; la secuencia sedimentaria de arenisca cuarcíticas, areniscas feldespáticas, lutitas con horizontes de meta andesitas y andesitas porfiríticas, hornfels, diques de latita porfiríticas no presenta buen potencial de mineralización.
2. Los esfuerzos relacionados a la mineralización muestran la evolución de cinco (5) sistemas de fracturamiento, cinco (5) fases de deformación y fallamiento asociado a un movimiento de naturaleza normal sinistral lo cual sería el primer (I) sistema de fracturamiento; los esfuerzos y el sentido del sistema principal de fallamiento están controlado por los esfuerzos, (σ_1) con una orientación (Vertical) y (σ_3) con una orientación NW-SE (Sub horizontal), estos se encuentran ubicados en la horizontal desarrollando un movimiento dextral transcurrente con un componente normal; la cinemática de la falla Ángela tiene un movimiento dextral con un componente normal, presentando un desplazamiento de 286.00 metros aprox. en horizontal y 209.00 metros aprox. en la vertical. Lo que indica que la zona Chinchilico ha tenido cierta depresión por ello existe la certeza de que la mineralización profundice con leyes irregulares hasta el 1250 m.s.n.m. Cabe señalar que en el modelo estructural se aprecia fallamiento pre mineral de tipo sinistral y post mineral de tipo dextral.
3. De acuerdo a la interpretación estructural, la veta falla Ángela tiene un comportamiento sintético, formado en un ambiente frágil transgresivo por activación

y reactivación de fallas generados por una serie de evento de esfuerzos mencionados por cada fase de deformación.

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES

- Se sugiere el estudio de inclusiones fluidas, mineragrafía para determinar la paragénesis y tipo de yacimiento.
- Es recomendable realizar estudio geofísico magnetométrico para identificar anomalías de clavos mineralizados en profundidad de la zona Chinchilico y la Zona Valeria.
- Es recomendable realizar mapeo geológico al norte de la zona de estudio, ya que presenta alteración y oxidación.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

1. Anderson, E. M., 1951, *The Dynamics of Faulting*. Edinburgh: Oliver and Boyd.
2. Agar R.A. & Le Bel L. *The Linga Super – Unit: high-K diorites of the Arequipa Segment. Magmatism at a Plate Edge: The Peruvian Andes*, p 119-127. Department of Geology University Of Liverpool.
3. Aranda A. & Injoque J. (2002). *Estudio de inclusiones fluidas, distrito minero Orión, Caravelí. Informe interno Analítica Mineral Services S.A.C.*
4. Acosta H. & Alvan A. (2009) *XIV Congreso Peruano de Geología. Sociedad Geológica del Perú, Vol. Esp. 1, Lima, p. 463-465.*
5. Acosta, J., Quispe, J., Santisteban, A., & Acosta, H., (2010). *Épocas metalogénicas y tipos de yacimientos metálicos en la margen occidental del sur del Perú: latitudes 14°s - 18°s, INGEMMET. 6 pp.*
6. Allmendinger R. W. (1999) *Introducción a Geología Estructural*, p.157-271.
7. Allmendinger R. W. (2016) *Manual Fault Kin 7.5, For Mac OS X, Windows, and Linux*, 31 pp.
8. Benavides, V. (1962) *Estratigrafía Pre-Terciaria de la Región de Arequipa. S.G.P., Segundo Congreso de Geología. 63 p. Lima-Perú.*
9. Benavides-Cáceres, V. (1999) *Orogenic evolution of the Peruvian Andes: The Andean cycle*, in Skinner, B.J. ed., *Geology and Ore Deposits of the Central Andes: Society of Economic Geologists Special Publication 7*, p. 61-107.
10. Blaszczynski. (1997), *El estudio de la Geomorfología cuantitativa*, pág. 183.
11. Caldas, J. (1978). *Geología de los cuadrángulos de San Juan, Acarí y Yauca. INGEMMET. Boletín. Serie A: Carta Geológica Nacional, n.30. Lima.78 pp.*
12. Calderón, C. (2014) *Estudio litogeoquímico comparativo entre la Súper Unida Linga Y Súper Unidad Tiabaya, Tesis de Grado, UNP. 161 pp.*
13. Carlotto, V., Carlier, G., Jaillar, E., Mascle, G., Cardenas, J., Fornari, M., Cerpa, L.,(2002).- *Paleogeographic control in the evolution of Tertiary Basins in the Western Cordillera and Altiplano of Southern Peru. 5th Intern. Symp. And. Geodyn. – ISAG, Toulouse, France 2002, ORSTOM ed. p. 117-120.*
14. Carlotto, V., Quispe, J., Acosta H., Rodríguez, R., Romero, D., Cerpa, L., Mamani, M., Diaz, E, Navarro, P., Jaimes, F., Velarde, T., Samuel Lu y Ever C. (2009). *Dominios Geotectónicos y Metalogénesis del Perú.*

15. Cisneros, J., (2009), Controles geológicos – estructurales de la mineralización aurífera en el sistema de vetas de la mina Orión Chala – Arequipa: Tesis Grado, UNI, 92 p.
16. Cobbing, E. Pitcher, W. Taylor, W. (1977). Segments and super-units in the coastal batholith of Perú. University of Chicago Press. Chicago, Illinois. pp 625-631.
17. Cobbing, E. (1998). The coastal batholith and other aspects of Andean magmatism in Peru. Sociedad Geológica del Perú. Lima pp. 5.20.
18. Cloos, E., 1968, Experimental analysis of Gulf Coast fracture patterns. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 52: 420–441.
19. De Montreuil I. (1990). Mineralogía de los yacimientos auríferos en el Perú, p 307-343. Resumen extendido segundo simposium internacional del oro.
20. De Vicente, G. (1988) Análisis Poblacional de Fallas. El sector de enlace Sistema Central-Cordillera Ibérica. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, 317 pp.
21. De Vicente, G.; Muñoz, A. y Giner, J. (1992) El uso del método de los diedros rectos: implicaciones desde el modelo de deslizamiento del Análisis poblacional de Fallas. Revista de la Sociedad Geológica de España, 5 (3-4): 7-19.
22. Miguel Doblás (1997), Slickenside And Fault Surface Kinematic Indicators. Madrid - España
23. Fossen H. (2010) Structural Geology, 417 pp.
24. Hans Niemeyer R. (1999). Apuntes de geología estructural - Antofagasta
25. Jacay, J.; Sempere, T.; Carlier, G.; Carlotto, V. (1999) Late Paleozoic – Early Mesozoic plutonism and related refting in the Eastern Cordillera of Peru. IV International Symposium on Andean Geodynamics. Göttingen, pp. 358-363.
26. Jacay, J.; Flores A.; Sempere, T.; Fornari M. (2004) Características depositacionales del volcánico Huaylillas. IX Congreso Peruano de Geología. Sociedad Geológica del Perú, Vol. Esp. 1, Lima, p. 463-465.
27. Martínez, W., Romero, D. & Cervantes, J. (2004). El Jurásico Medio en el sur de Perú: Nuevos datos estratigráficos y geoquímicos en el Estratotipo de la Formación Guaneros, Cumesí. En XII Congreso Geológico Peruano, p. 193-196.
28. Mirian, M., Navarro, P., Carlotto, V., Acosta, H., Rodríguez, J., Jaimes, F., Santos, A., Rodríguez, R., Chávez, L., Cueva E., Cereceda, C., (2010), Arcos magmáticos Meso Cenozoicos del Perú, Congreso Peruano de Geología, Cusco-Perú.

29. Macharé J. & Injoque J. (1997). El Fallamiento Tanaka – Yauca y sus implicancias en la tectónica cenozoica de la costa sur del Perú. Resumen Extendido IX Congreso Peruano De Geología, P. 341-345.
30. Muñoz Martin, A. (2010) Métodos de análisis de fallas y de obtención de los esfuerzos tectónicos, REDUCA, 53 – 91 pp.
31. Mamani M, & Rivera F. (2011) Sistema de fallas iquipi-clavelinas: zona de transición cortical e implicancias para el emplazamiento de depósitos minerales, Bol. Soc. geol. Perú 105: 37-50.
32. Muñoz Martin A. & Vicente G., (2010) Análisis de esfuerzos tectónicos fallas y sismos pp. 2 – 21.
33. Mukasa, S.B. & Tilton, G.R. (1985a). Zircon U-Pb ages of super-units in the Coastal Batholith, Peru. In: Pitcher, W.S., Atherton, M.P., Cobbing, E.J. & Beckinsale, R.D., eds. Magmatism at a plate edge: the Peruvian Andes; Blackie, Glasgow, 203-207.
34. Noble, D., Mckee, E. Y Mégard, F. (1979). Early Tertiary "Incaic" tectonism, uplift and volcanic activity, Andes of Central Peru. Geological Society of America Bulletin, vol. 90, n. 10, pp. 903-907,
35. Oyarzun J., (2009) Léxico de geología económica. Universidad la Serena Chile.
36. Olchanski E. (1980) Geología de los cuadrángulos Jaqui, Coracora, Chala y Chaparra, Hojas: 31-ñ, 31-o, 32-ñ y 32-o. 73 pp.
37. Páez V. (2010) Análisis Estructural en la región de paso de la Yesca, límite entre los dos estados de Jalisco y Nayarit: Tesis Master, UNAM, 100 p.
38. Pitcher W.S. (1977). A multiple and composite batholith. Magmatism at a Plate Edge: The Peruvian Andes, p 93-101. Department of Geology University Of Liverpool.
39. Pitcher, W. (1981). The coastal batholith of Peru in the three dimensions: a synopsis. E. Schweizerbart'scheVerlagsbuchhandlung. Heildelberg. pp. 268-271.
40. Petit, J.P., 1987. Criteria for sense of movement on fault surfaces in brittle rocks. Journal of Structural Geology, v.9, pp. 577-608.
41. Riedel, W. (1929), Zur mechanik geologischer Brucherscheinungen. Zentralblatt für Mineralogie Geologie. und Paläontologie, v. 1929B, p 354-368.
42. Rodriguez R. (2008). El Sistema de Fallas Chonta y sus Implicancias Metalogenéticas entre 12°15´ S y 13°30´ (Huancavelica – Perú), Tesis Maestria, 94 pp.

43. Tamayo y Tamayo, M. (2004) *Proceso de la Investigación Científica*. 4ta Edición. México. Limusa: Pág. 145-146.
44. Torres B. C. (1999) *El proyecto de investigación*. S/E, Lima, Perú.
45. Valencia M.; Lozada V. et al (2017) *Estudio Metalogenético de la Faja magmática Jurásico – Cretáceo, asociado a los depósitos minerales tipo IOCG y Pórfidos entre Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna*. INGEMMET. Lima-Perú.
46. Velarde Y, (2015) “Genesis y control estructural de la veta la Porfia mina Poderosa” Tesis de Grado, UNAP. 77 pp.
47. Vicente J.C., Beaudouin B., Chávez A., León I. (1982). *La Cuenca de Arequipa (Sur Perú) durante el Jurásico-Cretácico Inferior*. 5th Congreso Latinoamericano de Geología. Buenos-Aires 1981, 1, 121-153.
48. Waldron, J. (2005). *Extensional fault arrays in strike-slip and transtension*. *Journal of Structural Geology*, tomo 27. pag 23-34. 12p.

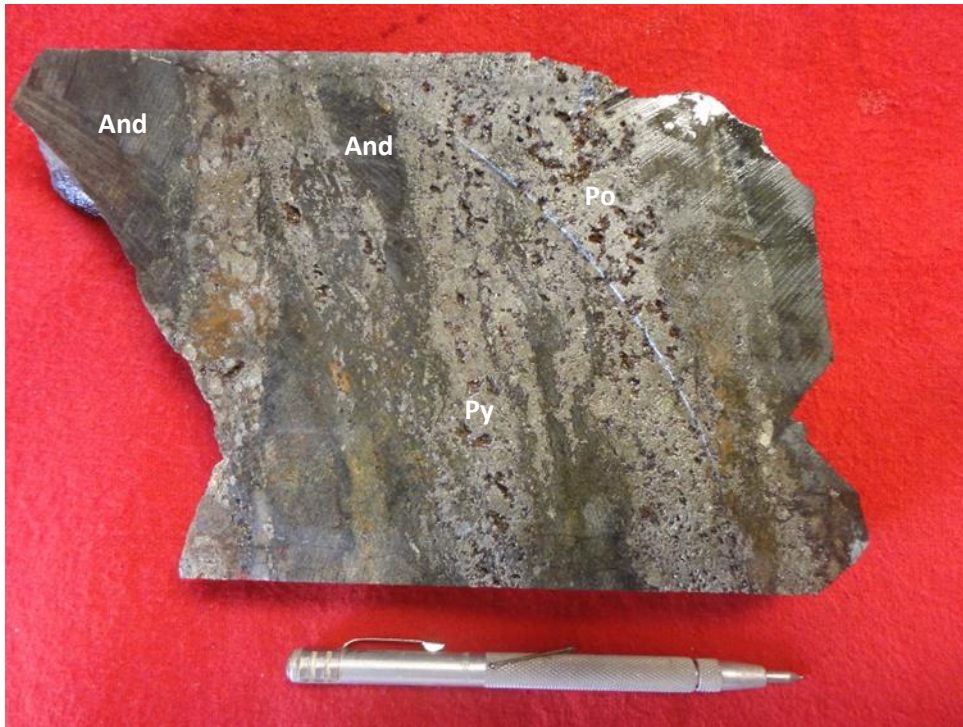
ANEXOS



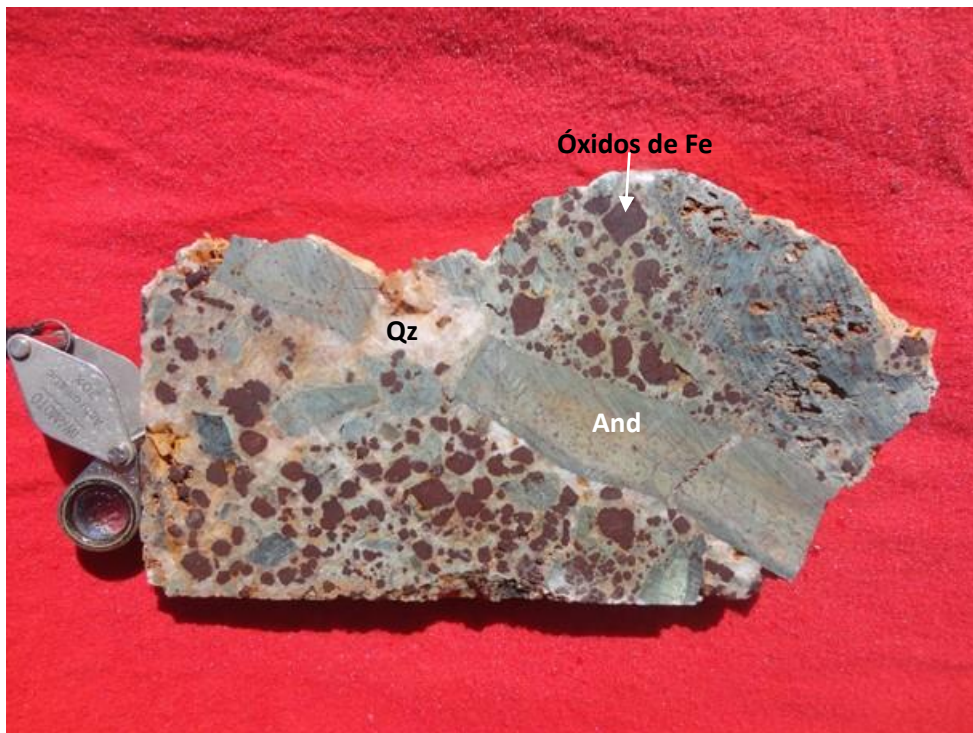
ANEXO N°01: Vista panorámica del yacimiento Orión, foto mirando al NW.



ANEXO N°02: Campamentos mina, en la zona Chinchilico.



ANEXO N°03: Veta Indio (fragmento de andesita, pirita, pirrotita, diseminaciones de calcopirita).



ANEXO N°04: Veta Francia (Brecha, con núcleos de goethita con cristales de cuarzo blanco).



ANEXO N°05: Veta Chinchilico (niveles someros Nv1600).



ANEXO N°06: Veta Chinchilico (Profundización Nv1550).